

ANA CHRISTINA WIGNERON GIMENES

PEDOGEOMORFOLOGIA DE DEPRESSÃO  
NOS TABULEIROS COSTEIROS DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para  
obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2013

Waktu penelitian ini adalah 10 (sepuluh) hari di Kabupaten P. Kabupaten di  
Gedung 2, Januari 2019.

2

2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)

2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)

2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)  
2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)

2019. *Diakses dari* [www.widyadarmasurabaya.ac.id](http://www.widyadarmasurabaya.ac.id)

ANA CHRISTINA WIGNERON GIMENES

PEDOGEOMORFOLOGIA DE DEPRESSÃO  
NOS TABULEIROS COSTEIROS DO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para  
obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 03 de outubro de 2013.

---

João Carlos Ker  
(Coorientador)

---

Walter Antônio Pereira Abrahão

---

Bruno Araújo Furtado de Mendonça

---

Tathiane Santi Sarcinelli

---

Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer  
(Orientador)

Dedico esta pesquisa  
aos meus pais e aos meus filhos.

## AGRADECIMENTOS

A todos que de alguma forma me incentivaram a pesquisar.

Ao Prof. Carlos Ernesto Schaefer, pela orientação, discussões sobre a pesquisa, apoio nas interpretações, e pelo otimismo demonstrado sempre.

Ao Prof. João Carlos Ker, pelo apoio, e por sempre apresentar muita disposição ao discutir os aspectos da pesquisa.

Ao Prof. Liovando Marciano da Costa, pelo incentivo e apoio à pesquisa.

Ao Prof. Raphael Bragança Alves Fernandes pelos ensinamentos em Física do Solo.

Ao Prof. Walter Abrahão, ao pesquisador Bruno Mendonça e Tathiane Santi Sarcinelli pela colaboração.

Ao estagiário Luiz de Oliveira, pela colaboração no Laboratório de Matéria Orgânica nos procedimentos de fracionamento das substâncias húmicas.

Ao Marcelo Braga Bueno Guerra, pelo apoio nos trabalhos no Laboratório de Geoquímica.

Aos alunos do programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela amizade e colaboração nas discussões sobre os métodos de laboratório.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização desse curso.

Aos professores do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, por terem conduzido o aprendizado e pela manutenção de uma estrutura capaz de promover o incentivo à pesquisa.

Aos servidores e funcionários do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela organização e empenho.

Aos coordenadores, técnicos e laboratoristas dos laboratórios do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em especial, Laboratório de Matéria Orgânica, Laboratório de Geoquímica, Laboratório de Mineralogia, Laboratório de Espectrometria, Laboratório de Física do Solo.

Aos professores, servidores administrativos e aos meus alunos da Universidade Federal do Espírito Santo.

Ao Prof. Antonio Celso de Oliveira Goulart da Universidade Federal do Espírito Santo pela colaboração nas discussões em geologia e geomorfologia.

Ao Prof. André Nascentes Coelho da Universidade Federal do Espírito Santo.

Aos pesquisadores Heloisa Filizola da Embrapa e René Boulet por terem me incentivado a pesquisar os solos das depressões no norte do Espírito Santo, onde juntamente com eles foi realizado um primeiro levantamento desses solos.

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, por terem permitido a pesquisa e coleta dos solos na Unidade de Conservação e ao Chefe da Reserva Biológica de Sooretama, Sr. Eliton Lima, funcionários, técnicos e pesquisadores, pelo apoio durante os trabalhos de campo.

## ÍNDICE

RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	vi
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1. Geologia da Formação Barreiras e tectônica associada .....	3
2.2. Origem e evolução das depressões .....	7
2.3. Gênese dos horizontes coesos e horizontes cimentados .....	10
2.4. Mobilidade dos elementos, destruição das argilas e podzolização .....	15
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS</b>	
3.1. Caracterização da área de estudo .....	17
3.1.1. Localização .....	17
3.1.2. Geologia e geomorfologia .....	17
3.1.3. Solos .....	17
3.1.4. Vegetação e clima .....	18
3.2. Mapeamento da rede de drenagem e das depressões .....	20
3.3. Mapeamento dos lineamentos estruturais .....	22
3.4. Procedimentos de campo e locais de coleta dos solos .....	22
3.5. Análise granulométrica e determinação da densidade do solo .....	25
3.6. Análises químicas .....	28
3.6.1. Análise química de fertilidade .....	28
3.6.2. Análise química total da TFSA por fusão alcalina .....	29
3.6.3. Análise química da TFSA (água régia) .....	29
3.6.4. Análise química de extrações seletivas .....	30
3.6.5. Fracionamento de substâncias húmicas e determinação dos teores de Carbono e nitrogênio .....	31
3.7. Análise mineralógica da fração argila por difratometria de raios-X .....	32

## **CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

4.1. Aspectos geomorfológicos da área de Sooretama .....	33
4.2. Caracterização dos lineamentos estruturais .....	44
4.3. Caracterização morfológica dos solos na Depressão do Cupido.....	48
4.3.1. Topossequência TAB .....	53
4.3.2. Topossequência TCD .....	60
4.3.3. Topossequência TEF.....	77
4.3.4. Topossequência TMN .....	83
4.4. Caracterização física dos solos .....	87
4.5. Composição química .....	92
4.6. Caracterização química nos pedoambientes .....	94
4.6.1. Teores de Fe, Al e Si obtidos do ataque total por fusão alcalina .....	94
4.6.2. Teores de Fe, Al e Si obtidos das extrações seletivas com ditionito, oxalato e pirofosfato .....	96
4.6.3. Teores de elementos traços (água régia) .....	101
4.6.4. Caracterização e mobilidade das substâncias húmicas .....	103
4.7. Composição mineralógica da fração argila dos solos .....	107

<b>CAPÍTULO 5 - EVOLUÇÃO PEDOGEOMORFOLÓGICA E AS IMPLICAÇÕES NA GÊNESE DA DEPRESSÃO DO CUPIDO .....</b>	<b>113</b>
---	------------

<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>117</b>
-------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>120</b>
---------------------------	------------

## RESUMO

GIMENES, Ana Christina Wigner, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2013. **Pedogeomorfologia de depressão nos Tabuleiros Costeiros do norte do Espírito Santo.** Orientador: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Coorientador: João Carlos Ker.

O objetivo deste estudo foi investigar a gênese dos solos sobre a Formação Barreiras na Depressão do Cupido (município de Sooretama, Estado do Espírito Santo), pela identificação de dados da rede de drenagem, relevo e lineamentos estruturais, por meio de interpretação de imagens de satélite, e estudo dos solos em topossequência, complementados por análises físicas (análise granulométrica e densidade do solo), química de fertilidade, extrações seletivas pelos métodos ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), oxalato ácido de amônio e pirofosfato de sódio para determinação dos teores de Fe, Al e Si (espectrometria de absorção atômica em chama), identificação dos elementos traços pelo método água régia (espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado), fracionamento das substâncias húmicas e determinação dos teores de C e N, via úmida por dicromatometria e fonte externa de calor, e análises mineralógicas da fração argila. O estudo revelou um desenvolvimento inicialmente dependente de materiais que favorecem o acúmulo da água (lençol freático aflorante e lençol freático suspenso) e atuante na deflagração de processos pedogenéticos vinculados a hidromorfismo sazonal e variável. Os fatores condicionantes mais destacados são: 1) a horizontalidade dos sedimentos continentais do Barreiras; 2) a tendência de arranjo face-a-face planar da caulinita combinada a baixos teores de ferro, favorecendo coesão; 3) a natureza ácida dos depósitos areno-argilosos do Barreiras; 4) a tendência à erosão laminar e 5) a pedogênese na formação do duripã. Lineamentos estruturais parecem condicionar a direção de maior desenvolvimento da depressão. Os solos representam uma topossequência pedológica clássica, variando desde Argissolos Amarelos com a presença de petroplintita a Argissolos Acinzentados e Espodossolos com duripãs. Identificaram-se os seguintes estágios de transformação: desferrificação, desestruturação da argila por ferrólise, ferro remobilizado, posterior formação de aluminossilicatos amorfos, cimentação do duripã na zona vadosa do lençol

freático mais elevado, rebaixamento do lençol freático, destruição da caulinita e dos aluminossilicatos amorfos no nível do duripã pretérito por acidólise, formação de solos arenosos, mobilização e iluviação de matéria orgânica ácida com alumínio, cimentação dos horizontes espódicos ativos por géis aluminosos e / ou aluminossilicatos amorfos e destruição por acidólise de parte do horizonte espódico sob a influência direta do lençol freático. Na Depressão do Cupido a densidade do solo aumenta com a profundidade e com o aumento da cimentação. Os diferentes graus de cimentação estão na dependência dos compostos aluminosos amorfos e aluminossilicatos amorfos, crescentes com o aumento do endurecimento. Os teores de COT aumentam da parte mais elevada para a mais baixa da topossequência. O pedoambiente de maior movimentação da fração solúvel, sobretudo ácidos fúlvicos, seguido de ácidos húmicos, é encontrado nos Espodossolos e no duripã do Argissolo Acinzentado. O crescente aumento da dissolução das caulinitas e dos aluminossilicatos amorfos do duripã contribui para os acréscimos do alumínio no pedoambiente. O Al ligado à matéria orgânica aumenta com a profundidade, revelando processos ativos de podzolização. A acidez do horizonte A assinala a precipitação de complexos orgânicos neste horizonte e mobilização do Al complexado, posteriormente imobilizado nos horizontes espódicos, mantida pela impermeabilidade do horizonte com cimentação, e/ou, pelo lençol freático. A cobertura pedológica da Depressão do Cupido encontra-se em desequilíbrio, e a frente de transformação avança de jusante para montante. As depressões do Barreiras podem ser consideradas abatimentos pedogenéticos, em que o rebaixamento e evolução da paisagem são governados pela destruição de argila, assistida pelos condicionantes geoestruturais e sedimentológicos.

## ABSTRACT

GIMENES, Ana Christina Wigner, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2013. **Depression pedogeomorphology in the Coastal Tableland in northern Espírito Santo.** Adviser: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Co-adviser: João Carlos Ker.

The aim of this study was to investigate the genesis of soils in the Barreiras environment depression of the Coastal Tablelands (Cupido Depression, Sooretama-ES), and identify of the drainage patterns, relief and lineaments, through interpretation of satellite images, and study of soils in toposequence, complemented by physical and chemical analysis, selective dissolution by Dithionite-Citrate-Bicarbonate Method (DCB), Acid Oxalate Method Under Darkness (AOD) and Pyrophosphate Method to determine the levels of Fe, Al and Si by flame atomic absorption spectroscopy (FAAS), by Hydrochloric Acid and Nitric Acid concentrated nitric acid and hydrofluoric acid (água régia), using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) for determination trace elements in soils, fractionation of humic substances and determination of C content and method N, wet by acid concentration, potassium dichromate concentration and oxidation temperature external heat source, and mineralogical analyzes of the clay fraction. The study revealed a development initially dependent on the materials that advantages the accumulation of water (permanent groundwater and suspended temporary groundwater) acting at the inducement of pedogenic processes linked to hydromorphism (seasonal and variable). The determining factors are the most prominent: 1) the horizontal sedimentary strata Barreiras, 2) the kaolinite and its planar structure combined poor iron (generating hardsetting soil), 3) the nature of the deposits acidic and sandy clay Barreiras; 4) tabularity surface and 5) the formation of pedogenesis in pan. Structural lineaments appear to constrain the direction of further development of depression. Soils represent a toposequence classical pedological, ranging from yellow Ultisols the presence of ferruginous concretion and grayish Ultisols and Spodosol with duripans. The following stages of transformation were identified: by the iron loss, disruption of clay by ferrolysis at remobilized iron, and subsequent formation amorphous aluminosilicate, cementing horizons

in the vadose zone water table suspended higher drawdown, destruction acidolysis of kaolinite and amorphous aluminosilicate within the past duripan, formation of sandy soils, mobilization and illuvial acid organic matter with aluminum and silicon, cementing the functional spodic horizons by aluminous gels and/or amorphous aluminosilicates, the destruction by acidolysis of part of the spodic horizon under the direct influence of the water table. In the Cupido Depression the soil density increases with increasing depth and cementing. The different levels cementing are dependent of amorphous aluminosilicates and/or aluminous gels, increasing with increasing hardening. The levels of total organic carbon increased from the upper to the lower toposequence. The soil of greater movement of soluble fraction, especially fulvic acids, followed by humic acid is found in Spodosols and Ultisol'duripan. The enhanced dissolution of kaolinite and amorphous aluminosilicates duripan contributes to the additions of aluminum in environment. The Al element bound to organic matter increases with depth, revealing active processes Podzolization. The acidity of the A surface horizon marks the precipitation of this complex organic within this horizon and mobilization of Al complexed, subsequently immobilized in spodic horizons, maintained by the impermeability of the cemented horizon, and / or the water table. The phases of silica bonded to organic matter are generally increasing with depth, higher in grayish Ultisol, and maximum in Spodosols. The soil cover Cupido Depression is unbalanced, and the processing moves forward from downstream to upstream. The depression of the Formation Barreiras sediments can be considered as formed by subsidence or collapse pedogenic. This case, the demotion and landscape evolution is governed by the destruction of clay, assisted by constraints geological structural and sedimentological.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO GERAL**

A alteração dos materiais da Formação Barreiras resultou em solos intemperizados, coesos, dominados por argilas finas, cauliníticas, apresentando baixos teores de ferro, alta saturação de alumínio e distrofia e com presença de concreções ferruginosas nas bordas mais elevadas dos tabuleiros costeiros. A atuação de processos pedogenéticos específicos nos materiais resultou principalmente na formação de Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos nos interflúvios. Nas depressões inseridas no compartimento dos tabuleiros costeiros, correspondentes a cabeceiras de drenagem de canais fluviais, outros processos deram origem a Argissolos Acinzentados nas bordas inferiores das vertentes e a Espodossolos no fundo plano.

A Formação Barreiras se diferencia das demais estruturas sedimentares em três aspectos principais: pelo tipo de material de origem, continental; pelo tempo de construção dos depósitos sedimentares; pelo tempo de exposição às alterações biogeoquímicas e às alterações erosivas pela influência das variações eustáticas. Exerceram importante influência na construção da Formação Barreiras: 1) as areias arcossianas parcialmente intemperizadas durante o processo de deposição, originando material argilo-arenoso; 2) os mecanismos erosivos decorrentes do rebaixamento do nível do mar, resultando em diferentes marchas erosivas nos ambientes fluviais, e posterior redistribuição e preenchimentos diferenciados com os próprios materiais da Formação Barreiras ou externos a ela; 3) o longo período de forte intemperismo químico, gerando materiais muito intemperizados e 4) o ambiente capaz de sustentar a estabilidade da caulinita.

Controlados em parte pelas estruturas tectônicas, as morfologias de relevo e os solos têm apresentado uma evolução compartilhada nos ambientes de alteração dos materiais da Formação Barreiras ao longo de vários trechos da costa brasileira. Os materiais específicos, as baixas altitudes e o relevo em tabuleiros são condicionantes essenciais que conferem aos pedoambientes atribuições hidrológicas importantes de armazenamento e redirecionamento da água para a compreensão da gênese e dos processos atuais e passados.

As modificações ocorridas na paisagem associada à Formação Barreiras originaram solos específicos que interferiram na morfologia de topo dos Tabuleiros Costeiros. A questão levantada é que, além dos processos erosivos que modelam o relevo, resultando em formas deprimidas, podem existir outros processos capazes de resultar na formação dessas áreas deprimidas. A hipótese formulada nessa pesquisa é a de que os processos pedogeoquímicos contribuem para o surgimento dos desníveis topográficos encontrados entre topo plano e depressão, em que há uma progressiva instabilidade do pedoambiente.

Partindo-se do princípio de controle dos materiais da Formação Barreiras, são investigados os solos de uma depressão típica no ambiente de alteração das camadas superiores desses materiais, com investigações dos processos genéticos por meio de análises geomorfológicas, morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos. A área de estudo situa-se na Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama, norte do Espírito Santo, sob Floresta Atlântica de Tabuleiros e Muçunungas, onde se observa as transformações dos solos ao longo de gradientes ambientais da borda para o centro de uma depressão fechada, a Depressão do Cupido, cujos materiais argilosos dos Argissolos contrastam com os arenosos dos Espodossolos em condições hidrológicas dominantes.

O objetivo geral foi estudar a gênese pedológica na Depressão do Cupido e associá-la ao compartimento dos tabuleiros costeiros no Norte do Espírito Santo. Os objetivos específicos foram: 1) verificar a ocorrência das depressões no norte do Espírito Santo por meio de mapeamento geomorfológico; estabelecer as relações entre as depressões e a rede de drenagem e relacionar a ocorrência dessas depressões aos lineamentos estruturais; 2) em topossequências na Depressão do Cupido, analisar as características estruturais dos solos e suas zonas de transição; avaliar a composição química dos horizontes dos solos; determinar qualitativa e quantitativamente o carbono orgânico e as substâncias húmicas nos horizontes dos solos; identificar a mineralogia da fração argila dos solos e, estabelecer as relações de desenvolvimento pedológico em topossequências entre os solos do topo e os solos do fundo da depressão.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Geologia da Formação Barreiras e tectônica associada

Duas formações associadas aos Tabuleiros Costeiros no norte do Espírito Santo foram identificadas: Formação Barreiras e Formação Rio Doce (ASMUS et al., 1971 e PIAZZA e ARAÚJO, 1972). A Formação Rio Doce é composta por arenito arcossiano com lentes de argilito, argilito arenoso e arenito conglomerático na parte superior da formação e a Formação Barreiras é composta por arenito predominantemente quartzoso, argila variegada com limonita (*sic.*) e arenito argiloso (PIAZZA e ARAÚJO, 1972). Associados a ambientes de sedimentação fluvial, no norte do Espírito Santo os paleofluxos fluviais da Formação Rio Doce seguem a direção NNW-SSE, enquanto que os paleofluxos da Formação Barreiras correspondem à direção WNW-ESE (MORAIS, 2007).

A coluna estratigráfica de Amador (1982) representa as duas formações (Barreiras Superior, correspondente a Formação Barreiras, e Formação Pedro Canário, correspondente à Formação Rio Doce Superior). A Formação Barreiras é configurada por uma sequência de material arenoso com matriz argilosa, lentes irregulares de material argilo-arenoso, camada argilosa, seguida de colúvio argilo-arenoso e colúvio areno-argiloso (Figura 1). Essa camada de colúvio areno-argiloso, correspondente à última camada do Barreiras Superior, vem sendo citada genericamente como cobertura areno-argilosa (MELLO et al, 2005b; MORAIS, 2007), sem uma conotação genética que expresse a formação superficial (elúvio ou colúvio), podendo ser de origem autóctone e essencialmente pedogenética.

Morais (2007) e Moraes e Mello (2007) identificaram fácies com empilhamentos entre 200 a 300 cm de espessura nos sedimentos da Formação Barreiras: predominantemente, fácies areníticas, relacionadas a ambientes de sedimentação de barras e formas de leito arenosas; fácies lutíticas, associadas a pelitos de planície de inundação e fácies rudíticas observados apenas em escala de perfil faciológico, em camadas com geometria lenticular extensa a tabular.

Segundo Suguio (1972), devido aos processos intempéricos, os sedimentos da Formação Barreiras resultaram na caulinição dos feldspatos antes presentes e na destruição dos compostos metálicos menos estáveis. Morais (2007) e Morais e Mello (2007) igualmente referem-se à alteração dos feldspatos na transformação mineralógica dos depósitos areníticos, atualmente representados por matriz caulínica de cor cinza-esbranquiçada, contrastante ao forte mosqueamento por óxido de ferro representado pelas variações de cores alaranjadas e avermelhadas. Desses processos intempéricos, restaram associações mais típicas dos sedimentos da Formação Barreiras, com a diminuição do teor de horblenda e o aumento da relação quartzo/feldspato (SUGUIO, 1972).

As espessuras dos sedimentos da Formação Barreiras no norte do Espírito Santo são variáveis em diferentes posições do relevo. Ellert (1972) apresenta medidas de 10 a 124 m no topo dos tabuleiros; de 6 a 60 m na Planície Costeira do Rio Doce; e de 12 a 80 m nas lagoas do sistema lagunar de Linhares. De forma pontual os sedimentos da Formação Barreiras estão sobre a Formação Rio Doce (PETROBRÁS, 1969-1975; ASMUS et al., 1971; PIAZZA e ARAÚJO, 1972; ELLERT, 1972; MORAIS, 2007), mas mais frequentemente repousam sobre rochas do Pré-Cambriano (COUTINHO, 1972; MENDES et al., 1987), sendo que no extremo norte do Espírito Santo e sul da Bahia, o embasamento cristalino encontra-se mais recuado para oeste.

A distribuição espacial da Formação Barreiras é desigual ao longo da zona costeira do Estado do Espírito Santo. Segundo Amador e Dias (1978), a Formação Barreiras na região costeira sul intercala-se com afloramentos de rochas cristalinas Pré-Cambrianas e na região costeira do norte do Estado, ocorre de modo mais conspícuo (Figura 2).

A cronoestratigrafia dos depósitos tem sido abordada por poucos autores e métodos diferenciados. A Formação Rio Doce, segundo Asmus et al. (1971), corresponde ao período Terciário, com registros fósseis do Paleoceno ao Mioceno Inferior e, possivelmente, idade pliocênica para os estratos superiores sem fósseis. Piazza e Araújo (1972) definem idades do início do Eoceno ao final do Mioceno. A idade da Formação Barreiras, para Amador e Dias (1978), é miocênica até pliocênica.

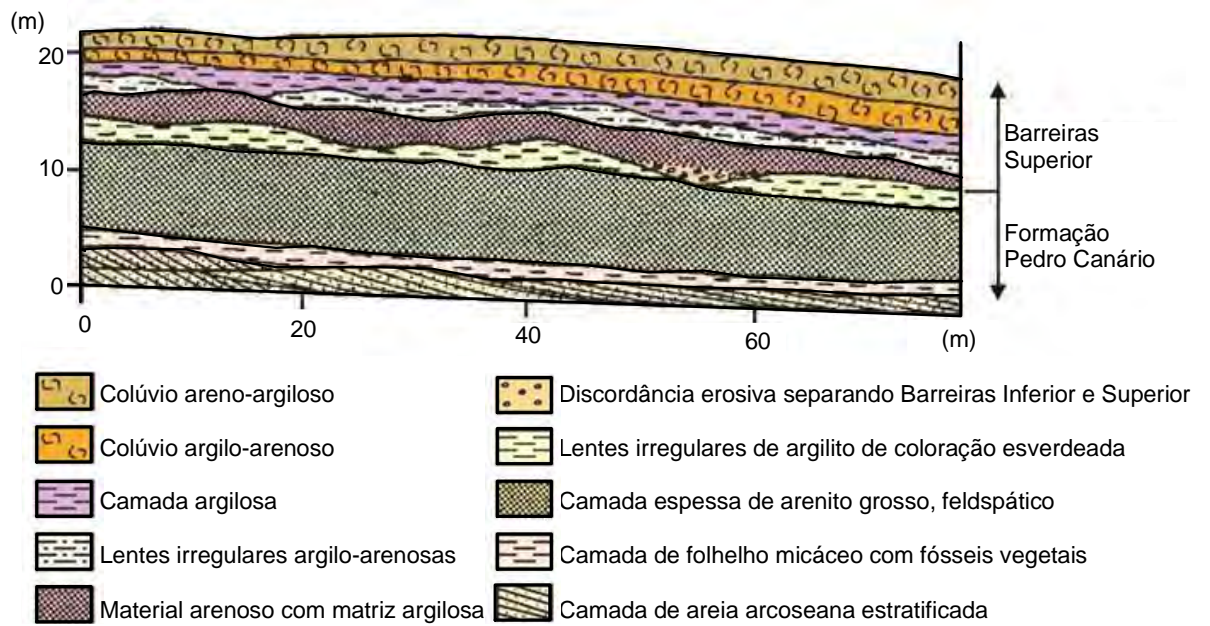


Figura 1 – Coluna estratigráfica da Formação Barreiras e Formação Pedro Canário/Formação Rio Doce Superior. Fonte: Amador (1982) e Morais (2007).

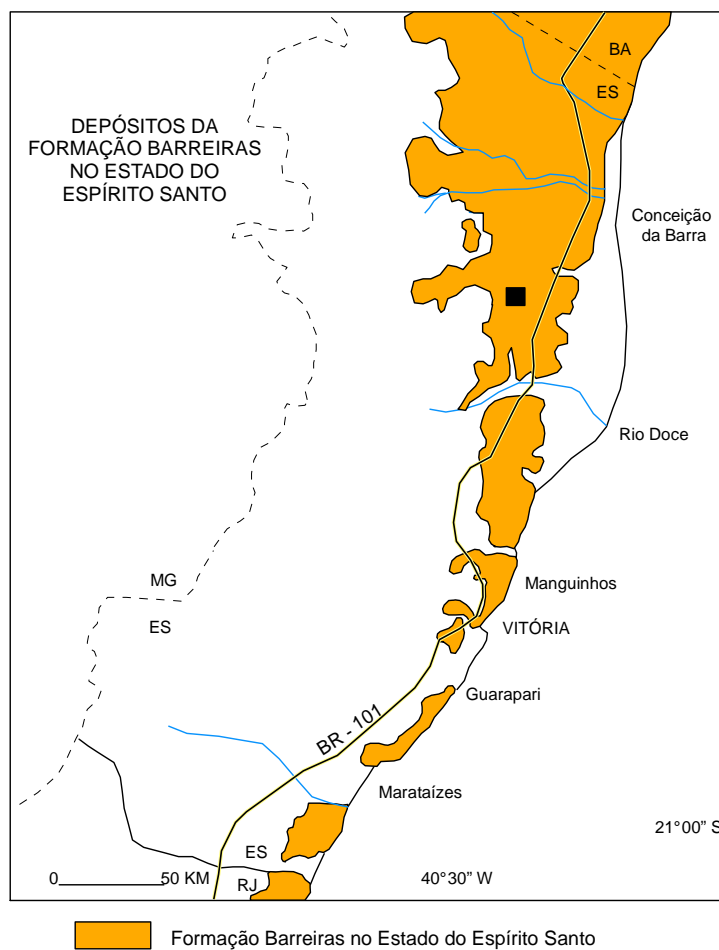


Figura 2 – Distribuição dos sedimentos da Formação Barreiras no Espírito Santo e a posição da Depressão do Cupido (quadrado preto). Fonte: Amador e Dias (1978).

Segundo Suguio e Nogueira (1999), a Formação Barreiras ocorreu a partir do rebaixamento brusco do nível do mar no final do Mioceno Médio, sendo o início da deposição, concomitantemente com o fecho de deposição nas bacias marginais, há cerca de 12 Ma, e seguido de processos erosivos que se efetivaram nas superfícies continentais entre o Mioceno Superior e o Plioceno. Após a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras, uma fase erosiva e de retrabalhamento modelou a superfície (ARAI, 2006).

