



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA**



**RELAÇÃO SOLO-RELEVO PARA COMPREENSÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE/RN**

**DISCENTE: CLEANTO CARLOS LIMA DA SILVA
ORIENTADOR: PROF. DR. ERMINIO FERNANDES**

**NATAL/RN
MAIO - 2017**

CLEANTO CARLOS LIMA DA SILVA

**RELAÇÃO SOLO-RELEVO PARA COMPREENSÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE/RN**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia do Centro de Ciências Humanas Letras e Artes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, com vistas à realização do Exame de Defesa, sob orientação do Prof. Dr. Erminio Fernandes.

**NATAL/RN
MAIO – 2017**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes -
CCHLA

Silva, Cleanto Carlos Lima da.

Relação solo-relevo para compreensão dos processos erosivos da
bacia hidrográfica do Rio Doce/RN / Cleanto Carlos Lima da
Silva. - 2017.

99f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do
Norte. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Programa de
Pós-graduação em Geografia. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Erminio Fernandes.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Rio Doce (Rio Grande do Norte). 3.
Erosão. 4. Toposequência. I. Fernandes, Erminio. II. Título.

RN/UF/BS-CCHLA

CDU 551.432.46(813.2)

Cleanto Carlos Lima da Silva

**RELAÇÃO SOLO-RELEVO PARA COMPREENSÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE/RN**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia do Centro de Ciências Humanas Letras e Artes da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito final para obtenção do título de mestre em Geografia.

Aprovado em: ___/___/___

Prof. Dr. Erminio Fernandes
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Orientador

Prof. Dr. Luiz Antonio Cestaro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Membro interno

Prof. Dr. Rafael Albuquerque Xavier
Universidade Estadual da Paraíba
Membro externo

AGRADECIMENTOS

Foram dois anos de pesquisa e de muita luta, de muito sofrimento e muitas alegrias, porém esses sofrimentos foram diminuídos e as alegrias foram ampliadas graças as pessoas que Deus colocou a minha volta e que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho. Primeiramente agradeço à Deus pelo dom da vida e por ter colocados pessoas maravilhosas no meu caminho.

Agradeço a minha esposa Fernanda e meu filho João Gabriel para compreensão nos momentos de estresse e pelo amor doado que transformei em força para realização deste trabalho. Agradeço aos meus pais Antonio e Cleania e ao meu irmão Cleilton por sempre me apoiarem de todas as formas possíveis, sendo financeiramente ou com palavras de conforto, assim como meu sogro Jonas e minha sogra Enilda, que me acolheram como um filho. Essas pessoas foram à base de apoio em toda a minha graduação e mestrado, me possibilitando chegar aonde cheguei na minha vida acadêmica.

Agradeço aos meus amigos da UFRN que estão comigo desde sempre, me ajudando tanto nos campos como nas análises laboratoriais, e até nos momentos de angústia, mostrando que são companheiros em quaisquer momentos: Eduardo, Leandro, Nelson, Diogo, Moacir, Camilo, Jocilene, Thereza, Luiza, Isailma, Elizabete, Ivaniza e Joyce Clara. Esta última participou de todo o processo da dissertação, sendo amiga, orientadora, motorista, assistente de campo, psicóloga, etc.

Agradeço ao meu querido orientador Professor Doutor Erminio Fernandes, o qual me ensinou muito ao longo da minha vida acadêmica. Agradeço também aos professores doutores Zuleide, Celso, Cestaro, Lutiane, Adriano e Paulo, que através dos conselhos no departamento ou nas disciplinas oferecidas, contribuíram bastante para a realização desta pesquisa. Agradeço ao Professor Doutor Rafael Xavier, que me incentivou a entrar no curso de geografia e que contribuiu com os seus conhecimentos para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço ao secretário André do PPGE pelas dúvidas tiradas em todo o mestrado.

Em fim, agradeço todos que contribuíram de alguma forma para a realização desta pesquisa.

A todos muitíssimo obrigado!

RESUMO

A bacia hidrográfica do Rio Doce é uma das mais importantes bacias por abastecer uma parcela significativa da população da Região Metropolitana de Natal. Nos últimos anos, a bacia hidrográfica do Rio Doce vem sofrendo com a interferência do processo de urbanização, através do forte crescimento imobiliário na Zona Norte de Natal e, principalmente, no município de Extremoz e de São Gonçalo do Amarante. A expansão do distrito industrial de Extremoz acarreta usos inadequados do solo, o que contribui ainda mais para o desenvolvimento de processos de erosão em determinadas áreas dentro da bacia. Já nas áreas rurais da bacia a presença significativa de propriedades agropecuárias de pequeno a médio porte deixa o terreno exposto às condições de erosividade das chuvas. Essas intervenções contribuem para a aceleração dos processos erosivos que acabam influenciando o sistema pedológico que, conseqüentemente, também afetará as condições hídricas da bacia do Rio Doce. Essa pesquisa tem a finalidade de caracterizar a organização tridimensional da cobertura pedológica presente na bacia hidrográfica do Rio Doce, bem como sua relação com os processos erosivos da área. Como principal fator para análise dos processos erosivos, esse estudo aborda a relação entre o relevo e o solo, partindo da ideia de que o relevo influencia no desenvolvimento do solo e este na evolução do relevo. Para realização dessa pesquisa, utilizamos os pressupostos teóricos-metodológicos de Ab'Sáber (1969) e Ross (1990) para a compartimentação da bacia em unidades naturais e Ruellan & Queiroz Neto (1985) e Boulet (1993) para a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica. Foram mapeadas três unidades naturais, nas quais foram realizadas as topossequências para a identificação das principais características dos solos de cada unidade. Foi verificado que os solos nas três unidades apresentam grande suscetibilidade à erosão, principalmente nas vertentes próximas aos leitos dos rios Mudo, Guajiru e Doce. As análises das amostras de solo identificaram solos muito semelhantes, em relação à composição granulométrica, nas três unidades naturais, mostrando que o que diferenciam o potencial de erodibilidade dos solos são as formas de uso e ocupação.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; Rio Doce; erosão; topossequência.

ABSTRACT

Rio Doce's river basin area is one of the most important basins for supplying a significant portion of the population of the Metropolitan Region of Natal. In recent years, the Rio Doce river basin has been suffering from the interference of the urbanization process, through strong real estate growth in the Northern Zone of Natal and mainly in the municipal area of Extremoz and São Gonçalo do Amarante. The expansion of the Extremoz industrial district leads to inadequate land use, which further contributes to the development of erosion processes in certain areas inside the basin. On the other hand, in the rural areas of the basin the significant presence of small and medium-sized farming properties leaves the terrain exposed to the conditions of rainfall erosivity. These interventions contribute to the acceleration of the erosive processes that end up influencing the pedological system that, consequently, will also affect the water conditions of the Rio Doce basin. This research has the purpose of characterizing the three - dimensional organization of the pedological cover present in the river basin of the Rio Doce, as well as its relation with the erosive processes of the area. As a main factor for the analysis of erosive processes, this study approaches the relation between the relief and the soil, starting from the idea that the relief influences in the development of the soil and the soil in the evolution of the relief. In order to make this research, we used the theoretical-methodological assumptions of Ab'Sáber (1969) and Ross (1990) for the compartmentalization of the basin in natural units and Ruellan & Queiroz Neto (1985) and Boulet (1993) for Structural Analysis of Pedological Coverage. Three natural units were mapped, in which toposequences were done to identify the main soil characteristics of each unit. It was verified that the soils in the three units present great susceptibility to erosion, especially in the slopes near the Mudo, Guajiru and Doce river beds.

Key words: hydrographic basin; River Doce; erosion; toposequence.

LISTA DE MAPAS

MAPA 01 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.....	14
MAPA 02 – Classificação da declividade da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM	47
MAPA 03 – Classificação hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM	49
MAPA 04 – Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Unidades Naturais	53
MAPA 05 – Classificação das formas de vertentes da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM	65
MAPA 06 – Bacia hidrográfica do Rio Doce: Fenômenos erosivos sobre vertentes divergentes	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Bacia hidrográfica: sistema integrado aberto	21
FIGURA 02 – Os três estágios do ciclo de erosão: A – juventude; B – maturidade; e C – senilidade	23
FIGURA 03 – Esquema das principais teorias de evolução das vertentes: A – rebaixamento com atenuação progressiva da inclinação da vertente (Daves); B – retrocesso paralelo com suavização da declividade (Penk); C – retrocesso paralelo mantendo a inclinação dos sucessivos segmentos da vertente (King); D – equilíbrio dinâmico da paisagem – evolução das formas iniciais, com rebaixamento uniforme das superfícies (Hack).	25
FIGURA 04 – Influência do relevo na distribuição desigual da água sobre o terreno.....	29
FIGURA 05 – Esquema teórico-metodológico para o desenvolvimento do projeto.....	30
FIGURA 06 – Representação esquemática das unidades taxonômicas proposta por Ross (1992).....	32
FIGURA 07 – Esquema de mapeamento das unidades naturais da bacia do Rio Doce.....	38
FIGURA 08 – Levantamento do perfil das unidades naturais através do método RTK	39
FIGURA 09 – Método de implantação de tradagem em um estudo de segmento de transeção ..	40
FIGURA 10 – Coleta de amostras com trado (a) e de amostras indeformadas (b)	41
FIGURA 11 – Agitação das partículas do solo na pipeta para a coleta de silte e argila	42
FIGURA 12 – Ensaio de Inderbitzen (ensaio da cadeirinha)	43
FIGURA 13 – Afloramento da Formação Barreiras, no primeiro plano, próximo ao Rio Doce, com as dunas recobrando o Barreiras, segundo plano	55
FIGURA 14 – Solos Neossolos Quartzarênicos (a) formando as dunas vegetadas e os Neossolos Flúvicos (b) na margem do Rio Doce.	56
FIGURA 15 – Afloramento de Granito em área de geologia sedimentar (a) e a pedreira de extração de granito próximo a nascente do Rio Guajiru (b).....	58
FIGURA 16 – Solos hidromórficos da subunidade natural Planície de inundação.....	59
FIGURA 17 – Savana arborizada com solo exposto na unidade natural Tabuleiro Costeiro	60
FIGURA 18 – Afloramento de granito da Suíte Intrusiva Donas Inês no leito do rio Mudo.....	61
FIGURA 19 – Solo exposto da Unidade Natural da Depressão Sertaneja.....	62
FIGURA 20 – Subunidade estrutural plana com a cobertura vegetal Savana-Estépica.....	62
FIGURA 21 – Triângulo textural com a representação das amostras coletadas das topossequências das três unidades naturais.	69
FIGURA 22 – Áreas selecionadas para realização das topossequências nas unidades naturais..	69

FIGURA 23 – Dendograma relativo às análises de agrupamento das tradagens, com base nos valores médios de textura.	70
FIGURA 24 – Topossequência na unidade Faixa Litorânea: coletas de amostras dos furos TDFL 01 (a) e TDFL 03 (b)	71
FIGURA 25 – Perfil gerado pela topossequência na unidade Faixa Litorânea.....	73
FIGURA 26 – Distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDFL 01 e TDFL 02 da topossequência da unidade Faixa Litorânea.	74
FIGURA 27 – Pontos de erosão na área urbana (“a” e “b”) e de atividade agrícola (“c” e “d”) no leito do Rio Doce unidade Faixa Litorânea.....	76
FIGURA 28 – Coleta de solo na unidade Tabuleiro Costeiro: terceiro furo (TDTC 03).....	78
FIGURA 29 – Estruturas angulares e subangulares das amostras dos pontos TDTC 03 (a) e TDTC 04 (b), da unidade Tabuleiro Costeiro.....	78
FIGURA 30 – Perfil gerado pela topossequência na unidade Tabuleiro Costeiro.....	79
FIGURA 31 – Distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDTC 01, TDTC 03 e TDTC 04 da topossequência da unidade Tabuleiro Costeiro.	80
FIGURA 32 – Fenômenos de erosão nas vertentes dos rios Mudo e Guajiru (a e b) e área (c) de pastagens para gado na unidade natural Tabuleiro Costeiro.....	82
FIGURA 33 – Perfil gerado pela topossequência na unidade Depressão Sertaneja.	85
FIGURA 34 – Distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDDS 01, TDDS 03 e TDS 02 da topossequência da unidade Depressão Sertaneja.....	86
FIGURA 35 – Fenômenos de erosão na unidade natural Depressão Sertaneja da bacia do Rio Doce e suas principais ocupação do solo: cascalho arastado pelas águas do Rio Mudo (a), ravinas no solo (b), propriedades de pecuária (c) e áreas agrícolas (d).....	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Unidades Naturais, subunidades e suas características.....	51
TABELA 02 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Faixa Litorânea.....	72
TABELA 03 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Tabuleiro Costeiro.....	81
TABELA 04 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Depressão Sertaneja	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 O PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO	18
2.1 A importância de pensar uma bacia hidrográfica como planejamento.....	19
2.2 Dimensão teórica: geomorfologia e pedologia.....	22
2.2.1 O desenvolvimento do conhecimento geomorfológico	22
2.2.2 O desenvolvimento do conhecimento pedológico.....	26
2.2.3 A relação entre o relevo e solo.....	28
2.3 Dimensão metodológica: o caminho da pesquisa.....	30
2.3.1 Etapa pré-campo: trabalhos de gabinete	35
2.3.2 Etapa campo: trabalhos <i>in lócus</i>	39
2.3.3 Análises de laboratório	41
3 A COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES NATURAIS	45
3.1 Unidades naturais da bacia hidrográfica do Rio Doce	46
3.2 Fenômenos de erosão no solo.....	63
4 EROSÃO HÍDRICA E SUAS INTERFERÊNCIA NA RELAÇÃO SOLO-RELEVO	67
4.1 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Faixa Litorânea	71
4.2 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Tabuleiro Costeiro.....	76
4.3 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Depressão Sertaneja	83
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
6 REFERÊNCIAS	93



1. INTRODUÇÃO

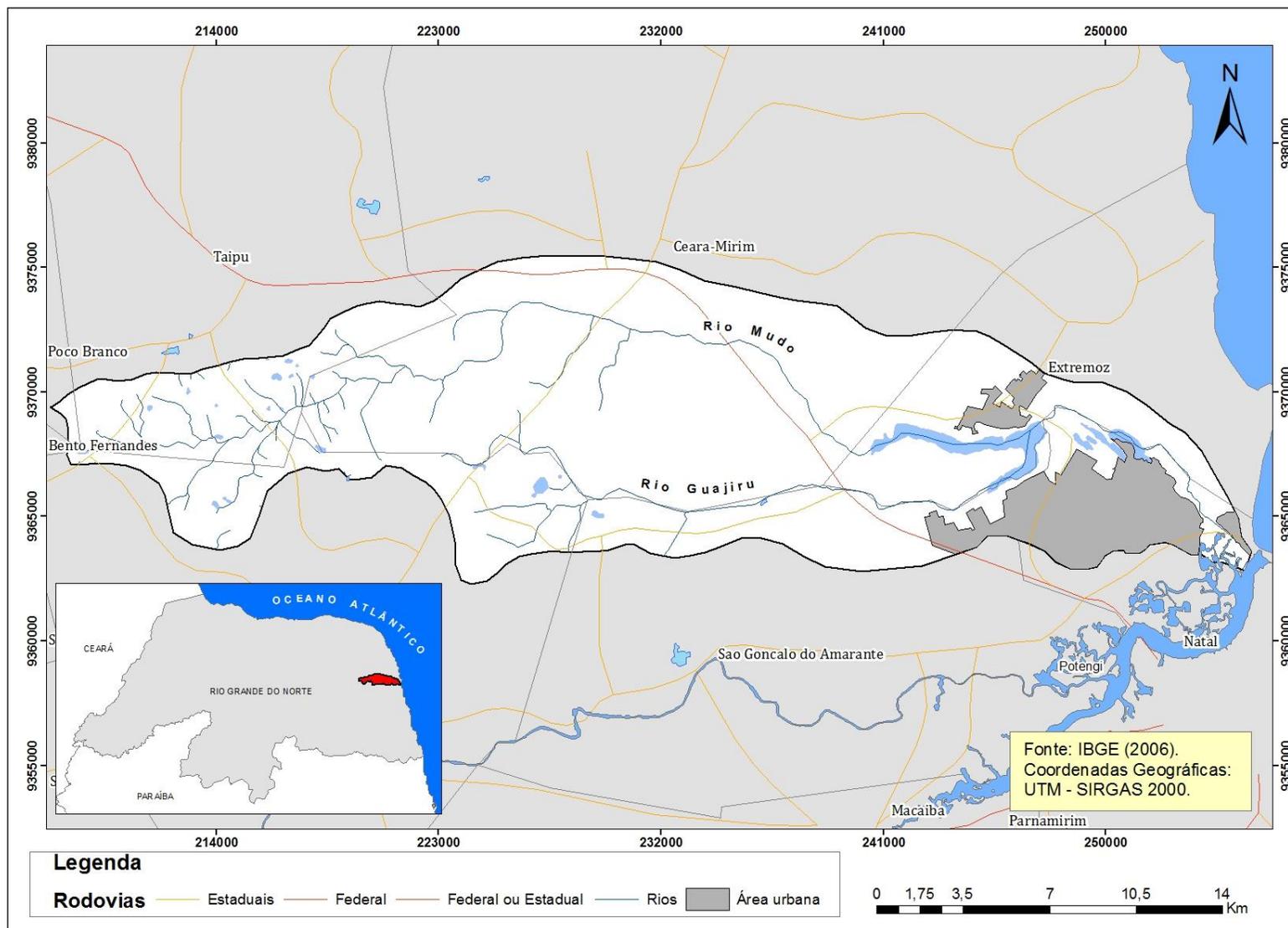
A erosão do solo é um dos problemas ambientais que ganha relevância na atualidade, tendo em vista que afeta tanto a produção de alimentos como também as áreas de vegetação natural. Principalmente nas áreas urbanas a erosão ocorre nos locais com solos mais compactados e/ou em áreas de grandes declividades, onde ocorreram desmatamentos e a ocupação de forma intensa e mal planejada. Já nas áreas rurais os processos erosivos são mais fortes nos locais de atividades agrícolas e pecuárias. Além de ser um fator de degradação da terra, a erosão também compromete o sistema hídrico das bacias hidrográficas, gerando assoreamento dos rios e lagos, problemas de infiltração e, conseqüentemente, de abastecimento.