A Formação Barreiras, como exposto por Bigarella e Andrade (1964), deve-se à retenção de sedimentos continentais em uma flexura continental de subsidência de deformação da costa oceânica. Na Bacia do Espírito Santo, segundo Asmus et al. (1971), foram os basculamentos produzidos por movimentos epirogenéticos os responsáveis por essa retenção. Suguio e Nogueira (1999) afirmam que a Formação Barreiras corresponde a um testemunho de eventos geológicos de escalas continentais (abertura do Oceano Atlântico sul, tectonismos hidro e litoisostático e orogênese andina), formando uma bacia longa, estreita e paralela à costa oceânica, produzida pelo arqueamento suave para baixo, o que resultou em uma flexura alongada e que reteve os materiais. Ao soerguimento da margem continental, das quais estiveram presentes os processos mantélicos ocorridos nas Bacias Marginais e o avanço do rifteamento e a sedimentação marinha, resultando em compensação isostática e ativando o ciclo de erosão-deposição, Schaefer (2013) inclui o próprio intemperismo das rochas, facilitando o soerguimento por tornar as porções continentais menos densas.

Segundo Asmus et al. (1971) e Novais et al. (2004) o estiramento da placa litosférica do Gondwana produziu um sistema de semigrábens alinhados ao longo de falhas normais de direções predominantes N-S, NNW-SSE e NE-SW, associadas a falhas secundárias geradas por alívios das forças de tensão de direções NW-SE e E-W. Há recentes reativações dos falhamentos ocorridos na Bacia do Espírito Santo (SOBREIRA, 1999; NOVAIS et al., 2008). Os eventos tectônicos afetaram os sedimentos da Formação Barreiras durante e após a deposição, e quase sempre estão relacionados à reativação de zonas de fraqueza pré-existentes (TORQUATO et al., 1996; SUGUIO e NOGUEIRA, 1999).

As orientações de lineamentos marcadas nos terrenos cristalinos e na Formação Barreiras no Espírito Santo, de acordo com Mello et al. (2005a), expõem a influência de estruturas quebráveis na rede de drenagem: 1) NNW-SSE na Faixa Colatina (terrenos cristalinos/região serrana), bem definido e descontínuo; 2) NW-SE na Faixa Colatina e bem marcados na Formação Barreiras (tabuleiros costeiros); 3) NE-SW, da Faixa Colatina até a Formação Barreiras; 4) E-W a WNW, da Faixa Colatina até a Formação Barreiras. Sobretudo nas áreas dos terrenos colinosos e sobre a Formação Barreiras, Mello et al. (2005a) descrevem uma rede de drenagem com grande quantidade de anomalias (desvios de drenagem), resultante das reativações tectônicas, mais concentradas nas áreas de maior interseção de lineamentos, principalmente nas feições lineares de direção NNW-SSE mais destacadas.

## 2.2. Origem e evolução das depressões

As depressões fechadas são consideradas bons modelos físicos para a investigação da paisagem, na medida em que são áreas topograficamente coletoras, enquanto que os vales abertos são sítios de acumulação mais ativos e de trânsito de matéria (RAUNET, 1985; FILIZOLA e BOULET, 1996).

A origem das depressões tem sido atribuída a processos erosivos, a processos geoquímicos ou aos dois processos, atuando concomitantemente sobre os materiais. As depressões têm sido interpretadas como resultantes de mudança climática que afeta o balanço morfogenético, com fases de alteração geoquímica profunda e processos erosivos superficiais. Quando associada à erosão geoquímica, o rebaixamento da superfície é explicado pela perda de elementos em subsuperfície por fluxos hídricos ao longo de um determinado tempo.

Na África, em relevos planos, as depressões denominadas *dambos* (*bas-fonds*; *vleis*) são similares às encontradas nas regiões costeiras do Brasil. Essas depressões são vales de fundo plano, sem desenvolvimento de talvegue, formando cabeceiras de drenagem à montante de canais fluviais.

Sugerindo uma interpretação paleoclimática, Mäkel (1985), em estudo desenvolvido na África, retrata depressões compostas por uma zona central, zona

de afloramentos sazonais da água (*seepage zone*), em fases de alteração geoquímica profunda, somada a processos mecânicos atuais, estes atestados pela incisão e presença de sedimentos transportados a jusante, e abertas durante um estágio avançado do sistema de drenagem regressivo com capturas, sendo comuns os seguimentos de lineamentos estruturais.

A evolução das depressões na África foi descrito por Raunet (1985) como resultante da desestabilização de antigas coberturas ferralíticas, processos geoquímicos rasos e profundos (hidrólise, degradação subsuperficial das argilas, deformação por cisalhamento intermolecular, lixiviação, eluviação e neoformação de argilas expansivas), combinados a processos mecânicos, incisão, transporte e deposição de materiais. Segundo Raunet (1985), a água do lençol freático é o principal agente da erosão geoquímica, e através de flutuações que saturam o manto de alteração, os processos e as eliminações dos solutos tendem a agir sobre as características e distribuição do saprólito e solos, a evolução morfogenética do perfil transversal e a esculturação dos interflúvios pela progressão das cabeceiras, restando relíquias de superfícies de aplainamento.

Focados na mesma linha de pesquisa de investigações da paisagem, Giardino e Mäckel (1985) consideram o *dambo* africano uma forma agradacional de diferentes materiais, alternando fases de processos geoquímicos profundos e erosão laminar, incisão fluvial do canal a jusante e acumulação de sedimentos, enquanto que, por outro lado, as *dwalas*, relevo mais elevado ao lado dos dambos, resultam do rebaixamento ocorrido nos próprios *dambos*. Assinalam que essas morfologias não foram produzidas sob condições atuais, mas que as fases evolutivas dependem de fatores tectônicos ou de mudanças climáticas.

No Brasil alguns modelos evolutivos da paisagem e pedogênese associada em Argissolos e Espodosolos foram propostos a partir de estudos realizados nos solos de sedimentos da Formação Barreiras nos tabuleiros costeiros e nas depressões.

Um modelo evolutivo das depressões no norte do Espírito Santo é sugerido por Jordy Filho et al. (1987) quando trata das sucessões de Muçunungas associadas a mudanças paleoclimáticas Quaternárias (DAMUTH e FAIRBRIDGE, 1970, apud SOARES e LANDIN, 1973; AB'SABER, 2003), da

passagem de um clima mais úmido (período interglacial) para um clima mais seco (período glacial), em que houve resfriamento global, rebaixamento do nível do mar, corrente fria até o nordeste do Brasil e, conseqüentemente, clima de semi-aridez. Segundo Jordy Filho et al. (1987), em clima mais seco, haveria a modificação do substrato, iniciado pela colmatação de uma lagoa já existente. Essa hipótese não explica como as depressões foram formadas, o que deixa uma lacuna no modelo físico apresentado e compromete as explicações sobre a origem dos Espodosolos e das Muçunungas, que, segundo Fortunato (2004) e Saporetti Junior (2009), ocorrem em clima diferente do semi-árido.

De acordo com Jacomine (1996) e Uchá (2000), horizontes que apresentam cimentação são considerados atributos das depressões e os sedimentos detríticos característicos da Formação Barreiras favorecem a formação desses horizontes. Oliveira et al. (2007) também confirmam a influência desses sedimentos para a formação dos Espodosolos em estudo sobre as áreas deprimidas no domínio dos Argissolos Amarelos coesos no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. No nordeste, em Alagoas e Pernambuco, Filizola et al. (2001) identificaram a existência de relação entre tamanho da depressão e grau de cimentação dos horizontes, verificada uma seqüência dinâmica de depressões de dimensão menor com horizontes pouco cimentados (fragipãs) a depressões maiores, com horizontes muito cimentados (duripãs), progressivamente, passando a processos de hidromorfismo moderado a hidromorfismo mais acentuado com presença de lençol freático, até a total abertura das depressões para o canal fluvial.

Os duripãs dos solos dos tabuleiros costeiros do norte da Bahia, segundo Fortunato (2004) datam de 123.000 anos A. P. Entre 123.000 anos A. P. até cerca de 133.000 anos A. P., ocorreu o episódio transgressivo (Penúltima Transgressão) que colocou o nível do mar a cerca de  $8 \pm 2$  m acima do nível atual. Este episódio de elevação do nível do mar pode ter influenciado o nível de base dos canais fluviais e a elevação dos lençóis freáticos, responsável pela formação do duripã pelos processos envolvidos, como a disponibilidade dos agentes cimentantes e a cimentação com o rebaixamento do lençol.

Esses duripãs atualmente estão sendo alterados. Segundo Ucha et al. (2012) em depressões nos tabuleiros costeiros no norte da Bahia, o duripã deixou de ser ativo diante dos processos de cimentação, somados a um rebaixamento do lençol freático naquela área, e a matéria orgânica, datada no topo do duripã em 27.100 anos A. P. à 9.200 anos A. P, passou a impregná-lo.

Em depressões nos tabuleiros costeiros no norte da Bahia, Fortunato (2004) encontrou condições climáticas favoráveis à gênese de Espodossolos nos intervalos de 17.530 anos cal. A. P. e 12.750 anos cal. A. P. e de 9.200 anos cal. A. P. até o presente, indicando predominância de clima úmido a subúmido que favoreceram a podzolização. Em Pernambuco os Espodossolos, localizados em depressões dos tabuleiros costeiros, foram datados em cerca de 13.000 anos cal. A. P. por Filizola et al. (2001). Enquanto que no norte do Espírito Santo, na área da Reserva Biológica de Sooretama e Reserva Natural Vale, inferindo-se a mesma idade para a MOS dos Espodossolos, a matéria orgânica do solo (MOS) da fração húmica do Argissolo Amarelo foi datada por Buso Junior (2010) em 7.000 anos A. P. (~7.700 anos cal. A. P.), a 2 m de profundidade, até cerca de 2.720 anos A. P. (~2.800 anos cal. A. P.) a 40-50 cm. Buso Junior (2010) estima que pelo menos a camada mais profunda (~3 m) represente o Holoceno inferior.

### 2.3. Gênese dos horizontes coesos e horizontes cimentados

Nos solos do Barreiras as limitações de drenagem nas depressões nos tabuleiros costeiros proporciona a formação de lençol freático aflorante e suspenso, condicionados pela presença de horizontes cimentados limitadores da infiltração da água, gerando fluxos hídricos laterais e avanço de frentes de saturação, além da formação de fluxos hídricos laterais induzidos pelo caráter coeso do solo e pelas diferenças texturais abruptas. Essas estruturas presentes nas depressões são indutoras da estagnação da água, configurando áreas coletoras e influenciando os processos pedológicos/geoquímicos nelas inerentes e que, por sua vez, podem interferir no rebaixamento do relevo.

Os horizontes coesos são caracterizados pelos graus de consistência, friável quando úmidos, e dura, muito dura ou extremamente dura quando secos,

de ocorrência nos Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos, nos horizontes BA, parte do Bt ou do Bw, sendo a textura média (coesão menos evidente), argilosa ou muito argilosa, geralmente entre 30 e 70 cm de profundidade (ACHÁ PANOSO, 1976; JACOMINE, 1996, REZENDE, 2000, RIBEIRO, 1998; GIAROLA et al., 2001; GIAROLA e SILVA, 2002; MOREAU, 2001; MOREAU et al., 2003; NUNES et al., 2011), dificultando a infiltração da água e a penetração de raízes (OLIVEIRA NETO, 1992; MELLO, 1993, apud FILIZOLA, 2001). Apresentam-se sem uma organização nítida, com grau de estrutura maciça-coerente e densidade do solo alta (GIAROLA e SILVA, 2002).

Nos solos coesos a caulinita,  $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ , é o argilomineral dominante na fração argila e o quartzo é o mineral que predomina na fração areia (JACOMINE, 1996; REZENDE, 2000; GIAROLA e SILVA, 2002, MELO et al., 2002a). O principal óxido de ferro é a goethita, diminuindo em profundidade (MELO et al, 2002a). As cores amareladas são facultadas à presença da goethita (FeOOH), geralmente bruno-amareladas, bruno amarelada-clara, bruno claro-acinzentada ou bruno no matiz 10YR, com valores 5 e 6 e cromas entre 3 e 6 (RIBEIRO, 2001).

A gênese dos horizontes coesos tem sido associada a múltiplos fatores. Os mecanismos podem estar relacionados ao processo de argiluviação, presença de compostos orgânicos pouco polimerizados na degradação do plasma, presença de sílica secundária, argila dispersa nos microporos e adensamento por dessecação resultante da alteração da estrutura do solo pela alternância de ciclos de umedecimento e secagem (GIAROLA e SILVA, 2002), entre outros.

Achá Panoso (1976) apontou o baixo teor de ferro, obtido pelo ataque sulfúrico, como responsável pela gênese dos horizontes coesos do solo. Segundo Chauvel et al. (1976), a presença do ferro influencia a organização dos materiais caulíníticos, no sentido de produzir uma organização não orientada das superfícies específicas dos argilominerais, em que uma pequena redução no teor de ferro já seria suficiente para promover a melhor orientação dessas argilas.

A diminuição dos teores de ferro, no entanto, podem não significar necessariamente um aumento na coesão. Nunes et al. (2011) mostram que litofácies distintas podem ser responsáveis por diferenças expressivas nos graus

de coesão, ao compararem solos originados de diamictitos ferruginosos e solos derivados de sedimentos siltosos no norte da Bahia. Os autores identificaram, no primeiro caso, dois graus de coesão, em que os moderadamente coesos evoluem para fortemente coesos com o avanço da degradação do plasma, avanço da iluviação e xantização, enquanto que no segundo caso, os horizontes são moderadamente coesos e não evoluem para um grau maior com o aumento do gradiente textural e com a diminuição dos teores de ferro livre naqueles solos.

Ribeiro (1991) atribui o maior adensamento dos horizontes coesos e diminuição da porosidade, em solos do Barreiras no litoral norte da Bahia, ao entupimento dos poros dado pela sílica proveniente do ataque do quartzo pelos ácidos orgânicos, e não por argila iluviada, atestado pela menor manifestação de cutãs de iluviação em lâminas delgadas nas análises micromorfológicas do solo. Nunes et al. (2011), entretanto, na mesma região norte da Bahia, também encontrou cutãs de iluviação em horizontes coesos.

A coesão pode não ter relação com os diferentes graus de cristalinidade da caulinita, mineral predominante na fração argila dos solos do Barreiras, mas sim com o tamanho da argila. Melo et al. (2002b), ao estudarem solos até 14 m na Formação Barreiras no Espírito Santo, verificaram graus semelhantes de cristalinidade da caulinita com o aumento de profundidade (exceção para os horizontes superficiais pela interferência dos compostos orgânicos).

Corrêa (2005) e Corrêa et al. (2008) explicam a coesão pela presença de argilas muito finas (menores do que 2  $\mu\text{m}$ ) esféricas nos solos coesos da Formação Barreiras, o que resulta no aumento da densidade do solo, relacionadas à translocação entre horizontes, ou no mesmo horizonte, como argila dispersa. A presença de processos de argiluviação foi constatada por Corrêa et al. (2008) nos Argissolos do Barreiras do sul da Bahia, demonstrada pelo aumento da relação argila fina pela argila grossa com a profundidade. Em feições micromorfológicas, argilãs foram observados nos horizontes coesos, com diferenças em relação aos horizontes não coesos, além de cavidades pouco conectadas e poucos canais e microfissuras não intercomunicantes (CORRÊA et al., 2008).

Enquanto os horizontes coesos surgem ao longo de vários trechos dos tabuleiros costeiros, os horizontes cimentados ocorrem somente em áreas

deprimidas nesses compartimentos (JACOMINE, 1996; UCHA, 2000). Alta consistência, alta resistência mecânica e limitações quanto à infiltração de água e penetração de raízes assinalam os horizontes cimentados. Ferro, silício e alumínio, em fases amorfas ou de baixa cristalinidade, são agentes capazes de promover cimentação, como a ferridrita, a sílica em fases opalinas ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e hidróxido de Al não cristalinos, em que foram estudadas sua morfologia e gênese por diversos autores (ANDERSON e WHITE, 1958; NETTLETON et al., 1968; JACOMINE, 1974; HALLMARK e SMECK, 1979; ILER, 1979; DRESS et al., 1989; FRANZMEIER et al., 1989; HELYAR et al., 1993; RODRIGUES e SILVA e LEPRUN, 1997; DUNCAN e FRANZMEIER, 1999; ). Carbonatos de cálcio e matéria orgânica também fazem parte do grupo dos cimentantes.

Para referenciar a natureza, os materiais cimentados apresentam uma terminologia própria, calcrete, silcrete, ferricrete e alcrete, respectivamente, materiais cimentados por carbonato de cálcio, sílica, ferro e alumínio. *Iron-stone*, laterita, canga, petroplintita, concreção ferruginosa e couraça ferruginosa são designações adotadas para os horizontes cimentados por ferro.

Em relação às concreções ferruginosas existem duas gêneses possíveis, uma de origem autóctone (TARDY, 1993) e outra alóctone (OLLIER E PAIN, 1996; BROWN et al., 2003; COELHO et al, 2001). A primeira consiste na alteração *in situ* por acúmulo relativo de ferro e com frente de transformação da base para o topo, enquanto ocorre um rebaixamento da superfície por perda geoquímica. O processo foi chamado de alteração isovolumétrica. Teve sua gênese associada à paleoclimas sob climas tropicais com estações contrastantes (TARDY e ROQUIN, 1998). A segunda deve-se ao acúmulo absoluto de ferro solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$ ), mobilizado em subsuperfície das posições mais altas para aquelas relativamente mais baixas no relevo, onde nestas posições há acúmulo e oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$ , favorecendo a formação da petroplintita. Em posições ainda mais baixas e sob a influência de lençol freático essas concreções ferruginosas podem ser alteradas e o ferro solúvel volta a ser mobilizado do ambiente. Neste caso, o processo pode ser atual, sem estar relacionado à paleoclimas.

Os demais horizontes cimentados surgem com referência a fatores impostos pelo grau de cimentação, textura e natureza do agente cimentante. O

fragipã possui cimentação fraca e reversível, aparentemente cimentado quando seco, neste caso, a textura é média ou arenosa, com baixo conteúdo de matéria orgânica; e quando úmido, rompe-se sob pressão e torna-se quebradiço, enquanto que o duripã possui cimentação forte por alumínio (ARAÚJO FILHO e CARVALHO, 2005). O *ortstein* apresenta textura arenosa, tratando-se de horizonte B espódico (JACOMINE et al., 2005).

Em áreas áridas, os duripãs são atribuídos à sílica amorfa. Em silcrete, Chadwick et al. (1987) apresentaram um dos modelos deposicionais, em que óxidos de ferro funcionam como superfície de adsorção da molécula  $H_4SiO_4$  (sílica solúvel), e a partir dela, outras adsorções ocorrem, enquanto que a medida que o horizonte seca as moléculas adsorvidas precipitam, formando a sílica.

Singh e Gilkes (1993) constataram, por Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução (HRTEM), a presença da sílica amorfa, secundária, nos solos da Austrália como agente de horizontes endurecidos.

No Brasil, em Argissolos Amarelos e Espodossolos nas depressões nos tabuleiros costeiros de Alagoas e Pernambuco no nordeste, géis aluminosos, alumino-silicosos e alumino-ferruginosos amorfos são os responsáveis pela cimentação dos duripãs (FILIZOLA et al, 2001).

Os compostos amorfos com maior participação do alumínio, mais do que sílica e ferro amorfos, também determinam a cimentação dos duripãs dos solos nos tabuleiros costeiros no norte da Bahia, incluindo ainda como favorável à matriz densa do duripã a própria mineralogia caulínica (ROMERO et al., 2003).

Em Latossolos Amarelos, Argissolos Amarelos e Espodossolos presentes nos solos do Barreiras na região norte da Bahia, a sílica e o alumínio são elementos que participam dos processos de cimentação do duripãs, que nesses locais podem atingir até 32 metros de espessura (FORTUNATO, 2004).

Nos horizontes cimentados de Argissolo Amarelo Distrófico planossólico no sul da Bahia, os teores elevados de Si e Al, extraídos pelo oxalato ácido de amônio, indicam serem estes os elementos envolvidos na cimentação, por hidroxialuminossilicatos (MOREAU, 2001; MOREAU et al., 2003; MOREAU et al, 2006).

Nos Argissolos e Espodosolos em Alagoas e Pernambuco no nordeste do Brasil, os compostos minerais aluminosos, aluminossilicatos amorfos hidratados e, em segundo lugar, os compostos organometálicos com altos teores de alumínio, identificados também por meio de extrações seletivas, cimentaram os horizontes (ARAÚJO FILHO e CARVALHO, 2005).

Segundo Araújo Filho (2004) os processos de podzolização, as condições hidromórficas temporárias e a translocação de argila são os principais mecanismos envolvidos na formação dos horizontes cimentados.

Nos fragipãs e duripãs no nordeste do Brasil, Filizola et al. (2001) observaram argilãs, plasma denso e contínuo, poros tipo câmaras e grande parte da porosidade preenchida por argila iluvial. O mesmo foi observado por Corrêa et al. (2008) em fragipãs nos solos do Barreiras no sul da Bahia, além de canais paralelos à superfície e microfissuras com distribuição radial em quartzos mais grosseiros e microlamelas crescentiformes (caulinitãs), e hematitas (sem microlaminações) nas bordas dos canais. Presença de muitos argilãs também foram observados por Moreau (2001) e Moreau et al. (2006) em horizontes cimentados no sul da Bahia, atestando processos de iluviação.

#### 2.4. Mobilidade dos elementos, destruição das argilas e podzolização

A sílica, o alumínio e o ferro, resultantes da transformação dos minerais, podem ser removidos do pedoambiente, quando complexados, absorvidos pelas plantas ou lixiviados, contribuir para a neoformação de minerais de argila, ou se concentrar, regendo os processos de pedocimentação. Os processos pedológicos em fragipãs e duripãs e em Espodosolos apontam para a desferrificação, alteração das argilas, acúmulo de areias e mobilidade dos elementos como processos contidos na evolução da paisagem atual e passada.

A destruição dos duripãs atualmente inativos e a transformação dos minerais de argila estão incluídos nos processos que geram instabilidades nos pedoambientes do Barreiras e a formação de solos arenosos. Nesses locais, atuam processos de podzolização em que os elementos envolvidos na mobilidade têm promovido o surgimento de horizontes espódicos cimentados ativos.

Segundo Volkoff e Andrade (1975), a degradação das argilas libera ferro e alumínio e formam compostos organo-metálicos que implicam em cimentação. As perdas geoquímicas foram mencionadas em ambiente associado à Formação Barreiras por Oliveira et al. (2007) e sugerem que haveria aporte lateral de sílica e alumínio, resultante da destruição de argilas dos Argissolos Amarelos coesos vizinhos.

De acordo com Filizola et al. (2001) nos Latossolos e Argissolos em tabuleiros de Pernambuco, as bandas ferruginosas presentes atuaram no sentido de elevar a dissolução do ferro e sua migração em profundidade, resultando na desferrificação do horizonte abaixo delas (frente de transformação do fragipã bruno-amarelado em amarelo-claro). Os horizontes cimentados teriam formação induzida pela migração do ferro que se concentra provisoriamente nas bandas ferruginosas. Pela diminuição da drenagem, haveria desferrificação e hidrólise da caulinita. Estes seriam os processos que produziram geles aluminosos, alumino-silicosos e alumino-ferruginosos, responsáveis pela cimentação.

Romero et al. (2003) sugere que os duripãs em solos dos tabuleiros costeiros no norte da Bahia foram formados em uma condição passada de relevo. Os processos erosivos, influenciados por tectônica neoceno-zóica, modelaram o relevo a ponto de aparecerem cimentações próximas à superfície.

No norte da Bahia, Fortunato (2004) propõe que a partir da alteração das duricrostas formaram-se os Argissolos Amarelos textura arenosa/média, os Latossolos Amarelos textura média, e os Espodossolos, e que essas duricrostas muito espessas foram formadas antes de 123.000 anos AP.

No litoral norte da Bahia, Ucha et al. (2012) mostraram que, com a instalação de condições oxidantes, o duripã passou a se degradar, passando de uma microestrutura e pedalidade maciça a intertética e granular, com aumento da areia e da porosidade, dos duripãs menos alterados aos *ortsteins*, além de outros indicativos de alteração, como poro vesicular e alveolar, canais interagregados e transagregados e canais interconectados no setor degradado do duripã, estruturas cutânicas com restos de duripã em forma de blocos arredondados no duripã degradado e grãos de quartzo com golfos de corrosão.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

##### 3.1.1. Localização

A área de estudo está localizada ao norte do estado do Espírito Santo, no município de Sooretama, compreendendo os solos da Depressão do Cupido (Figura 3), cabeceira de drenagem do afluente da margem esquerda do córrego Cupido, bacia do rio Barra Seca, esta inserida no compartimento geomorfológico dos tabuleiros costeiros, abrangendo parte da Reserva Biológica de Sooretama (federal) e distante 44,4 km da linha de costa oceânica em direção a oeste.

##### 3.1.2. Geologia e geomorfologia

A geologia da área de estudo corresponde aos sedimentos da Formação Barreiras, configurada por uma sequência estratigráfica de material arenoso com matriz argilosa, lentes irregulares de material argilo-arenoso, camada argilosa, seguida de material argilo-arenoso e material areno-argiloso (AMADOR, 1982).

A Depressão do Cupido está inserida no compartimento geomorfológico dos tabuleiros costeiros, onde o topo plano apresenta-se adernado e com altitudes que variam de 103 m a 78 m e fundo do vale plano e sem talvegue, com altitudes de 97 a 74 m, diminuindo em direção ao curso d'água, afluente da margem esquerda do córrego Cupido.

##### 3.1.3. Solos

Na Depressão do Cupido os solos correspondem aos Argissolos Amarelos e Espodossolos. Segundo levantamento de Santos et al. (2004), na área de abrangência das Unidades de Conservação (Reserva Biológica de Sooretama e Reserva Natural Vale) predominam Argissolos Amarelos, presentes nos topos e

vertentes dos tabuleiros costeiros, e Espodossolos com ou sem horizontes cimentados, inseridos sobretudo em relevo plano presentes nos tabuleiros e nas restingas. Argissolos Amarelos podem apresentar concreções ferruginosas em profundidade, sobretudo nos topos mais elevados. Organossolos e Gleissolos ocorrem apenas nas planícies fluviais encaixadas nos tabuleiros costeiros e na Planície Costeira do Rio Doce.

#### 3.1.4. Vegetação e clima

A vegetação é composta pela Floresta Atlântica de Tabuleiros e pelas Muçunungas. A Floresta Atlântica de Tabuleiros (AGAREZ, 2002), ou Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, apresenta estrato superior de 30 m e inferior de 20 m (JORDY FILHO et al., 1987). Está inserida na Subprovíncia Austro-oriental da Província Atlântica, setor do litoral (RIZZINI, 1963).