Sob esse viés, entender como ocorrem os processos erosivos e garantir o uso e a ocupação do solo de forma planejada dentro de uma bacia hidrográfica contribui para uma melhor gestão dos recursos hídricos, possibilitando uma melhora na qualidade de vida para a população dentro da bacia, mas também o desenvolvimento econômico na mesma. Assim, o presente trabalho tem como recorte empírico para análise e discussão dessa problemática a bacia hidrográfica do Rio Doce.

Essa bacia é uma das menores bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Norte, ocupando apenas 0,7% do território estadual, porém é uma das mais importantes por apresentar uma quantidade significativa de população vivendo no interior da bacia e por abastecer os principais municípios da Região Metropolitana de Natal (RMN), como Ceará-Mirim, São Gonçalo do Amarante, Extremoz e a Zona Norte de Natal, a capital do Estado.

A área estudada encontra-se entre os paralelos 05° 45' 49" e 05° 38' 41" de latitude Sul e os meridianos de 35° 38' 33" e 35° 12' 15" de longitude Oeste, abrangendo uma área de aproximadamente 387,8 km². A Bacia do Rio Doce resulta das nascentes dos Rios Guajiru e do Mudo que se interligam a Lagoa de Extremoz e que, por sua vez, dá origem ao Rio Doce, desaguando no estuário do Rio Potengi (Mapa 01). Têm parte dos seus territórios contidos na Bacia do Rio Doce os municípios de Ielmo Marinho, Taipu, Ceará –Mirim, São Gonçalo do Amarante, Extremoz e Natal.

Mapa 01 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

É importante ressaltar que a bacia hidrográfica do Rio Doce tem sua maior extensão no sentido leste/oeste, em torno de 49 Km. Na parte oeste, no curso superior dos rios, a geologia é ígnea e metamórfica, com feições geomorfológicas de Depressão Sertaneja e com médias pluviométricas anuais de 700 mm. Na parte central, o substrato geológico é composto por rochas sedimentares com relevo constituído de tabuleiros e na parte leste se constituem de dunas móveis e fixas, com pluviosidade média anual de 1400 mm (SERHID, 2001; CPRM, 2005a). Portanto, os processos erosivos se diferenciam devido à combinação das características físicas que compõem a área supracitada.

Em se tratando da lagoa de Extremoz, esta ocupa uma área de aproximadamente 4,0 Km² dentro da bacia, sendo considerado um dos mais importantes mananciais por abastecer cerca de 220 mil habitantes da Zona Norte de Natal (JERÔNIMO & SOUZA, 2013). A lagoa, além de ser abastecida pelos rios Mudo e Guajiru, também recebe contribuições das águas do aquífero Barreiras (CASTRO, 2000).

No baixo curso da bacia do Rio Doce, no lado do município de Natal, foi criada a Zona de Proteção Ambiental 9 (ZPA 9), através da política urbana definida pela lei municipal nº 082/2007 (NATAL, 2008), fazendo parte como projeto de organização territorial do Novo Plano Diretor da cidade de Natal, que visa conciliar as atividades urbanas com a preservação dos recursos naturais.

A ZPA 9 apresenta um frágil ecossistema de lagoas e dunas e uma comunidade ribeirinha que desenvolve uma atividade de agricultura familiar importante para o abastecimento de hortaliças do município. No baixo curso também se encontra parte da Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (APAJ), de jurisdição Estadual.

Como definição de sistema pedológico, podemos entendê-lo como um corpo tridimensional que compõe a cobertura pedológica através da sua estrutura e da sua dinâmica. Simplificando, podemos ainda definir o sistema pedológico como um conjunto de horizontes que estão organizados entre si, tanto verticalmente quanto horizontalmente, e que são característicos de um mesmo tipo de dinâmica evolutiva (RUELLAN; DOSSO, 1993).

Desta forma, os solos dentro de uma bacia hidrográfica variam desde o topo da vertente (divisor d'água) até a base da vertente; logo é possível relacionar os diferentes tipos de solo com as diferentes formas de relevo, através das variações topográficas e das diferentes litologias existentes na mesma. Nesse sentido, Zapparoli (2009, p.13) destaca:

A distribuição dos solos na paisagem é controlada em parte, pela rocha sotoposta e pelas condições climáticas que associadas com a declividade definem as características e propriedades morfológicas dos mesmos. Essas

propriedades refletem, em última análise, as irregularidades topográficas do terreno, que aliadas ao tipo de vegetação são as responsáveis pelas alterações da dinâmica hídrica que se manifesta tanto na superfície como em subsuperfície.

Com base em todos os problemas citados anteriormente, associados ainda à falta de conhecimento do conjunto tridimensional da cobertura pedológica e de suas fragilidades, há uma necessidade de aprofundar o entendimento sobre o sistema pedológico contido dentro da bacia do Rio Doce para compreender como se formam processos erosivos da área. Para tanto, este aprofundamento de conhecimento pode ser realizado por meio da relação solo-relevo, através de uma análise de topossequências em conjunto com as análises físicas para compreender a sua dinâmica e organização de suas estruturas.

Diante disso, percebemos que a capacidade de degradação, a diferenciação ao longo da vertente e a capacidade hidrológica do solo devem ser entendidas através do conhecimento do próprio solo por meio dos seus atributos diagnósticos (porosidade, permeabilidade, consistência, cor, estrutura, textura, etc.) e também pela ação dos agentes exógenos e condições de relevo.

Logo, em meio a este contexto, buscamos responder através desse trabalho a algumas indagações relacionadas à Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Um primeiro questionamento busca compreender como se dá o desenvolvimento tridimensional da cobertura pedológica da bacia hidrográfica do Rio Doce e qual a sua relação com os processos erosivos da área.

Para ajudar a responder este questionamento central, é preciso compreender como as características geológicas, hidrológicas e, principalmente, geomorfológicas contribuem para a evolução do solo. Todavia, ainda é necessário investigar: quais são as características dos solos que cobrem a superfície da bacia hidrográfica do Rio Doce? Como se dá a interação dos sistemas pedológico/geomorfológico na bacia do Rio Doce? E qual a relação entre os atributos pedológicos e os processos erosivos na bacia?

Diante desta problemática, como conhecimento prévio, entendemos que os processos erosivos presentes na Bacia do Rio Doce são resultado de uma combinação de fatores climáticos, topográficos e antrópicos que influenciam na relação relevo/solo. Acreditamos também que a morfogênese se desenvolve influenciada pelo tipo de solo, assim como, o relevo contribui para o desenvolvimento da pedogênese, através dos processos erosivos encontrados nas vertentes da bacia.

Dentre as contribuições relevantes para a área de pesquisa, vale destacar o trabalho de Castro (2000) que analisa a qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Doce,

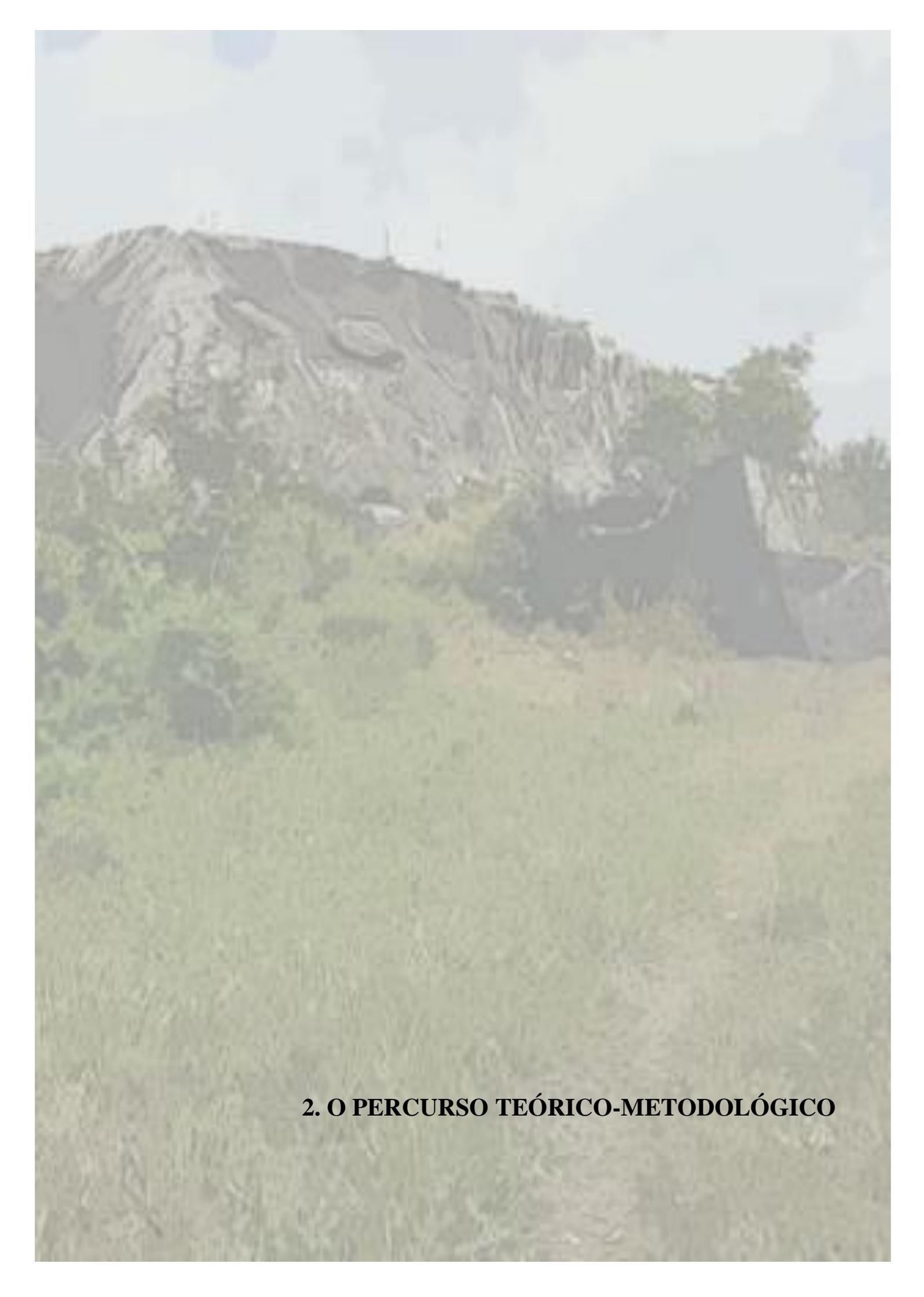
abordando dados importantes sobre a hidrogeologia da bacia e sobre o uso e ocupação e sua interferência nos aspectos hidrológicos da área. Outro trabalho de destaque sobre o recorte empírico desta pesquisa é a dissertação de Américo (2006), que explica a relação de degradação na região do Rio Doce com os processos socioambientais.

Para dar conta da totalidade do problema, temos como objetivo geral da pesquisa caracterizar a organização tridimensional da cobertura pedológica presente na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, bem como sua relação com os processos erosivos.

Para a realização do objetivo principal foram elaborados passos estratégicos – objetivos específicos, para que, somados e relacionados, conclua a proposta deste trabalho. Como objetivos específicos, temos:

- ✓ Caracterizar os principais atributos físicos existentes na bacia hidrográfica do Rio Doce, tais como, a geologia, o clima, a vegetação e a hidrografia, relacionando-os para gerar as unidades naturais da bacia do Rio Doce.
- ✓ Realizar a compartimentação geomorfológica para a orientação dos levantamentos da topossequências pedológicas;
- ✓ Caracterizar os principais sistemas pedológicos das unidades naturais que compõem a bacia do Rio Doce;
- ✓ Entender a contribuição da relação solo/relevo em cada unidade natural da bacia hidrográfica do Rio Doce para explicar a ocorrência dos processos erosivos;

Desse modo, nos capítulos seguintes, demonstraremos os procedimentos teórico-metodológicos que foram desenvolvidos para atingir os objetivos.



2. O PERCURSO TEÓRICO-METODOLÓGICO

O presente capítulo irá fornecer elementos teóricos e metodológicos para uma melhor compreensão dos conceitos abordados e da realidade a ser investigada nesta pesquisa. Dessa maneira, discutir-se-á em um primeiro plano, a dimensão teórica que permeia os principais referenciais teóricos da pesquisa e a sua importância de pensar uma Bacia Hidrográfica como uma unidade de planejamento, em busca de uma análise totalizante.

Em seguida, apresentar-se-á a dimensão metodológica da investigação que compreende a operacionalização dos dados a serem pesquisados e coletados, dos documentos cartográficos a serem apresentados e das características da área de estudo analisada, o que dará subsídio para concretizar os objetivos propostos.

2.1 A importância de pensar uma bacia hidrográfica como unidade espacial de planejamento

O desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), publicada em 1948, por Ludwig Von Bertalanffy, possibilitou na ciência geográfica maiores avanços científicos, dando um caráter mais teórico e metodológico para a ciência. Segundo Christofolletti (1980), a ideia de sistemas foi inicialmente inserida na Geomorfologia pelos trabalhos de Arthur N. Strahler (1950; 1952) e ampliada em várias bibliografias. Como sistema, pode ser definido um “conjunto de elementos e das relações entre si e entre seus atributos” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 01).

A abordagem sistêmica foi amplamente difundida nas várias ciências sociais e da natureza, possibilitando, principalmente, o tratamento integrado dos estudos dos fenômenos naturais. Diante disso, vários trabalhos sobre o meio ambiente, planejamento e ordenamento territorial levam em consideração o conhecimento multidisciplinar, partindo da ideia que as somas das partes podem contribuir para o entendimento do problema (do todo). Porém, vale salientar que, para a TGS, o todo é sempre maior que a soma das partes, logo a propriedade do todo não pode ser reduzida à soma das propriedades das partes, mas sim da relação entre elas, o que torna o sistema complexo.

Nesta perspectiva, para se compreender a relação de todos os elementos físicos que compõem determinada porção do espaço geográfico, é necessária a delimitação de unidades no meio ambiente (sistemas). Desta forma, a utilização de uma bacia hidrográfica como uma unidade espacial é amplamente utilizada quando se refere unidades de estudos e de planejamento no Brasil, pois se trata de uma área delimitada pelo relevo, onde seus elementos e seus atributos físicos (solo, relevo, geologia, etc.) interagem entre si.

Botelho e Silva (2010) entendem como bacia hidrográfica uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitadas pelo divisores de água (relevo). Porém Tucci (2001), com uma definição anterior, tem uma visão mais sistêmica conceituando bacia como extensão territorial com seus componentes: solo, vegetação, clima e a topografia que regulam a saída de água através do leito de um rio no fundo de um vale.

Chorley *et al.* (1984, *apud* RODRIGUES, 2003), consideram a bacia hidrográfica como unidade ou sistema geomorfológico, que resulta da interação entre processos e formas, compondo uma paisagem complexa. Compõe-se de água, encostas, drenagens e do rio principal.

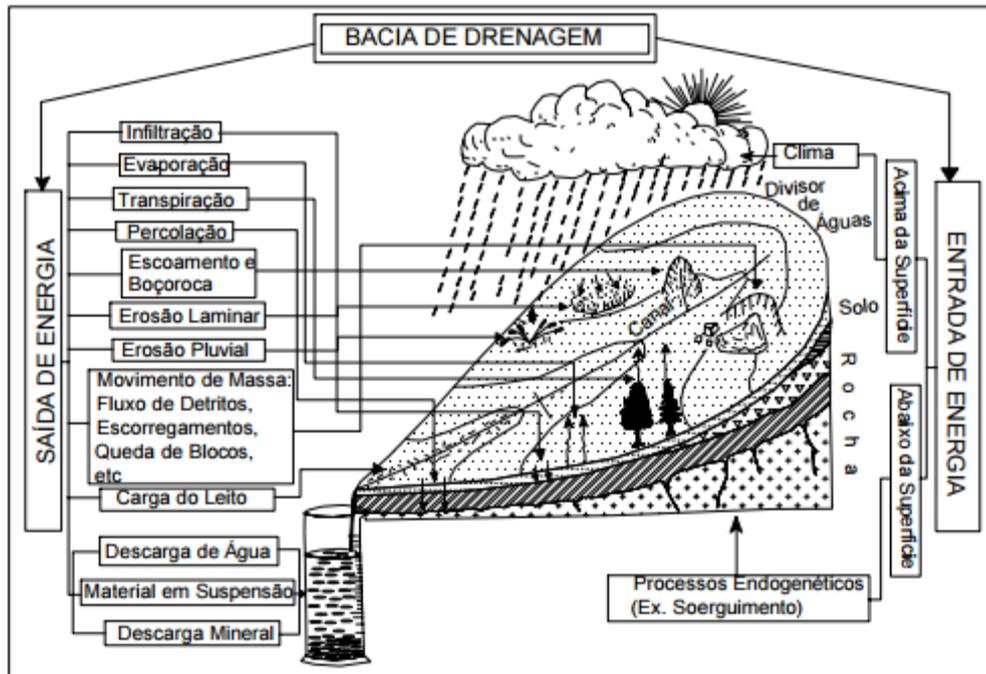
Segundo o IBGE (1994, *apud* TRETIN, 2007), a bacia hidrográfica é uma unidade ideal para planejamento integrado dos recursos naturais e pode ser definida como uma área fisiográfica drenada por um curso de água e que converge direta ou indiretamente para um leito ou para um espelho d'água.

A bacia também deve ser compreendida considerando os elementos urbanos que ela contém, como as indústrias, as comunidades, as ruas asfaltadas e os lixões, por exemplo. Logo, também se pode definir bacia hidrográfica como, o “palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural” (YASSUDA, 1993, p. 08).

Mediante o exposto, fica evidente que o conceito de bacia hidrográfica está associado à noção de sistema, pois qualquer evento que ocorra em um dos seus componentes (elementos), sendo de origem antrópica ou natural, vai interferir na dinâmica desse sistema, alterando assim a qualidade e a quantidade das suas águas (SANTOS, 2004).

Para Christofletti (1980), no estudo da composição dos sistemas, devemos levar em consideração a matéria, a energia e a estrutura. Pensando a bacia, a matéria corresponde ao material transportado, como a água e o sedimento; a energia é o trabalho que possibilita o transporte do material; e a estrutura é constituída pelos elementos e suas relações como, por exemplo, as vertentes, o solo e o relevo. Coelho Netto (1998), define bacia hidrográfica como um sistema hidrogeomorfológico aberto (Figura 01), pois nela ocorrem trocas de energia e matérias internas e com outros sistemas.

Figura 01 - Bacia hidrográfica: sistema integrado aberto.



Fonte: Modificado de Rawat (1987, apud RODRIGUES, 2003)

A bacia de drenagem leva vantagem como unidade de planejamento pela sua delimitação baseada em critérios geomorfológicos (BOTELHO, 2010), pois toda bacia tem como seus limites os divisores de água, que são as partes de maiores altitudes do terreno. Podemos então destacar a bacia como uma unidade natural de análise da superfície que possibilita conhecer as inter-relações dos elementos que compõem o sistema hidrográfico.

No Brasil, a partir de 1997, através da Lei nº 9.433, foi estabelecida a gestão por bacias hidrográficas em todo o território nacional, através da criação do Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica (PNMH). Desde então, bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos, da gestão dos recursos hídricos e de planejamento conservacionista, ecológico, de uso do solo e planejamento ambiental (BOTELHO, 2010).

Assim, o presente trabalho trata a bacia hidrográfica do Rio Doce como um sistema integrado aberto, onde a relação entre os seus elementos – relevo, solo, rocha, clima e o homem, modificam a dinâmica da bacia, tendo como respostas os processos erosivos e a capacidade do sistema de reencontrar o seu equilíbrio.

2.2 Dimensão teórica: geomorfologia e pedologia

Tendo em vista que esta pesquisa aborda conhecimentos integrados e relacionados a duas ciências, Geomorfologia e Pedologia, é importante posicionar a seguir sobre o estado atual dos conhecimentos destas ciências para que se possa justificar a escolha dos referenciais teórico-metodológicos utilizados e as técnicas de operacionalização empregadas nas etapas da pesquisa.

2.2.1 O desenvolvimento do conhecimento geomorfológico

A ciência geomorfológica tem como objeto de estudo analisar as formas de relevo através da compreensão dos processos pretéritos e atuais (CASSETI, 2005). O estudo do relevo sempre se mostrou como uma importante ferramenta para o uso racional do espaço, tendo em vista que as atividades humanas e as suas relações se dão, principalmente, sobre a superfície da terra.

No decorrer da história da Geomorfologia, vários autores propuseram suas teorias para entender a formação do modelado. Porém duas grandes linhas de pensamento foram importantes para o entendimento da gênese e evolução das formas de relevo existentes na terra: a linha anglo-americana e a linha germânica (ABREU, 2003).

Segundo Abreu (2003), a linha de pensamento geomorfológico anglo-americana e a linha de pensamento alemã são duas fontes distintas que se desenvolveram paralelamente, mas que também se influenciaram. Segundo o autor, há uma grande divergência entre as duas linhas de pensamento, motivada pela insatisfação dentro de uma dessas correntes conceituais, possibilitando a formulação e desenvolvimento de novos paradigmas que se chocam com a outra postura.

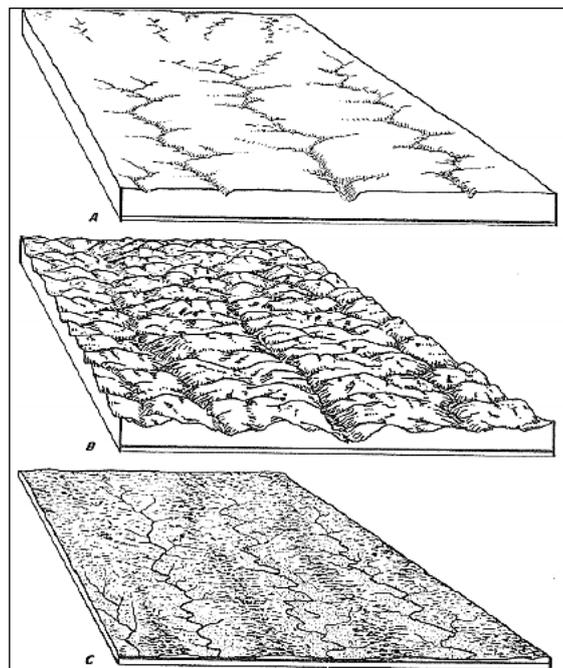
A Geomorfologia Anglo-americana surge a partir da geologia, dando ênfase nos processos fluviais na formação do relevo e se pautando na descrição. Já a Geomorfologia Alemã emerge através de uma perspectiva naturalista e globalizante de uma ciência da terra. Desta forma, a primeira contribuiu bastante para as bases da geomorfologia estrutural e a segunda para o desenvolvimento da geomorfologia climática.

Como principal nome da linhagem epistemológica anglo-americana temos Willis Morris Davis, que propôs o modelo de evolução do relevo em 1899 (ABREU, 2003). W. M. Davis foi responsável por sistematizar e definir os acontecimentos num ciclo geomorfológico – teoria Geographical Cycle (Teoria do Ciclo Geográfico). De acordo com Christofolletti (1980, p. 160-161) o ciclo geográfico tem três fases:

A fase de juventude tem início quando uma região aplainada, devido a um movimento rápido, tectônico ou estático, é uniformemente soerguida em relação ao nível de base, que é o nível do oceano no qual desembocam os cursos fluviais. Como a declividade foi subitamente aumentada, porque ampliou a diferença altimétrica, os rios encaixam-se e, a partir da embocadura, a vaga erosiva remontante se espalha pelo curso principal e seus afluentes. (...). A fase de maturidade designa um estágio onde os processos da erosão estão suficientemente desenvolvidos para que a drenagem esteja perfeitamente organizada e o trabalho das forças harmoniosamente combinado. (...) O último estágio, a fase de senilidade, é caracterizado por um rebaixamento lento dos declives, principalmente nas vertentes onde o ritmo evolutivo é mais intenso que nos perfis longitudinais. Qualquer que tenha sido o desnível entre a superfície primitiva e o nível de base, aquela está destinada a desaparecer no fim do ciclo de erosão, devido à intersecção das vertentes ao longo dos interflúvios.

Este ciclo, conhecido também como “ciclo de erosão” (Figura 02), tem o relevo como base de uma estrutura geológica, sendo consequência dos processos operantes e do tempo (ABREU, 2003). Para consolidar este conceito, Davis elaborou a noção de equilíbrio, compreendido como uma reorganização, um balanço entre a erosão e a deposição.

Figura 02 - Os três estágios do ciclo de erosão: A – juventude; B – maturidade; e C – senilidade.



Fonte: Christofolletti, 1980.

Quanto ao desenvolvimento dos paradigmas deixados por Davis, temos algumas posturas importantes de alguns autores do século XX, como a Teoria do Equilíbrio Dinâmico de Hack em 1960, a teoria probabilística da gênese global das formas, tendo como um dos importantes autores para a sua fundamentação, Shrove, em 1975.

Segundo Christofolletti (1980), a Teoria do Equilíbrio considera o modelado terrestre como um sistema aberto, pois permite troca de matéria e energia. Hack considera o equilíbrio de uma paisagem “como resultado do comportamento balanceado entre os processos morfogenéticos e a resistência das rochas, e também leva em consideração as influências diastróficas atuantes na região” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 168). Logo, o autor entende o relevo como uma disputa entre a resistência dos materiais geológicos e as forças de dissecação.

Segundo essa teoria, o equilíbrio de um sistema é resultado da organização dos elementos de acordo com a quantidade de energia disponível. Quando tem alteração no fornecimento da energia, o sistema se modificará na busca de adquirir nova estabilidade.

Já a Teoria Probabilística, que surge na década de 1960, tenta explicar a gênese global das formas através da quantificação. Para os autores que se utilizam dessa teoria, a paisagem se constitui como resposta a determinados processos gerados por inúmeras variáveis que se interagem e esses processos podem ser conhecidos através de um tratamento determinístico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Do outro lado, na linhagem epistemológica germânica, temos como principal contribuição o trabalho de Walther Penck em 1924, que foi um dos grandes críticos da Teoria Davisiana e contribuiu significativamente para o conhecimento da Geomorfologia alemã através dos trabalhos e formulação do conceito de depósitos correlativos, muito utilizado para análise morfoestrutural e na cartografia geomorfológica (ABREU, 2003). Penck foi um dos primeiros a usar o modelo evolutivo da pedimentação e pediplanação.

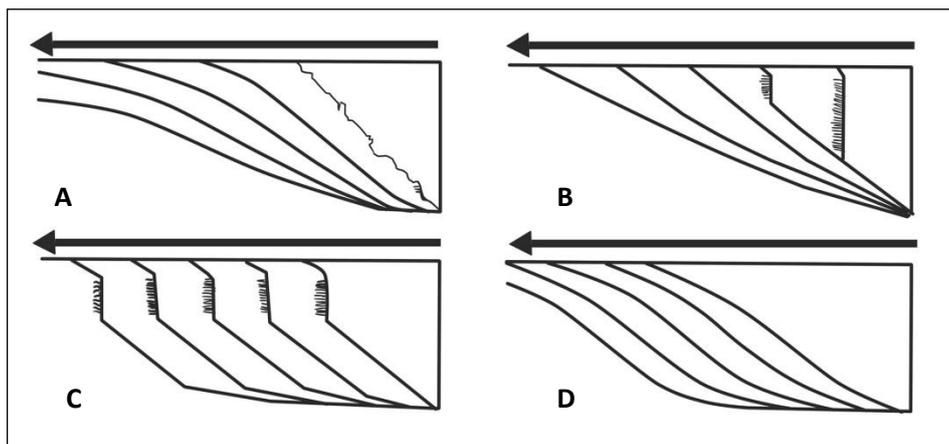
O modelo da pedimentação, segundo Christofolletti (1980), apresenta os mesmos princípios teóricos de Davis – o desenvolvimento do relevo através de uma sequência de fases evolutivas (um ciclo), se diferenciando através da evolução das vertentes e na dedução da ideia de nível de base.

Entre as contribuições de Penck, está à ideia oposta de Davis, segundo a qual o soerguimento e a denudação do relevo aconteciam paralelamente, sendo concomitantes e que não só os oceanos se constituíam como nível de base para os processos denudacionais, mas também qualquer área deprimida do relevo, como as concavidades das vertentes e os cursos fluviais.

Outro autor de grande importância na corrente do pensamento alemã, dando continuidade no desenvolvimento do modelo de evolução da pedimentação, foi Lester King, que em 1953 elabora sua teoria de pediplanação, incorporando ao modelo Penckiano de recuo

paralelo das vertentes (Figura 03), mas aceitando o conceito de estabilidade da Teoria Davisiana (CASSETI, 2005).

Figura 03 – Esquema das principais teorias de evolução das vertentes: A – rebaixamento com atenuação progressiva da inclinação da vertente (Daves); B – retrocesso paralelo com suavização da declividade (Penk); C – retrocesso paralelo mantendo a inclinação dos sucessivos segmentos da vertente (King); D – equilíbrio dinâmico da paisagem – evolução das formas iniciais, com rebaixamento uniforme das superfícies (Hack).



Fonte: Adaptado de Torrado *et al.* 2005.

Como um dos principais referenciais teóricos citados acima, para a interpretação geomorfológica da área desse presente estudo, destacamos a Teoria do Equilíbrio Dinâmico, proposto por Hack em 1960, pois vemos as formas de relevo de forma não estática, entendendo que qualquer alteração na disponibilidade de energia dentro do sistema vai gerar alterações na matéria como resposta e, conseqüentemente, alterar as feições do relevo. Logo, as formas de relevo são adaptações das mudanças dos fatores ambientais (CASSETI, 2005).

Outra teoria importante para o desenvolvimento deste trabalho é a Teoria da Etchplanação, pois destaca o papel da alteração geoquímica no desenvolvimento do relevo, fato negligenciando nas teorias de Davis e de King. Büdel foi o responsável por revolucionar e consolidar as bases da teoria (VITTE, 2001). Embora a área de estudo não seja considerada um etchplano, o presente estudo leva em consideração a importância do intemperismo na dinâmica morfológica para a bacia do Rio Doce.

O modelo de evolução da paisagem proposto por Büdel, em 1982, é baseado na relativa estabilidade tectônica e existência de condições climáticas semiúmidas no qual o aplainamento do relevo acontece pelo que ele chama de “mecanismo de duplo front”:

superfície de lavagem, onde predominam os processos mecânicos de escoamento pluvial, e a superfície basal, onde a denudação química predomina (SALGADO, 2007).

Para essa teoria, a bacia hidrográfica serve como nível escalar básico para se estudar a geomorfologia, permitindo a compreensão das variações espaço-temporais dos processos morfogenéticos dinamizados pela etchplanação (VITTE, 2005).

“A bacia hidrográfica e a situação geomorfológica do canal fluvial podem auxiliar na interpretação sobre a dinâmica intempérica-pedogenética e a conseqüente planação. (...) A bacia hidrográfica é um geossistema que funciona pela constante troca de matéria e energia ao longo do tempo. Tal característica condiciona a estocagem, o volume e a velocidade da água do aquífero ou mesmo do lençol subsuperficial da vertente, que infiltram para o canal, determinando diretamente o tempo de residência da água no front de alteração ou no sistema pedogenético. A bacia hidrográfica determina, portanto, a velocidade das transformações geoquímicas no front de alteração, com consequência direta na velocidade de diferenciação e aplainamento do relevo” (VITTE, 2005, p. 108).

Embora a bacia hidrográfica do Rio Doce não seja considerada como uma área aplainada por processo de etchplanação, a Teoria da Etchplanação se estabelece bem nesse recorte empírico, uma vez que está localizada em área de estabilidade tectônica e de clima tropical quente e úmido, sofrendo com processos denudacionais. Portanto, como prevê Büdel (1982, *apud.* SALGADO, 2007), áreas nessas condições se constituem como áreas ideais para formação de superfícies de aplainamento.

A utilização da Teoria da Etchplanação “possibilita uma abordagem mais analítica do perfil do intemperismo e dos sistemas de transformação da cobertura pedológica nas análises geomorfológicas” (VITTE, 2005, p. 105). Vale destacar que esta pesquisa utiliza apenas a abordagem analítica desta teoria e não a interpretação morfogenética.

2.2.2 O desenvolvimento do conhecimento pedológico

A Pedologia, uma das ramificações da Ciência do Solo, se preocupa com a origem, evolução, morfologia, classificação e mapeamento do solo, possibilitando uma melhor utilização do mesmo para a sociedade. O solo é entendido “como uma delgada camada mais superficial da litosfera, sendo responsável pela maior parte das formas de vida no nosso planeta, constituindo ainda matéria-prima para a produção de muitos bens e suporte para a construção de objetos urbanos” (TORRADO *et al.* 2005, p. 146).

Como material de importância única, o solo é base para a prática da agricultura e para pastagem e para as variadas formas de apropriação, logo, seu conhecimento é um fator condicionante para o potencial agrícola e de erosão. Os solos se constituem por cinco fatores:

clima, material de origem, organismos, relevo e o tempo (TORRADO et al. 2005), sendo o último um passivo no processo de formação do solo. Ainda sobre a sua formação, temos:

“Solo é a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contem matéria viva, e resulta da ação de climas e organismos sobre um material de origem, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo” (LEPSCH, 2010, p. 19).

O solo é considerado um sistema, pois suas propriedades internas como seus fatores de formação, quando alterados, acarretam mudanças no próprio solo. Desde a criação das bases conceituais da pedologia pelo soviético Dokuchaev em 1883, que o clima, o relevo, a geologia e os organismos são considerados importantes para a sua formação (IBGE, 2007; QUEIROZ NETO, 2010).

Dokuchaev, em 1883, com seus levantamentos de solo na Criméia, Cáucaso do Norte, Ucrânia e na borda do Mar Negro, percebeu que a evolução do solo dependia da zona de sua ocorrência (ESPINDOLA, 2008). Os dados de Dokuchaev foram importantes para a criação da “lei da zonalidade”, segundo a qual determinados tipos de solos se encontram relacionados com determinadas condições bioclimáticas. Foi com os levantamentos de Dokuchaev que se identificou a sucessão dos horizontes A, B e C (ESPINDOLA, 2007).

Outro marco do conhecimento da Pedologia está no trabalho de Milne (1936), criando a Teria da Catena, que a partir da observação da variação dos solos ao longo da vertente, mostra a importância dos estudos do relevo na gênese e evolução do solo (QUEIROZ NETO, 2010). Para Milne, catena é uma unidade prática de mapeamento que agrupa solos que estão relacionados às condições topográficas (QUEIROZ NETO, 2002), sendo os processos erosivos um dos principais fatores responsáveis pelas sucessões de solos.

Bocquier e colaboradores, em 1974, amparados no conceito de catena, realizaram trabalhos no continente africano, em diferentes condições ambientais, e mostraram que o zoneamento e o conceito de zonalidade dependem das características topográficas e da circulação das soluções, que, por sua vez, dependem das condições climáticas. Também mostraram nas suas teses que as variações pedológicas verticais e laterais dos horizontes ao longo das vertentes são resultado de processos de formação, tendo como agentes os fluxos internos da água (QUEIROZ NETO, 2002).

O conceito de Catena proposto por Milne apresentava dificuldades, pois os trabalhos permaneciam tributários do conceito de perfil vertical, mostrando os solos como uma simples justaposição de horizontes (BOULET, 1993). Foi a proposta da análise tridimensional (estrutural) da cobertura pedológica, por Boulet em 1978, que permitiu reconstituir a

distribuição espacial das organizações pedológicas ao longo das vertentes (QUEIROZ NETO, 2002), dando ao solo a noção de corpo tridimensional.

O conceito de tridimensionalidade possibilitou a percepção do solo como um corpo contínuo que se diferencia lateralmente através dos movimentos internos das soluções e que não se manifestam em todos os horizontes presentes (QUEIROZ, 2002). Essa nova visão dá ênfase aos processos biogeoquímicos relacionados à circulação das soluções laterais.

O presente estudo utiliza dessa perspectiva do solo como um contínuo que se diferencia nas três dimensões espaciais e na dimensão temporal, sendo considerado um corpo dinâmico que está subordinado às condições climáticas, ao substrato geológico e, principalmente, à formação do relevo. É nessa perspectiva que a erosão e os processos erosivos serão abordados nesse trabalho.

2.2.3 A relação entre o Relevo e o Solo

Como visto anteriormente, desde a formação da base conceitual da ciência pedológica criada por Dokuchaev em 1883, que a Pedologia considera o relevo como um elemento fundamental para a formação dos solos, porém a Geomorfologia considera o solo apenas como um elemento dependente do relevo e que tem apenas uma pequena contribuição na formação do relevo (QUEIROZ, 2010).

O relevo promove nos solos variações facilmente perceptíveis, como as variações de cor, textura e profundidade. Essas diferenças ocorrem porque o relevo distribui de forma desigual a água da chuva, a luz e o calor do sol, ocasionados por diferenças de altitude, formato e declividade. Já os solos, com suas diferentes propriedades físicas, possibilitam fenômenos de erosão diferenciados, que acabam influenciando os processos de desgaste do relevo, influenciando assim as suas formas (LEPSCH, 2010).