A Muçununga ocorre em solos arenosos, Espodossolos, com presença ou não de horizontes cimentados. É uma Classe de Formação inserida como um enclave de vegetação savânica em meio à Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Floresta Atlântica de Tabuleiros), dividida em Subgrupos de Formações, das quais Muçununga Gramíneo-Lenhosa, Muçununga Arborizada e Muçununga Florestada (SAPORETTI JUNIOR, 2009; SAPORETTI JUNIOR et al, 2012).

De acordo com a classificação de Strahler, a área de estudo está inserida no clima Litorâneo Úmido influenciado pela Massa Tropical Marítima, e pela classificação de Köppen (1952), clima tropical quente e úmido, Aw, com chuvas de verão e inverno seco.

A temperatura média anual é 23 °C, a precipitação média anual, 1.233 mm, o excedente hídrico, 77 mm, nos meses de janeiro e fevereiro, e a deficiência hídrica, 38 mm, de abril a setembro, exceto julho (1947-1976/estação meteorológica Barra Seca - São Mateus/80 m de altitude), conforme cálculo, segundo Thornthwaite (ZANGRANDE et al., 1978).

O período chuvoso se estende de outubro a março e as médias de totais mensais variam de 130 mm a pouco mais de 200 mm, e no período mais seco as precipitações não excedem 25 % do total anual (VÍCENS et al., 2003).

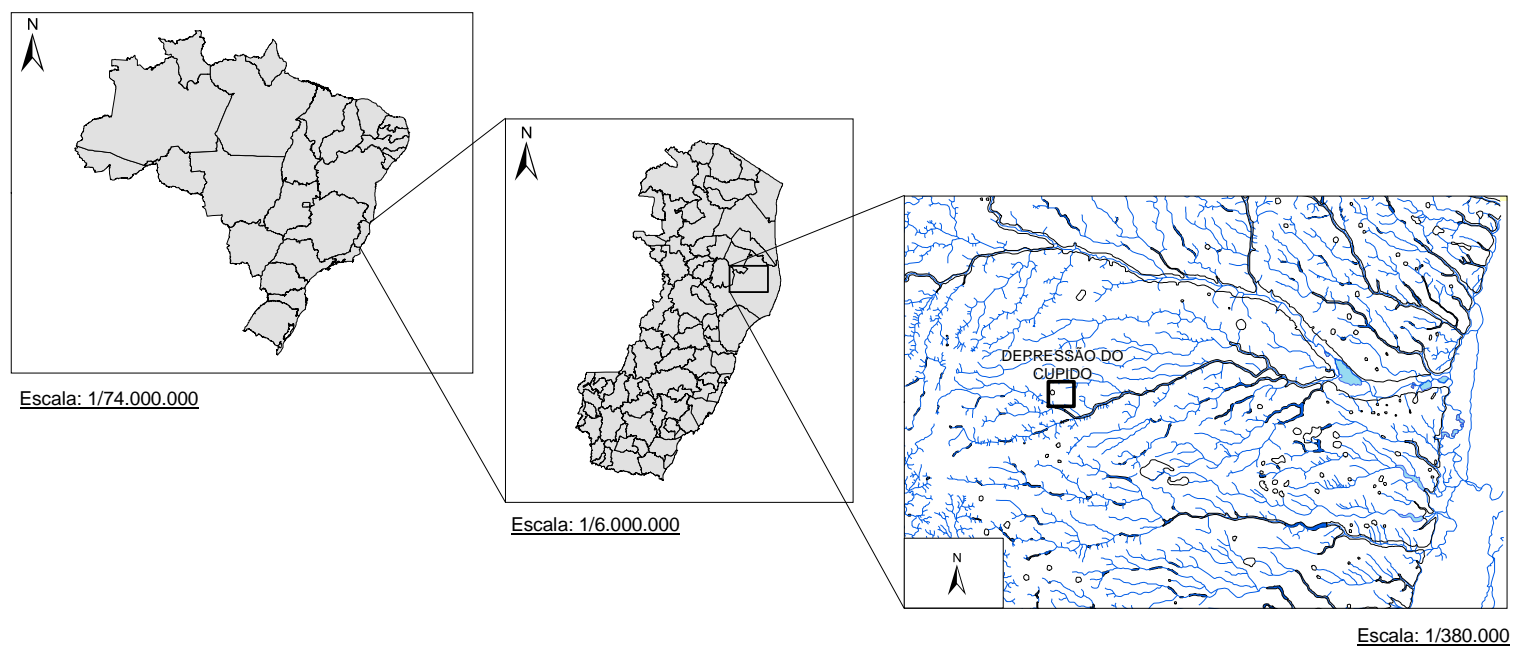


Figura 3 – Representação esquemática da localização geográfica da área de estudo. Depressão do Cupido (quadrado; coordenada do ponto central 19°03'27''S e 40°08'43'' W), município de Sooretama (Espírito Santo). Base hidrográfica do mapeamento geomorfológico Depressões dos Tabuleiros de Sooretama, em escala reduzida.

### 3.2. Mapeamento da rede de drenagem e das depressões

O mapeamento da rede de drenagem e das depressões no norte do Espírito Santo teve por objetivo caracterizar tipologicamente as depressões e estabelecer as possíveis relações entre elas, o relevo adjacente, a rede de drenagem e as estruturas geológicas e tectônicas. Foi adotado o método multiescalar para avaliar as morfologias de relevo, gerando dois mapeamentos. O critério de mapeamento resultou na escolha da não simplificação nos traçados das depressões e dos canais de drenagem, como recurso cartográfico.

O primeiro mapeamento gerou o mapa “Depressões dos Tabuleiros de Sooretama” em escala 1:100.000. Neste mapeamento foi utilizada a base cartográfica das folhas topográficas do IBGE (Nova Venécia Folha SE-24-Y-B-IV; São Mateus Folha SE-24-Y-B-V; Rio Doce Folha SE-24-Y-D-II e Linhares Folha SE-24-Y-D-I, 1979) em escala 1:100.000, onde coordenadas UTM, altitudes e toponímias foram referenciadas. Manualmente, em papel ultrafan e sobre imagem de satélite (Landsat 7/TM, 2001, escala 1:100.000) foram delimitados os compartimentos geomorfológicos regionais (1. Colinas e Morros de Topos Convexos; 2. Tabuleiros de Sooretama e 3. Planície Costeira do Rio Doce e Planícies Fluviais). As depressões foram associadas aos Tabuleiros de Sooretama, utilizando como critério a gênese. Na legenda do mapa foi apresentado um quadro síntese, com apontamentos para as características morfológicas e morfométricas do relevo, os solos e a litologia de origem, apresentada na forma de um quadro com as informações integradas.

Para a construção da legenda dos mapas, as informações geológicas foram obtidas em escala 1:50.000 (BANDEIRA JUNIOR et al., 1975) e utilizadas as seguintes folhas geológicas: Jaguaré SE-24-N-IV-4; Nativo SE-24-O-III-3; Lagoa Juparanã SE-24-T-II-2 e Lagoa Bonita SE-24-U-I-1, com indicação da litologia, cronologia e, quando pertinente, dos ambientes de formação. Informações adicionais foram obtidas no mapa geológico do Quaternário Costeiro do Espírito Santo (MARTIN et al., 1997), escala 1:100.000, representados os sedimentos da Planície Costeira do Rio Doce e os sedimentos das planícies fluviais, com apontamentos das idades pleistocênicas e holocênicas

e ambientes de formação, e no mapa de solos de Santos et al. (2004), Levantamento Expedido dos Solos das Reservas Florestais de Linhares e Sooretama no Estado do Espírito Santo, escala 1:100.000. A legenda do mapa “Depressões dos Tabuleiros de Sooretama” foi construída com base nos critérios de mapeamento de Demek (1972) e Cooke e Doorkamp (1990).

O segundo mapeamento foi produzido na escala 1:25.000 e foram gerados quatro mapas, dos quais Feições do relevo – Córrego do Cupido, Feições do Relevo – Córrego do Quirino, Feições do Relevo – Córrego Dourado e Feições do Relevo – Córrego João Pedro (Figura 4), construído por meio de técnicas de fotointerpretação, manualmente, em papel ultrafan sobre fotografias aéreas na escala 1:25.000 (IBC, 1971, UTM zona 24).

O controle de campo foi realizado por técnica cartográfica de caminhamento de campo, utilizando-se dos referenciais das cartas topográficas e coleta de pontos de coordenada por GPS. Uma classificação de tipos de depressões foi produzida, agrupamento dos dados morfológicos, horizontes cimentados, lençol freático e lâmina d’água, com base nos mapeamentos produzidos, somados às informações extraídas do mapa pedológico de Santos et al. (2005) e controle de campo.

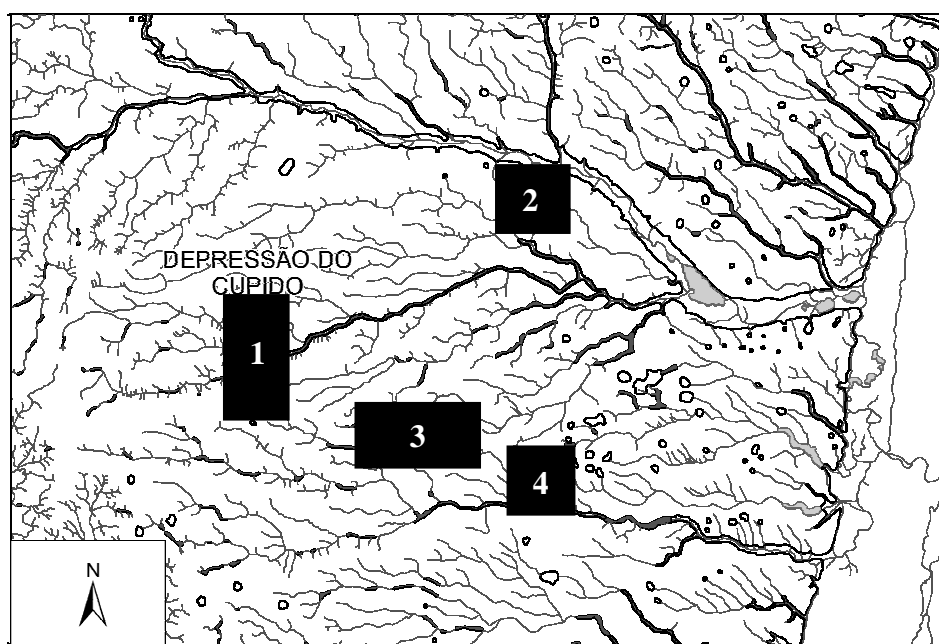


Figura 4 – Localização das áreas amostrais. Mapa Feições do relevo – Córrego do Cupido (1); Feições do Relevo – Córrego do Quirino (2); Feições do Relevo – Córrego Dourado (3) e Feições do Relevo – Córrego João Pedro (4).

### 3.3. Mapeamento dos lineamentos estruturais

A área dos lineamentos estruturais mapeados correspondeu aos mesmos limites do mapa “Depressões dos Tabuleiros de Sooretama”, em terrenos cristalinos, depósitos Terciários e Quaternários. O lineamento estrutural geológico foi considerado como a representação de uma morfoestrutura quando se tratava de uma feição topográfica principal coincidente à expressão de uma estrutura geológica ou formada diretamente por movimentos tectônicos e, geralmente, controlados estruturalmente por falhas, zonas de falha, zonas de cisalhamento e juntas, conforme definição de Liu (1984).

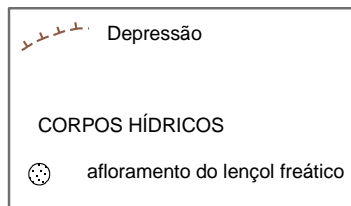
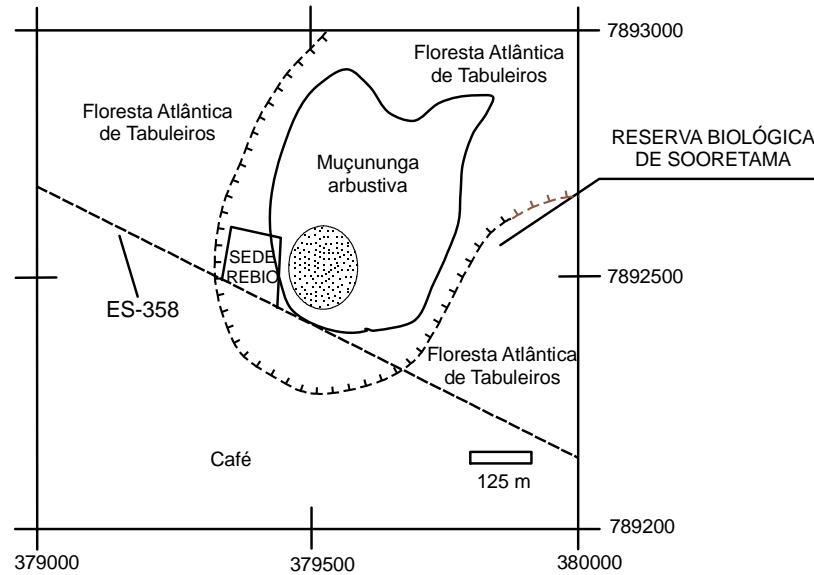
Com base nos critérios de extração de lineamentos (LIU, 1984), e com o objetivo de correlacionar o surgimento de depressões em estruturas tectônicas regionais, foram traçadas na imagem de satélite em escala 1:100.000, feições lineares. Estas são feições negativas da rugosidade do relevo (textura), linhas retas correspondentes aos seguimentos retilíneos de rios, aos desvios na rede de drenagem e aos alinhamentos de depressões, como ênfase na rede de drenagem como representativa da estrutura regional.

Os lineamentos foram separados por grupos de direções similares e representadas as magnitudes e as frequências, em que a magnitude é o comprimento total somado de cada direção de lineamento e a frequência é o número de vezes que cada direção de lineamento apareceu na zona mapeada, representadas em diagramas de rosetas, baseado na rede polar descrita em Fernandes e Almeida (1996).

### 3.4. Procedimentos de campo e locais de coleta dos solos

O levantamento pedológico foi realizado na Depressão do Cupido, no município de Sooretama (Espírito Santo), predominantemente sob Floresta Atlântica de Tabuleiros e Muçunungas, com a autorização do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), na porção sul da Reserva Biológica de Sooretama, limitada pela rodovia ES-358 sem pavimentação, e em uma pequena parte, sob cultivo de café (Figura 5).

POSICIONAMENTO DA DEPRESSÃO DO CUPIDO  
EM RELAÇÃO À COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO



POSICIONAMENTO DAS TOPOSSEQUÊNCIAS DOS SOLOS  
NA DEPRESSÃO DO CUPIDO - RESERVA BIOLÓGICA DE SOORETAMA

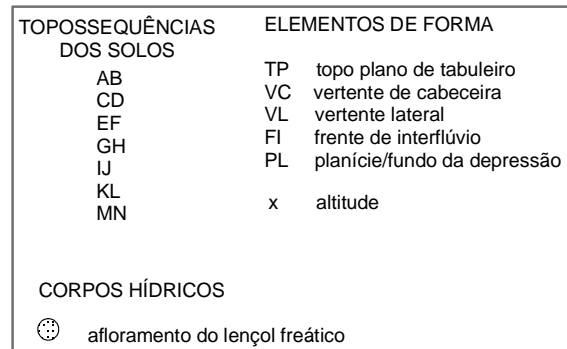
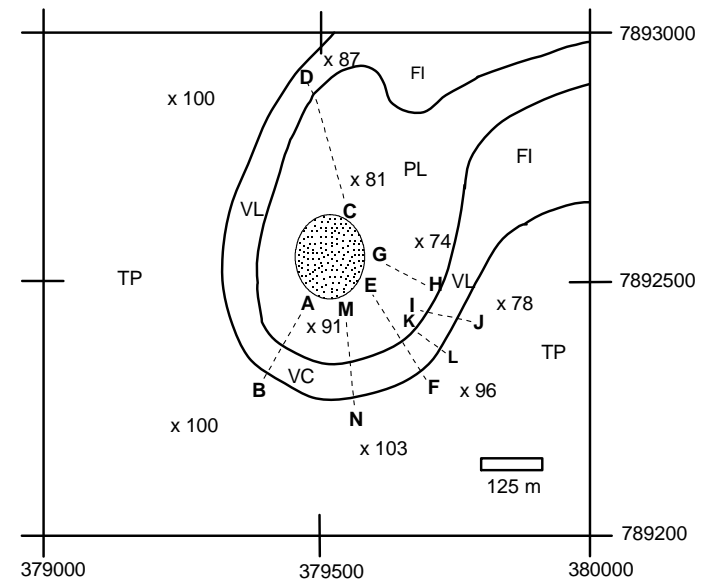


Figura 5 – Posicionamento da Depressão do Cupido em relação à cobertura vegetal e uso do solo e localização das topossequências.

Os solos foram representados em topossequência por meio de levantamento pedológico, resultando em sete topossequências (T) a profundidades variáveis de até 10,0 m, nomeadas com letras (TAB; TCD; TEF; TGH; TIJ; TKL; TMN). Os pontos extremos estão posicionados principalmente entre o topo do tabuleiro e o fundo da depressão (Figura 5) em pontos de sondagens à trado e trincheiras intercaladas.

O trado holandês de 7 cm de diâmetro, 25 cm de comprimento e 11 hastes de 100 cm foi utilizado para perfurar os solos argilosos e arenosos, e o trado helicoidal de 5,7 cm de diâmetro, 50 cm de comprimento e 100 cm de haste foi usado para perfurar os horizontes fortemente cimentados (duripã e Bsm). Foram abertas 10 trincheiras, sendo 6 na topossequência TCD, 2 na TEF, 1 na TMN e 1 na mesma direção da topossequência TAB.

Para descrever detalhadamente a morfologia do duripã, a trincheira TR1 (TCD) com 2 m de profundidade foi aberta em 7 dias, utilizando cavadeira. Na base foi acrescida uma tradagem com trado helicoidal e, posteriormente, o furo foi alargado e aprofundado com trado holandês. O horizonte extremamente cimentado (Cc; petroplintita) não foi perfurado, apenas identificado pelo material vermelho da ponta do trado.

A descrição dos solos em campo foi realizada com base em Santos et al. (2005). Três classes de solo foram estudadas: Argissolo Amarelo, Argissolo Acinzentado e Espodossolo. Os horizontes com cimentação foram submetidos ao teste de imersão em água por 2 h e diferenciados quanto ao grau de cimentação e consistência nas amostras de cinco perfis.

Na classificação da cimentação foi utilizado os critérios contidos em Santos et al. (2005), separando-se os horizontes em fracamente cimentados (podendo ser quebrada a amostra nas mãos), fortemente cimentados (podendo ser quebrada a amostra com martelo pedológico) e extremamente cimentados (a amostra quebra-se apenas com um golpe muito forte com o martelo).

Cinco horizontes cimentados foram separados: 1. Cc (petroplintita, extremamente cimentado); 2. Csm (duripã 2,5Y, fortemente cimentado); 3. Csm (duripã 10YR, fortemente cimentado); 4. Bhm2 (*ortstein*, fracamente cimentado) e 5. Bhm1 (fracamente cimentado).

Nos diagramas de cada topossequência definiu-se uma escala horizontal de 1:800 e vertical de 1:200. O levantamento topográfico foi realizado com apoio de GPS, altímetro e nível. Para as análises do solo foram selecionadas as topossequências TAB, TCD, TEF e TMN (Figura 6), com o objetivo de estabelecer as associações entre os horizontes, identificar as modificações nos solos pela influência do lençol freático e buscar as relações de hierarquia.

Cada horizonte do solo foi representado em perfil vertical e, posteriormente, ligado aos seus semelhantes lateralmente até o surgimento de outro horizonte, segundo método de representação em topossequência (BOULET, 1988). Nesses perfis laterais todos os horizontes foram plotados.

Abaixo dos horizontes fortemente cimentados os limites dos horizontes inconsolidados foram traçados com base em três tradagens efetuadas na base da trincheira TR1 da topossequência TCD (até 6 m de profundidade), e na S100 (até 4,6 m) e S108 (até 2,3 m) da topossequência TMN. Nas outras topossequências os limites abaixo dos horizontes fortemente cimentados foram inferidos, em função da extrema resistência dos materiais cimentados.

Dois horizontes foram escolhidos para traçar a carta de curvas de isodiferenciação em escala 1:12.500: a petroplintita (Cc) e o duripã amarelo-claro-acinzentado e bruno-claro-acinzentado (Csm e Bsm). O método para a confecção da carta (BOULET, 1988), seguiu etapas de mapeamento, por meio do posicionamento de transectos paralelos e transversais (as topossequências) ligando os pontos de surgimento e desaparecimento dos horizontes (Figura 7).

### 3.5. Análise granulométrica e determinação da densidade do solo

Os critérios de seleção das amostras incluem as classes de solo (Argissolos Amarelos, Argissolos Acinzentados e Espodossolos), a posição topográfica na depressão, a cobertura vegetal e as diferenças morfológicas dos horizontes. Para a análise granulométrica selecionaram-se amostras dos horizontes dos solos das topossequências em 22 pontos amostrais (Figura 6) de seis perfis de Argissolos Amarelos Distrocosos (PAdx), nove perfis de Argissolos Acinzentados (PACdx) e sete perfis de Espodossolos Humilúvicos (EKg).

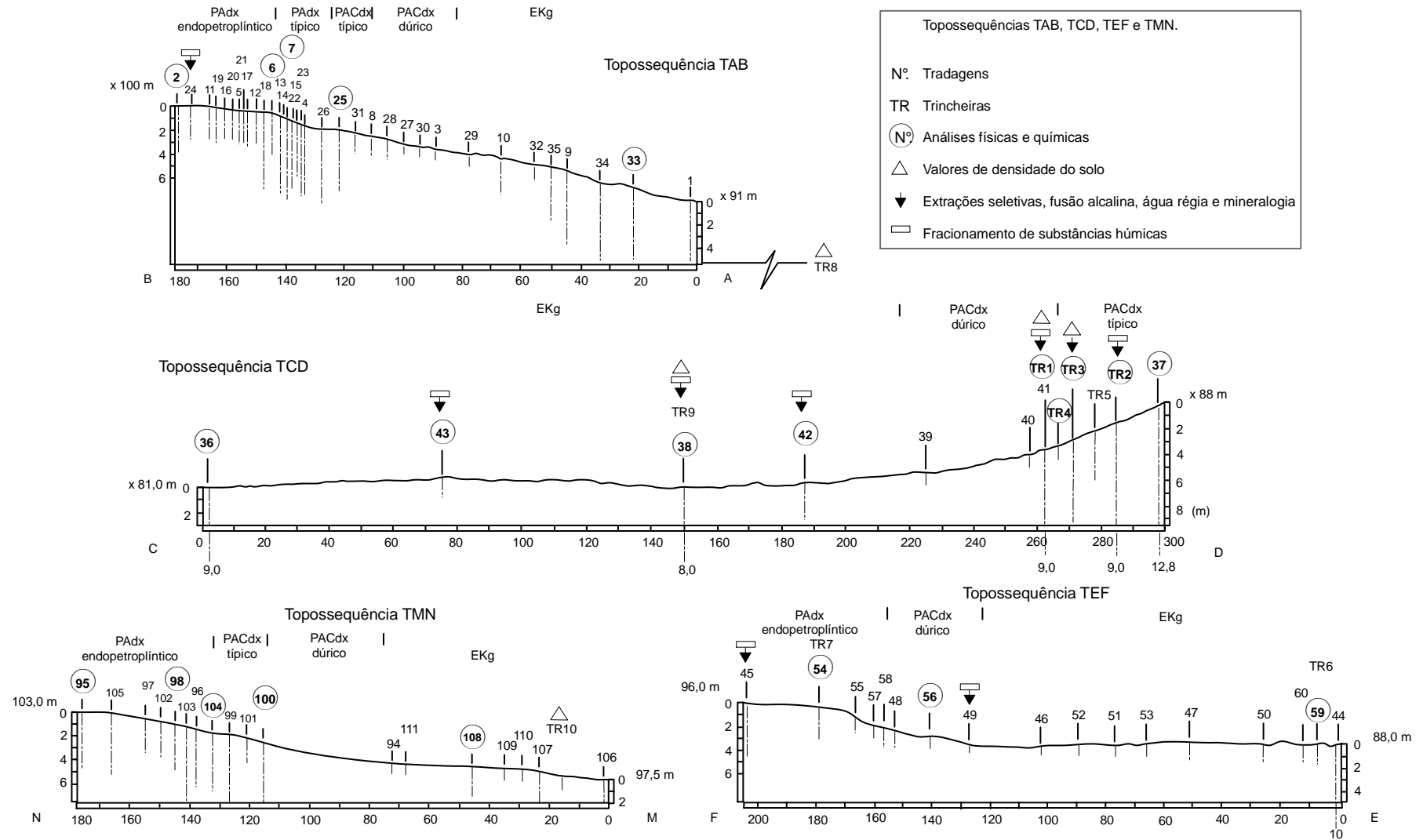


Figura 6 – Profundidade das tradagens e localização dos pontos de coleta de solo para análise nas toposequências TAB, TCD, TEF e TMN.

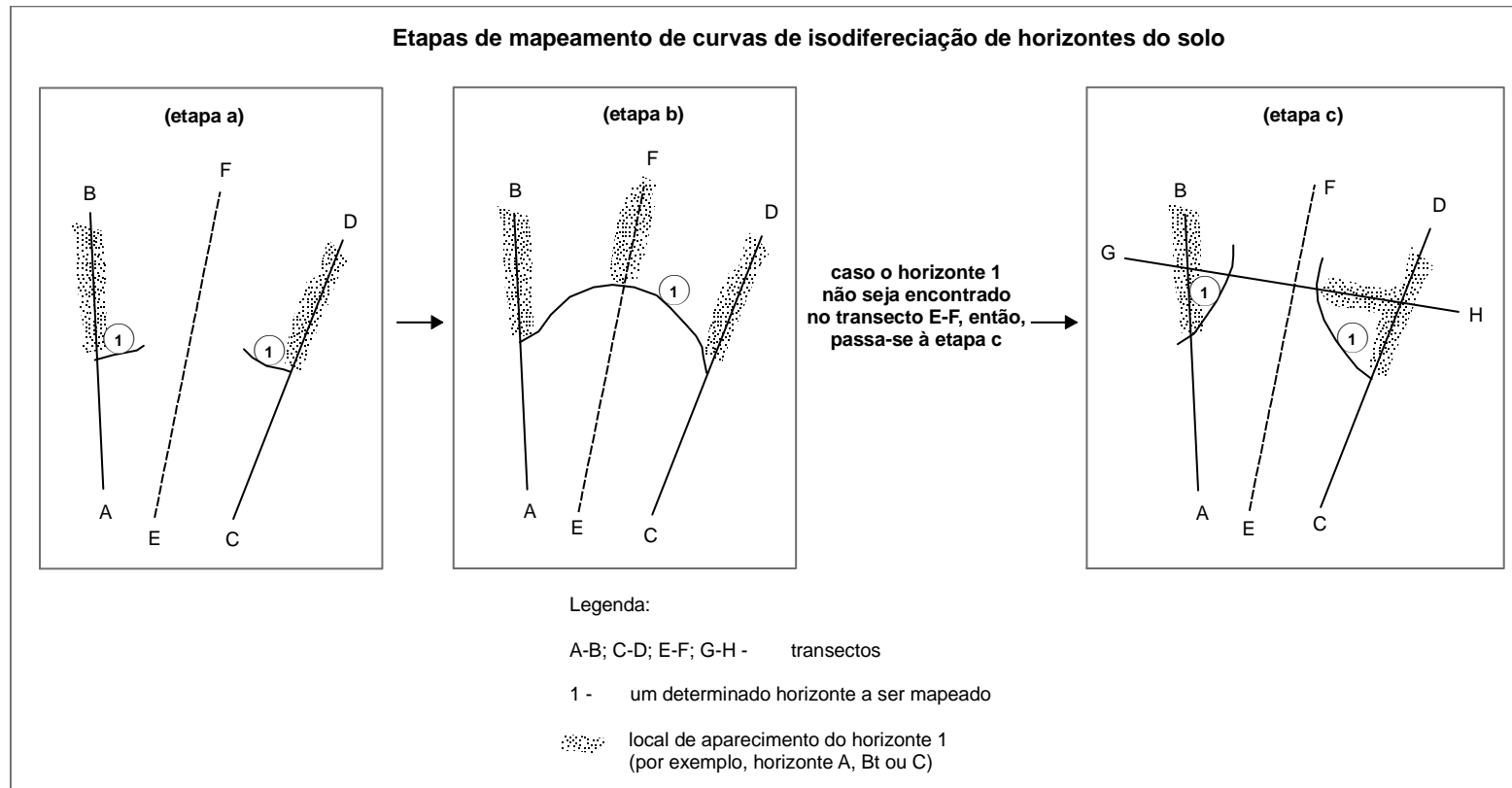


Figura 7 – Etapas a, b e/ou c, referente à construção da carta de curvas de isodiferenciação de um determinado horizonte do solo, segundo método apresentado por Boulet (1988).

Nas análises granulométricas adotou-se o método da pipeta nos padrões do Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011). Foram determinados os teores de areia grossa (AG), areia fina (AF), silte, argila (ARG) e argila dispersa em água (ADA). Com o objetivo de avaliar as modificações nos padrões de distribuição das areias ao longo das topossequências, foram estabelecidas as relações da areia grossa dividida pela areia fina (AG/AF) e da areia total (AR) dividida pela soma da areia total e da argila  $[AR/(AR+ARG)]$ .

Para retratar o caráter coeso, a densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011) no horizonte diagnóstico de um perfil de Argissolo Acinzentado, e também no horizonte C. Para avaliar as diferenças entre os graus de cimentação nos horizontes cimentados, a densidade do solo foi determinada pelo método do torrão parafinado (EMBRAPA, 2011) em quatro perfis de solo, em Argissolo Acinzentado e Espodossolo. No horizonte C de Espodossolo determinou-se a densidade do solo pelo método da proveta (Figura 6). Para o cálculo da densidade de partículas ( $D_p$ ) foi utilizado o método do balão volumétrico, com emprego de álcool etílico (EMBRAPA, 2011). Os valores obtidos de densidade do solo ( $D_s$ ) e densidade de partícula ( $D_p$ ) foram empregados na determinação da porosidade total ( $P_{Total}$ ). A microporosidade ( $P_{Micro}$ ) foi determinada pelo Método Mesa de Tensão (OLIVEIRA, 1968), pela saturação da amostra do anel volumétrico submetido a sucção de 60 cm de altura de coluna d'água, enquanto que a macroporosidade ( $P_{Macro}$ ) foi obtida pela diferença entre a porosidade total ( $P_{Total}$ ) e a microporosidade ( $P_{Micro}$ ).

### 3.6. ANÁLISES QUÍMICAS

#### 3.6.1. Análise química de fertilidade

Na demonstração da fertilidade natural do material de solo e comparação dos solos ao longo de topossequências, foram selecionados os mesmos perfis utilizados para a análise granulométrica. As análises químicas de fertilidade foram determinadas, segundo os procedimentos do Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011): pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>,

determinado na suspensão solo, relação 1:2,5; concentrações de Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, na proporção 1:20; P, Na e K extraídos com solução de Mehlich-1, e o P dosado por colorimetria e o K e Na por fotometria; acidez potencial determinada por titulação com NaOH (0,025 mol L<sup>-1</sup>) da extração de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 7,0; carbono orgânico determinado pelo método Walkley-Black por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso.

### 3.6.2. Análise química total da TFSA por fusão alcalina

Um número menor de perfis de solo foi escolhido para os demais procedimentos analíticos. A seleção baseia-se em critérios relacionados à posição topográfica na topossequência, à vegetação e às características físicas e químicas resultantes das análises anteriores. Para determinar os teores totais de Fe, Al, Si e Ti por fusão alcalina (Pansu e Gautheyrou, 2003), foram separadas amostras dos horizontes de dois Argissolos Amarelos Distrocoesos, três Argissolos Acinzentados Distrocoesos e quatro Espodossolos Humilúvicos (Figura 6).

As amostras da TFSA foram trituradas e homogeneizadas em peneira de 0,074 mm. A solubilização total foi obtida com metaborato de lítio em cadinho de grafite, em mufla a 1000 °C. À pérola foi adicionado HNO<sub>3</sub> 10 % e dissolvida em aquecimento e agitação, aferido o volume. Ferro, alumínio, silício e titânio tiveram suas dosagens efetuadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES; Espectrofotômetro de Emissão Óptica), e as leituras realizadas nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) das intensidades de emissão de cada elemento, Fe (238,20 nm), Al (396,15 nm), Si (251,61 nm) e Ti (334,94 nm).

### 3.6.3. Análise química da TFSA (água régia)

Para a determinação da concentração pseudototal dos elementos traços e microtraços, foi utilizado a água régia (DIN, 38414-S7; GUERRA et al, 2013). As amostras selecionadas são de profundidades diferenciadas nos perfis dos

Argissolos Amarelos, Argissolos Acinzentados e Espodossolos na Depressão do Cupido.

Da TFSA homogeneizada em peneira de 0,074 mm, foram pesados 0,4 g em tubos de digestão, acrescidos com solução concentrada de 3 mL de ácido clorídrico mais 1 mL de ácido nítrico, e mantidos em pré-digestão durante 16 horas a temperatura ambiente em bloco digestor. Foram colocados funis nas extremidades dos tubos, a fim de captar o material em condensação. Encerrada essa etapa, os tubos com as amostras foram aquecidos a 120 °C no bloco digestor durante duas horas. Com o resfriamento dos tubos, seu conteúdo foi transferido para tubos falcon de 50 mL. O material foi centrifugado a 3000 rpm durante cinco minutos, logo depois o sobrenadante foi transferido para novos tubos falcon de 50 mL, tendo seu conteúdo acrescido com água deionizada até o volume de 30 mL, efetuando-se uma diluição. Os elementos-traços tiveram suas dosagens efetuadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES; Espectrofotômetro de Emissão Ótica). As leituras foram realizadas nos comprimentos de onda ( $\lambda$ ) das intensidades de emissão de cada elemento: Mn (257,610 nm); Cd (228,802 nm); Pb (220,353 nm); Cu (327,393 nm); V (290,880 nm); Ni (231,604 nm); Cr (267,716 nm); As (188,979 nm).

#### 3.6.4. Análise química de extrações seletivas

A análise química por meio de extrações seletivas foi efetuada para os mesmos perfis de solo (Figura 6), em triplicata para cada uma das extrações efetuadas separadamente com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, oxalato ácido de amônio e pirofosfato de sódio (PANSU e GAUTHEYROU, 2003).

Óxidos de ferro pedogênicos de melhor cristalinidade foram obtidos pelo método ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) à temperatura < 70 °C (MEHRA e JACKSON, 1960). Foi considerada a primeira extração (INDA JUNIOR e KÄMPF, 2003).

As formas menos cristalinas de ferro, alumínio e silício foram avaliadas pelo método do oxalato ácido de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$ , a pH 3,0, na ausência de luz, segundo método proposto por McKeague e Day (1966).

Para analisar as formas de ferro e alumínio complexadas com a matéria orgânica foi utilizado o método pirofosfato de sódio (MCKEAGUE, 1967) em uma concentração de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  (LOVELAND e DIGBY, 1984).

Em todas as extrações foram determinados os teores de ferro, alumínio e silício. A determinação dos elementos foi realizada por espectrometria de absorção atômica em chama (Espectrofotômetro de Absorção Atômica, modelo AA 240 FS, Fast Sequencial, da Varian, Agilent), empregando a chama de acetileno para o Fe e acetileno-óxido nitroso para o Al e o Si.

Obtida as concentrações, fator de conversão do valor de cada elemento foi padronizado para conteúdo de óxido. Para estimar a maior ou menor cristalinidade, foi obtida uma relação entre os teores de Fe e Al extraídos com o oxalato ácido de amônio, respectivamente, pelos teores de Fe e Al extraídos com o ditionito-citrato-bicarbonato (Feo/Fed; Alo/Ald).

### 3.6.5. Fracionamento de substâncias húmicas e determinação dos teores de Carbono e Nitrogênio

O fracionamento das substâncias húmicas e determinação dos teores de C e N por titulação foi efetuado para os mesmos perfis (Figura 6). A determinação do carbono orgânico total (COT) foi obtida via úmida por dicromatometria e fonte externa de calor, de acordo com a metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988), e as extrações das substâncias húmicas e a determinação do C das frações humina (C-FHUM), ácidos fúlvicos (C-FAF) e ácidos húmicos (C-FAH), com base na metodologia de Swift (1996) e Yeomans e Bremner (1988).

No fracionamento das substâncias húmicas (FAF, FAH e FHUM) aplicou-se a técnica de solubilidade diferencial, utilizando NaOH. Por meio de digestão sulfúrica e destilação, o Nitrogênio total (Ntotal) e o nitrogênio das frações ácidos fúlvicos (N-FAF), ácidos húmicos (N-FAH) e humina (N-HUM) seguiram as recomendações de Bremner e Mulvaney (1982) e Tedesco et al. (1995).

Foram obtidas as seguintes relações: C das frações ácidos fúlvicos pela soma do C das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos (C-FAF/C-FAF + C-FAH); C das frações ácidos fúlvicos pela soma das frações húmicas (C-FAF/C-FAF + C-FAH + C-FHUM) e carbono das frações ácidos húmicos pela soma das frações húmicas (C-FAH/C-FAF + C-FAH + C-FHUM). O mesmo foi estabelecido para o nitrogênio e a relação C/N também foi avaliada.

### 3.7. Análise mineralógica da fração argila por difratometria de raios-X

Para a análise mineralógica da fração argila foram utilizadas amostras dos mesmos perfis já mencionados. Amostras da TFSA sem pré-tratamento foram colocadas em água em dispersão lenta a 50 rpm por 16 h e passadas em peneiras (0,053 mm) para retenção da areia. A separação da argila e do silte foi obtida por sedimentação, e a argila em suspensão foi sifonada. Para a sedimentação da argila foi utilizado HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, controlando o pH para não menos do que 4,0 para não provocara a destruição da argila. A argila, ainda com água, foi disposta em tubos, colocada em centrífuga, seca em estufa a < 60 °C e pulverizada. De outras amostras, correspondentes aos mesmos horizontes de solo, a TFSA recebeu pré-tratamento para a remoção da matéria orgânica, empregando hipoclorito de sódio (NaOCl) 10 % (LAVKULICH e WIENS, 1970) a pH 9,5 em banho-maria a 75 °C. A partir desta etapa, seguiram-se os mesmos procedimentos de dispersão, remoção da areia, separação da argila e do silte, sifonamento da argila, sedimentação, secagem e pulverização.

Lâminas escavadas foram confeccionadas e submetidas à varredura com raios-X provenientes de tubo de cobalto, na velocidade de 2°/min., na faixa de varredura de 4 a 50 °2 $\theta$ , à temperatura ambiente. Os difratogramas foram gerados e os minerais identificados de acordo com as distâncias interplanares e intensidades dos picos característicos de cada mineral.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1. Aspectos geomorfológicos da área de Sooretama

Três grupos de compartimentos geomorfológicos, além dos cursos d'água e lagoas (Figura 8) foram marcados com base na identificação da rugosidade do relevo (conjunto de formas e de elementos de formas semelhantes) expressa pelas características homólogas individuais de textura, e sobrepostas às características dos solos e do embasamento litológico. O primeiro, a oeste, corresponde ao compartimento das Colinas e Morros de Topos Convexos (1). O segundo, na parte central da carta, aos Tabuleiros de Sooretama (2) compreendendo elementos de forma de Topos Amplos e Planos (2a) e, inseridas neste domínio, as formas de relevo em Depressões (2b). No terceiro grupo de formas de relevo, a Planície Costeira do Rio Doce (3), posicionada a leste, composta por Terraços com Cordões Litorâneos (3a) e Planícies de Inundação (3b); e para o interior, as Planícies Fluviais (3c), conjugadas ao compartimento 2.

O sistema hidrográfico é particular no compartimento geomorfológico dos tabuleiros, configurado por uma rede de drenagem com canais fluviais encaixados e um sistema de depressões de topo, das quais algumas são totalmente fechadas enquanto outras estão abertas em direção aos vales fluviais. Canais fluviais encaixados são observados nos compartimentos 1 e 2. Grande parte dos canais dos tabuleiros pertence unicamente a este compartimento (Figura 8), continuando seu curso na Planície Costeira do Rio Doce até o mar.

Os tabuleiros delineiam uma superfície de topos amplos e ligeiramente planos, alongados, com feições de adernamentos pronunciados (Figura 9), separados por vertentes predominantemente retilíneas e vales paralelos. Topos ligeiramente inclinados em direção ao mar apresentam altitudes que, ao longo de 30 km, diminuem gradualmente de pouco mais de 100 m até cerca de 10 m (Figura 8), análogos a uma rampa, do limite com as Colinas e Morros de topos convexos a oeste, até o limite com a Planície Costeira do Rio Doce a leste, cujo contato, apesar de nítido, é desprovido de rupturas bem marcadas.

# MAPA GEOMORFOLÓGICO

## Depressões dos Tabuleiros de Sooretama

Tese de Doutorado de Ana Christina W. Gimenes  
Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer

### Convenções:

- Cidades
- Cota Altimétrica
- Cursos d'Água
- ▬ Barragens
- ▬ BR-101
- Áreas ligeiramente deprimidas ou adernadas
- Depressões
- Lagoas de Depressões
- Lagoas de Barramento

### Legenda:

	Relevo	Solos	Litologia
1	-topos com altitudes de 300 a 100 m; -amplitude topográfica de 21 a 42 m; < 37°; -a amplitude topográfica pode chegar a 60m nas vertentes mais íngremes.	-solos profundos; -solos argilosos; -Latosolos Vermelhos-Amarelos; -nas vertentes mais íngremes Argissolos Amarelos.	-granitos e gnaisses (Pré-cambriano).
2a	-topos amplos e planos ligeiramente inclinados em direção ao mar; -altitudes de 100 m a 10 m; 2° a 5°; -segmentados por canais fluviais.	-solos profundos; -cobertura areno-argilosa; -horizontes coesos; -Argissolos Amarelos; -solos latéuticos; -presença de concreções ferruginosas vermelhas descontínuas profundas.	-Formação Barreiras (final do Mioceno ao Plioceno); -Rochas silíceas (Terciário).
2b	-depressões fechadas e abertas; -cabeceras suspensas (cabeceras de drenagem suspensas deprimidas); -vertentes de 3° a 9° e fundo < 2°; -altitudes do fundo de 91 m a 8 m; -amplitude topográfica do topo ao fundo de 6 a 10 m.	-solos arenosos; -Espodossolos; -Neossolos Quartzarênicos; -presença de duripás.	-Formação Barreiras; -Rochas silíceas (Terciário).
3a	-terraços com cordões litorâneos; -altitudes de 19 a 9 m; -0°.	-Espodossolos; -Neossolos Quartzarênicos; -presença de duripás.	-areias (Pleistoceno) -origem marinha; -areias bem selecionadas.
3b	-planície; -inundação periódica; -altitudes de 5 a 3 m; -0°.	-Gleissolos; -Organossolos.	-sedimentos lagunares ou de fundo de baía, indiferenciados; areias e argilas (Holoceno); -pode conter conchus; -turfa frequente.
3c	-planície; -inundação periódica; -altitudes de 5 a > 35 m.	-Gleissolos; -Organossolos.	-sedimentos continentais indiferenciados; aluviões e coluviões (Quaternário).

Fontes das informações contidas no quadro, associadas a observações de campo:  
MENDES et al. (1987); SANTOS et al. (2004); MARTIN et al. (1997); SUGUIO et al. (1997); PETROBRÁS (1975).

Notas Técnicas:  
Base Cartográfica: IBGE (1979), escala 1:100.000 – Folha SE-24-Y-B-IV, Nova Venécia; Folha SE-24-Y-B-V, São Mateus; Folha SE-24-Y-D-II, Rio Doce; Folha SE-24-Y-D-I, Linhares.  
Base Aerofotogramétrica: IBC (1971), escala: 1:25.000.  
Imagem de satélite: TM Landsat, escala 1:100.000.

Sistema de Projeção: UTM  
Datum: Sad69, zona 24s

Digitalização: Ricardo Augusto Viana.  
Organização: Ana Christina W. Gimenes.

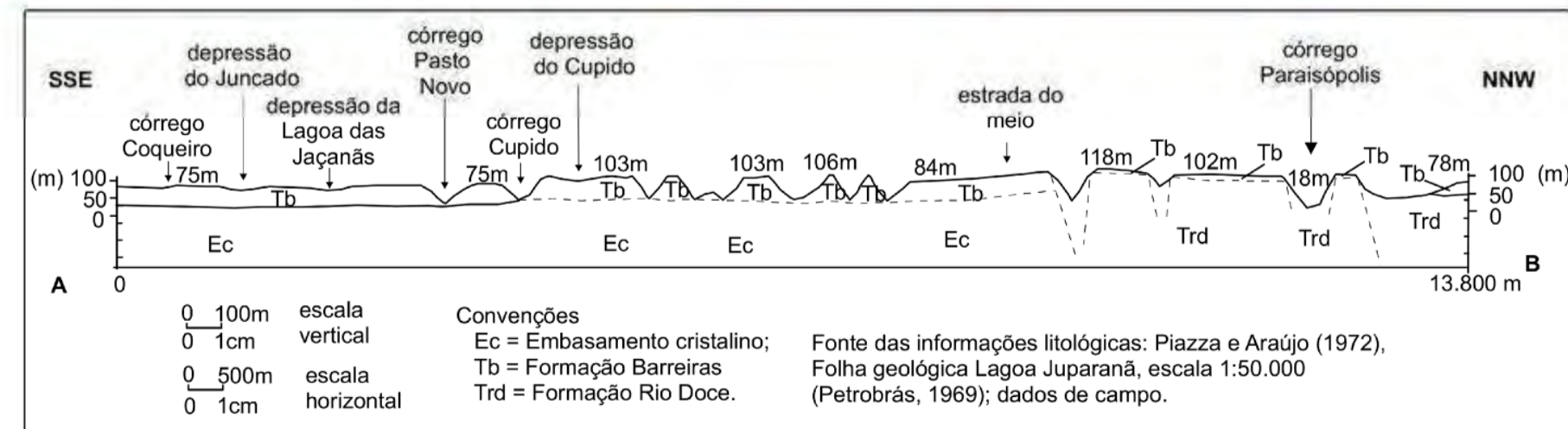
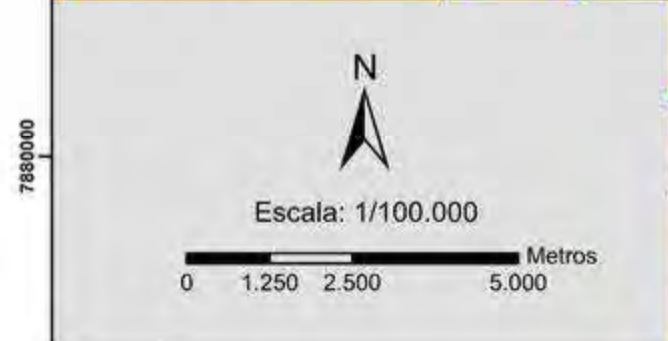
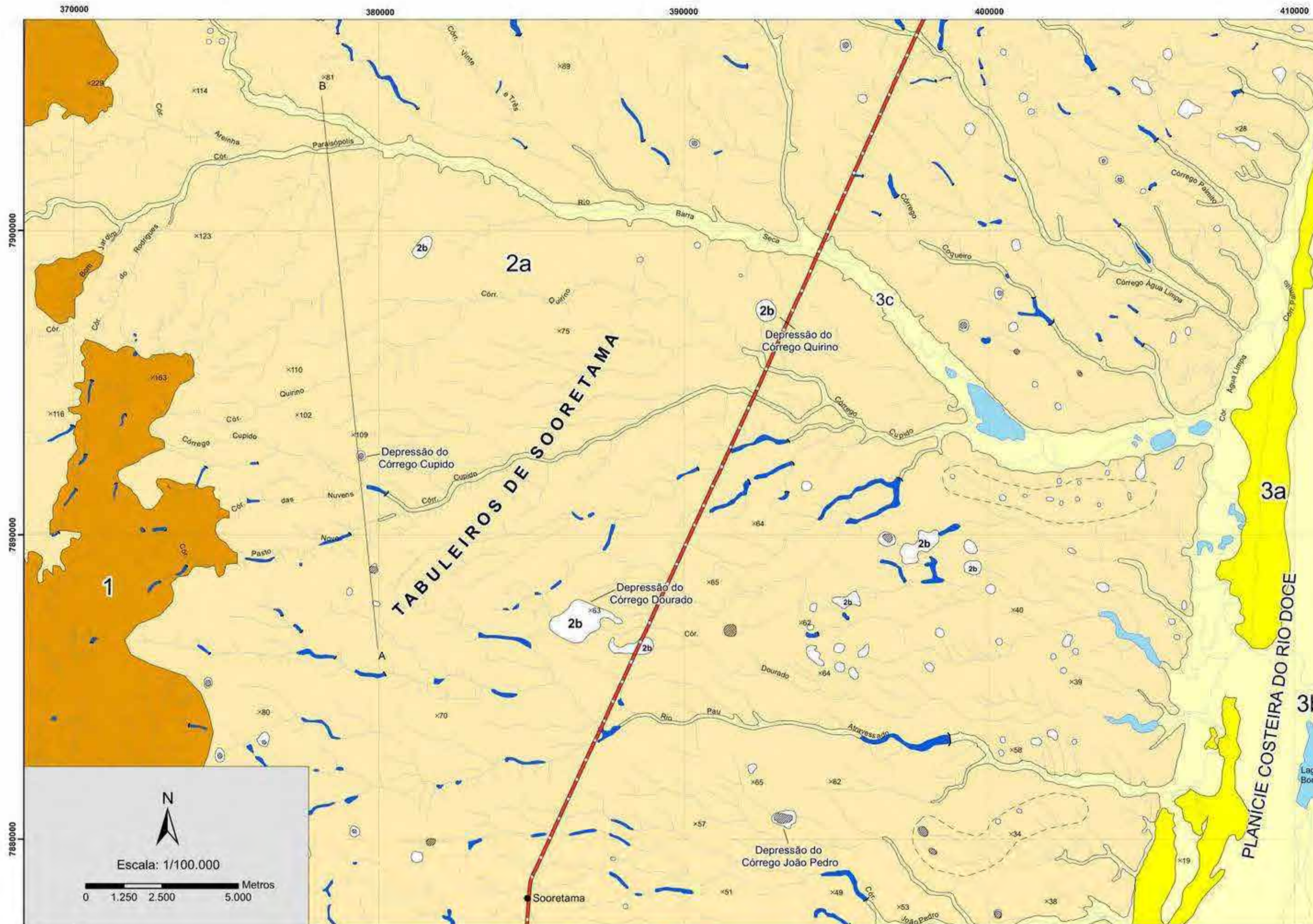


Figura 8 – Mapa geomorfológico Depressões dos Tabuleiros de Sooretama.

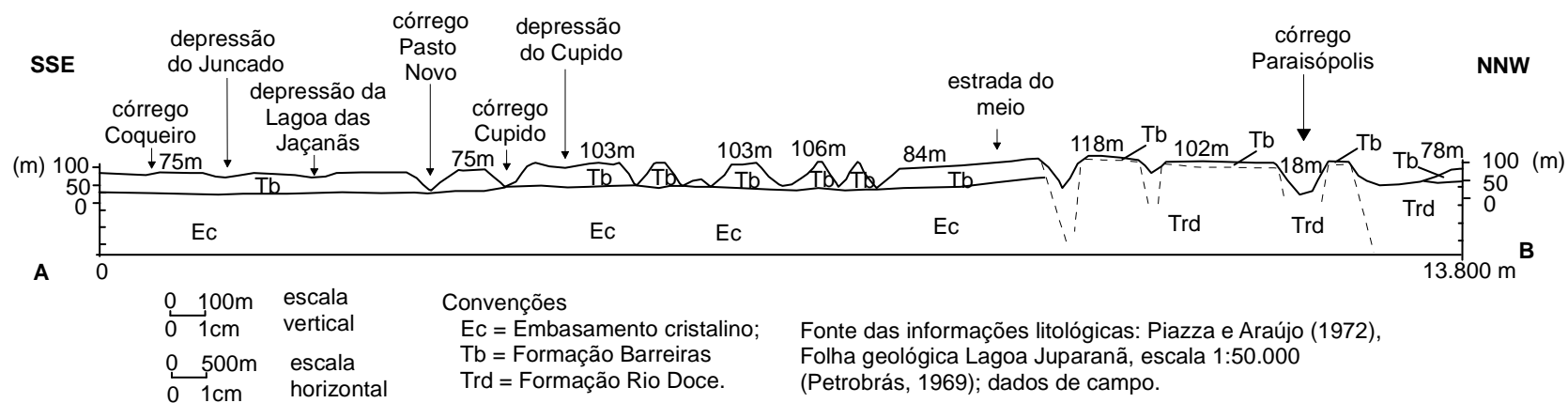


Figura 9 – Perfil geológico-geomorfológico AB, direção SSE-NNW. Depressões do Juncado, Lagoa das Jaçanãs e Cupido, inseridas nos tabuleiros de topo plano, da Formação Barreiras sobre embasamento cristalino, verificado no leito do córrego Pasto Novo e córrego Cupido. Adernamento de topo (estrada do meio). Formação Barreiras sobre Formação Rio Doce nos locais correspondentes ao córrego Paraisópolis e três córregos vizinhos (sem denominação). Zero (0) corresponde ao nível do mar.

Os contatos dos tabuleiros com o compartimento das Colinas e Morros de Topos Convexos geralmente são suaves e sem rupturas nítidas, exceto quando surgem vertentes íngremes com canais fluviais profundamente alojados.