Um dos primeiros geógrafos a atribuir maior grau de significância na relação solo/relevo foi Jean Tricart, em 1978, comprovando que a relação dos objetos de estudo da Geomorfologia e Pedologia estavam interligados desde a alteração das rochas pelo processo de intemperismo (TORRADO *et al.*, 2005). O geógrafo afirmava desta forma que a pedologia também seria um dos elementos da morfogênese, pois a erosão, o transporte e a deposição do material do solo se constituíam preocupações centrais da Geomorfologia.

Para Tricart e Killian (1979) há uma antinomia entre a pedogênese e a morfogênese. Quando a pedogênese predomina, o solo torna-se mais espesso, diferenciando os horizontes;

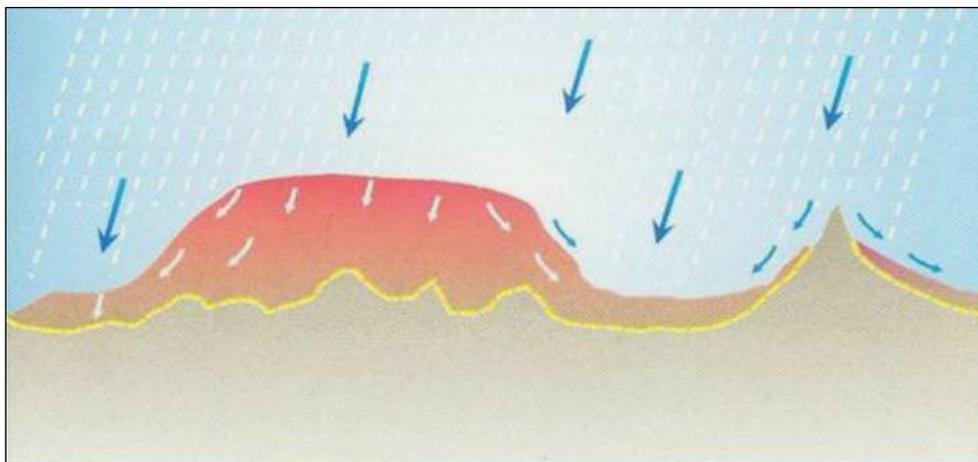
já quando a morfogênese é mais atuante, os solos tornam-se mais rasos devido à ablação generalizada, implicando no desenvolvimento pedogenético.

Essa oposição solo/relevo de Tricart e Killian (1979) foi baseada na proposta do pedólogo Erhart de 1956, que desenvolveu a teoria da Biostasia e Resistasia. Essa teoria foi aplicada para as regiões tropicais, onde a alternância de períodos climáticos no Quaternário ora possibilitava o desenvolvimento da pedogênese (biostasia), ora possibilitava o desenvolvimento da morfogênese (resistasia).

Assim, como a Geomorfologia é uma espécie de intermediação entre a relação do solo com rocha, a hidrologia também tem um papel de intermediação na relação entre o solo e o relevo. Boulet (1988; 1992) demonstrou que os fluxos hídricos têm papel fundamental na interação da evolução do relevo com as transformações dos solos.

Os fluxos hídricos distribuem-se de forma desigual na superfície do relevo (figura 04): as áreas que apresentam saturação contínua com água afetam de forma diferenciada os processos de intemperismo químico, fazendo com que essas áreas apresentem evolução pedológica de forma diferente das áreas mais secas e nas áreas com permanente saturação hídrica. Da mesma forma, as áreas que apresentem maiores declividades, facilitam o escoamento superficial, proporcionando a erosão, impedindo a evolução do solo e modificando a feição do relevo (LEPSCH, 2010).

Figura 04 – Influência do relevo na distribuição desigual da água sobre o terreno.



Fonte: Lepsch, 2010, p. 72.

Como a perspectiva da relação entre o solo e o relevo é relativamente nova, ainda tem muito que se investigar sobre o antagonismo e a cumplicidade dos dois. Desta maneira, é preciso estudá-los não de forma isolada, sendo necessário levar em consideração também a

sua estratigrafia, a hidrografia e as interferências antropológicas, para compreender todas as relações possíveis entre esses elementos da paisagem e proporcionar melhores condições de manejo e conservação dos mesmos. É nesse entendimento que o presente trabalho relaciona as unidades naturais na bacia hidrográfica do Rio Doce com os tipos de solos para entender a sua espacialização e os processos erosivos.

2.3 Dimensão metodológica: o caminho da pesquisa

A metodologia aplicada possibilitou desenvolver os dois procedimentos teórico-metodológicos utilizados por essa pesquisa: a compartimentação topográfica dos níveis de tratamento do relevo (Ab'Sáber, 1969) e análise estrutural da cobertura pedológica (Boulet, 1992) (Figura 5). Para operacionalizar a pesquisa aqui proposta, torna-se necessário separar os procedimentos metodológicos nas etapas que serão detalhadas a posteriores.

Figura 05 – Esquema teórico-metodológico para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Na primeira parte dos procedimentos da pesquisa, utilizamos o procedimento teórico metodológico da compartimentação do relevo de Ab'Sáber (1969). Essa etapa faz parte dos três níveis de tratamento do relevo: o primeiro se trata da compartimentação topográfica com caracterização e descrição detalhada de cada um dos compartimentos estudados; o segundo nível trata das estruturas superficiais, fundamentais para obter informações cronogeomorfológicas através das interpretações das sequências dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos; e o terceiro nível busca entender os processos morfoclimáticos e pedogenéticos atuais através da observação da funcionalidade global da paisagem (AB'SÁBER, 1969).

O interesse dessas diretrizes geomorfológicas, principalmente para a presente pesquisa, se trata especificamente do primeiro nível de tratamento da análise geomorfológica, sendo um fator fundamental para a interação com os demais procedimentos metodológicos para a concretização do objetivo proposto. A utilização desse procedimento é necessária para

realização do mapeamento das unidades geomorfológicas para delimitar as unidades naturais da bacia hidrográfica do Rio Doce.

A compartimentação topográfica corresponde a uma individualização de um conjunto de formas com características morfológicas semelhantes, que foram elaboradas através de determinadas condições morfogenéticas e climáticas ao longo do tempo (CASSETI, 2005).

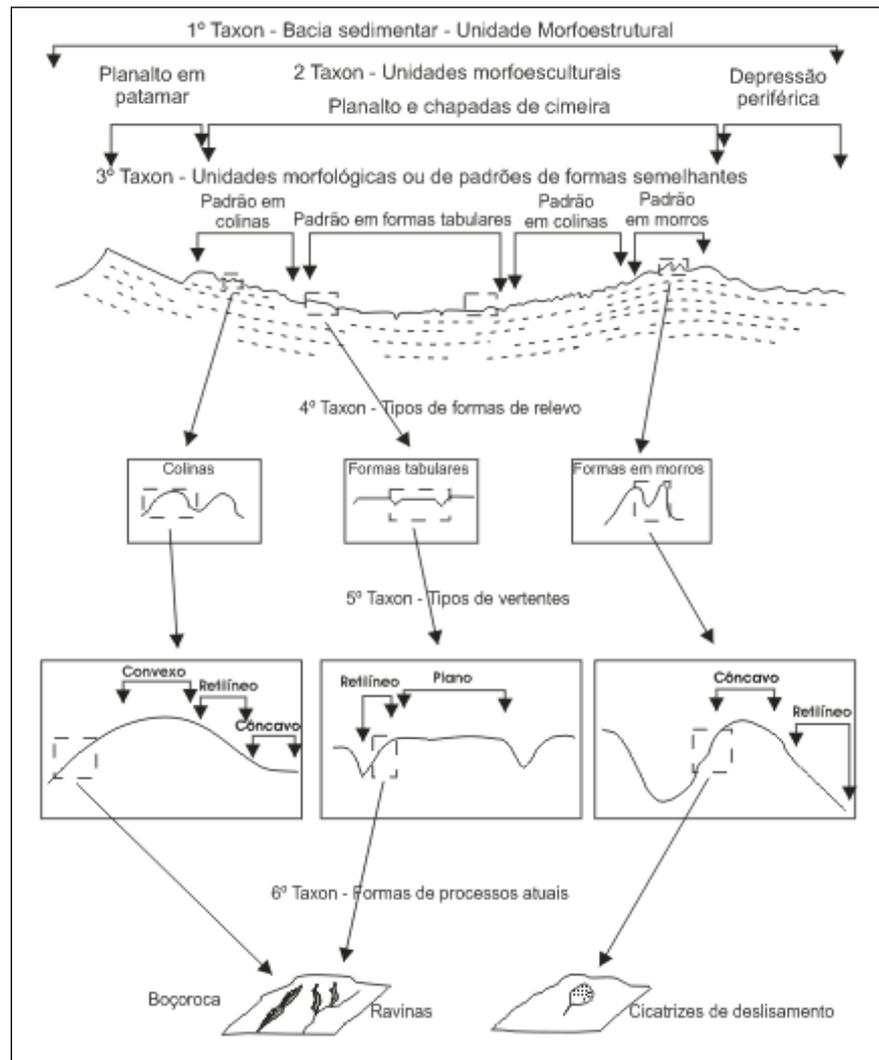
"compartimentação topográfica evidencia o resultado das relações processuais e respectivas implicações tectônico-estruturais registradas ao longo do tempo, considerando o jogo das componentes responsáveis pela elaboração e reelaboração do modelado, em que as alternâncias climáticas e as variações estruturais tendem a originar formas diferenciadas" (CASSETI, 2005).

Em outras palavras, a importância de compartimentar a unidade do relevo e gerar a cartografia geomorfológica é poder espacializar formas do relevo que se desenvolveram através de processos morfogenéticos que vai de determinada escala temporal geológica até os dias atuais. Logo, cada unidade delimitada na compartimentação é considerada um táxon temporo-espacial, tendo uma dimensão espacial e temporal.

Como método importante para a realização da compartimentação geomorfológica proposta por Aziz Ab'Sáber (1969), e que se preocupou com os processos de formação do relevo no espaço e no tempo e os níveis de escala de detalhe da compartimentação, está o trabalho de Ross (1992). A fundamentação metodológica de Ross se baseou nas concepções de Penck (1953), que definiu que as formas de relevo são produtos dos processos endógenos e exógenos.

A proposta de compartimentação do relevo de Ross (1992) apresenta seis níveis taxonômicos (Figura 06), que se utiliza dos estudos da Geomorfologia tripartite de Ab'Sáber (1969), quanto à compartimentação do relevo, análise das formas de relevo e análise estrutural superficial da paisagem. Os seis níveis compreendem: unidades morfoestruturais (1º táxon), unidades morfoesculturais (2º táxon), padrões fisionômicos de formas (3º táxon), formas de relevo (4º táxon), elementos em formas de vertentes (5º táxon) e formas de processos atuais (6º táxon) (ROSS, 1994).

Figura 06 – Representação esquemática das unidades taxonômicas proposta por Ross (1992)



Fonte: Ross, 1995.

Ross (1992) define os táxons e suas escalas de mapeamento assim:

1º Táxon – Unidades Morfoestruturais: é o maior táxon corresponde às macroestruturas geológicas que definem e sustentam um determinado padrão de formas grandes do relevo, cuja escala varia de 1:1.000.000 à 1:500.000. São exemplo de formas dessa unidade as bacias sedimentares, plataformas e crátons (BRASIL, 1995).

2º Táxon – Unidades Morfoesculturais: geradas pela alteração climática ao longo do tempo, sendo consideradas como subunidades do relevo morfoestrutural, se diferenciando pelos diferentes níveis topográficos. São menores e mais jovens que as unidades morfoestruturais as quais pertencem, tendo como escala de mapeamento variando de

1:500.000 a 1:100.000. Como exemplo de formas de relevo nessa escala de grandeza, temos os planaltos residuais e as depressões periféricas.

3° Táxon – Padrões de Formas Semelhantes (padrões fisionômicos de formas): são conjuntos menores de formas do relevo onde os processos morfoclimáticos atuais começam a ser facilmente notados, se diferenciando em formas de acumulação e formas de denudação (dessecação). A escala de mapeamento varia de 1:100.000 à 1:50.000. Neste nível de mapeamento o destaque é para o conjunto de feições de relevo que apresentem distinção ou semelhanças entre si, como os topos, as vertentes e os vales.

4° Táxon – As formas de relevo ou Conjunto de formas Semelhantes: corresponde às tipologias de modelado, com as formas aguçadas, convexas, tabulares e aplainadas, cuja escala varia de 1:50.000 à 1:25.000. Como formas de relevo desta categoria estão às planícies fluviais, os terraços fluviais ou marinhos, as planícies lacustres como exemplo de relevo de agradaciação e as colinas, cristas e os morros como exemplos de formas de dissecação.

5° Táxon – Elementos em Formas de Vertentes: são vertentes ou setores das vertentes, dimensões menores do relevo, que pertencem a cada uma das formas individualizadas do relevo, podendo ser dos tipos convexas, retilíneos, aguçados, planos, abruptos, cuja escala varia de 1:25.000 à 1:10.000.

6° Táxon – Formas de Processos Atuais: são formas geradas por processos erosivos e acumulativos atuais como as voçorocas, ravinas, deslizamentos, assoreamentos, depósitos aluvionares de inundação, sendo fruto de processos morfogenéticos e de ação antrópica, cuja escala varia de 1:10.000 ou maior.

Vale salientar que os táxons abordados na compartimentação geomorfológica desse trabalho foram os de 3°, 4°, 5° e 6° ordem, dando ênfase para o mapeamento cartográfico os táxons de 3° e 4° ordem de grandeza, que foram denominados neste trabalho, respectivamente, de unidades naturais e subunidades naturais, na escala de detalhe de 1:25.000. A representação da 5° e 6° ordem foram feitas apenas por símbolos pontuais.

Chamamos de unidades naturais porque entendemos que são áreas que apresentam o solo, relevo, geologia, vegetação e hidrografia integradas e compreendemos o relevo como um fator importante para a compartimentação das unidades físicas que formam a bacia hidrográfica, sendo o delimitador da bacia e de seus subsistemas, estando intimamente ligado com o substrato geológico e com a espacialização pedológica que, por sua vez, também interfere na espacialidade das formações vegetais.

É importante destacar que o mapeamento taxonômico das unidades foi complementado a partir da metodologia utilizada pelo IBGE (1995), principalmente nas nomenclaturas usadas para designar as subunidades naturais.

A realização desse mapeamento das unidades naturais de detalhe serve como suporte para tomada de decisão para realização das topossequências, sendo um procedimento técnico importante na metodologia de análise estrutural da cobertura pedológica, desenvolvida por Boulet (1993) e aplicada no Brasil por Queiroz Neto (1981).

O estudo da formação do solo por meio da “Análise Estrutural (tridimensional) da Cobertura Pedológica” possibilitou um grande avanço nos estudos da relação solo-relevo, através de procedimentos teórico-metodológicos para a análise da dinâmica da superfície do terreno, como a pedogênese, a morfogênese e os processos erosivos. Para Queiroz Neto (2000, p. 14)

“O estudo da gênese, da dinâmica, do funcionamento e da dinâmica dos solos através da ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA possibilitou relacionar os solos/formações superficiais com a evolução do relevo, levando a identificar a importância da pedogênese para a morfogênese.”

Esse procedimento metodológico permite diferenciar as transições laterais dos solos, considerando assim as coberturas pedológicas como sistema de transformação, onde uma cobertura inicial se transforma em outra cobertura muito diferente, mantendo as discordâncias dos horizontes (BOULET, 1993).

Por meio deste procedimento, há um melhor entendimento sobre a definição da natureza das formações superficiais como materiais de origem dos solos, distinguindo assim os alóctones e autóctones. Também facilitou as análises das diferenciações pedológicas nas mudanças topográficas, permitindo analisar a erosão geoquímica na evolução do relevo (QUEIROZ NETO, 2001). Neste procedimento, não há necessariamente um antagonismo entre a morfogênese e a pedogênese, mas sim a atuação em conjunto dos dois processos para a formação do modelado (QUEIROZ NETO, 2010).

Como classificação das unidades naturais e subunidades da bacia hidrográfica do Rio Doce, tendo em vista a análise integrada do meio físico, o presente estudo utiliza a classificação dos três meios morfodinâmicos de Tricart (1977): meios estáveis, meios integrados e os meios fortemente instáveis.

Segundo Casseti (1991), pode-se dizer que nos meios estáveis predomina a pedogênese sobre os processos erosivos, onde a cobertura vegetal impede o desenvolvimento dos processos físicos e mecânicos que geram a dissecação do terreno. Meios intergrades se

caracterizam por um estágio de equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese, assegurando a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios fortemente instáveis. Meios fortemente instáveis ocorrem quando a morfogênese predomina sobre a pedogênese, logo essa fase pode resultar dos efeitos tectônicos, de variações climáticas ou de degradação antrópica.

O entendimento destes três meios é necessário para compreender o princípio morfodinâmico, que estabelece o balanço entre a morfogênese e a pedogênese. Vale salientar que, a morfodinâmica é analisada através da interação entre o clima, o relevo, o solo, o material rochoso e a cobertura vegetal, tendo a vegetação um importante papel para impedir o processo erosivo (TRICART, 1977).

Com a finalidade de realizar os dois procedimentos teórico-metodológicos supracitados, os procedimentos técnicos foram desenvolvidos em três etapas: etapa pré-campo – trabalhos de gabinetes, etapa campo – trabalhos *in lócus* e etapa pós-campo – análise e correlação dos dados, tais como abordaremos a seguir.

2.3.1 Etapa pré-campo: trabalhos de gabinete

Para realização dessa primeira etapa, foi feito um levantamento bibliográfico a fim de embasar a pesquisa a ser executada. A pesquisa por esses referenciais terá como foco os trabalhos já publicados sobre a área de estudo, como também os trabalhos que abordam a relação morfogênese-pedogênese.

Entre esses trabalhos, podemos destacar, por exemplo, a dissertação de Mendes (2012), com o título “Análise Morfopedológica aplicada à compreensão dos processos erosivos hídricos em vertentes no município de Pilões – PB”. Nesse trabalho, o autor identifica os principais mecanismos que influenciam no processo erosivo com base na relação da esculturação do relevo com os processos pedogenéticos; e o trabalho de Ávila (2009), intitulado “Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na Bacia do Córrego dos Pereiras - Depressão de Gouveia/MG”, tendo como objetivo analisar a organização da cobertura pedológica na vertente da bacia, verificando a importância dos processos geoquímicos e pedológicos na evolução geomorfológica da área.