A amplitude topográfica entre a cota mais alta do topo dos tabuleiros e o fundo dos vales encaixados é de até 50 m. Mas, em alguns locais, como no córrego Rodrigues e no córrego Bom Jardim (Figura 8), amplitudes mais altas podem alcançar 70 m. Neste caso, o embasamento cristalino aflora no fundo do vale, onde foram constatados ressaltos ou soleiras estruturais.

O perfil longitudinal dos rios nos tabuleiros é pouco inclinado, com planícies de inundação e sem terraços fluviais e, predominantemente, sem ressaltos. A rede de drenagem é densa, configurando um padrão paralelo, com recorrentes desvios (“cotovelos”), canais encaixados, e, eventualmente, contendo sinuosidades como em alguns segmentos do rio Barra Seca (Figura 8).

De oeste a leste da carta (Figura 8), no domínio desses tabuleiros que decrescem em altitude em direção à Planície Costeira do Rio Doce, ocorrem três níveis de topos observados pelas cotas altimétricas, assinalando faixas altimétricas paralelas à linha de costa oceânica. Os dois primeiros níveis mais altos, a oeste da carta, um com altitudes pouco mais de 100 m e outro a cerca de 75 m se intercalam numa mesma faixa (Figura 8 e 9). Essas diferenças dos dois primeiros níveis de topos escalonados, provavelmente tectônicos, são perpendiculares à inclinação dos terrenos e aos depósitos Terciários da Formação Barreiras. O nível seguinte, com menos de 65 m, é encontrado a leste da carta.

Existe uma relação entre tamanho das depressões e altitude dos topos dos tabuleiros. As depressões são mais amplas e abertas, quanto mais rebaixados os topos e quanto mais próximas do contato com a Planície Costeira do Rio Doce.

As depressões se articulam em arranjos morfológicos/morfométricos, apresentando uma uniformidade de padrões semelhantes, definidos por: tamanhos entre 50 e 600 m de diâmetro, sendo que apenas as maiores podem chegar a 1,5 km, formando uma superfície muito aplanada subhorizontal; micro-compartimentos isolados elevados; um ou mais micro-compartimentos deprimidos em seu interior (não representados no mapa); amplitudes topográficas do topo ao fundo da depressão de 6 a 10 m; cotas altimétricas entre 91 e 8 m de

altitude no fundo; inclinações das vertentes correspondentes ao interior das depressões de até 9 °; fundo chato ou ligeiramente inclinado, com inclinações menores do que 4 °, podendo apresentar patamares.

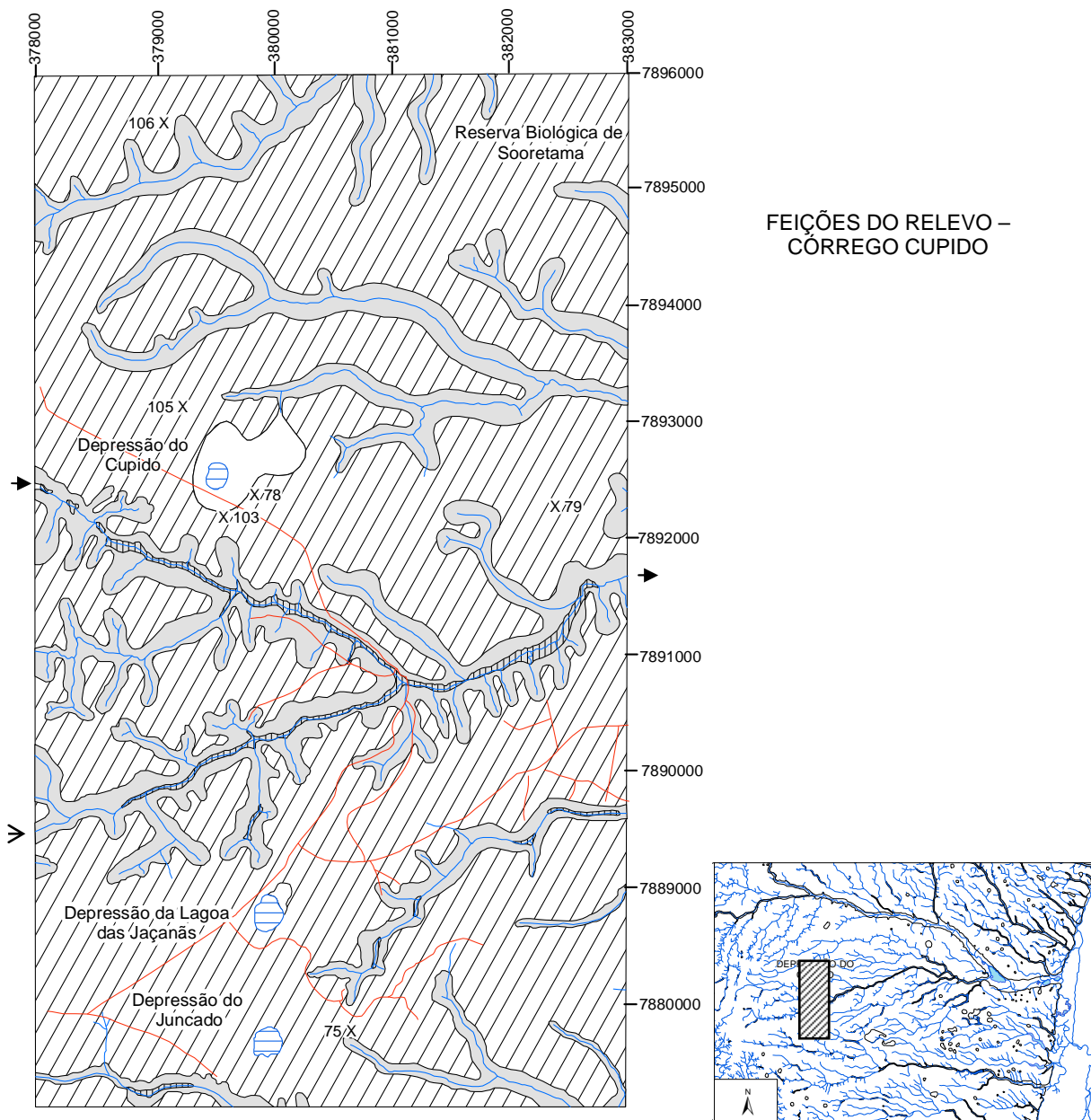
As depressões predominam nas porções centrais dos topos dos tabuleiros, com distâncias interfluviais de cerca de 1,5 km de largura, localizadas a montante de canais fluviais de primeira ordem, formando cabeceiras de drenagem, em posição topográfica sempre mais elevada em relação ao fundo dos vales dos canais fluviais encaixados (Figura 9), isoladas nas faixas das cotas mais altas dos tabuleiros e relativamente concentradas na faixa das cotas mais baixas (Figura 8).

As depressões não possuem talvegue fluvial. Elas estão unidas a canal fluvial à jusante ou à montante de desvios de drenagem, como observado a oeste da cidade de Sooretama e na Depressão do Cupido (Figura 8). A dinâmica concentradora das águas pluviais favorece a configuração de cabeceira de drenagem com drenagem subsuperficial da água por lençol freático aflorante ou, nos casos das depressões rasas, de drenagem superficial insuficiente.

A tipologia das depressões dos topos dos tabuleiros de Sooretama difere em parâmetros morfométricos e morfológicos. As depressões fechadas ou semifechadas, como na lagoa da Depressão do Cupido (depressão do afluente da margem esquerda do córrego Cupido), Depressão do Juncado (depressão ao sul da cidade de Juncado) e depressão do córrego Quirino, são circulares, em anfiteatros (Figura 8; Figura 10 e 11). Outras apresentam morfologias alongadas de contornos pouco sinuosos como a Depressão das Jaçanãs (designação relacionada à ave que habita esta depressão; Figura 10).

Aspectos morfológicos de reentrâncias (pontas) ressaltam geralmente exutórios que consistem em saídas da água (Figura 12). Em outros locais podem representar morfodinâmica de afluentes para a área deprimida de uma lagoa (Figura 8; Figura 13).

Depressões muito abertas (“nativo da BR”, Figura 12) exibem morfologia sinuosa, com dinâmica hidrológica de inundação sazonal. Configuram morfologias elipsoidais com contornos mais ou menos alongados e mais ou menos irregulares (Figura 8), assemelhando-se a um fundo de saco. Um ou mais canais fluviais defluem a partir da porção mais baixa da depressão (Figura 8).

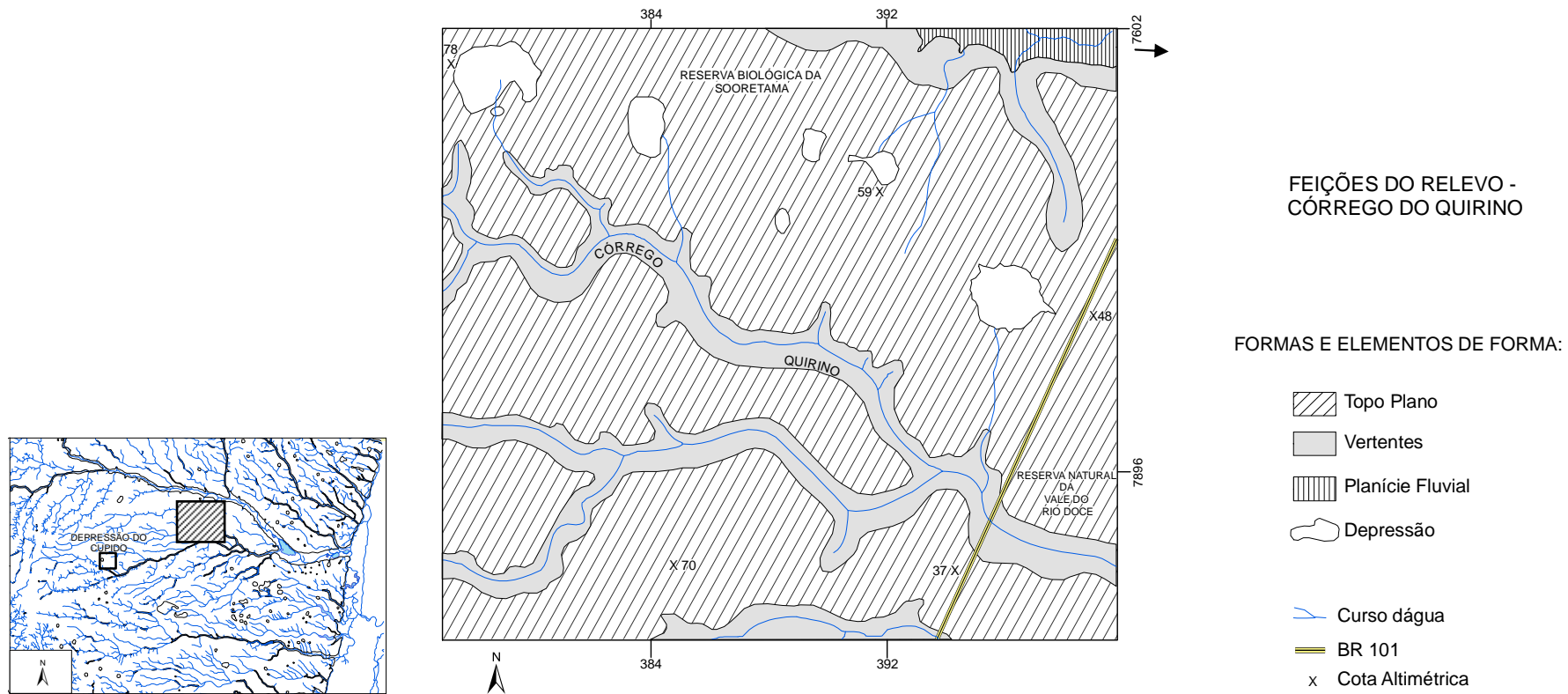


**FORMAS E ELEMENTOS DE FORMA:**

- Topo Plano
- Vertentes
- Planície Fluvial
- Depressão
- Curso d'água
- Lagoa
- Estrada
- Cota Altimétrica

Notas técnicas:  
 Base cartográfica: IBGE SE-24-Y-D-T, 1:100.000, 1979.  
 Base Aerofotogramétrica: fotos aéreas IBC, 1:25.000, 1971.

Figura 10 – Mapa da Depressão do Cupido (depressão do afluente da margem esquerda do córrego Cupido), Depressão da Lagoa das Jaçanãs e Depressão do Juncado, alinhadas entre si e a canais afluentes dos córregos Pasto Novo (seta fina) e Cupido (seta cheia).



Notas técnicas:  
 Base cartográfica: IBGE SE-24-Y-D-I e SE-24-Y-B-IV, 1:100.000, 1979.  
 Base Aerofotogramétrica: fotos aéreas IBC, 1:25.000, 1971.

Figura 11 – Mapa das depressões dos afluentes do córrego Quirino. Ocorrência de depressões dos afluentes do rio Barra Seca (seta).



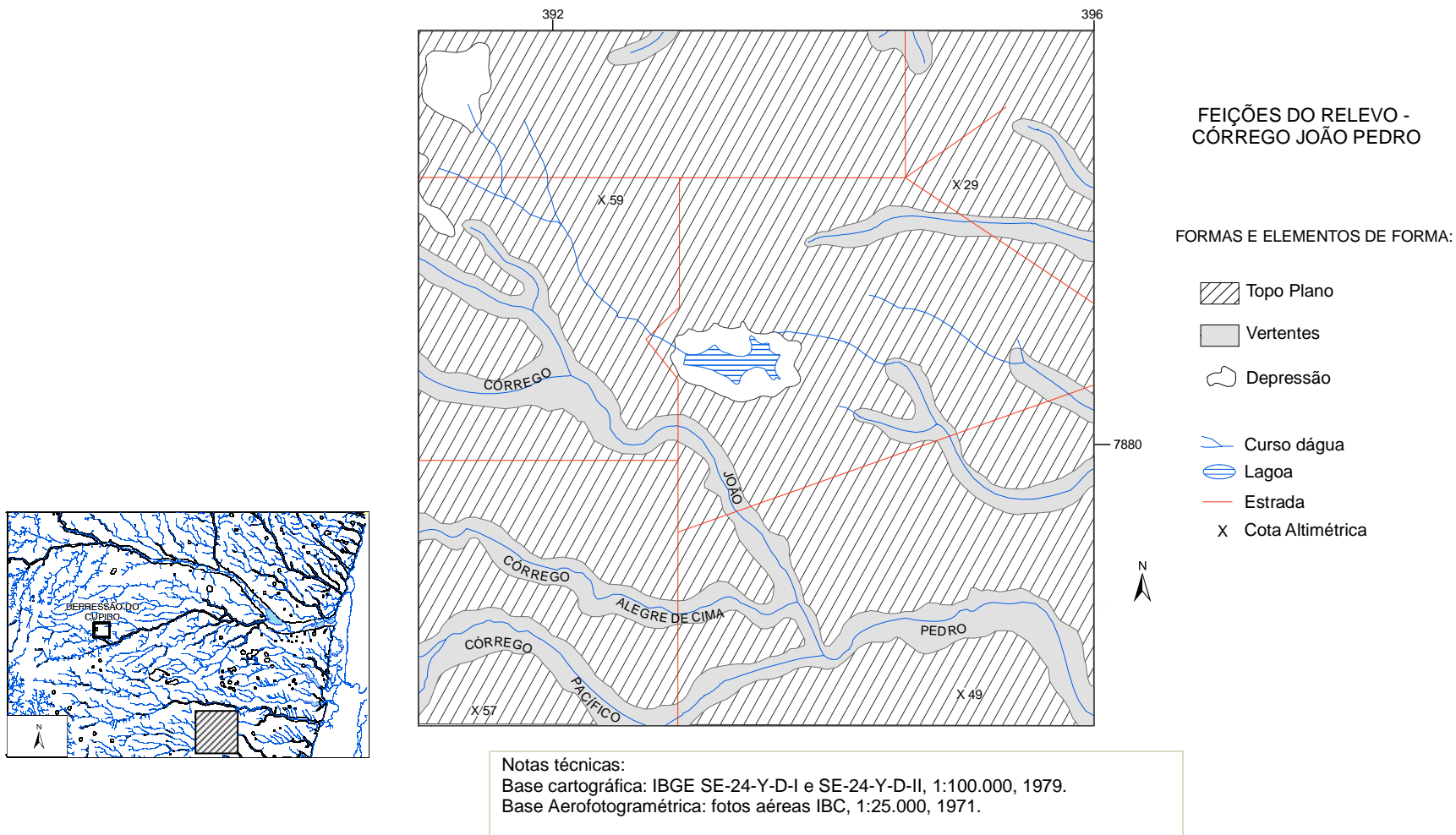


Figura 13 – Mapa das depressões do afluente do córrego João Pedro.

No alinhamento entre os pequenos canais afluentes que deságuam no córrego Cupido, córrego das Nuvens e córrego Pasto Novo (Figura 8) e as depressões do Juncado, Lagoa das Jaçanãs e Cupido, a diferença altimétrica de cerca de 25 m entre os topos semelhantes, pode ser morfoestrutural (Figura 9; Figura 10). Na Depressão do Cupido, as vertentes, gradativamente mais curtas da cabeceira até as partes mais baixas da depressão, não refletem o mesmo.

Similar a outras depressões, a Depressão do Cupido possui uma porção fechada e uma aberta em direção ao vale do canal fluvial, encaixado, à jusante dela. A água do afloramento do lençol que forma uma lâmina d'água está associada à parte fechada e porção mais elevada do fundo (a 91 m), contornada por uma vertente de cabeceira, vertentes laterais e um divisor de água extremamente baixo no fundo da depressão com cerca de 1 m de diferença altimétrica. Na mesma direção segue-se a outra porção da depressão, mais aberta e na parte mais baixa do fundo (a 74 m). O fundo dessas depressões é sempre plano, como verificado em depressões homólogas, com pequenas elevações raras.

Duas áreas compõem o zoneamento hidrológico. A primeira, constituída por uma drenagem mesoconcentradora, associada a vertentes de cabeceira e laterais nas porções extremas das depressões, e a segunda, de drenagem hiperconcentradora, no fundo das depressões, cuja dinâmica de oscilação à princípio pode ser deduzida das diferenças de nível d'água das lagoas.

Cinco tipos de depressões ocorrem na região de Sooretama (Figura 14), todos inseridos em topos de tabuleiros, com fundo subhorizontalizado e adjetivações segundo a rugosidade, identificados com base nas formas extraídas do mapa geomorfológico Depressões dos Tabuleiros de Sooretama (Figura 8), mapas amostrais das feições de relevo (Figuras 10 a 13) e síntese das informações contidas no mapa de solos de Santos et al. (2005).

- (1) depressão fechada rasa de fundo concavizado com horizonte cimentado e lençol freático suspenso;
- (2) depressão parcialmente fechada, estreita, com horizonte cimentado descontínuo periférico, e lençol freático aflorante e suspenso;
- (3) depressão aberta, alongada, larga, com horizonte cimentado central, com eflúvio e lençol freático aflorante e suspenso;

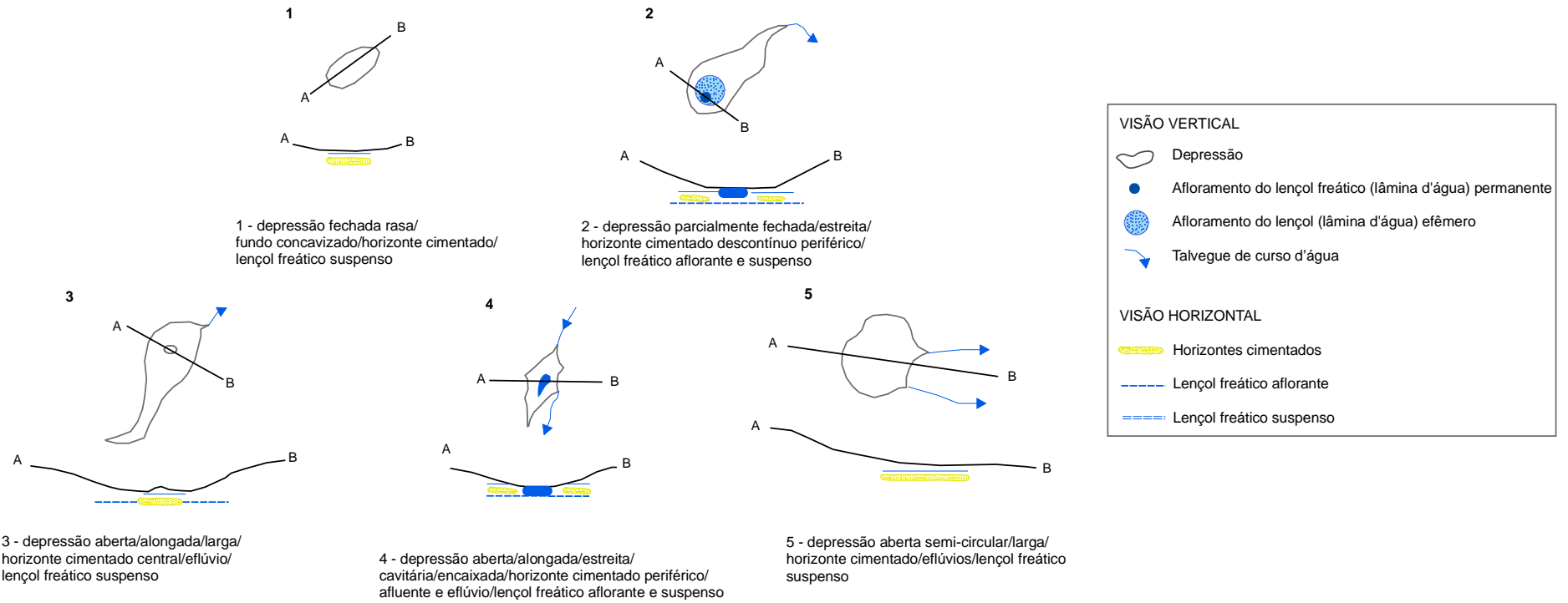


Figura 14 – Modelo da tipologia de depressões, realizado com base nas formas extraídas no mapa geomorfológico Depressões dos Tabuleiros de Sooretama e áreas amostrais das feições de relevo, somadas à síntese das informações contidas no mapa de solos de Santos et al. (2005).

(4) depressão aberta, alongada, estreita, cavitária, encaixada, com horizonte cimentado periférico, com afluente e eflúvio e lençol freático aflorante e suspenso;

(5) depressão aberta semi-circular, larga, com horizonte cimentado com presença de um ou mais eflúvios e lençol freático suspenso.

A Depressão do Cupido, identificada pelo tipo dois (2), no contexto das depressões dos Tabuleiros de Sooretama, insere-se na faixa de maiores altitudes, topo adernado, tamanho médio, fechada nas partes mais elevadas e aberta nas partes mais baixas, onde se liga a um talvegue fluvial. É marcada pelo alinhamento bem pronunciado com os afluentes dos córregos Pasto Novo e Cupido e com outras depressões (Jaçanã e Juncado).

A cimentação está amplamente presente nas depressões dos tabuleiros costeiros da região de Sooretama no norte do Espírito Santo, constituindo os duripãs amarelados e os horizontes Bhm e Bsm. Esses horizontes cimentados coincidem com os espaços ocupados pelas cabeceiras de drenagem em depressões nos tabuleiros costeiros, o que reforça a vinculação dessas depressões e dos materiais pedológicos à dinâmica da rede de drenagem.

#### 4.2. Caracterização dos lineamentos estruturais

Duas direções preferenciais perpendiculares entre si são verificadas na região em escala 1:100.000 (Figuras 15 e 16), obtidas por meio da interpretação de imagem de satélite, as direções NE-SW e NW-SE, denotando a predominância de um sistema bimodal.

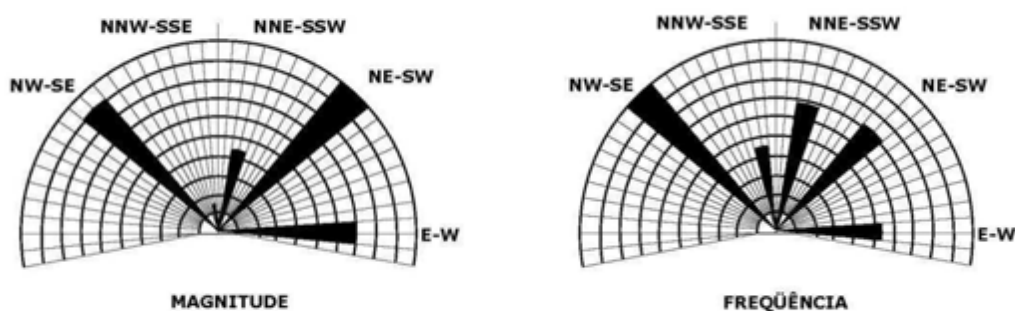


Figura 15 - Diagramas de roseta da magnitude (comprimento total somado de cada direção de lineamento) e frequência (número de vezes que cada direção aparece) das feições lineares regionais no norte do Espírito Santo, entre o córrego João Pedro e o córrego Paraisópolis.

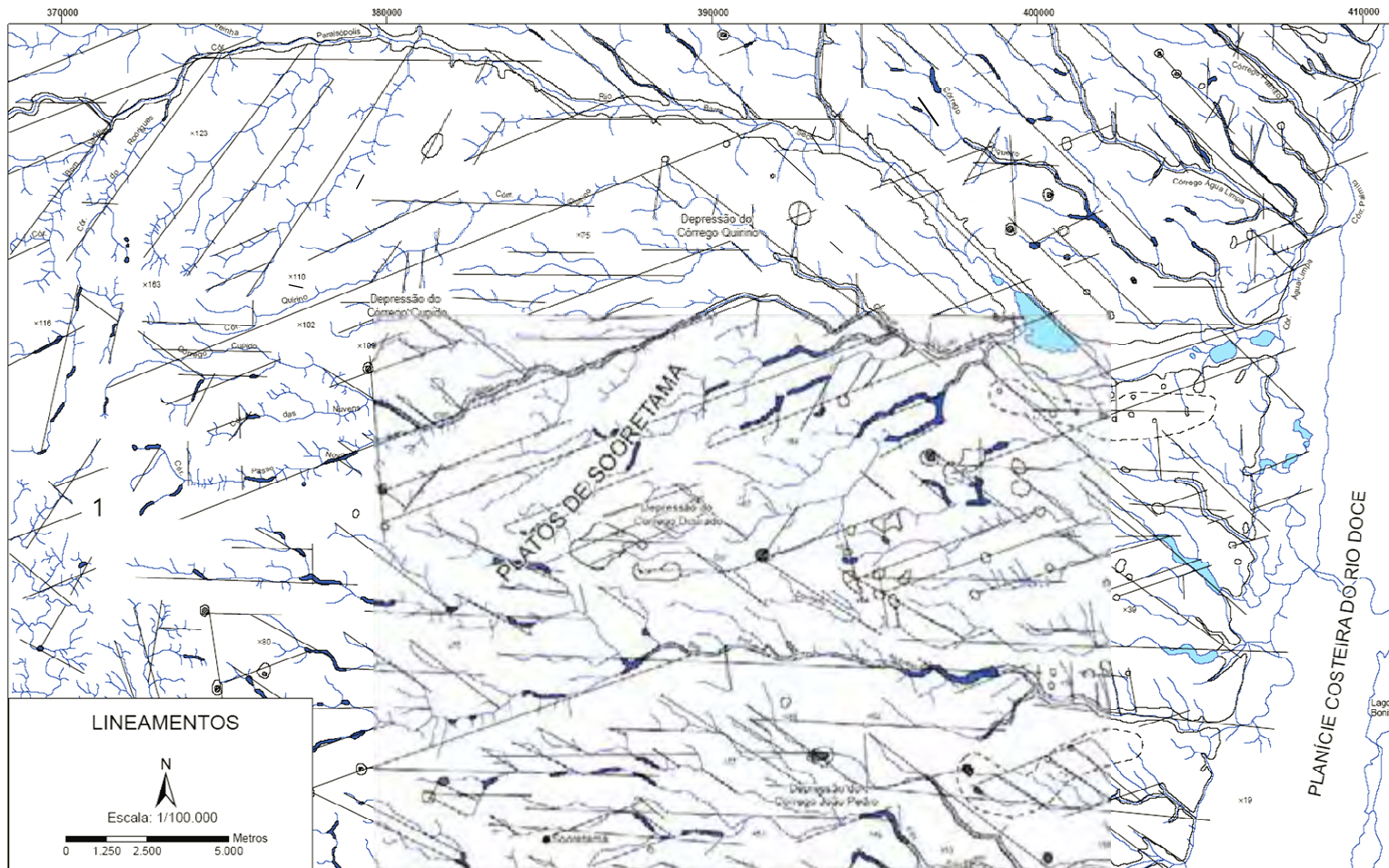


Figura 16 – Lineamentos estruturais sobre a base hidrográfica do mapa Depressões dos Tabuleiros de Sooretama na região norte do Espírito Santo entre o córrego João Pedro e o córrego Paraisópolis. (Escala original do mapeamento dos lineamentos estruturais por meio de interpretação de imagem de satélite: 1:100.000).

A orientação NE-SW possui a maior magnitude e a segunda maior frequência, enquanto que a orientação NW-SE representa a segunda maior magnitude e a maior frequência. Nas demais orientações, E-W, NNE-SSW e NNW-SSE, a frequência e magnitude foram proporcionalmente mais baixas, sendo que destas, a orientação E-W representou o maior comprimento total dos lineamentos, exprimindo a maior magnitude, e a segunda maior frequência (Figura 16).

As orientações dos lineamentos mais marcantes na rede de drenagem (Figura 8; Figuras 15 e 16) são:

1. NE-SW, muito acentuada, sendo de expressão maior o lineamento correspondente aos córregos Pasto Novo que segue na mesma direção até receber o nome córrego Cupido.
2. NW-SE, bem marcada no segmento do rio Barra Seca, próximo à Planície Costeira do Rio Doce. Na confluência do rio Barra Seca e o córrego Quirino, e imediatamente a montante do desvio do rio Barra Seca de NW-SE para E-W, forma-se lagoa na planície fluvial (Lagoa do Macuco). Ainda um trecho bem marcado é o do outro segmento do córrego Cupido, que neste local recebe a mesma toponímia, contíguo à depressão homônima.
3. E-W, como em segmentos do rio Barra Seca e do rio Paraisópolis, além de grandes extensões de drenagens nos terrenos dos depósitos Terciários, como o rio Pau Atravessado e o córrego João Pedro, entre outros que seguem paralelos uns aos outros, na porção sul e sudeste da carta de lineamento.
4. NNE-SSW, muito acentuada nos afluentes da margem direita do rio Paraisópolis e do rio Barra Seca.

A orientação NNW-SSE aparece com drenagem bem marcada, associada a pequenos canais afluentes e também a alinhamentos de depressões, como a verificada desde a Depressão do Juncado até a Depressão do Cupido (Figura 8; Figura 10; Figura 16). A partir daí, ocorre outro lineamento de orientação NE-SW. Redirecionamentos da drenagem ocorrem de NE-SW para NW-SE, NNW-SSE para NE-SW e de E-W para NNW-SSE, além de interseções que correspondem a cruzamentos de lineamentos (Figura 16).

As interseções marcam desvios de canais fluviais e também depressões que podem surgir nessas estruturas, como o caso da Depressão do Cupido. Outro aspecto é o acentuado paralelismo das feições lineares. Essas interseções se verificam em todos os terrenos dos depósitos Terciários, sem preferência dimensional do canal.

Alguns alinhamentos das depressões apresentam paralelismo com feições lineares de drenagem retilinizada, como a leste da carta de lineamentos. Exemplos são os alinhamentos de depressões paralelas ao rio Barra Seca e ao rio Pau Atravessado (Figura 8 e 16). Predomina depressões a montante de canais de primeira ordem. Entretanto, em estruturas E-W bem marcadas, como no segmento E-W do rio Barra Seca, as áreas deprimidas são perpendiculares a elas e relativamente abertas para os canais de ordem superior.

Entre segmentos descontínuos de orientações NE-SW ocorrem depressões de fácies retas e pontiagudas, com presença de lagoas encaixadas perenes (depressões dos córregos Dourado e João Pedro). Essas lagoas encaixadas, provavelmente, são de origem geológica estrutural.

Desvios da drenagem (cotovelos) são comuns no sistema de drenagem dessa região, com depressões mais ou menos conectadas a esses desvios (Figura 8; Figura 16). Na depressão do córrego João Pedro o canal de drenagem aflui para uma lagoa, seguindo a mesma orientação. Dessas depressões partem outros canais.

Os lineamentos estruturais, traçados seguindo a rede de drenagem, indicam um óbvio condicionamento estrutural básico da drenagem. A predominância das direções NE-SW e NW-SE nos sedimentos Barreiras nessa área evidenciam as direções tipicamente Brasileiras, à semelhança do embasamento cristalino pré-cambriano a oeste e do embasamento cristalino subjacente. A sedimentação Barreiras mostra alteração pós-deposicional que indica estabelecimento de fluxos hidrológicos com conexão com o embasamento subjacente, ou seja, um *continuum* entre a água infiltrante nos sedimentos Barreiras e o saprolito da rocha cristalina, mostrando que as depressões não são hidrologicamente dissociadas da rede de drenagem.

#### 4.3. Caracterização morfológica dos solos na Depressão do Cupido

Os solos, sob Floresta Atlântica de Tabuleiros e Muçunungas (Figura 17) são caracterizados pela seguinte sequência: 1) Argissolo Amarelo Distrocoeso endopetroplântico, PAdx, no topo e vertente superior (A, AB, Bt1, Bt2, Bt3, Cf1, Cf2, Cc); 2) Argissolo Amarelo Distrocoeso típico, PAdx, na vertente média (A, AB, Bt1, Bt2, Bt3, Cf1, Cf2); 3) Argissolo Acinzentado Distrocoeso típico, PAC (A, AB, Bt1, Bt2, Cf, Cg) na vertente inferior; 4) Argissolo Acinzentado Distrocoeso abrupto dúrico, PAC (A, Bt, Csm, Cf, Cg) na vertente inferior; e 5) Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos dúricos e Espodossolos Humilúvicos Hidromórficos, EKg (A, Bhm1, Bhm2, Csm) no fundo da depressão.

Cinco graus de cimentação, combinados à morfologia e consistência, estão presentes: Cc no PAdx – extremamente dura e extremamente firme e extremamente cimentado; Csm de matiz 2,5 Y no PACdx – extremamente dura e extremamente firme e fortemente cimentado; Csm de matiz 10YR no EKg – extremamente dura e extremamente firme e fortemente cimentado; Bhm2 no EKg – muito dura e extremamente firme e fracamente cimentado; e Bhm1 no EKg – dura e muito firme e fracamente cimentado.

A petroplintita encontra-se à montante dos duripãs (Figura 18 e 19), com espessuras entre 3,0 e 5,5 m. Apresenta estratificação plana paralela, herdada dos sedimentos Barreiras, e superfícies vesiculares (Figura 20). No topo, a petroplintita se encontra a profundidades entre os intervalos de 3,0 e 4,0 m na topossequência TAB, 1,8 e 4,7 m na TMN e 3,5 e 4,2 m na TEF, e na vertente superior, entre 3,0 e 3,8 m na TAB, 4,4 e 6,0 m na TMN e 1,0 e 4,2 m na TEF.

Topograficamente, a área correspondente à petroplintita é mais elevada que a área de abrangência do duripã, a jusante da petroplintita. Os limites superiores do duripã em subsuperfície, com espessuras entre 1 e 2 m, são menos profundos do que aqueles observados para a petroplintita. Em perfil lateral, as profundidades em que se encontram os duripãs, variam desde o mesmo nível, 1 m abaixo ou 0,5 m acima dos limites superiores da petroplintita, podendo os dois horizontes cimentados se apresentarem unidos ou não lateralmente na topossequência (Figura 21).



Figura 17 – Paisagem na Depressão do Cupido. Floresta Atlântica de Tabuleiros, último plano, e Muçununga, primeiro plano (a); Muçununga (b); Espodossolos do fundo da depressão (c). As muçunungas são regionalmente chamadas de “nativos”. Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

POSIÇÃO DOS HORIZONTES FORTEMENTE CIMENTADOS  
NA DEPRESSÃO DO CUPIDO

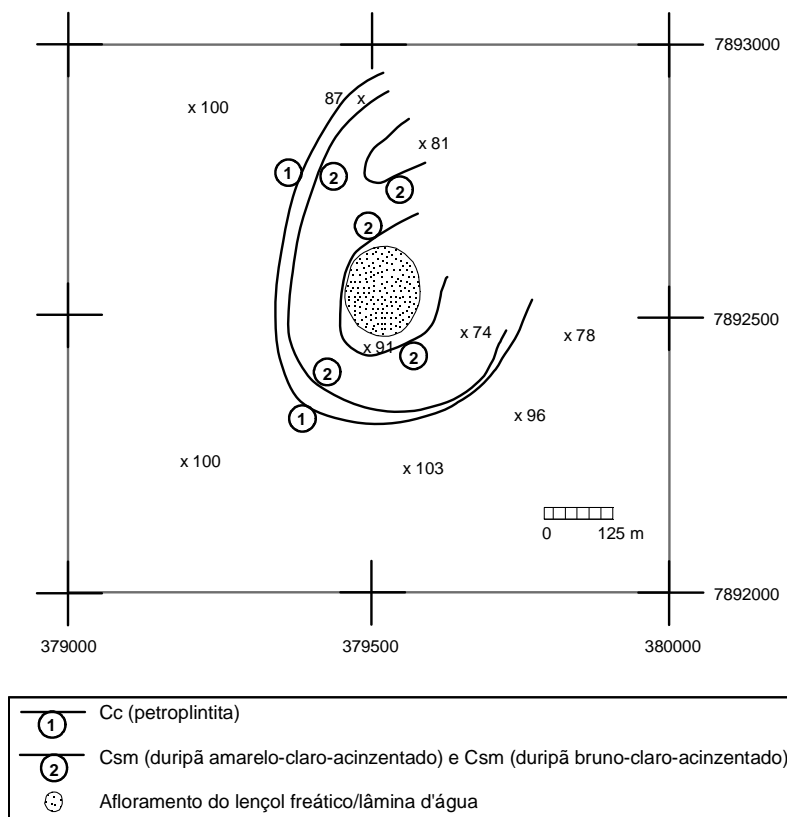


Figura 18 – Posição dos horizontes cimentados na Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES. Número com círculo voltado para a direção onde o horizonte se prolonga na topossequência.

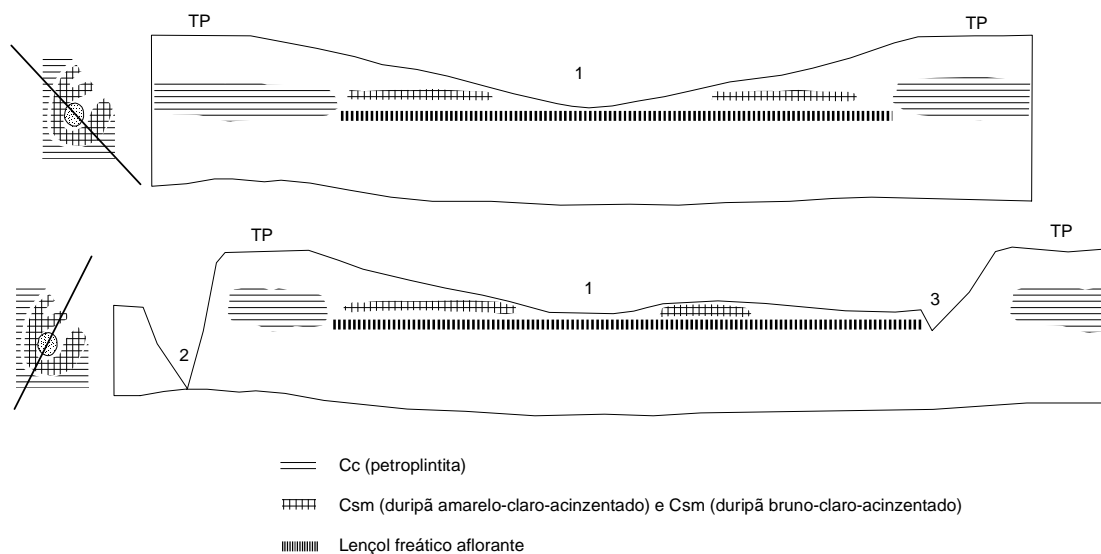


Figura 19 – Esboço dos cortes transversais da petroplintita e do duripã na Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES. Afloramento do lençol freático/lâmina d'água (1); córrego Cupido (2); afluentes da margem esquerda do córrego Cupido (3); topo plano (TP).



Figura 20 – Petroplintita (concreção ferruginosa vermelha; horizonte Cc), com estratificação plana paralela herdada dos sedimentos Barreiras (afloramento em corte na estrada do meio, próximo à Depressão do Cupido). Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

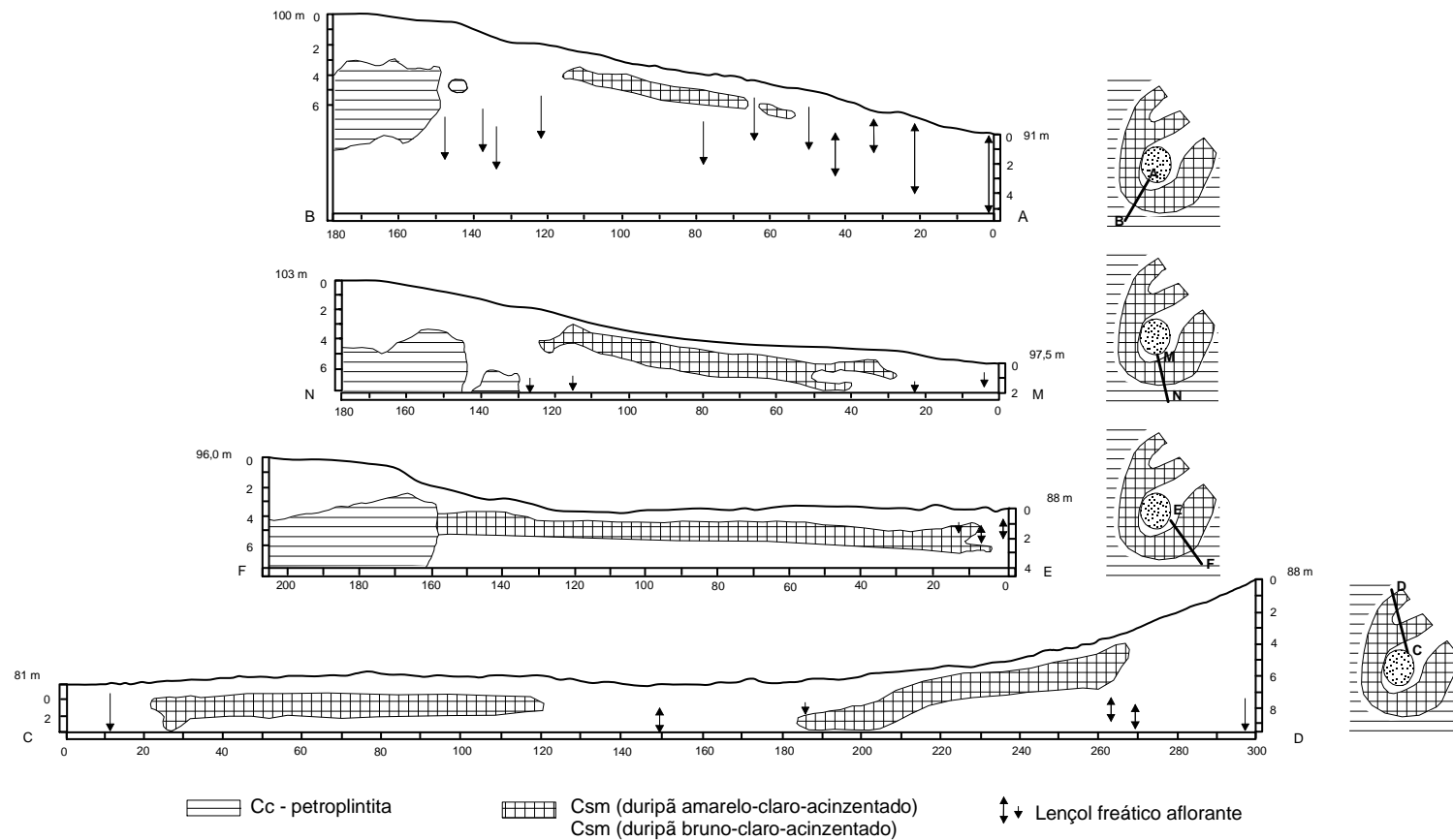


Figura 21 – Posição da petroplintita e do duripã na Depressão do Cupido (Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES), em relação à topografia e lençol freático. (Escala horizontal com exagero de 4 vezes).

A profundidade do topo dos duripãs, localizados nas posições da vertente inferior, é marcada por diferenças, iniciando entre 1,0 e 1,2 m (TAB), 2,0 e 0,5 m (TMN), 1,5 a 0,7 m (TEF) e a 0,5 a 0,8 cm (TCD). No fundo da depressão o horizonte Bsm começa entre 1,5 a 1,0 m (TAB), 1,0 a 0,5 m (TMN), 1,2 a 0,5 m (TEF) e 2,0 a 1,0 m (TCD).

Nos duripãs, os intervalos de profundidades menores indicaram uma posição pretérita mais elevada do lençol freático, quando a cimentação teve condições de ocorrer provavelmente na zona vadosa da oscilação do lençol. Isso difere da posição do lençol freático atual, entre 1,0 e 5,2 m de profundidade, onde aflora na superfície. Relatos históricos mostram recentes níveis de elevação do lençol freático atual desde 1980. Sob domínio do lençol freático, há locais sugestivos de pouca concentração de material mineral, com cerca de 50 cm de espessura, sem pronunciado atrito com a ferramenta utilizada na sondagem.

Os duripãs se mostram como feições fósseis instáveis nas condições atuais, passando de material cimentado extremamente duro a material inconsolidado. Na vertente, os duripãs estiveram sempre acima do lençol freático, condicionando a formação de um material inconsolidado com maior teor de argila (PACdx). Nos Espodossolos (EKg), dentro do domínio do lençol freático aflorante, nas extremidades laterais, o duripã apresenta-se descontínuo em profundidade, intercalado a materiais inconsolidados.

#### 4.3.1. Topossequência TAB

A petroplintita aparece com contornos ondulados, subjacente ao horizonte mosqueado Cf1 vermelho, bruno-forte e amarelo-avermelhado (Figura 22). O mosqueado/plintita e a presença de concreções de tamanhos pequenos, alteradas, dispersas na matriz do solo e granocrescentes com a profundidade (Figura 23), pode atestar dependência genética do horizonte Cf1 em relação à petroplintita.

O horizonte mosqueado Cf1 continua lateralmente a jusante na topossequência TAB, na vertente superior da Depressão do Cupido, com espessuras ligeiramente reduzidas, em local sem a presença da petroplintita de tamanho mais expressivo no perfil, ou com fragmentos menores dela (Figura 22).

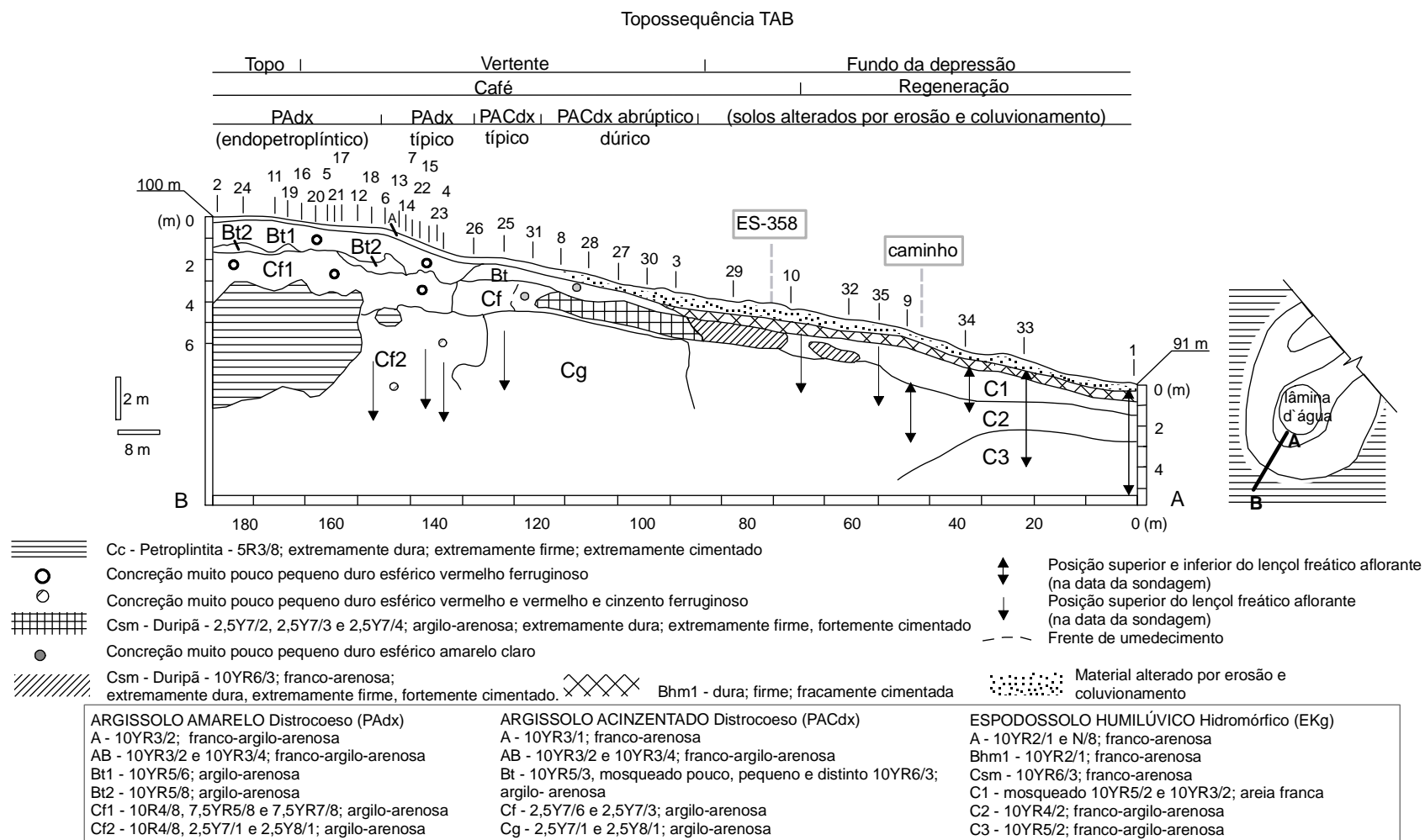


Figura 22 – Topossequência TAB na Depressão do Cupido, município de Sooretama-ES.

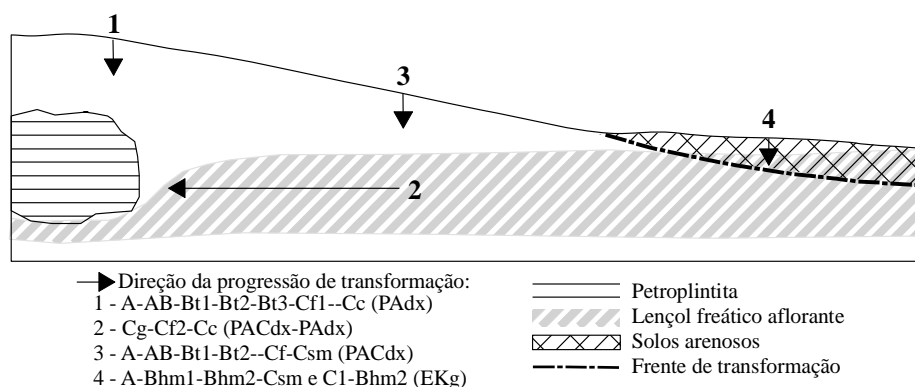


Figura 23 – Direção das progressões de transformação dos horizontes dos solos nas topossequências a partir da instabilidade da petroplintita e duripã. Depressão do Cupido, município de Sooretama-ES.

Os horizontes sobrejacentes ao horizonte Cf1, horizontes Bt1 e Bt2 bruno-amarelados, mantêm contornos que podem demonstrar associação entre esses horizontes. Enquanto o horizonte Bt1 aparece contínuo ao longo do perfil, o horizonte Bt2 é descontínuo e menos espesso, ambos apresentando concreções pequenas, granocrescentes com a profundidade e esparsas (Figura 22), mostrando provável dependência em relação aos horizontes plíntico e petroplíntico.

O arranjo estrutural lateral dos horizontes dos Argissolos Amarelos Distrocoesos, ligeiramente paralelos à superfície e presentes mesmo na ausência da petroplintita subjacente, as concreções granocrescentes com a profundidade e as cores e textura argilo-arenosa similares, são características sugestivas de uma sequência inicial vertical, de baixo para cima, iniciada a partir das alterações do horizonte petroplíntico, resultante nas sequências Cc – Cf1 – Bt2 – Bt1, cuja progressão das maiores às menores transformações se verifica de cima para baixo (direção 1 de progressão da transformação; Figura 23).

Na topossequência TAB a coesão foi constatada nos horizontes B textural, muito adensados e com grau de estrutura maciça-coerente, onde o enraizamento não é significativo, exceto em locais específicos no perfil. Sobrejacente a eles em transição abrupta está o horizonte A bruno-acinzentado muito escuro (Figura 22) que em campo se diferencia em horizontes A1 e A2, o primeiro de textura franco-arenosa e o segundo de textura franco-argilo-arenosa. As diferenças texturais abruptas entre o horizonte A e o B textural podem ter sido influenciadas pelas menores taxas de infiltração que ocorrem em solos com caráter coeso. Os

primeiros 10 cm do topo do horizonte Bt1 10YR 5/6 apresentam croma maior, 10YR 5/4. A acidólise pode ser o processo mais provável neste caso, promovendo a dissolução da argila e resultando em transformação textural por meio de auto-evolução.