Outras referências em que buscamos nos embasar foi a dos autores responsáveis por sistematizar os procedimentos metodológicos usados por esta pesquisa, como Ab'Sáber (1969), com seu estudo “Um conceito de Geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário” e Ross (1992) com seu trabalho intitulado “O Registro Cartográfico dos Fatos

Geomorfológicos e a Questão Taxonômica do Relevo”, sendo trabalhos referenciais para o desenvolvimento da metodologia da Compartimentação Geomorfológica.

Como exemplos de referenciais bibliográficos para o entendimento da metodologia Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, foram utilizados: o trabalho de Boulet (1993), com o título “Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia” e os trabalhos de Queiroz Neto e Ruellan (1984-1985), intitulado “*Analyse structurale de la couverture pédologique: une expérience d’enseignement et de recherche au Brésil*”; e os trabalhos de Queiroz Neto (2001), denominado de “o estudo das formações superficiais no Brasil”.

No que se referente à busca de material de apoio para a aplicação metodológica da Abordagem Morfopedológica, temos como exemplo: a pesquisa de Tricart (1977), “Ecodinâmica”; Tricart e Kilian (1982), com o título de “*La eco-geografía y la ordenación del medio natural*”; os trabalhos de Salomão(1984; 2000), denominados “Processos erosivos lineares em Bauru-SP” e “Compartimentação Pedológica e sua aplicação: considerações metodológicas”.

Já nos levantamentos bibliográficos sobre a área de estudo na escala local e regional, destacamos os trabalhos do Projeto RADAMBRASIL (1981), sobre solos, geologia e geomorfologia, e os diagnósticos ambientais de cada município que compõem a bacia do Rio Doce do projeto de cadastros de fontes de abastecimento de água subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005).

Após os levantamentos bibliográficos, foi realizado um levantamento cartográfico da área de estudo, com a compilação de cartas topográficas da folha Jaguaribe/Natal SB.24-Z-A-III, na escala de 1:100.000 da SUDENE (1997). A carta topográfica possibilita a delimitação da área da bacia do Rio Doce através dos divisores de água. A busca por bases cartográficas de geologia, geomorfologia e pedologia (1:250.000) também possibilitou conhecer previamente os aspectos físicos existentes na bacia do Rio Doce.

Uma vez estabelecidos a área da bacia e os mapas base dos aspectos físicos, partimos para o desenvolvimento da compartimentação do relevo para gerar a delimitação das unidades naturais e as subunidades naturais. O primeiro passo para a realização da compartimentação foi realizar a coleta das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, do site Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A imagem STRM que recobre a área da bacia do Rio Doce tem como identificação SRTM1S06W036V3, disponível no dia 23/07/2014.

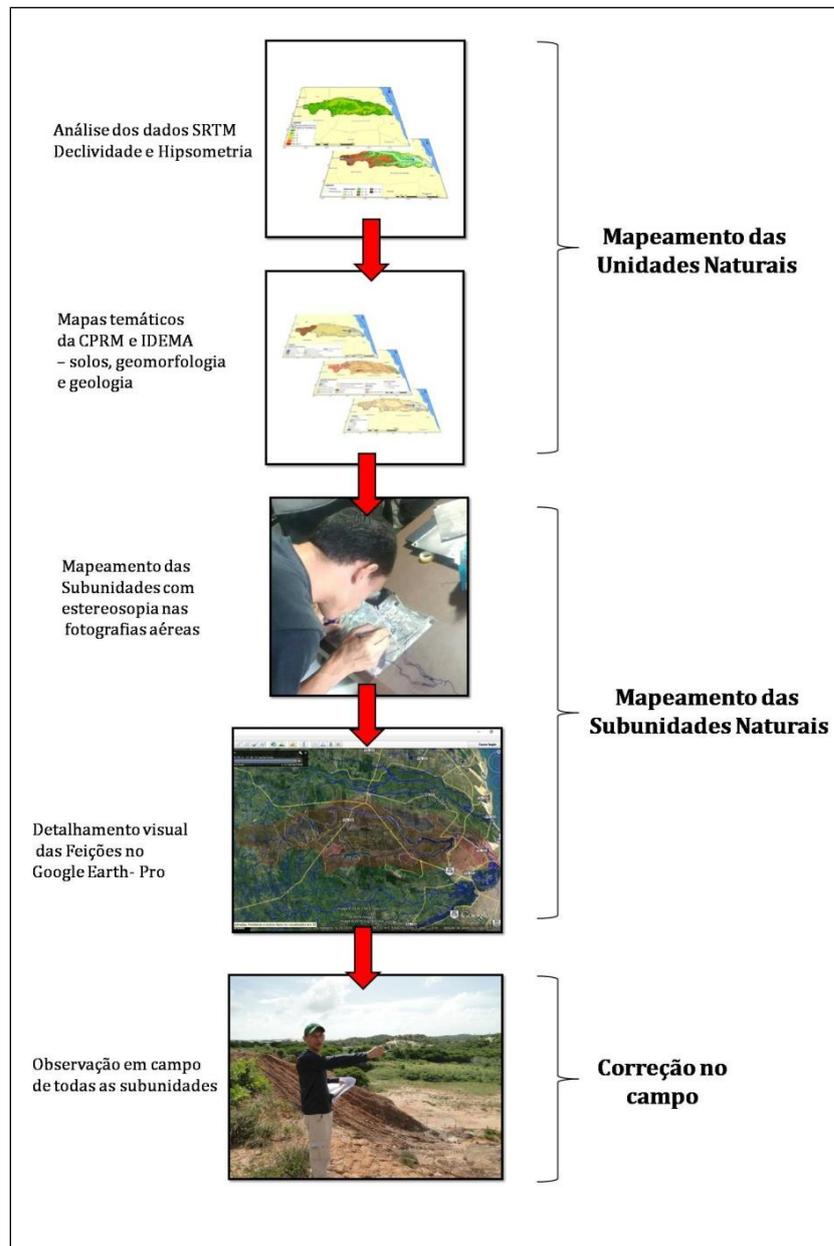
Com base nas imagens SRTM, foram gerados os mapas de declividades, hipsometria, relevo sombreado, forma das vertentes e orientação das vertentes no software Arcgis 10.1

(ESRI). A utilização das bases cartográficas citadas à cima, permitiram dividir previamente a topografia do relevo da bacia do Rio Doce e, posteriormente, delimitar as unidades naturais. Essas unidades também foram relacionadas com as cartas temáticas de pedologia, geologia e geomorfologia da CPRM (2006), no programa Arcgis 10.1, através da análise de multicritérios.

Para maior detalhamento das unidades naturais e para a compartimentação de cada unidade, originando as subunidades, foram realizadas análises estereoscópicas das fotografias aéreas, na escala de 1: 70.000 da SUDENE (1971), juntamente com a observação das imagens disponíveis pelo Google Earth - Pro, realizando assim uma análise visual das imagens. A partir disto, as delimitações das unidades encontradas nas fotografias aéreas foram georreferenciadas no software Arcgis 10.1 (ESRI), para gerar o vetor de cada subunidades naturais em arquivo shapefile.

Como última etapa, foi realizada a visita *in lócus* para reconhecimento de cada subunidade da bacia hidrográfica do Rio Doce com o objetivo de validar o mapeamento digital através da comparação das formações na área com as delimitadas na carta. Após as visitas na área de estudo, algumas unidades mapeadas foram alteradas, evidenciando, assim, a importância do campo para o mapeamento geomorfológico. Toda metodologia acima descrita, ilustramos de forma sintética na figura 07 abaixo.

Figura 07 – Esquema de mapeamento das unidades naturais da bacia do Rio Doce



Fonte: Elaboração própria, 2016.

Após a compartimentação topográfica, critério utilizado para a delimitação das unidades naturais e as suas respectivas subunidades, foi determinado o local, a partir dos critérios de acessibilidade para a execução dos trabalhos com segurança e ocorrência de feições naturais representativas a cada compartimento, que, em cada unidade natural e passando em cada subunidade, foi feito o perfil topográfico com o GPS RTK para realização das topossequências pedológicas e morfológicas do terreno.

2.3.2 Etapa campo: trabalhos *in lócus*

Após a compartimentação das unidades naturais e a escolha dos locais para realização do perfil topográfico foram realizados os levantamentos dos perfis com o GPS RTK (Real Time Kinematic). O perfil topográfico, como tem a finalidade de mostrar o desnível do relevo em cada subunidade das unidades naturais. A escolha pela utilização do GPS RTK se deve por cada unidade natural apresentar área muito grande, o que dificulta fazer o levantamento do perfil topográfico apenas com a mira e o nível (Figura 08).

Figura 08 – Levantamento do perfil das unidades naturais através do método RTK.

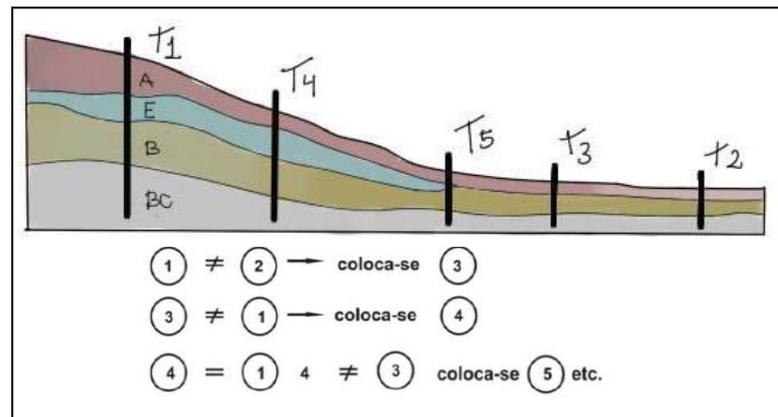


Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

A técnica RTK possibilita precisão topográfica em tempo real, sendo um modo de coleta de dados cinemáticos que proporciona correções posicionais instantâneas no campo (FERNANDES *et al.*, 2012). Essa técnica exige que se utilizem dois receptores, um móvel e outro fixo, com coordenadas previamente determinadas. Desta forma, a utilização do GPS RTK possibilita representar no perfil de forma mais detalhada todas as feições do relevo da unidade natural, como as rupturas do terreno e a inclinação das vertentes.

Em cada um três perfis, foram coletadas as amostras de solo, com a ajuda de trado holandês e de caneco. Essa metodologia de trabalho se baseia na proposta de Boulet (1993), chamada de análise por topossequência da cobertura pedológica (Figura 09) que serve para identificar as variações, verticais e laterais, em toda vertente da cobertura pedológica.

Figura 09 – Método de implantação de tradagem em um estudo de segmento de transeção



Fonte: Adaptado de Boulet (1993).

Esse procedimento parte das coletas de amostras de solos com trado pelo perfil topográfico traçado em todas as subunidades de cada unidade natural, com a finalidade de encontrar os limites horizontais e verticais dos diversos tipos de solos. É a partir desse procedimento que se tem a visão tridimensional do solo, o que possibilita relacionar as modificações do solo com as diferentes unidades do relevo.

Segundo a metodologia de Boulet (1993), a topossequência é realizada através de um furo no solo para se identificar todos os horizontes que o caracterizam no início do perfil topográfico. Outro furo será realizado no final do perfil. Se o solo apresentar diferenças ou descontinuidade nos seus horizontes, será realizado um terceiro furo com a finalidade de encontrar os seus limites, e assim por diante, conforme a sequência ilustrada na figura 09.

As amostras coletadas de cada horizonte na tradagem foram caracterizadas em campo, para identificação da sua coloração, consistência, textura etc., de acordo com o manual de descrição e coleta de solo no campo (SANTOS *et al.*, 2005) e depois foram analisadas em laboratório.

Além da topossequência, também foram realizadas em outras áreas da bacia hidrográfica 04 furos de trado para relacionar os solos de determinado tipo de relevo com as outras unidades semelhantes onde houve a topossequência. Como não houve diferenciações visíveis no material pedológico em campo, não foi acrescentada nenhuma outra topossequência dentro das unidades naturais. Vale destacar, que além das amostras coletadas por trado (Figura 10a), também foram realizadas coletas de amostra superficiais indeformadas (Figura 10b), preservando suas estruturas, para realização de ensaios no solo pra compreender sua susceptibilidade a erosão.

Figura 10 – Coleta de amostras com trado (a) e de amostras indeformadas (b).



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

As amostras de solos tratadas em laboratório foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos e registradas suas identificações de coordenadas geográficas, coletor, data, bem como suas posições na topossequência e na profundidade do perfil pedológico.

No total, foram coletadas 57 amostras nos três perfis nas vertentes escolhidas dentro de cada unidade. Por se tratar de solos com fraca variação vertical e horizontal, houve poucas coletas e, conseqüentemente, um número menor de amostras selecionadas para as análises laboratoriais – 34 amostras.

2.3.3 Análises de laboratório

Para verificar o tipo de solos e suas características, como o potencial de erodibilidade, assim como também relacionar com as formas de relevo existentes na bacia, foi necessário fazer algumas análises laboratoriais. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Geografia Física (LabGeoFis) do Departamento de Geografia da UFRN.

Como análises físicas, a análise granulométrica possibilitou caracterizar a textura do solo, quantificando as frações de areia, silte e argila. Para quantificação das frações de areia, utilizamos o método de peneiramento e para a quantificação das frações de silte e argila, o método da pipeta (Figura 11), baseado em Embrapa (1997). As frações granulométricas são importantes para diferenciar as classes dos solos e os seus horizontes e para saber o potencial de erosão do mesmo.

Figura 11 – Agitação das partículas do solo na pipeta para a coleta de silte e argila.



Fonte: Acervo pessoal, 2016.

Também foram realizados em laboratório de análise física os ensaios de porosidade total, densidade aparente e o teor de matéria orgânica das amostras com base na Embrapa (1997). A densidade e a porosidade são bastante relacionáveis, importantes para entender as características do solo, permitindo compreender o grau de compactação do solo. Já a matéria orgânica é fundamental para a agregação do solo, que, conseqüentemente, acaba influenciando nos processos erosivos.

Para saber o potencial de erodibilidade dos solos presentes na área da bacia do Rio Doce através da relação solo-relevo, foi realizada uma análise com as amostras indeformadas coletadas através do Ensaio de Inderbitzen (Figura 09), que é muito utilizado para a obtenção simulada da erodibilidade e da tensão de cisalhamento dos solos em condições de campo (KOETZ, 2003). Porém, a intenção da análise é saber quais tipos de solos, em determinada inclinação da vertente, estão mais susceptíveis a sofrer com o processo de erosão, já que o ensaio permite relacionar o solo, com a inclinação do relevo e a precipitação pluviométrica.

Figura 12 – Ensaio de Inderbitzen (ensaio da cadeirinha)



Fonte: Arquivo da pesquisa, 2016.

O Ensaio de Inderbitzen, criado em 1951, tem o objetivo de simular de forma direta o escoamento laminar superficial do solo sobre uma rampa com inclinação desejada. Esse ensaio foi escolhido por ser um teste rápido e direto, porém a sua metodologia foi modificada, baseada na metodologia de Inderbitzen modificada por Higashi (2006), que possibilita modificar a inclinação do material, simulando reais inclinações da vertente. O ensaio modificado leva em consideração não só o escoamento laminar dos sedimentos, mas também o efeito “*splash*” causado pelo impacto das gotas d’água nas estruturas do solo.

Para iniciar a análise do Ensaio de Inderbitzen, precisa-se ter um anel com amostra indefomada com o valor do seu peso seco, sobre uma rampa com a inclinação correspondente à inclinação do relevo da área de estudo. Essa amostra ficará submetida sob uma vazão de 4 litros/hora. Depois de uma hora, o material desagregado é coletado ainda com água e peneirado em uma peneira de 0,075 mm, onde, logo após esse processo, ele vai ser secado na estufa à 110°C e depois quantificados para saber a porcentagem de material perdido.

Desta forma, para se achar o resultado do Ensaio de Inderbitzen modificado, Higashi (2006) expressa a erodibilidade do solo pelo cálculo do peso de cada peneira dividido pelo peso total seco da amostra, multiplicado por 100. Logo temos:

$$e = \frac{(Prss)}{(Ptss)} \cdot 100$$

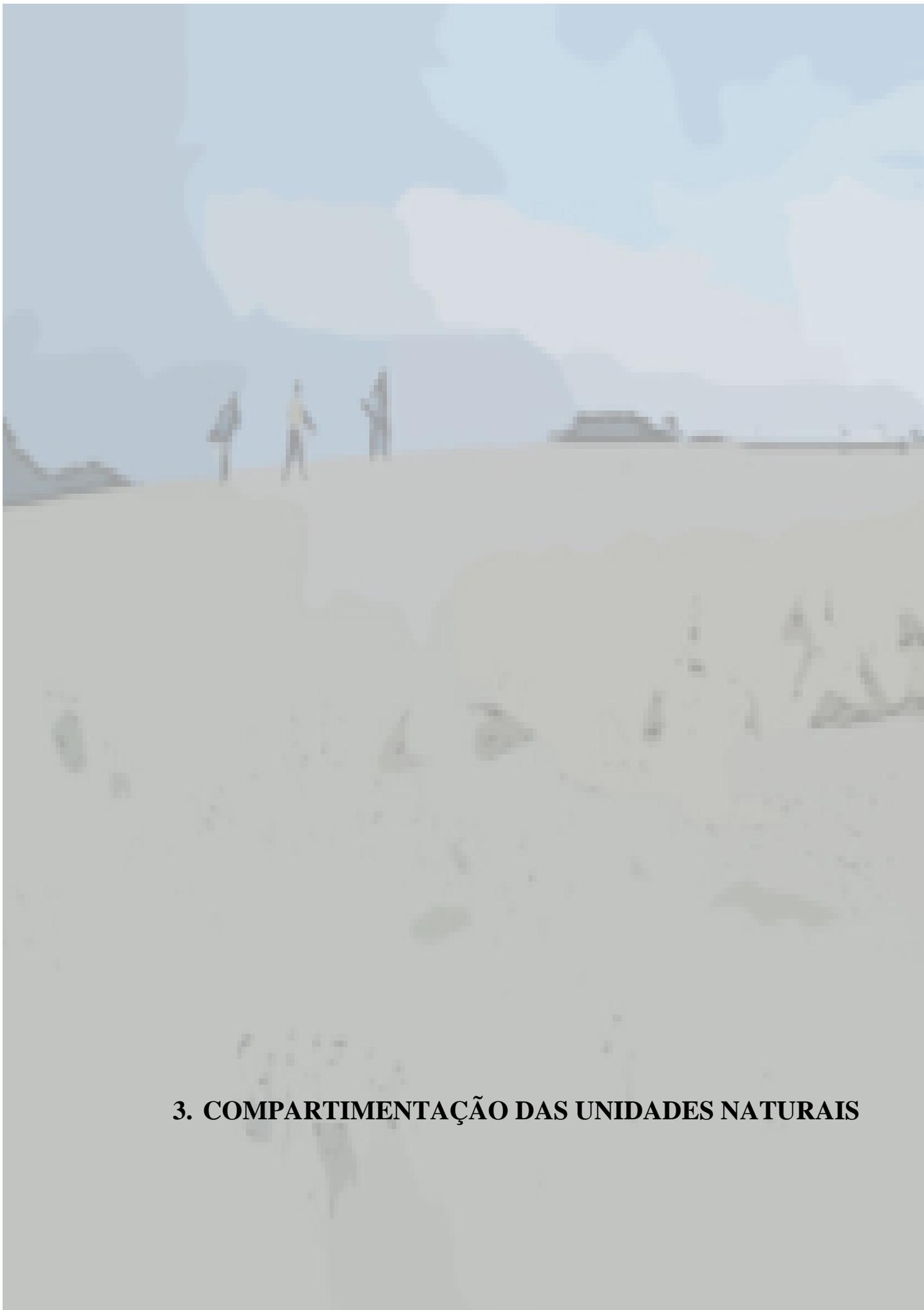
Onde:

e , é a erodibilidade do solo (%);

$Prss$, é o peso do solo seco retido nas peneiras após ensaio (gramas);

$Ptss$, é o peso total do solo seco após ensaio (gramas).