Na topossequência TAB, sob cultivo de café, ocorrem feições de processos erosivos caracterizados por ravinas de baixa magnitude (profundidade) e baixa frequência (número de vezes que surgem por m<sup>2</sup>) e partes de horizonte A decapitado, como consequência das diferenças texturais abruptas e cobertura vegetal escassa e descontínua. Esses processos erosivos respondem pela zona de coluvionamento da topossequência TAB (figura 22).

Ao lado da petroplintita aparece o horizonte Cf2 vermelho, cinzento-claro e branco, seguido lateralmente pelos horizontes Cg cinzento-claro e branco e C2 cinzento-avermelhado, de texturas argilo-arenosas, todos em domínio redutor sob influência do lençol freático. Esses horizontes C são gradativamente mais baixos, vertical e lateralmente no perfil (Figura 22).

No horizonte Cf2 do Argissolo Amarelo Distrocoeso ocorrem concreções vermelhas arroxeadas, esparsas (Figura 22 e 24), concreções vermelhas e cinzentas ferruginosas, concreções com córtex interno preto e concreções com pedofeição de depleção (com vazio na parte central), em muito pouco volume, menos de 5 % em relação à matriz do solo, tamanho pequeno, menor que 1 cm de diâmetro, duras e esféricas. Essas concreções aparecem nas frações cascalho e areia e, até as menores frações das areias, estiveram gradativamente mais alteradas, pretas opacas. Nos volumes cinzentos do horizonte Cf2, evidenciando redução de ferro, os quartzos estão desprovidos de impregnação de ferro em suas fraturas (runiquartz), diferentemente dos volumes vermelhos do mosqueado. Tais feições pedológicas podem ser pedorelíquias da petroplintita alterada.

A jusante do horizonte Cf2 está o horizonte de gleização Cg de mosqueado cinzento-claro e branco (Figura 22; Figura 25) desprovido de concreções e sem impregnação nos quartzos por ferro. No topo do horizonte Cg, correspondente à zona vadosa do lençol freático aflorante, ocorre cimentação fraca, observado na trincheira TR3 da topossequência TCD (Tabela 1).



Figura 24 – Horizonte Cf2 vermelho, cinzento-claro e branco, textura argilo-arenosa, com concreções vermelhas arroxeadas esféricas alteradas (1); córtex de alteração amarelado (2); volumes avermelhados (3); avermelhados e acinzentados (4) e acinzentados (5).



Figura 25 – Horizonte de gleização Cg de mosqueado cinzento-claro e branco, textura argilo-arenosa (termo regional: batinga ou tabatinga).

Tabela 1 – Características morfológicas dos solos na Depressão do Cupido, município de Sooretama-ES.

Horizontes*	Cor Úmida Munsell	Tx <sup>1/</sup>	Estr. <sup>2/</sup>	Consistência			C <sup>3/</sup>	Conc. <sup>4/</sup>	Cs <sup>5/</sup>	T <sup>6/</sup>
				Seco	Úmido	Molhado				
<b>ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso (endopetroplântico) e ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso típico (PAdx)</b>										
A	10YR3/2	Faa	Barr e GS 1 M	Ma	MFr	NPI NPe	-	-	-	AP
AB	10YR3/2	Faa	Barr e GS 1 M	Ma	MFr	NPI NPe	-	-	-	AP
Bt1	10YR5/6	Aa	MÇ	MD	Fi	LPI LPe	-	MP P D E V F	FC	CP
Bt2	10YR5/8	A	MÇ	MD	Fi	LPI LPe	-	MP P D E V F	FC	CP
Bt3	7,5YR5/8	A	Bs	LD	Fr	LPI LPe	-	MP P D E V F	-	GP
Cf1	cv10R4/8;7,5YR5/8; 7,5YR7/8	Aa	MÇ	LD	Fr	LPI LPe	-	MP P D E V F	-	GP
Cf2	cv10R4/8;2,5Y7/1; 2,5Y8/1	Aa	MÇ	LD	MFr	LPI LPe	-	MP P D E V C F	-	AP/O
Cc (Petroplintita)	V	-	MÇ	ED	-	-	EC V	-	-	O
<b>ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso típico e ARGISSOLO ACINZENTADO Distrocoeso abrupto dístico (PACdx)</b>										
A	10YR3/1	Fa	Barr 1 GS	Ma	Fr	NPI NPe	-	-	-	CP
AB	10YR3/2 e 10YR3/4	Faa	Bl 1 G	LD	Fr	LPI LPe	-	-	-	A
Bt1	10YR5/3- mPPDf10YR6/3	Aa	MÇ	MD	Fi	PI Pe	-	MP P D E A	-	-
Bt2	10YR6/3	Aa	MÇ	MD	Fi	PI Pe a	-	MP P D E A	FC	AP
Csm (Duripã)	2,5Y7/2, 2,5Y7/3 e 2,5Y7/4. Bandas onduladas mPPPrVA	Aa	MÇ	ED	-	-	FC A	-	-	AP
Cf	cv2,5Y7/6 e 2,5Y7/3** mPMDf 2,5YR7/2**; mPMPr 5YR6/8 e 2,5YR4/8	Aa	MÇ	D a MD	Fi a MFi	LPI LPe	-	MP P D E A C	-	CP
Cg	2,5Y7/1 e 2,5Y8/1	Aa	MÇ	D	Fi	PI Pe	Fr**	-	-	-
<b>ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico dístico e ESPODOSSOLO HUMILÚVICO Hidromórfico (EKg)</b>										
A	Cv 10YR2/1 e N/8	Fa	GS e Barr	S e Ma	S e Mfr	NPI NPe	-	-	-	AP
Bhm1	10YR2/1	Fa e Faa	MÇ	D	Fi e MFi	NPI NPe	Fr	-	-	CP
Bhm2 (Ortstein)	m10YR3/2 e 10YR5/2	Fa	Ba3P	MD	EFi	NP NPe	Fr	-	-	AP
Csm (Duripã)	10YR6/3; mPMPr 5YR6/8 e 2,5YR4/8	Fa	MÇ	ED	EFi	NP NPe	FC	-	-	-
C1	m10YR5/2 e 10YR3/2	Af	Bs1P/GS	LD	Fr	NPI NPe	-	-	-	C
C2	5YR5/2	Faa	MÇ	-	Fr	NPI NPe	-	-	-	C
C3	5YR4/2	Faa	MÇ	-	Fr	NPI NPe	-	-	-	G
C4	2,5Y6/3	Aa	MÇ	-	MFi	PI LPe	-	-	-	A
C5	2,5Y7/3	Ma	MÇ	-	EFi	MPI LPe	-	-	-	-

\*Profundidade especificadas nas toposequências. \*\* Franja capilar. <sup>1/</sup>Tx.-textura; <sup>2/</sup>Estr.-estrutura dos agregados; <sup>3/</sup>C-cimentação; <sup>4/</sup>Conc-concreções minerais; <sup>5/</sup>Cs-coesão; <sup>6/</sup>T-Transição. **Mosqueado** (m): P-pouco. P-pequeno. M-médio. Df-difuso; Dt-distinto; Pr-proeminente. Cv-coloração variegada. **Textura**: Ma-Muito argilosa; A-Argila; Aa-Argilo-Arenosa; Fa-Franco-Arenosa; Faa-Franco-Argilo-Arenosa; F-Franco; Af-Areia-Franca. **Estrutura**: Barr-blocos arredondados; Bs-blocos subangulares; Ba-blocos angulares. **Graude estrutura**: MÇ-maciça-coerente; GS-grãos simples-não coerente ; 1-fraca; 2-moderada; 3-forte; tamanho: P-pequena; M-média; G-grande; MG-muito grande. **Consistência**: S-solta; Ma-macia; LD-Ligeiramente dura; D-dura; MD-muito dura; ED-extremamente dura. S-solta; MFr-muito friável; Fr-friável; Fi-firme; MFi-muito firme; EFi-extremamente firme. NPI-não plástica; LPI-ligeiramente plástica; PI-plástica; MPI-muito plástica. NPe-não pegajosa; LPe-ligeiramente pegajosa; Pe-pegajosa; MPe-muito pegajosa. **Cimentação**: Fr-fracamente cimentado; FC-fortemente cimentado; EC-extremamente cimentado. **Concreções minerais**: MP-muito pouco. P-pequeno. D-Duro. E-esférica.V-vermelha; C-cinzenta; A-amarela. **Coesão**: FC-fortemente coeso. **Transição**: A-abrupta; C-clara; G-gradual; D-difusa. P-plana; O-ondulada; I-irregular; D-descontínua.

Em todos os horizontes das topossequências, o quartzo é o mineral predominante nas frações cascalho e areia, sem minerais primários facilmente intemperizáveis nessas frações. O cascalho representa cerca de 5 % da composição macroclástica dos horizontes C. No horizonte Cg 100 % dos cascalhos são constituídos por quartzos leitosos, com raros traços de mineral preto. Os quartzos se apresentam quebradiços nas fraturas, sendo 98 % subarredondados (desarestados) e cerca de 2 % subangular (ligeiramente arestados), provavelmente pelas subdivisões do próprio cascalho.

Os tamanhos variam entre 2 e 5,5 mm, sendo os menores mais quebradiços. A fração areia grossa é composta por quartzo subarredondado (desarestado), predominantemente leitoso, com raras impregnações de mineral preto, e alguns quartzos menores arredondados translúcidos. A areia fina é composta predominante por quartzo translúcido, geralmente subarredondado (desarestado) e subangular (ligeiramente arestado), sendo alguns bem arredondados. Em todos os horizontes as areias são mal selecionadas.

Pelas cores próximas ao vermelho até as cores brancas e cinzentas apresentadas nos horizontes Cc, Cf2 e Cg, presença de concreções no horizonte Cf2 e rebaixamento desses horizontes, são inferidos processos pedogenéticos sequenciais de direção remontante, em que se sugere uma progressão de transformação dos materiais mais aos menos alterados: Cg (PACdx) – Cf2 – Cc (PADx), modelada pela direção 2 de progressão da transformação (Figura 23) por atuação da água do lençol freático aflorante atual.

Os limites dos contornos superiores dos horizontes Cf2 e Cg são lateralmente horizontalizados, somente interrompidos pelo surgimento do horizonte Csm de textura argilo-arenosa, amarelo-claro-acinzentado (Figura 22) com presença de bandas ferruginosas em seu interior. O horizonte Csm (duripã) está acima do horizonte Cg. À montante do horizonte Csm amarelo-claro-acinzentado, o horizonte mosqueado Cf2 amarelo e amarelo-claro-acinzentado apresenta textura similar a do duripã (Csm), argilo-arenosa, mas torna-se lateralmente cada vez mais claro na frente de umedecimento (franjas capilar ou frente de saturação) à medida que alcança o horizonte cimentado (Figura 22).

Nos Argissolos Acinzentados Distrocoesos, o horizonte Cf está abaixo do horizonte Bt1 bruno, caracterizado pela presença de concreções em muito pouco volume, pequenas, duras, esféricas e amarelas claras e por mosqueados em pouco volume, pequenos, distintos e bruno-claro-acinzentados. Essas concreções também estão presentes no horizonte Cf. Diferente do horizonte B textural do Argissolo Amarelo Distrocoesos, ligeiramente plásticos e ligeiramente pegajosos, a consistência quando molhada dos horizontes B textural do Argissolo Acinzentado Distrocoesos apresenta-se plástica e pegajosa e plástica e muito pegajosa (Tabela 1). Trata-se de uma passagem para um pedoambiente mais úmido e mais próximo da influência do lençol freático aflorante (Figura 22).

A presença de concreções claras nos horizontes Cf e B textural, as cores e texturas similares entre os horizontes Csm e Cf, sugerem uma progressão de transformação do horizonte mais alterado ao menos alterado, Bt-Cf-Csm, na direção 3 do modelo de progressão das transformações (Figura 23).

A jusante, o horizonte Csm apresenta-se interrompido, acima do horizonte C2 (bruno-acinzentado-escuro, de textura franco-argilo-arenosa), e ao lado do horizonte C1 (composto por 50 % de manchas bruno-acinzentado e 50 % de manchas bruno-acinzentado muito escuro, de textura areia franca), sob a influência do lençol freático aflorante, bem como o horizonte C3 (Figura 22).

#### 4.3.2. Topossequência TCD

A caracterização macromorfológica de detalhamento na topossequência TCD revela um conjunto de evidências da alteração do duripã. Onde o duripã está acima do lençol freático aflorante encontram-se os Argissolos Acinzentados Distrocoesos e, nos locais em contato com este lençol, há o desenvolvimento dos Espodossolos (Figura 26).

O horizonte duripã amarelo-claro-acinzentado (2,5Y 7/2, 7/3 e 7/4), se diferencia dos demais horizontes cimentados pela consistência extremamente dura e cimentação forte, ocorrendo das profundidades maiores até próximo à superfície (Figura 26), em transição abrupta plana com o horizonte Bt (Figura 27), podendo ser irregular ou ondulada (Figura 28).



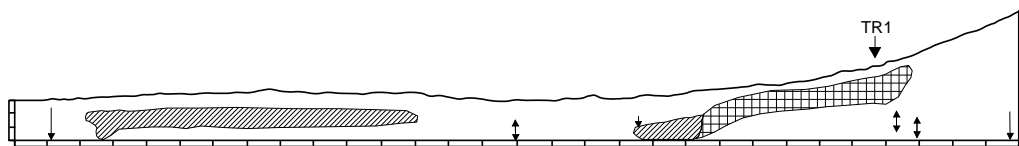
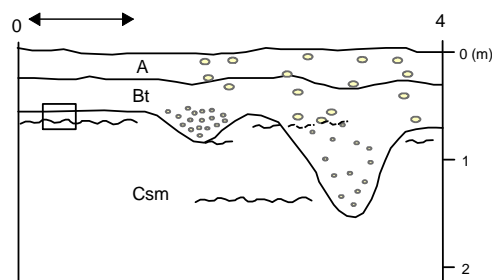
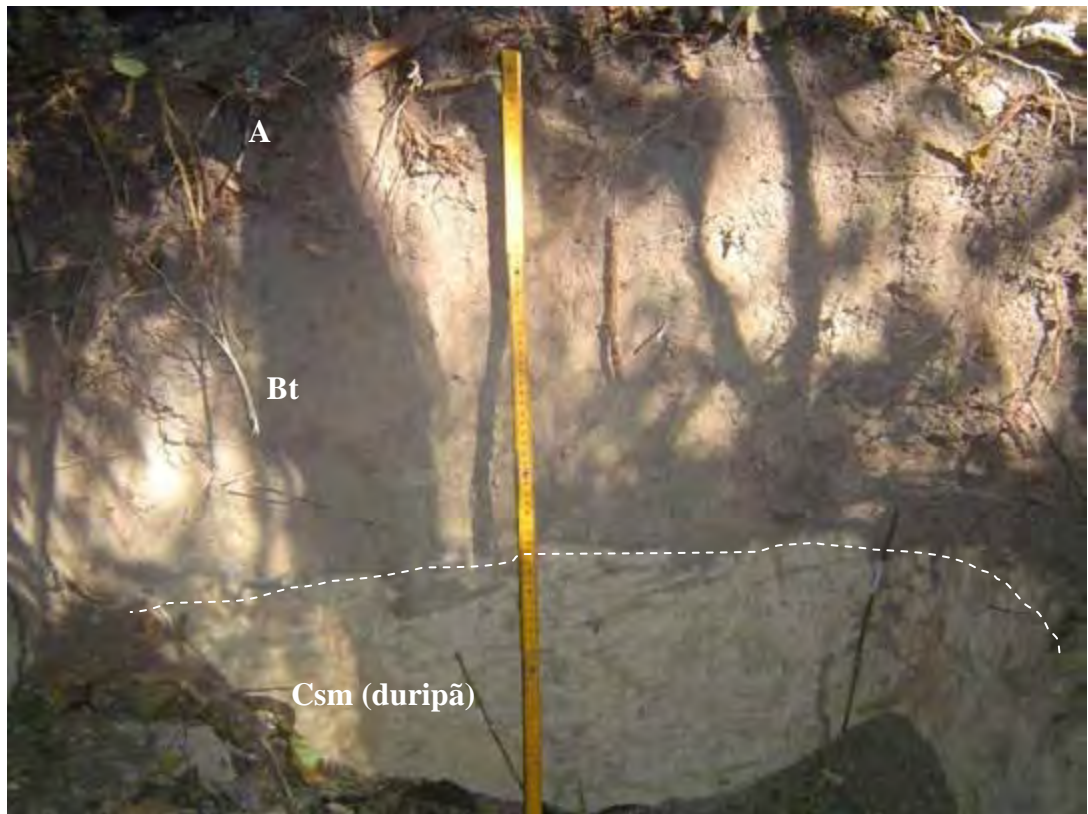


Figura 27 – TR1, TCD. Argissolo Acinzentado Distrocoeso abruptico dúrico. Transição abrupta e plana entre o horizonte Csm (duripã) e o horizonte Bt (linha tracejada). Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

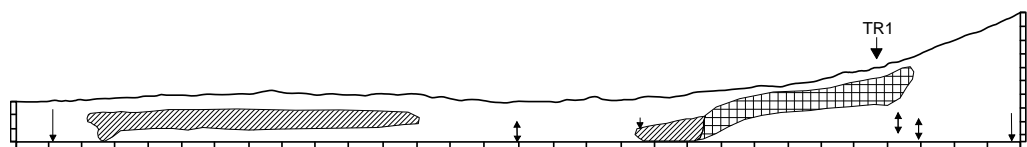
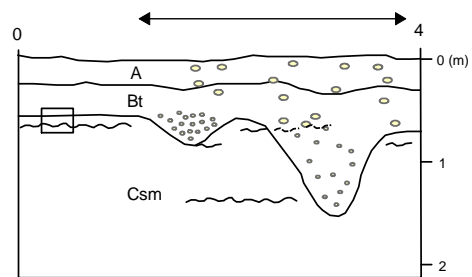
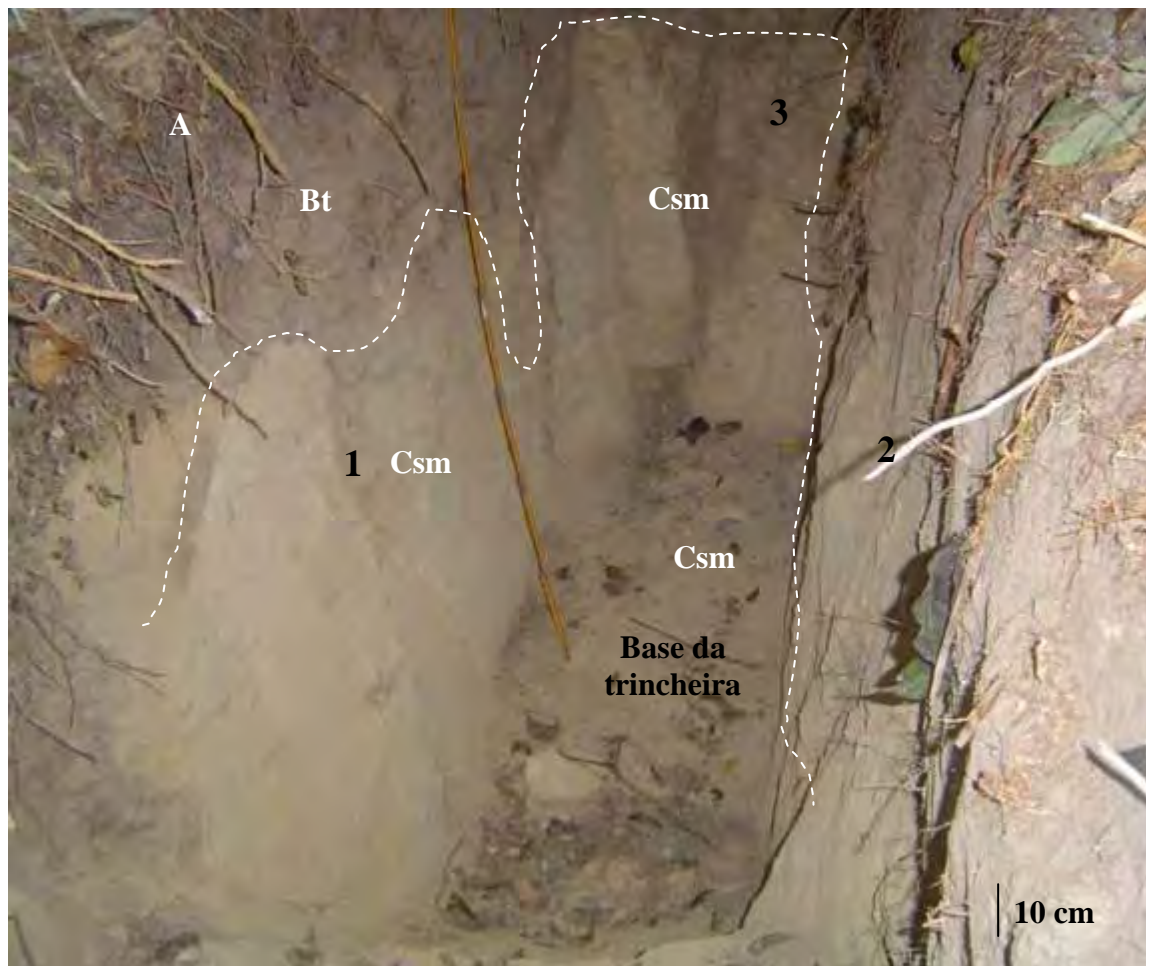


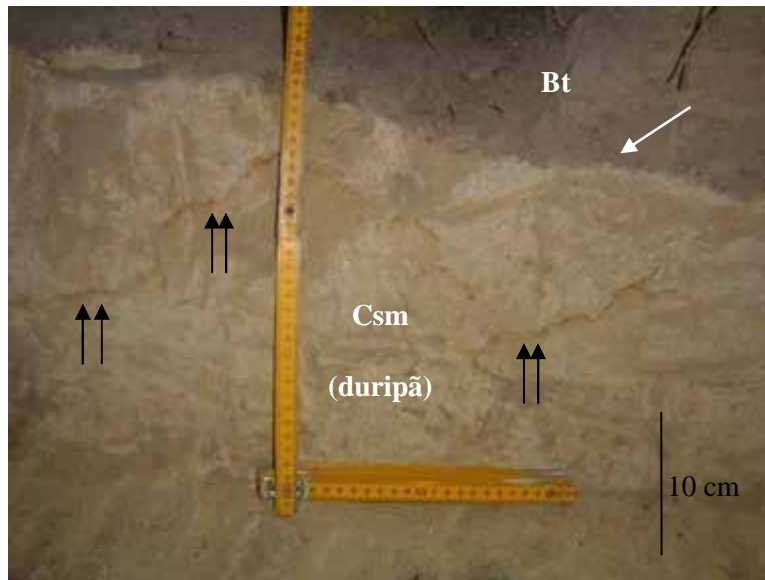
Figura 28 – TR1, TCD. Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico dúrico. Transição abrupta e ondulada e irregular entre o horizonte Bt e Csm. Parede à montante (1), à jusante (2) e lateral (3); limite superior do duripã, Csm (linha tracejada) . Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

Uma matriz maciça-coerente cimentada caracteriza o duripã, apresentando vazios circulares, uniformemente bem distribuídos em grupo, com cavidades de paredes lisas de 1 mm e sem revestimentos visíveis na escala macroscópica. Há o impedimento do enraizamento, que só ocorre nas zonas de fraqueza do material endurecido, bem como a penetração da água.

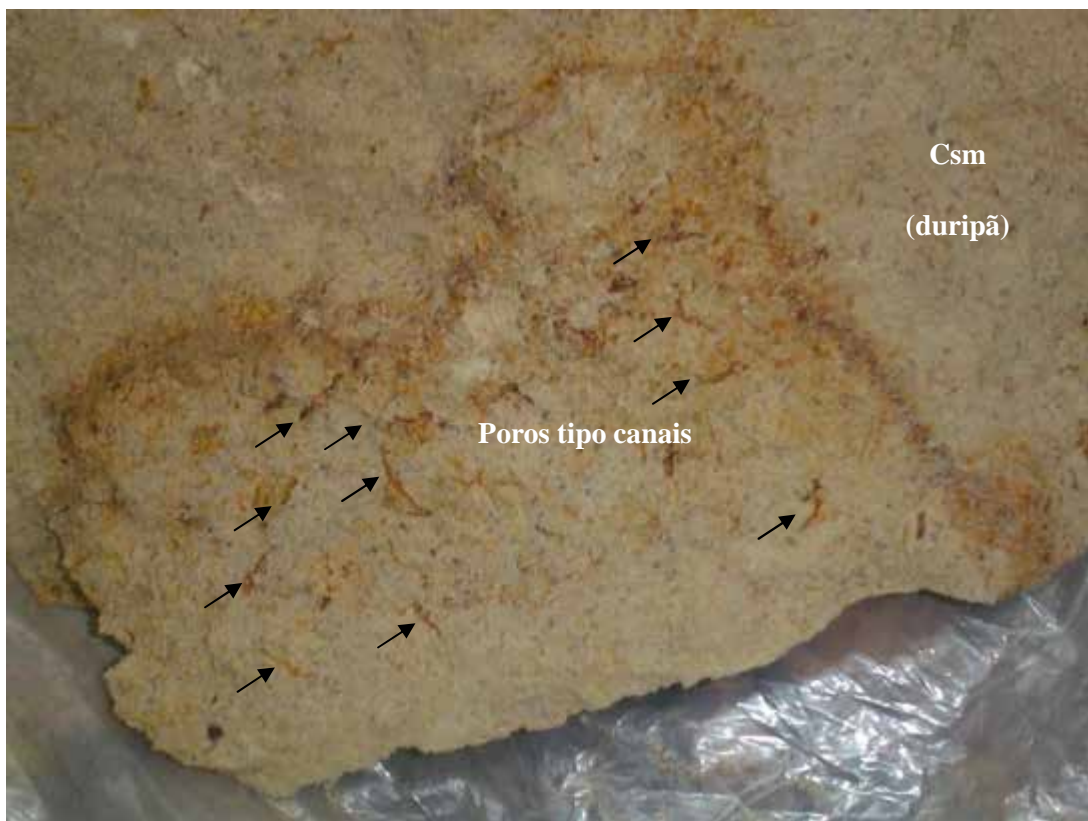
A macividade ocorre em todo o duripã, exceto onde aparecem bandas onduladas, bandas de segregação de óxido de ferro, semelhante à segregação plácica. Essas bandas se concentram em 0,5 cm de espessura, projetando-se lateralmente até cerca de 20 cm (Figura 29), eminentes e bem distribuídas desde o topo do duripã, a 50 cm de profundidade, até as profundidades de 180 cm, nas cores características dos óxidos de ferro, 7,5YR 5/8 (bruno-forte), 5YR 4/6 (vermelha-amarelada) e 2,5Y 7/8 (amarela), estas mais escuras do que a matriz do duripã amarelo-claro-acinzentado.