Diante disso, as escolhas desses procedimentos de pesquisa descritos acima contribuem satisfatoriamente para compreensão dos sistemas pedológicos da bacia do Rio Doce e suas relações com o relevo e a geologia, além de possibilitar o entendimento dos processos erosivos. Cabe ressaltar, que esses procedimentos não são rígidos, podendo ainda no delineamento da pesquisa, novos elementos teórico-metodológicos serem incorporados, a fim de melhor atender os objetivos propostos.



3. COMPARTIMENTAÇÃO DAS UNIDADES NATURAIS

O presente capítulo abordará o mapeamento das unidades naturais realizado na bacia hidrográfica do Rio Doce, tendo como procedimentos metodológicos a compartimentação topográfica de Ab'Sáber (1969) e a classificação taxonômica de Ross (1992) e IBGE (1994). É importante destacar que a delimitação das unidades naturais teve como critério principal os padrões de formas de relevo, pois, juntamente com o solo, é o componente do sistema da bacia que tem maior influência nos processos erosivos. Vale destacar que o que chamamos de Unidades Naturais e Subunidades Naturais são, respectivamente, a 3° e 4° táxon da classificação de Ross (1992).

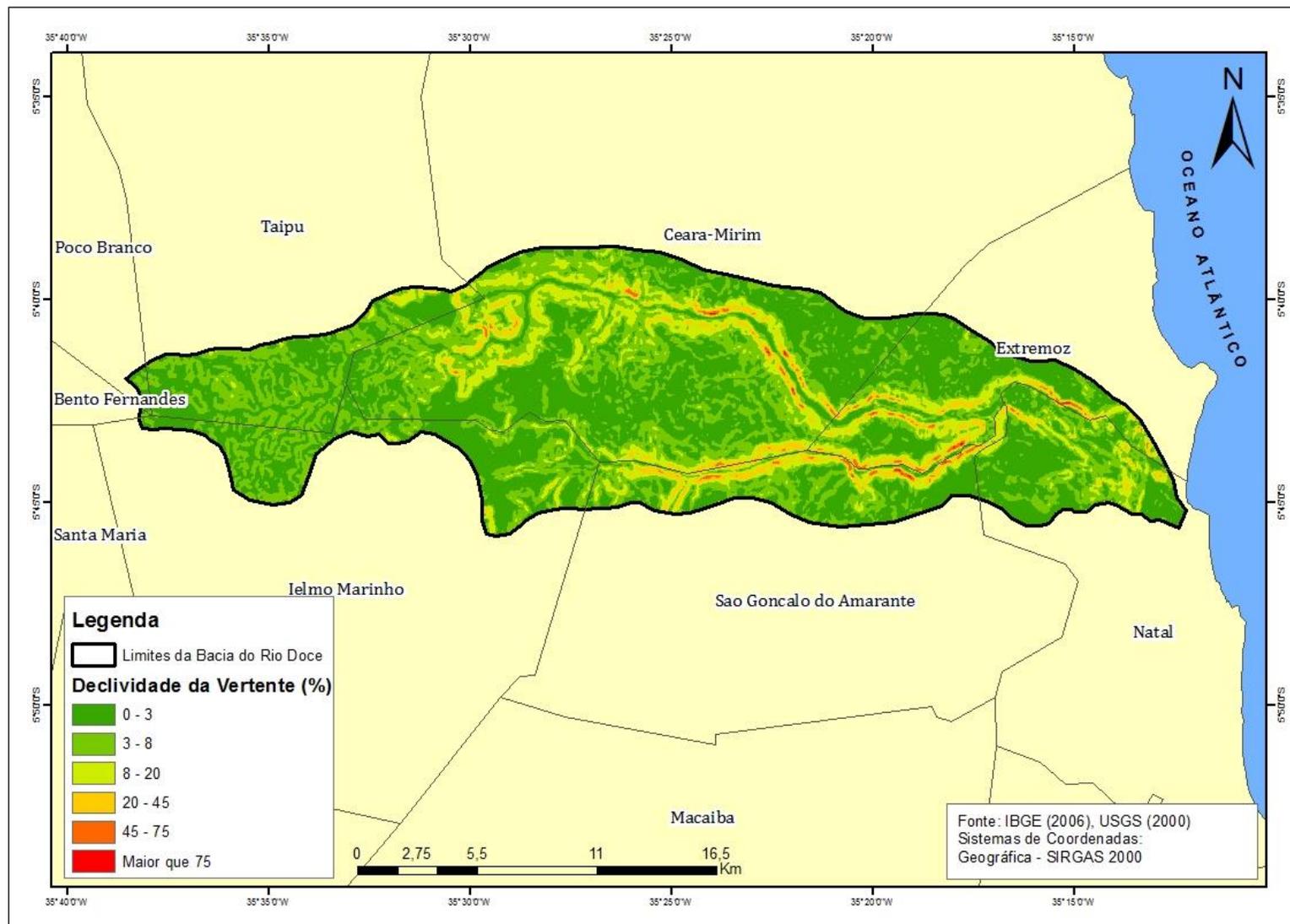
O 6° táxon, por representar feições menores do relevo com grande influência antrópica, como as feições erosivas nas vertentes, será representado apenas por símbolos, pois não é de ser representado espacialmente na escala de trabalho usada. Vale salientar que o mapeamento foi realizado na escala de 1:50.000 e com detalhamento de 1:25.000.

3.1 Unidades Naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

O mapeamento geomorfológico tem como função a ordenação hierárquica dos fatos geomorfológicos, para que possam representá-los em uma metodologia que agrupe os sucessivos conjuntos de modelados de relevo em unidades geomorfológicas (ROSS, 1992). O mapeamento das unidades de relevo possibilita uma melhor ocupação territorial em bacias hidrográficas, além facilitar a espacialização de outros elementos do meio físico, portanto, considera unidades integradas da paisagem – Unidades Naturais. Desta forma, o mapeamento das unidades geomorfológicas da bacia do Rio Doce foi utilizado para a delimitação das unidades naturais, considerando que a relevo é o fator delimitador do solo, vegetação e diversos outros aspectos físicos das unidades e subunidades naturais.

Na carta de declividade das vertentes (mapa 02), destaca-se a área plana em quase toda a área da bacia, o que coincide com a classificação geomorfológica de tabuleiros costeiros da Formação Barreiras disponível do IDEMA (2005). Nas partes que apresentam maior declividade se destacam as vertentes dos rios Mudo e Guajiru, com áreas apresentando declividades superiores a 45°, o que também coincide com os principais focos de erosão mapeados na bacia.

MAPA 02 – Classificação da declividade da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

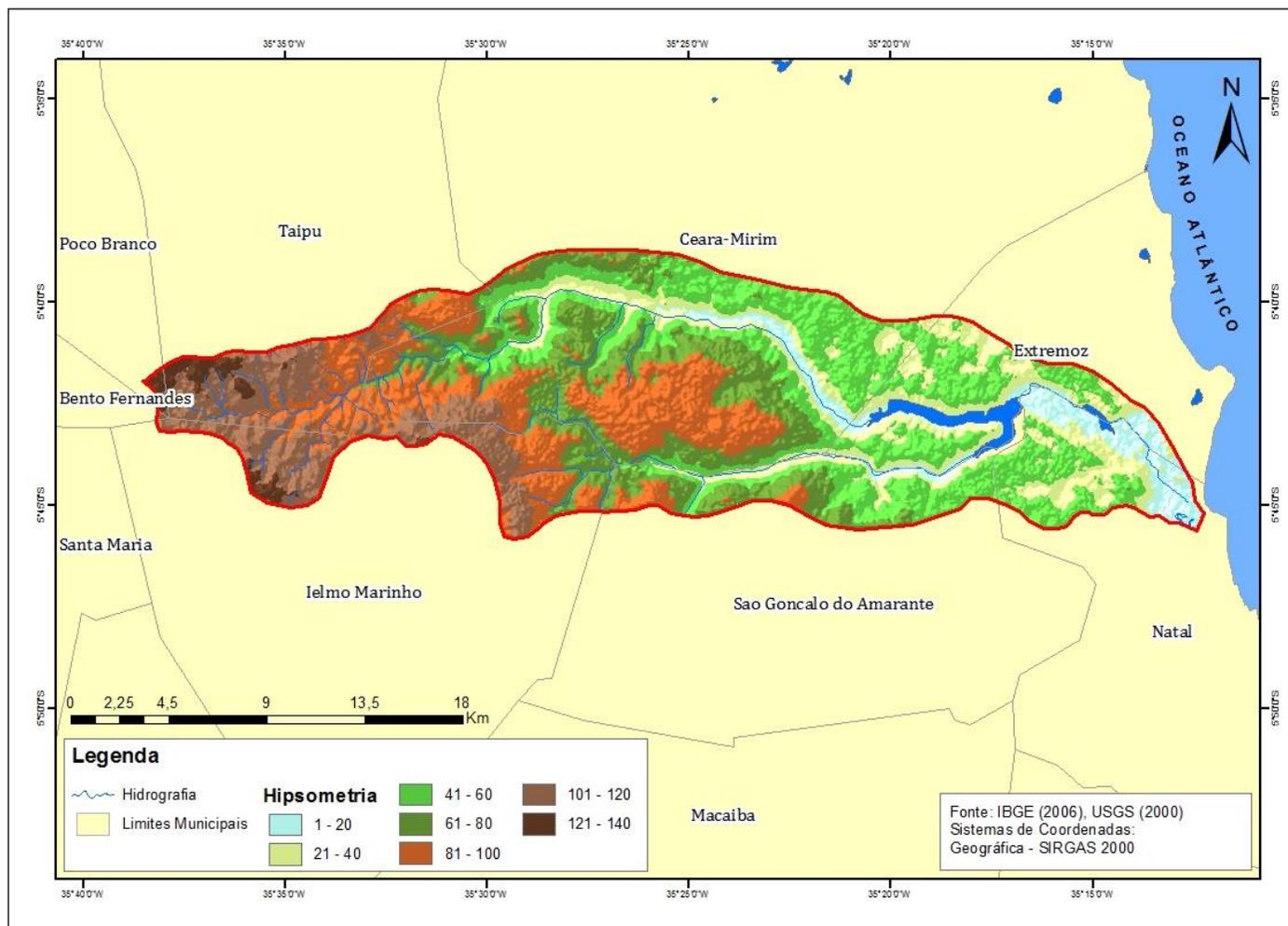
As classes de declividade foram divididas com base na metodologia da Embrapa (1979), considerando o relevo como: plano (0 a 03%), suave-ondulado (03 a 08%), ondulado (08 a 20%), forte-ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e forte-montanhoso (maior que 75%).

Nota-se que as áreas de maiores declividades se encontram nas vertentes próximas aos leitos dos rios Guajiru, Mudo e Doce, variando de fortemente ondulado forte-montanhoso. Essas áreas têm maior potencial de erosão pelo fato de estar em zonas de maiores declividade do terreno, o que facilita o escoamento superficial em relação à infiltração, tendo como consequência o maior arraste de sedimentos.

No restante das áreas da bacia, o relevo se apresenta de plano a ondulado, o que possibilita a infiltração das águas pluviais em relação ao escoamento. Além de ser plana boa parte da área da bacia, a geologia sedimentar e o solo poroso contribui para uma melhor para infiltração (SUDENE, 1971).

A carta de hipsometria (mapa 03) mostra um aumento da altitude de leste para oeste, variando de 01 metro até 140 metros acima do nível do mar, o que nos possibilita visualizar a área da bacia em 3 compartimentos, de acordo com as áreas de altitude: uma mais rebaixada no baixo curso da bacia, com altitudes de 01 a 60 metros; uma área no médio curso, variando entre 60 a 100 metros; e outra no alto curso com altitudes superiores a 100 metros, que compreende a parte de geologia do cristalino, de acordo com os dados do IDEMA (2005).

MAPA 03 – Classificação hipsométrica da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

Após a integração dos dados de relevo (declividade e hipsometria), foram realizadas análises mais minuciosas com a finalidade de detalhar mais as formas de relevo para a compartimentação das unidades naturais. Para realização da compartimentação detalhada, utilizamos das análises das fotografias aéreas, das análises visuais das imagens de satélites disponibilizadas pelo Google Earth – Pró, pelos mapas temáticos de geologia, geomorfologia e de pedologia e pelas visitas de campo, como citados no capítulo dos procedimentos metodológicos.

A partir da integração desses dados, através da sobreposição das bases físicas com as diferenciações do relevo delimitadas pelas fotografias aéreas, foram mapeadas as subunidades geomorfológicas. Foram ao total 3 unidades geomorfológicas, denominadas de Faixa Litorânea (porção leste da bacia), Tabuleiro Costeiro (porção central da bacia) e da Depressão Sertaneja (porção Oeste da bacia). A primeira unidade é composta por três subunidades; a segunda unidade constituída por quatro subunidades; e a terceira, constituída por apenas duas subunidades (tabela 01 e mapa 4), que serão especificadas a seguir.

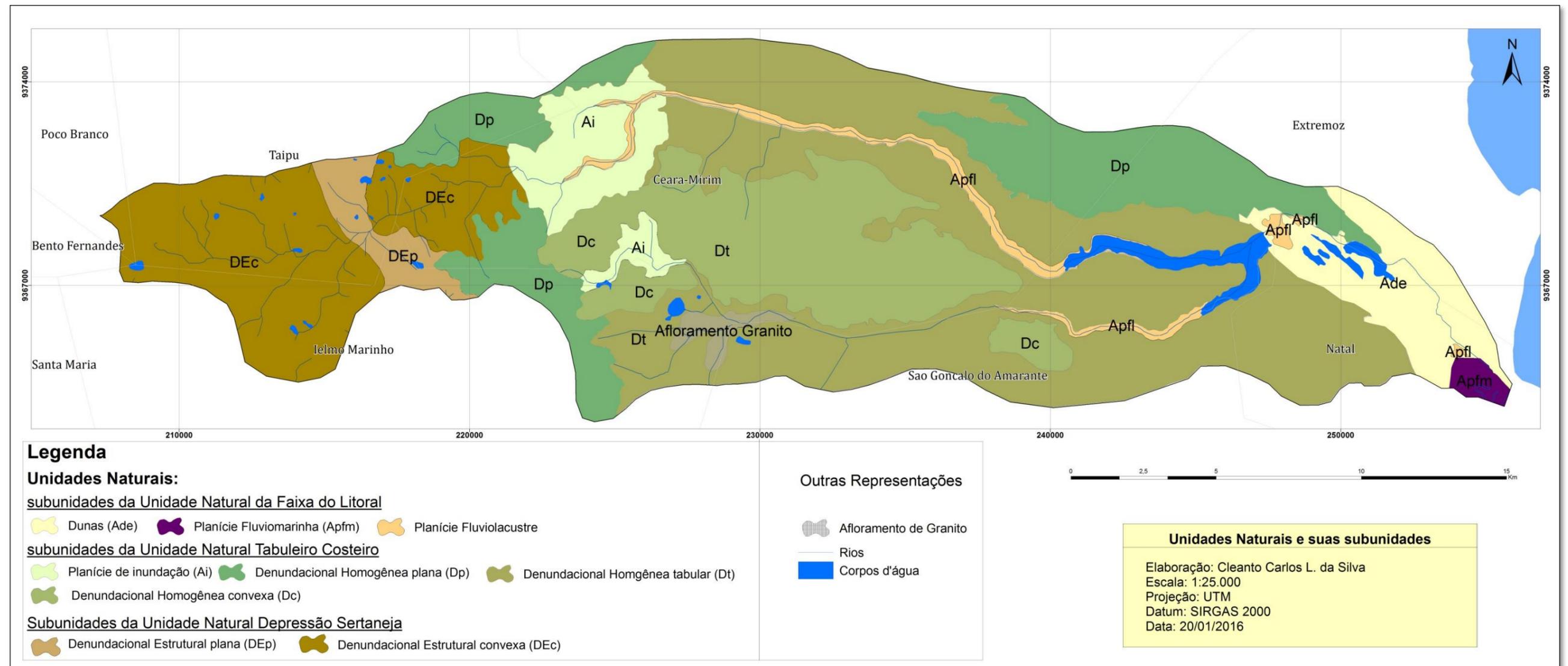
TABELA 01 – Unidades Naturais, subunidades e suas características

Unidades Naturais	Aspectos Gerais da Unidade	Subunidades Naturais	Características Geológicas (CPRM, 2006)	Características Geomorfológicas (CPRM, 2006)	Classes de solos (SUDENE, 1971)	Vegetação (IBGE, 2012)
Faixa Litorânea	Área predominantemente aplainada, variando a altitude em torno de 10 a 50 metros, tendo como base geológica os sedimentos do período Quaternário, como as dunas, paleodunas e aluviões. Apresentando como principal forma de relevo as planícies e as dunas associadas às depressões interdunares.	<ol style="list-style-type: none"> Planície fluviomarinha (Apfm). Duna (Ade). Planície fluviolacustre (Apfl). 	<p>Depósitos de mangues com sedimentos inconsolidados.</p> <p>Depósitos eólicos litorâneos de dunas e paleodunas.</p> <p>Depósitos eluvionares, formados por cascalho, areia e argila.</p>	<p>Superfície plana resultante de processos de acumulação fluvial e marinha.</p> <p>Comporta as dunas fixas e as dunas móveis e as depressões interdunares.</p> <p>Área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e lacustre.</p>	<p>Solos Gley, hidromórfico e tiomórfico.</p> <p>Neossolos quartzarênicos.</p> <p>Neossolos fluviais</p>	<p>Vegetação com influência fluviomarinha (manguezal).</p> <p>Formação pioneira com influência marinha (restinga)</p> <p>Vegetação com influência fluvial (comunidades aluviais).</p>
Tabuleiro Costeiro	Área tabular com altitude variando entre 50 a 100 metros, tendo embasamento geológico constituído por sedimentos do Terciário superior da Formação Barreiras. Apresenta terreno bastante dissecado e com as vertentes de maiores declividades dentro da bacia hidrográfica.	<ol style="list-style-type: none"> Denudacional homogênea Plana (Dp). Denudacional homogênea convexa (Dc). Denudacional 	<p>Depósitos colúvio-eluvionais sobre a Formação Barreiras.</p> <p>Depósitos colúvio-eluvionais sobre a Formação Barreiras.</p> <p>Depósitos aluviais da</p>	<p>Área suavemente plana, com drenagens de baixa densidade e vertentes com pouco declive.</p> <p>Superfície suavemente inclinada, apresentando poucas drenagens e com vertentes de baixa declividade.</p>	<p>Latossolo Vermelho Amarelo.</p> <p>Latossolo Vermelho Amarelo.</p>	<p>Savana arborizada</p>

		homogênea Tabular (Dt).	Formação Barreira.	Superfície suavemente convexa, apresentando vertentes superiores a 45°, sendo considerado o grau de entalhamento como forte. Apresenta formação de sulcos.	Latossolo Vermelho Amarelo.	
		4. Planície de inundação (Ai).	Material coluvial recentes, formado por silte e areia.	Superfície abaciada e sujeita a inundação.	Neossolos fluviais.	
Depressão Sertaneja	Tem como influência o embasamento rochoso cristalino da Formação Seridó e da Suíte Intrusiva Plutônica, compreendendo área com elevação entre 80 a 130 metros na bacia hidrográfica. Tem como característica principal, além da altitude do terreno, diferença no padrão de drenagem do restante da bacia hidrográfica.	1. Denudacional Estrutural Convexa (DEa). 2. Denudacional Estrutural Planar (DEp).	Formação Seridó, formado por granito e sienogranito Suíte Intrusiva Plutônica. Tem como principal rocha o mármore.	Superfície de topos arredondados devido o embasamento cristalino, formando uma rede de drenagem mais densa e com vertentes de baixa declividade. Superfície levemente inclinada com vertentes de baixa declividade sobre uma geologia intrusiva	Luvisolos Crômicos Planossolo.	Savana-Estépica

Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

MAPA 04 – Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Unidades Naturais



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Seguindo a metodologia de Ross (1992), as subunidades naturais são identificadas por letras símbolos com base nas suas naturezas genéticas, “A” para quando apresentarem formas “Agradacionais” (de acumulação) e “D” para identificar formas “Denundacionais” (de erosão). As formas de acumulação (A) são acompanhadas de duas outras letras que indicam a gênese e o processo da forma de acumulação. Já as formas denundacionais (D) são acompanhadas de letras minúsculas que indicam a morfologia do topo das formas de denudação, podendo ser tabular (t), planar (p), convexa (c) e aguçada (a).

A seguir, serão caracterizados os aspectos naturais contidos em cada unidade, como também as suas subunidades naturais. Compreendemos o relevo como fator importante para a delimitação das unidades físicas da bacia hidrográfica, estando associado com as formações geológicas e sendo fator delimitador dos tipos de solos que, por sua vez, também diferencia a vegetação e a hidrografia.

É importante ressaltar que o mapeamento das subunidades naturais coincidiu com as unidades geológicas da área, com base nos dados da CPRM (2006). Isso mostra que a geologia tem forte influência nas características naturais da bacia hidrográfica do Rio Doce, pois os limites das unidades naturais são os mesmos limites das unidades geológicas.

Unidade Natural Faixa Litorânea

Chamamos de Faixa Litorânea a Unidade Natural da porção Leste da bacia hidrográfica do Rio Doce. Faixa Litorânea porque a área apresenta características físicas que recebem influência marítima, como as áreas de dunas e o manguezal, compreendidas como subunidades “Ade” e “Apfm”, respectivamente. Além dessas duas subunidades, há uma terceira que compreende a Planície Flúvio Lacustre – “Apfl”.

Como definição pelo IBGE (1995), estas três subunidades se classificam geomorfologicamente, assim:

- Duna (Ade) – Depósitos eólicos formados em função do estoque de sedimentos fornecidos pelo sistema fluvial ou costeiros através regime de ventos. Ocorrem principalmente nas regiões litorâneas, onde o regime do vento é favorável.
- Planície Fluviomarinha (Apfm) – área resultante de processos de combinações de acumulação fluvial e marinha, ocorrendo nas baixadas litorâneas, próximo as embocaduras fluviais.

- Planícies Fluviolacustres (Apfl) – áreas planas resultantes dos processos fluviais e lacustres, ocorrendo em áreas que sofrem os efeitos de acumulação combinada dos rios e lagos, sujeitos a inundações periódicas.

A Faixa Litorânea é formada por subunidades constituídas de sedimentos do período Quaternário (Neógeno) sobre o Grupo Barreira do Terciário (Paleógeno), todas sendo formas de acumulação. Os sedimentos de idade quaternária formando as dunas e paleodunas, depósitos de mangues e aluviões. Duna se define por monte de areia móvel ou não, depositados pela ação do vento dominante; manguezal pode ser definido como terreno baixo, junto à costa, sujeito a inundação das marés; e aluviões, definidos como áreas de depósitos de detritos ou sedimentos clásticos carregados pelos rios (GUERRA, 2010).

Quanto ao material do período Terciário, são encontrados aflorando em algumas áreas, com seqüências sedimentares de coloração variante entre roxo, vermelha e amarelada e formada por sedimentos variando entre cascalho, areia e argila (Figura 13). Esses aspectos de coloração e de textura variada são característicos do Grupo Barreiras, comumente encontrado na costa nordestina, formando os tabuleiros litorâneos (BEZERRA *et al.* 2006).

Figura 13 – Afloramento da Formação Barreiras, no primeiro plano, próximo ao Rio Doce, com as dunas recobrendo o Barreiras, segundo plano.



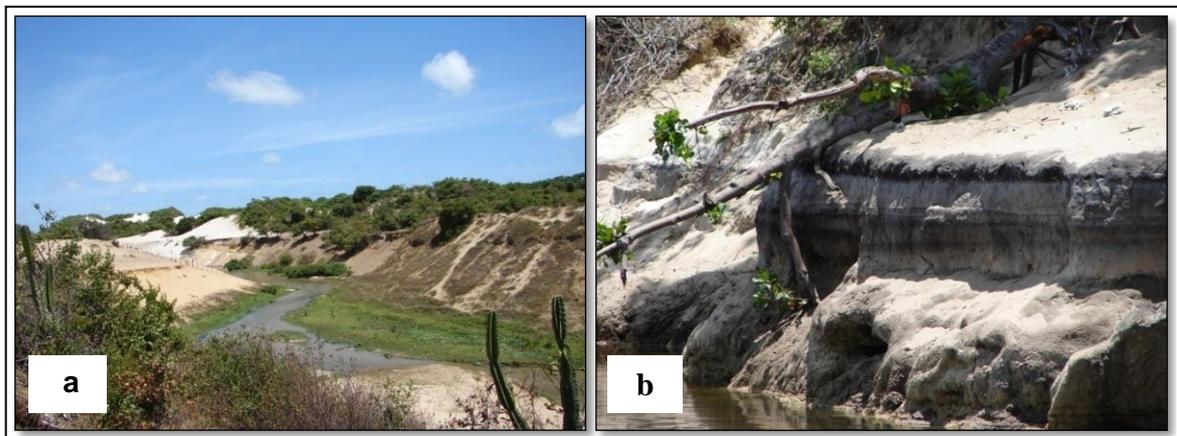
Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

Quanto ao clima, de acordo com a classificação de Köppen, a predominância é do tipo As – clima tropical chuvoso quente com verão seco. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992), com base nas normais climatológicas de 1961 a 1990, a temperatura média anual da área é de 26°C com precipitação em torno de 1400 mm distribuídas anualmente de janeiro a julho. A grande quantidade de chuvas nessa unidade,

juntamente com os solos arenosos e a grande ocupação urbana, podem ser o motivo para a concentração de focos erosivos encontrados na área serem superiores aos das outras unidades.

Como é uma unidade de formação mais recente, os solos pertencentes à área também se apresentam como pouco evoluídos: Neossolos e Gleissolos. Constituindo o grupo do Neossolos na unidade, temos os Neossolos Quartzarênicos da subunidade “Ade” (Figura 14a), caracterizado por ser bastante arenoso e apresentar os horizontes A e C, portanto, classificado como solo pouco evoluído (EMBRAPA, 2006), e os Neossolos Flúvicos (Figura 14b), caracterizados por deposição de sedimentos aluviais e que apresentam sobreposição de camadas de sedimentos aluviais sem relações pedogenéticas entre si. (EMBRAPA, 2006).

Figura 14 – Solos Neossolos Quartzarênicos (a) formando as dunas vegetadas e os Neossolos Flúvicos (b) na margem do Rio Doce.



Fonte: Zuleide de Carvalho, 2005.

Os Gleissolos, encontrados na subunidade “Apfm”, apresentam características de material pouco desenvolvido, escuros, lamacentos, com alto teor de sais proveniente de água do mar e composto de enxofre (EMBRAPA, 2006). A presença do mangue é indicador da salinidade do solo (OLIVEIRA, 2011).

Quanto à vegetação, observamos que ela está fortemente condicionada as condições dos solos. Os solos arenosos dão suporte à Formação Pioneira com Influência Marinha (vegetação de restinga), podendo ser mais densa, com porte arbustivo-arbóreo situado nas encostas e topos das dunas (Ade) e uma vegetação herbácea, psamófila, menos densa, nas áreas mais úmidas (SOARES, 2006). Ainda de acordo com Soares (2006, p. 61):

em um levantamento da composição florística da mata ciliar do rio Doce, realizado em conjunto entre a Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo – SEMURB e o Instituto de Desenvolvimento e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA, foram encontradas espécies herbáceas, principalmente, nos trechos

situados às margens do rio Doce e espécies arbustivas e arbóreas, situadas nas encostas e nos topos das dunas fixas, apresentando, nestas últimas, uma vegetação mais densa.

Já na subunidade natural “Apfm”, que compreende a área de mangue, a vegetação é manguezal, adaptada a viver em solos tiomórficos (abundância de enxofre) e hidromórficos, sendo caracterizada por vegetação de influência fluviomarinha. Na subunidade “Apfl” se destaca a formação de vegetação hidrófila, herbácea, associada às lagoas e áreas úmidas.

Unidade Natural Tabuleiro Costeiro

A unidade natural de Tabuleiro Costeiro é a que ocupa a maior área. Destaca-se principalmente pelo seu relevo tabular formado sobre o Grupo Barreiras, originário do Terciário – Paleógeno. Na bacia, corresponde a área do médio curso. Como subunidade natural, encontram-se: Planície de inundação (Ai), compreendendo a área mais nova de toda unidade natural, sendo a única unidade deposicional; Denundacional homogênea plana (Dp); Denundacional homogênea tabular (Dt) e Denundacional homogênea convexa (Dc).

De acordo com a classificação geomorfológica do BRASIL (1995), estas quatro subunidades se classificam da seguinte maneira:

- Planície de inundação (Ai) – área abaciada resultante de planos convergentes, sujeita a inundações periódicas, incorporadas à rede de drenagem.
- Denundacional homogênea plana (Dp) – área suavemente plana, com drenagem de baixa densidade e vertentes com pouco declive.
- Denundacional homogênea tabular (Dt) – é a maior subunidade natural da bacia, apresentando terreno em forma de “mesa”, com as maiores inclinações das vertentes próximas aos dois principais rios da bacia – Rio Mudo e Guajiru. É a subunidade com maior desgaste.
- Denundacional homogênea convexa (Dc) – área suavemente ondulada, com topos arredondados, com vales bem definidos.

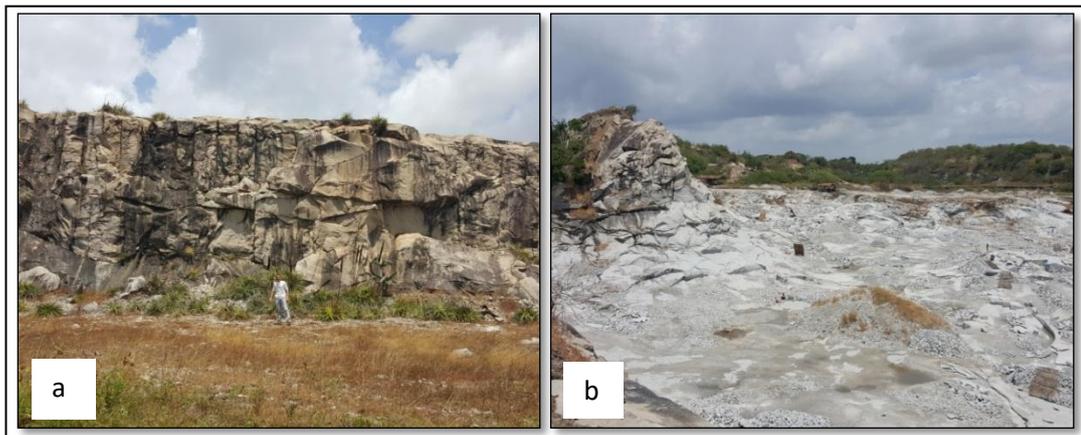
A Unidade Natural do Tabuleiro Costeiro se apresenta inserida numa geologia sedimentar do Terciário, dividido principalmente em Depósitos colúvio-eluviais (N23c), Grupo Barreiras (ENb), e o afloramento Suíte Intrusiva Dona Inês (NP3γ2di), de acordo com

CPRM (2007). As subunidades naturais têm suas delimitações coincidindo com os limites geológicos.

Os Depósitos colúvio-eluviais (N23c) são característicos das subunidades Denudacional plana (Dp) e Denudacional convexa (Dc). CPRM (2007) os define como sedimentos arenosos e arenoargilosos esbranquiçados, por vezes constituídos de depósitos conglomeráticos com seixos de quartzo predominantes.

A Formação Barreiras (ENb) está inserida nas subunidades Planície de inundação (Ai) e Denudacional tabular (Dt). Esta formação geológica já foi descrita na Unidade Natural Litorânea. Já a Suíte Intrusiva Dona Inês (NP3γ2di) se encontra aflorando dentro da subunidade Denudacional tabular (Dt). Esta formação se trata de rochas plutônicas, sendo composta de sienogranitos equigranulares de granulação fina a média (CPRM, 2007). Vale destacar que a área de afloramento é usada por pedreiras na exploração de granitos (Figura 15).

Figura 15 – Afloramento de Granito em área de geologia sedimentar (a) e a pedreira de extração de granito próximo a nascente do Rio Guajiru (b)



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

O clima dessa Unidade Natural não se diferencia do clima tratado na Unidade anterior, sendo caracterizado como um clima tropical chuvoso quente com verão seco – As, com temperaturas variando entre 21°C e 31°C (CASTRO, 2000; SOARES, 2006), sendo os meses de março a junho período de excedente hídrico e no restante do ano, déficit hídrico, de acordo com os dados de INMET da estação de Ceará-Mirim (1961 -1990).

Já os solos que se encontram nessa unidade, de acordo com a base de dados do IDEMA (2005), são classificados como Latossolos Amarelos Distróficos. De acordo com

Oliveira (2011), os Latossolos apresentam avançado estágio de intemperismo e de material coloidal com baixa capacidade de troca catiônica e ausência de minerais primários. Estas características os que classificam como Distróficos, com baixa fertilidade.

O Latossolo abrange todas as subunidades desta Unidade Natural, com exceção da subunidade Planície de inundação (Ai), pois, diferente dos latossolos que são bem drenados, os solos dessa subunidade apresentam-se como hidromórficos (Figura 16), sendo solos mal drenados que apresentam horizontes glei. Esses solos apresentam horizonte H, superficial, de constituição de matéria orgânica (OLIVEIRA, 2011). É bom destacar que para a área de estudo, não há um mapeamento detalhado dos solos, tendo as fontes utilizadas de trabalhos apenas em pequenas escalas, o que mostra uma classificação pedológica genérica.

Figura 16 - Solos hidromórficos da subunidade Natural Planície de Inundação.



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

A vegetação predominante da Unidade Natural, de acordo com a classificação do IBGE (2012), é a vegetação Savana Arborizada (Cerrado) (figura 17), formando dois estratos: um arbóreo-arbustivo e um herbáceo, sendo ralo e descontínuo, com exceção da subunidade natural Planície de inundação (Ai), que apresenta vegetação de área alagada, apresentando também carnaúba, vegetação encontrada frequentemente em solos alagadiços, de várzeas ou em margens de rios no Nordeste brasileiro.

Figura 17 – Savana arborizada com solo exposto na unidade Natural Tabuleiro Costeiro



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Unidade Natural Depressão Sertaneja

A unidade natural Depressão Sertaneja é a unidade que se localiza no alto curso da bacia Hidrográfica do Rio Doce, onde se localizam as principais nascentes do Rio Mudo. Nesta Unidade, o Rio Mudo passa a ser classificado como drenagem dendrítica, apresentando apenas duas subunidades naturais: Denudacional Estrutural convexo (DEc) e Denudacional Estrutural plano (DEp).

Utilizando a classificação geomorfológica do IBGE (1995), estas duas subunidades se classificam, assim:

- Denudacional Estrutural convexa (DEc) – área de vertentes com declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagens de primeira ordem.
- Denudacional homogênea plana (DEp) – Definida por rede de drenagem de baixa densidade, com vertentes de pequenas declividades.

O clima da unidade se diferencia das outras duas, pois, embora seja classificada como clima As – tropical chuvoso com verão seco, também recebe influência do clima semiárido (BSh), tendo uma temperatura média anual de 25,3 °C, com precipitação anual média em torno dos 750 mm (CPRM, 2005). Essa pluviosidade diferenciada do resto da bacia, juntamente com a geologia vai dar aspectos únicos, o que a torna a Unidade Natural mais diferenciada na bacia, única com geologia cristalina e clima característico do semiárido.