Microondulações menores que 1 cm ocorrem em toda a extensão da banda ondulada. Enquanto morfológicamente na periferia superior da faixa estreita da banda ondulada escurecida há um limite nitidamente perceptível, abrupto, na periferia inferior a fase avermelhada invade por cerca de 5 cm as partes claras do duripã, em uma passagem gradual com diminuição gradativa das cores fortes, concomitantes a poros conectados em canais de paredes lisas e vazios tubulares, encontrados em maior expressão abaixo da banda (Figura 29). Bandas concêntricas de cerca de 20 cm também caracterizam duripã, onde a progressão de cores é de mais de 10 cm da banda para o centro (Figura 30), expressando maior cristalinidade dos óxidos pela maior aeração do material do duripã.

As bandas onduladas, relativamente contínuas dentro do duripã, passam a descontínuas e quebradiças (Figura 31). Nesses locais, geram-se materiais inconsolidados, segmentando o duripã em blocos cimentados (matações, calhaus, cascalhos), indicando instabilidade do duripã nas condições ambientais atuais, sugerindo sua condição fóssil. A alteração das bandas é, inicialmente, a responsável pela transição ondulada e irregular do duripã. Nas segmentações, os blocos decimétricos configuram um conjunto de matações de 20 a 30 cm (Figura 31), mesmos intervalos das ondulações das bandas. Na zona de preenchimento, os calhaus apresentaram tamanhos preferencialmente de 8 cm e de 2 a 3 cm.



(a)



(b)

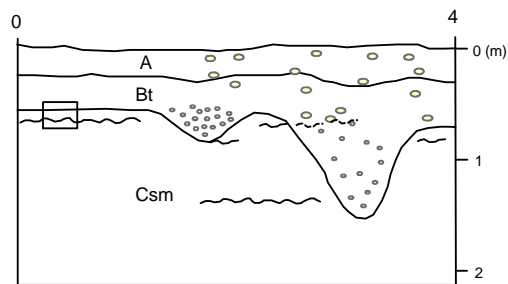
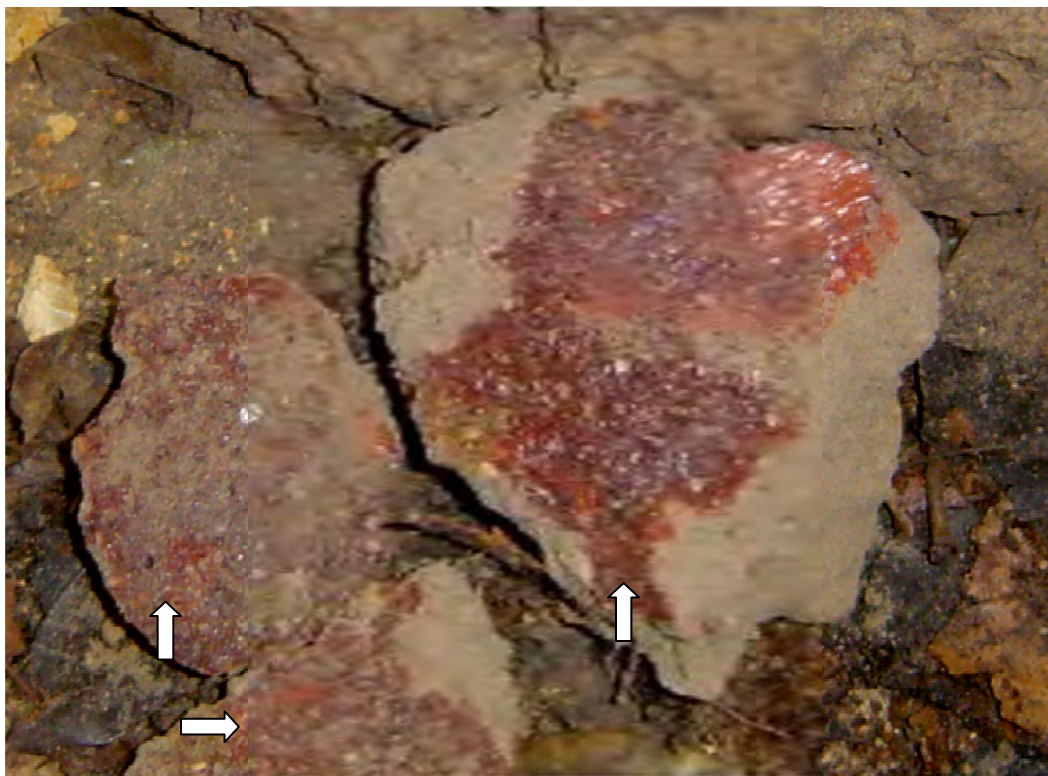


Figura 29 – TR1, TCD. Transição abrupta entre o duripã (Csm) e o horizonte Bt (seta branca) e banda ondulada de segregação de óxido de ferro (seta dupla) dentro do duripã (a); detalhamento da banda ondulada com poros do tipo canais (seta) dispersos, abaixo da banda ondulada (b). Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.



(a)



(b)

Figura 30 – Banda ondulada concêntrica (seta dupla) de 10 cm e poros tipo canais (seta) dentro do duripã (a); bloco de concreção ferruginosa decimétrico vermelho de reoxidação (seta larga branca), com 10 cm de diâmetro, a 60 cm de profundidade, em condições específicas pontuais, e raras neste pedoambiente dos Argissolos Acinzentados (b); Topossequência TCD (TR1). Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

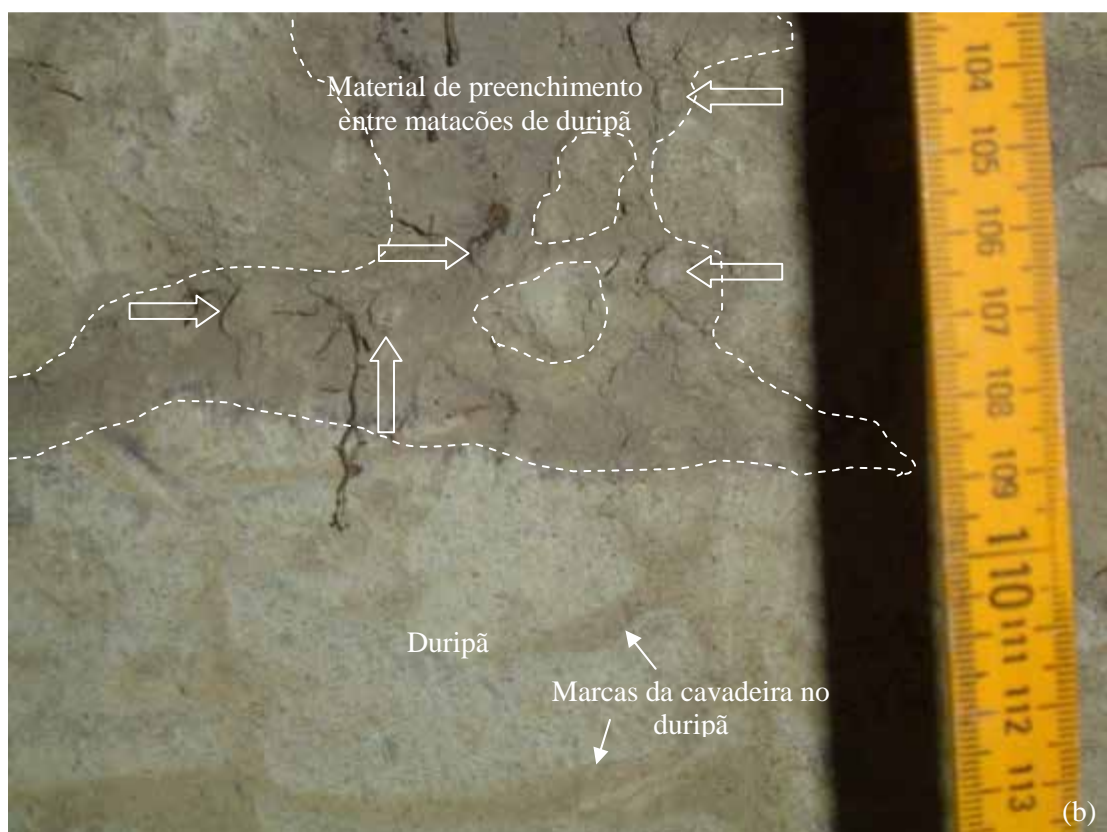
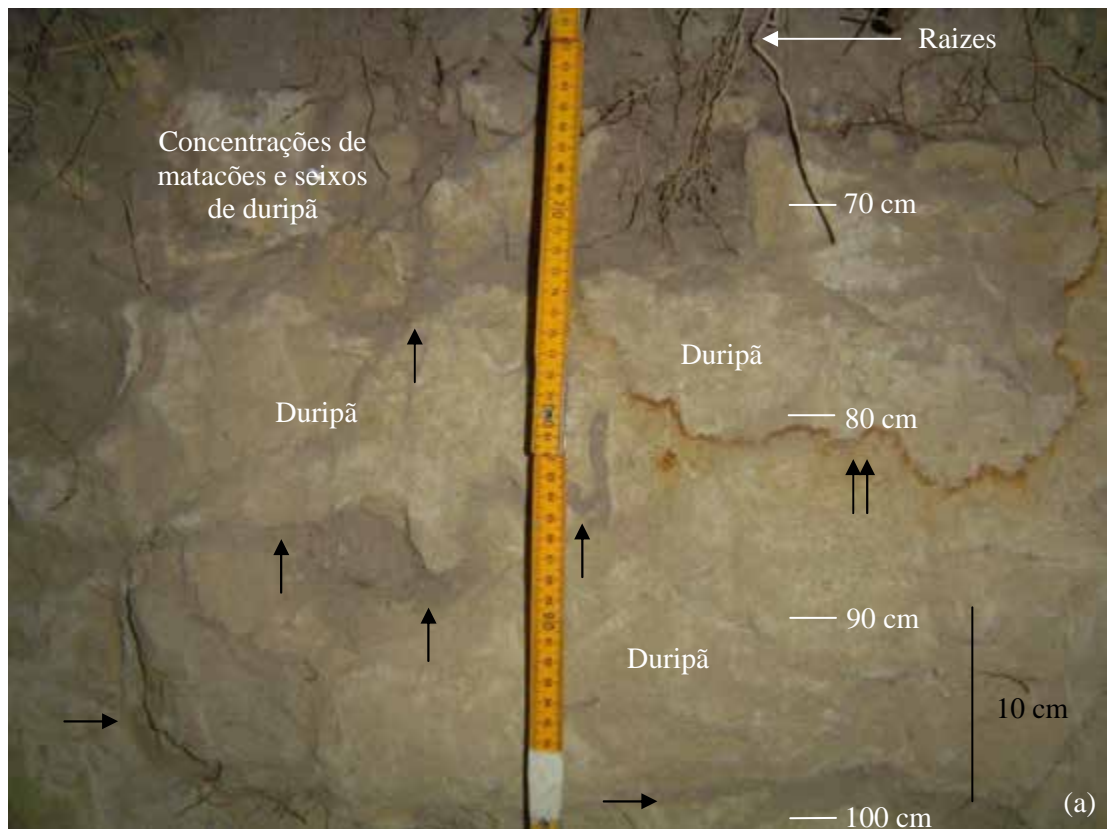


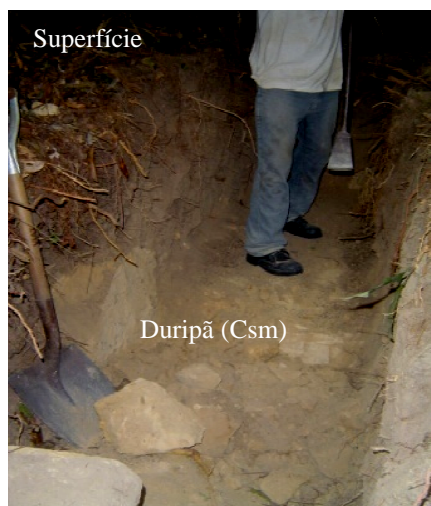
Figura 31 – Banda ondulada dentro do duripã (seta dupla) e continuidade lateral da banda ondulada em alteração, passando de material fortemente cimentado a material inconsolidado (seta única), e raízes entre matações (a); detalhamento da banda alterada, com calhaus (seta branca grande) e material inconsolidado (b). TR1, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

Guardando semelhança morfológica com o duripã alterado, dentro do horizonte A do solo concentram-se calhaus de até 10 cm e no horizonte Bt1, calhaus de 2 e 3 cm amarelados e de 5 cm de diâmetro bruno-avermelhado-escuro, extremamente duro e com córtex cinza 2,5Y 5/1, duro, revelando um pedoambiente de hidromorfismo temporário. Nas porções mais profundas, o material de preenchimento apresenta cores mais claras, o que ocorre após a alteração das bandas (Figura 31) em local de drenagem menos favorecida, como evidência de hidromorfismo mais acentuado.

Essas diferenças imprimem ao perfil duas fases, uma de pedoambiente de drenagem um pouco maior, fase de hidromorfismo temporário, menos profunda no perfil vertical e nos locais de maior espessura do material de preenchimento, e outra de pedoambiente mais úmido, fase de hidromorfismo mais intenso, mais profundo no perfil ou nos locais de menor espessura do material de preenchimento.

Nos Argissolos Acinzentados Distrocosos abrupáticos dúricos na topossequência TCD, os materiais de preenchimento caracterizados pelos materiais inconsolidados menos espessos, cinzento-brunado-claro 2,5Y 6/2, e material mais fino microagregado também sugerem processos de hidromorfismo temporário. Nos materiais de preenchimento mais espessos as cores foram similares ao horizonte B textural.

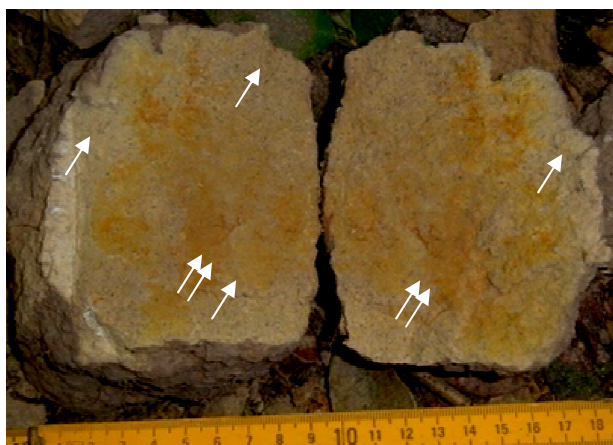
Os blocos de matações apresentam faces horizontalizadas placóides, sendo as faces maiores entre 20 e 30 cm e as menores entre 10 a 15 cm (Figura 32 a; Figura 32 b). Os matações possuem manchas amarelas pouco densas no centro e periferia bruno-amarelada (Figura 32 c), manchas muito densas bruno-forte no centro e periferia bruno-amarelada (Figura 32 d), blocos bruno-oliváceo e bruno com poros em canais de 1 mm de diâmetro (Figura 32 e) e blocos indentados rugosos, aparentemente correspondentes à morfologia das bandas onduladas, formando pequenos festonamentos de cerca de 1cm de altura e 1 cm de largura, com córtex avermelhado e canais internos (Figura 32 f), e que podem ter relação com a alteração do próprio bloco, a partir da oxidação de suas bordas expostas. Outros blocos apresentam manchas bruno-amarelada-clara 2,5Y6/4 e 2,5Y6/3, relativamente menos resistente ao impacto do martelo.



a) Nível superior dos blocos do horizonte Csm próximo à superfície.



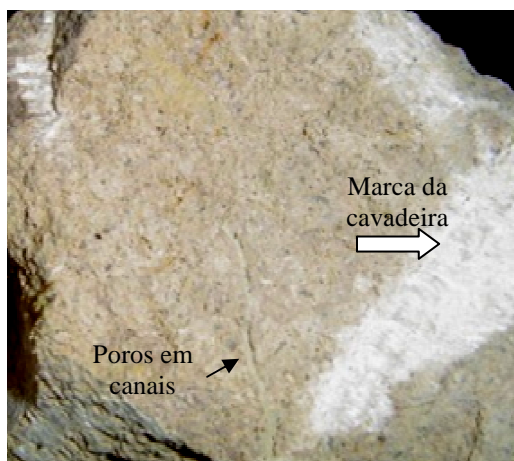
b) Bloco decimétrico horizontalizado de duripã (face maior voltada para cima).



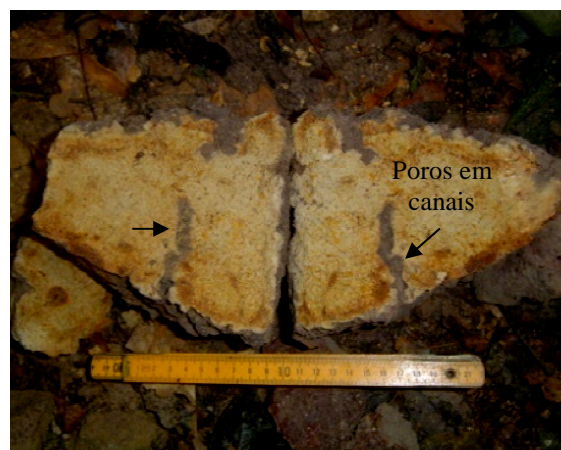
c) Bloco cortado com manchas amarelas decimétricas no centro (seta dupla) e periferia bruno-amarelada (seta).



d) Bloco cortado bruno-forte (seta dupla) no centro e periferia bruno-amarelada (seta).



e) Bloco cortado bruno-oliváceo e bruno. Poros em canais de 1 mm de diâmetro.



f) Bloco cortado ao meio, indentado. CórTEX avermelhado e canais com material inconsolidado.

Figura 32 – Blocos cimentados de duripã em alteração. TR1, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

Canais de diâmetros maiores no interior de blocos de matacões amarelo-claro-acinzentados ligados à cavidade de parede lisa com córtex ferruginoso são esparsos, onde as maiores segregações de ferro ocorrem gradualmente para fora da cavidade, com preenchimento de material alterado e vazio interno (Figura 33). Cavidades sem conexão, com córtex avermelhado, se formam internamente (Figura 34), esses nas porções menos profundas do perfil vertical, em local de maior drenagem entre blocos. Internamente nos duripãs, as cavidades e os poros em canais, contribuem para a alteração interna do duripã.

A 180 cm na TR1 da topossequência TCD, os blocos tendem a desaparecer e o material passa preferencialmente a amarelo-claro-acinzentado 2,5YR 8/4, mas com algumas manchas 2,5Y 5/2 bruno-acinzentado. Na trincheira TR1 o duripã se prolonga até 4,0 m de profundidade, quando é substituído pelo horizonte Cg extremamente resistente à penetração pelo trado, e, logo abaixo, ocorre o lençol freático. Na trincheira TR4 (Figura 26), os matacões de duripã iniciam-se a 30 cm da superfície, extremamente duros, decimétricos, dispostos horizontalmente e com marcas das bandas. As marcas no topo dos matacões são descontínuas entre os blocos contíguos, intercaladas ao material do horizonte Bt (Figura 35), indicando herança do duripã.

O tamanho dos fragmentos provenientes do duripã é relevante nos processos de alteração. Os calhaus esparsos no horizonte Bt podem apresentar córtex de maior oxidação, bruno-forte (Figura 36), mas produto da alteração do próprio calhaus, permitindo posterior redução e migração do ferro.

As sequências tanto na trincheira TR1 quanto na trincheira TR4 dos Argissolos Acinzentados Distrocoesos abrupáticos dúricos sugerem associação genética entre o horizonte B textural e o duripã, a partir da alteração das bandas onduladas e dos blocos do duripã em ambiente de hidromorfismo temporário.

A montante do local da trincheira TR4 da topossequência TCD, o duripã desaparece no perfil vertical, e o solo passa a Argissolo Acinzentado Distrocoeso típico (Figura 26). Os blocos deixam de existir, e são substituídos pelos horizontes Bt1 bruno 10YR 5/3. A similaridade em estrutura, coesão, cor, textura e consistência no Bt1 dos perfis da TR1, TR4, TR3, TR2 e TR5, sugere um recuo dos locais de alteração do duripã, em detrimento dos Argissolos Acinzentados.



Figura 33 – Matacão de duripã, cortado, amarelo-claro acinzentado, com cavidade de parede interna abrupta e lisa, amarela, seguida externamente de cores vermelhas, gradualmente, configurando córtex de segregação de ferro para fora da cavidade (seta dupla) e canal (seta), com material inconsolidado por dentro. TR1, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.



Figura 34 – Matacão de duripã amarelo cortado ao meio, alterado, indentado e com cavidade circular de parede lisa (seta) em córtex de segregação de ferro, demonstrando processo de depleção, e material inconsolidado por dentro da cavidade. TR1, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

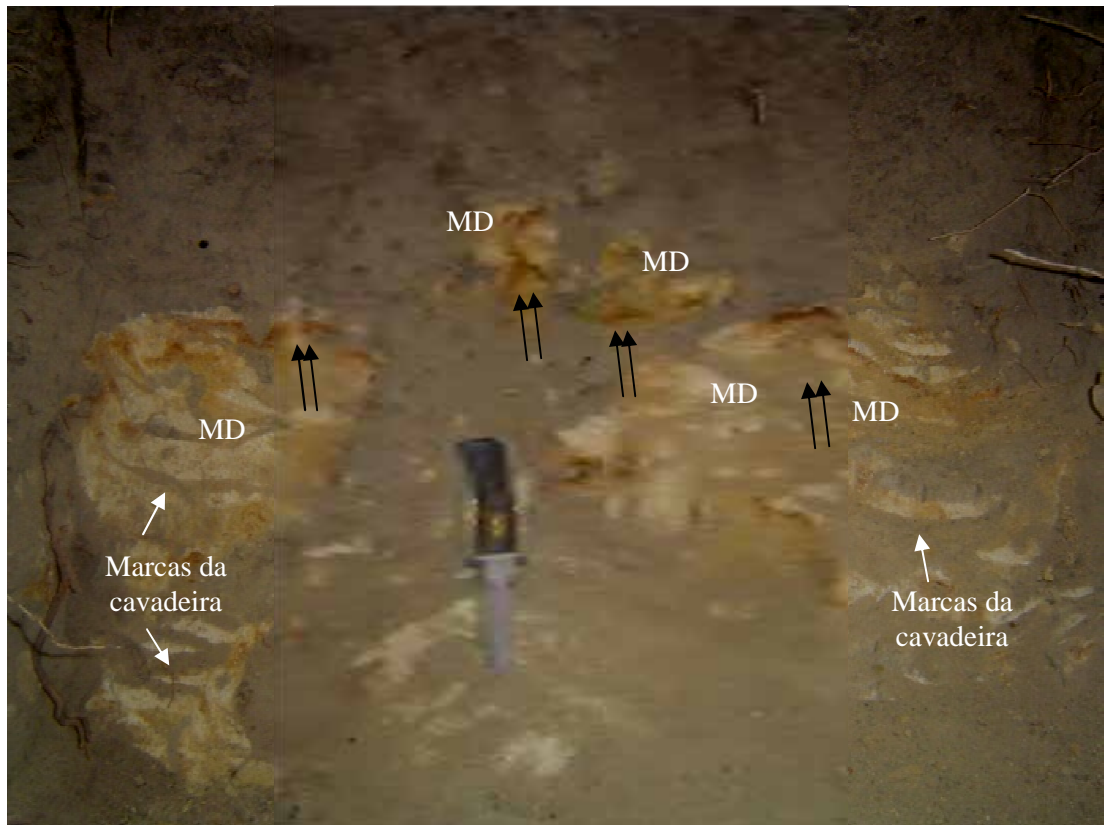


Figura 35 – Bandas onduladas bruno-forte, descontínuas (seta dupla), nos blocos de matacão de duripã (MD), contíguos. Parte lateral dos blocos sem as bandas. TR4, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.



Figura 36 – Horizonte A seguido de horizonte Bt coeso do Argissolo Acinzentado Distrocóeso abrupto dúrico. Enraizamento esparso. Calhaus alterados do duripã (seta). TR4, TCD. Depressão do Cupido, Reserva Biológica de Sooretama, município de Sooretama-ES.

O contato lateral entre o duripã (TR4) e o horizonte Bt1 e o topo do horizonte Cf (TR3) é marcado pela linha de concentração de calhaus de 5 a 7 cm de diâmetro alterados a extremamente alterados, internamente amarelos 10YR 7/8 a amarelo-avermelhados 7,5YR 7/8, e na periferia vermelho-escuros 10R3/6 e vermelho 10R 4/6, vermelho-amarelados 5YR 5/8 e amarelo-avermelhados 7,5YR 6/8, distribuídos de forma descontínua. Esses calhaus apresentam contornos abruptos com a matriz bruna do horizonte Bt1 e com a matriz amarelo-claro-acinzentada do horizonte Cf (Figura 37), horizontes dependentes da instabilidade do duripã.

Com o desaparecimento do duripã no perfil lateral, ocorre o desenvolvimento, além do horizonte Bt1, também do horizonte Bt2 bruno-claro-acinzentado 10YR 6/3 (Figura 38). Esses horizontes apresentam contornos paralelos à superfície da vertente de 9° de inclinação, bem como o limite superior do horizonte Cf. Entre o horizonte Cf e o horizonte Cg a transição é plana e nivelada com a base do duripã a jusante (Figura 26).

O horizonte Cf apresenta cores cada vez mais claras, quanto mais próximo do duripã, sobretudo dentro da frente de umedecimento (TR3). Fora da frente de umedecimento (S37, TR2 e TR5), as manchas amarelas 2,5Y 7/6 se sobressaem em relação às manchas amarelo-claro-acinzentadas 2,5Y 7/3 (Figura 39), seguido de maior segregação de ferro dos mosqueados (em pouco volume, pequenos, distintos, amarelo-avermelhados 7,5YR 6/8 e amarelo-brunados 10YR 6/8). No ambiente de hidromorfismo mais intenso (frente de umedecimento), há no horizonte Cf predomínio das manchas amarelo-claro-acinzentadas 2,5Y 7/3 em detrimento das manchas amarelo 2,5Y 7/6, e aparecimento de manchas cinzento-claras (Tabela 1), raramente ocorrendo manchas que ultrapassam 20 cm. Além das cores similares, a porosidade (1 mm) do horizonte Cf coincide com aquela observada no duripã, o que pode refletir uma relação genética entre esses horizontes.

Como nas demais topossequências, abaixo do horizonte Cf está o horizonte Cg, cinzento-claro e branco, onde uma cimentação fraca no topo deste horizonte (TR3) é constada, nos locais a cerca de 1 m acima do lençol freático, na franja capilar, indicando uma cimentação ativa fraca.