Nessa unidade encontramos como seu delimitador a geologia, sendo o elemento físico que mais influencia a área. A geologia da Unidade Natural da Depressão Sertaneja é do

crystalino, composta por rocha ígnea e metamórfica. É bastante nítido que a drenagem nessa unidade se diferencia, tendo maior número de ramificações.

Como unidades geológicas temos a Formação Seridó (NP3ss), contida na subunidade Denudacional Estrutural plana (DEp), e Suíte Intrusiva Dona Inês (NP3γ2di), inserida na subunidade natural Denudacional Estrutural convexa (DEc). A primeira se trata de uma formação geológica metamórfica formada no período Ediacariano da Era Neoproterozóica (Figura 18). Sua litologia dominante consta de micaxistos feldspáticos (ANGELIM *et al.* 2006). Já a Suíte Intrusiva Dona Inês (NP3γ2di), como dito anteriormente, é composta de rochas plutônicas, sendo constituída de sienogranitos equigranulares de granulação fina a média (CPRM, 2007), também do período Ediacariano.

Figura 18 – Afloramento de granito da Suíte Intrusiva Dona Inês no leito do rio Mudo



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Nessa unidade, devido à escala de pouco detalhe, os solos se apresentam como classe única – Luvisolos Crômicos (SUDENE, 1971). Em campo, o solo se apresenta bem esbranquiçado, arenoso e bem drenado (Figura 19). Esses Luvisolos podem ser definidos com como solos rasos, raramente ultrapassam 1 metro, apresentando mudança de textura abrupta, com presença de minerais primários e são considerados eutóficos (EMBRAPA, 2006).

Figura 19 - Solo exposto da Unidade Natural da Depressão Sertaneja



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Quanto à vegetação predominante da Unidade Natural Depressão Sertaneja, devido à característica de clima mais seco, com pluviosidade média anual bem menor que as outras unidades, esta apresenta a vegetação chamada comumente de Caatinga, porém é classificada de acordo com o IBGE (2012), como Savana-Estépica (figura 20), com a presença de arbustos e árvores com espinhos, adaptadas a ambientes secos, porém, menos agressiva do que a Caatinga Hiperxerófila.

Figura 20 – Subunidade Estrutural plana com a cobertura vegetal Savana-Estépica.



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Caracterizando as três unidades naturais pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Doce e suas subunidades, observamos que são unidades distintas, sendo subsistemas da própria bacia, com seus aspectos físicos se relacionando e se influenciando, como a geologia influenciando as drenagens e essas, por sua vez, talhando o relevo. Com o mapeamento das Unidades Naturais (Mapa 04), foi dado um novo passo para entender a relação dos solos com essas unidades, através da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, preenchendo uma lacuna para bacia hidrográfica do Rio Doce que é o mapeamento pedológico e da ocorrência de seus processos erosivos.

3.2 Fenômenos de Erosão do Solo

A Erosão do Solo pode ser definida como o processo pelo qual a camada superficial do solo é retirada pela ação das águas, dos ventos, da gravidade e das ações antrópicas, sendo transportadas e depositadas em outros lugares (ALBUQUERQUE et al. 1994). No caso da bacia hidrográfica do Rio Doce, sendo localizada em área tropical, o agente que mais atua na erosão é a chuva.

Entendemos o mapeamento dos fenômenos de erosão do solo como o sexto táxon da classificação geomorfológica de Ross (1992). Esses fenômenos de erosão representam os sulcos, ravinas e voçorocas, muito presentes nas vertentes. Por sua vez, as formas de vertentes representam o 5º táxon.

O mapeamento foi realizado primeiramente pela análise visual de imagens de satélites do Google Earth – Pró e depois conferidas através das visitas de campo. Foi mais perceptível encontrar os pontos de erosão na área de tabuleiro costeiro, o que pode ser relacionado com a área que apresenta maiores declividades das vertentes. Os pontos de erosão foram encontrados em maior quantidade nas vertentes dos rios Mudo e Guajiru na Unidade Natural Tabuleiro Costeiro e, depois, na Unidade Natural Faixa Litorânea.

Outro fator que merece destaque além do geológico é a questão do clima que, como destacamos anteriormente, apresenta maiores índices pluviométricos nas Unidades Naturais Faixa Litorânea e Tabuleiro Costeiro. A alta pluviosidade nessa área pode contribuir para o aumento dos processos erosivos sobre os Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-amarelados, que não se apresentam bem estruturados.

Percebemos que, de acordo com o mapa de declividade (Mapa 02), os pontos de erosão coincidem com as vertentes que apresentam maiores declividades, chegando a certos pontos, a serem superior a 45% o ângulo de inclinação. O que também pode contribuir para os

processos erosivos, além das características dos solos e da pluviosidade, são as formas de vertentes.

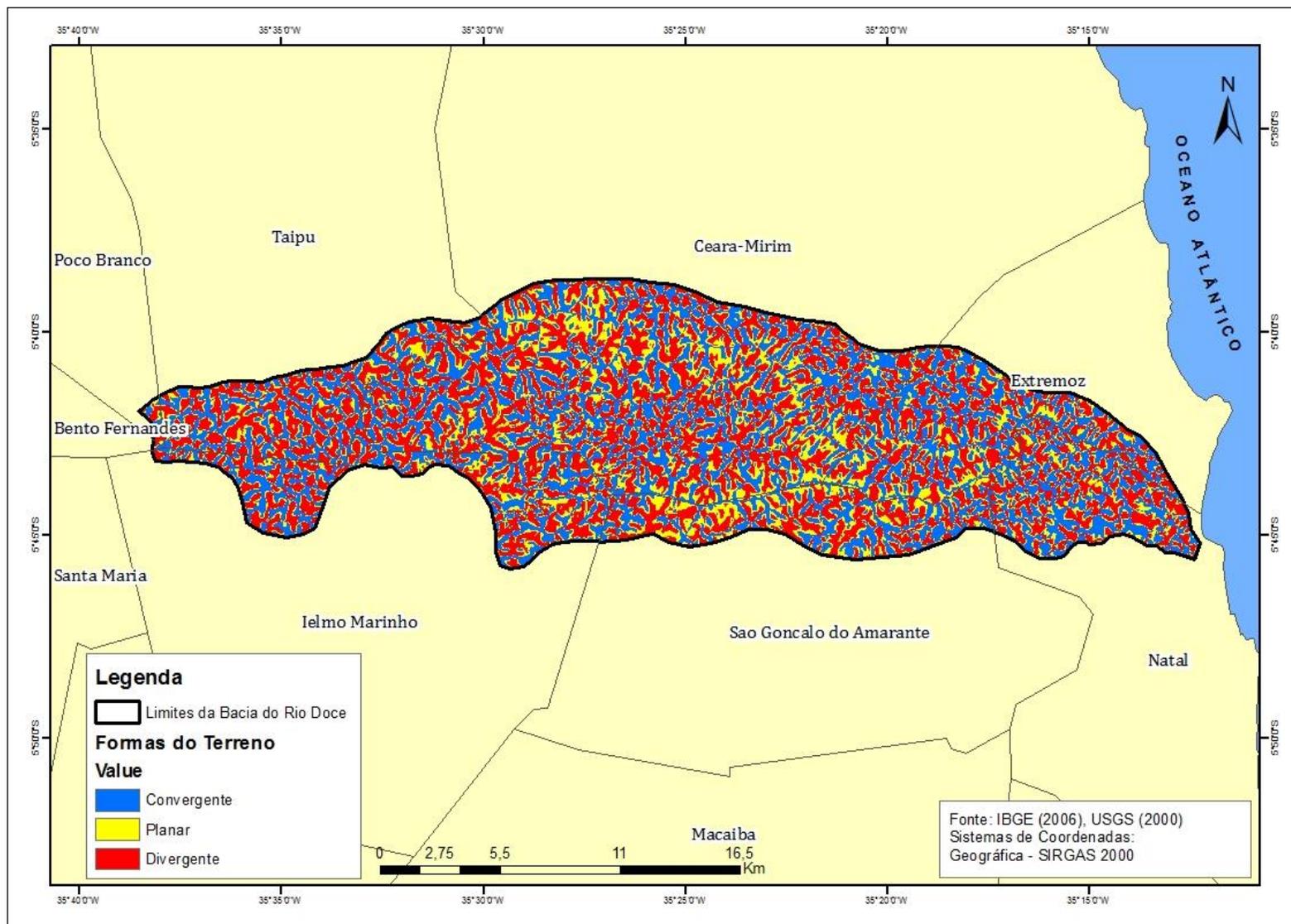
A análise das vertentes se torna fundamental para entender os processos erosivos porque é na vertente que se torna mais visível a relação entre pedogênese e morfogênese, proporcionando o desenvolvimento dos solos verticalmente (pedogênese) e dos processos erosivos paralelamente (morfogênese) (SILVA NETO, 2013).

A realização do mapeamento dos padrões e formas de vertentes foi feito com o auxílio do software Arcgis 10.1, utilizando as informações geomorfológicas do SRTM, de 30 metros, disponível no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USCG).

A curvatura horizontal das vertentes, demonstrada no mapa 05, indicam as áreas de escoamento superficial divergentes, convergentes e planar. As vertentes convergentes tendem a concentrar o fluxo de água e as vertentes divergentes tornam o escoamento difuso. Quanto mais concentrado o fluxo de água, maiores são os transportes de partículas como também maior o potencial de erosão (BIGARELLA, 2003).

É importante ressaltar que a forma de vertente “planar” está à margem dos rios Doce, Guajiru e Mudo, na área da unidade do Tabuleiro Costeiro, perdendo expressividade na área de geologia do cristalino, na unidade natural Depressão Sertaneja. A geologia, além de influenciar o tipo de drenagem, também tem forte influência sobre o tipo de vertente.

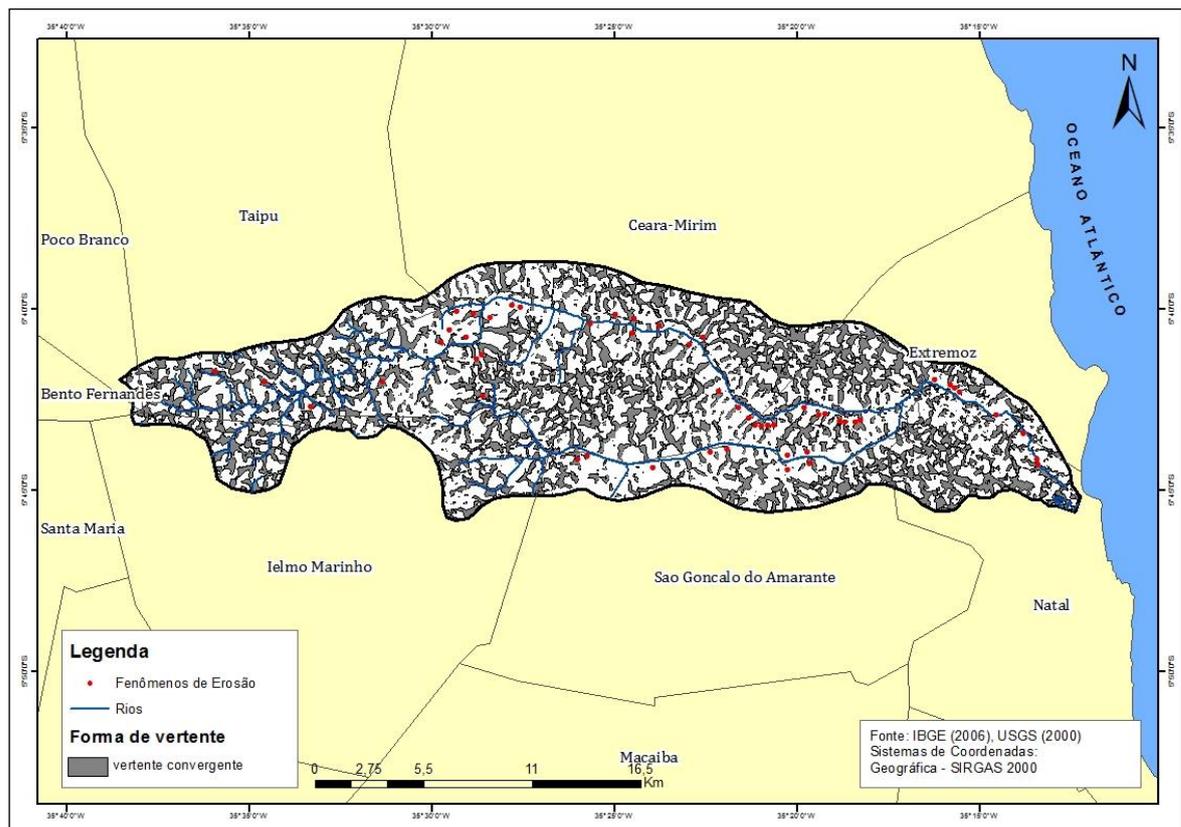
MAPA 05 – Classificação das formas de vertentes da bacia hidrográfica do Rio Doce de acordo com as imagens de SRTM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2015.

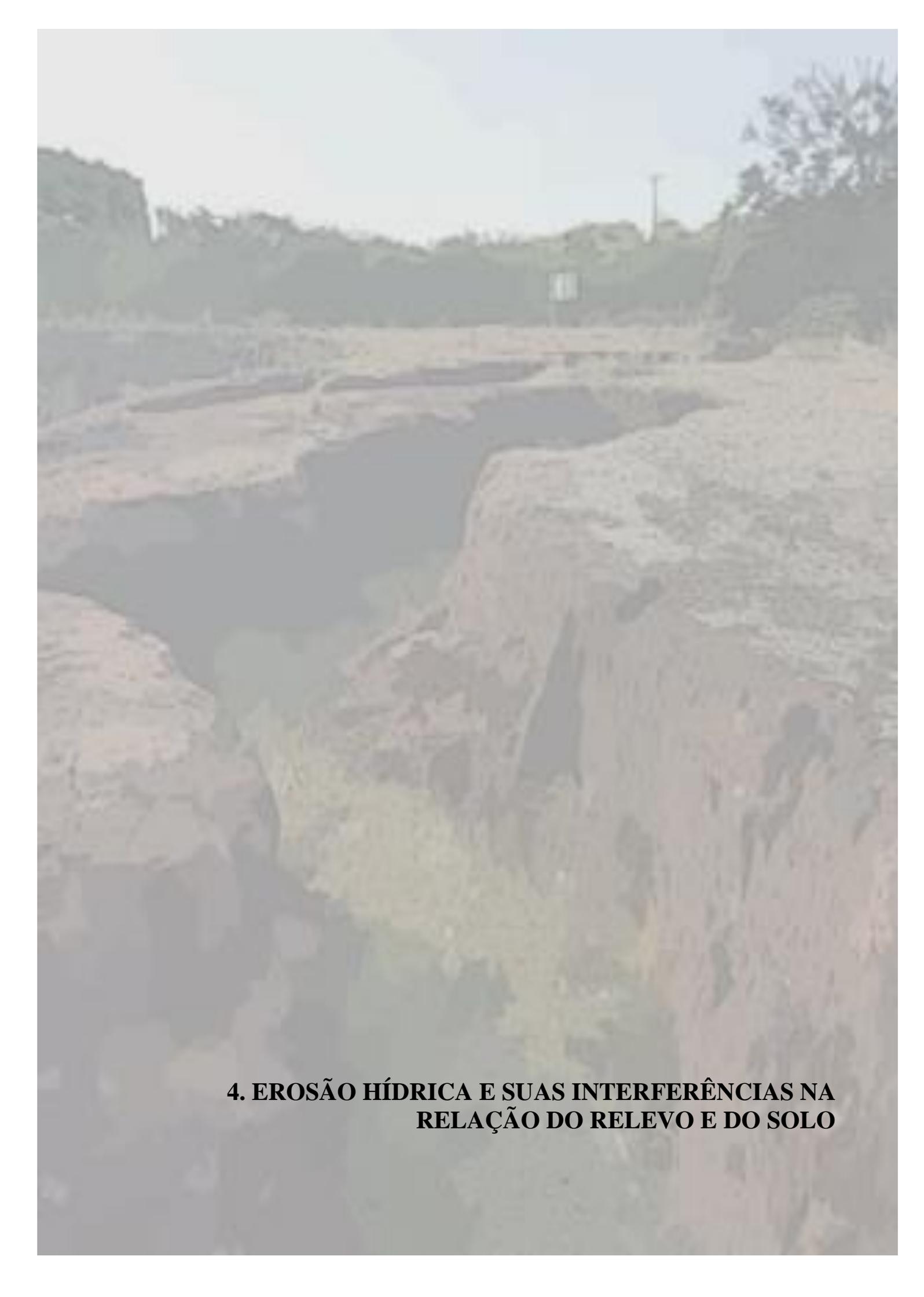
Com o mapeamento dos pontos de erosão colocados sobre a carta das formas de vertentes, fica evidente que os pontos de erosão se concentram na maioria nas formas de vertentes com fluxos concentrados (convergentes). Dos 53 fenômenos de erosão mapeados, 44 estão sobre a forma de vertente convergente (Mapa 06) e o restante sobre a forma planar e divergente, tendo um escoamento mais difuso.

Mapa 06 – Bacia hidrográfica do Rio Doce: Fenômenos erosivos sobre vertentes divergentes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Assim, relacionadas com o tipo de solos, clima e vegetação, as vertentes convergentes, na bacia do Rio Doce, se mostram como mais susceptíveis aos processos erosivos. A forma convergente se mostra como a de maior predominância em todas as três unidades naturais da bacia. Também devemos destacar que todos os pontos ocorrem nas margens dos cursos d'água, principalmente nas áreas de ausência da mata ciliar.



**4. EROSÃO HÍDRICA E SUAS INTERFERÊNCIAS NA
RELAÇÃO DO RELEVO E DO SOLO**

O conhecimento das propriedades do solo possibilita a compreensão do comportamento dos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, o que influencia no desenvolvimento do relevo ou nos processos pedogenéticos, respectivamente.

A fim de se compreender essa relação solo-relevo e a contribuição da erosão hídrica, foram realizadas topossequências nas três unidades naturais presentes na bacia hidrográfica do Rio Doce. Foram ao todo, realizados três topossequências, transpassando todas as subunidades de cada unidade natural. Também foram coletadas amostras indeformadas para realização de ensaios, como densidade aparente, porosidade e o de Inderbitzen.

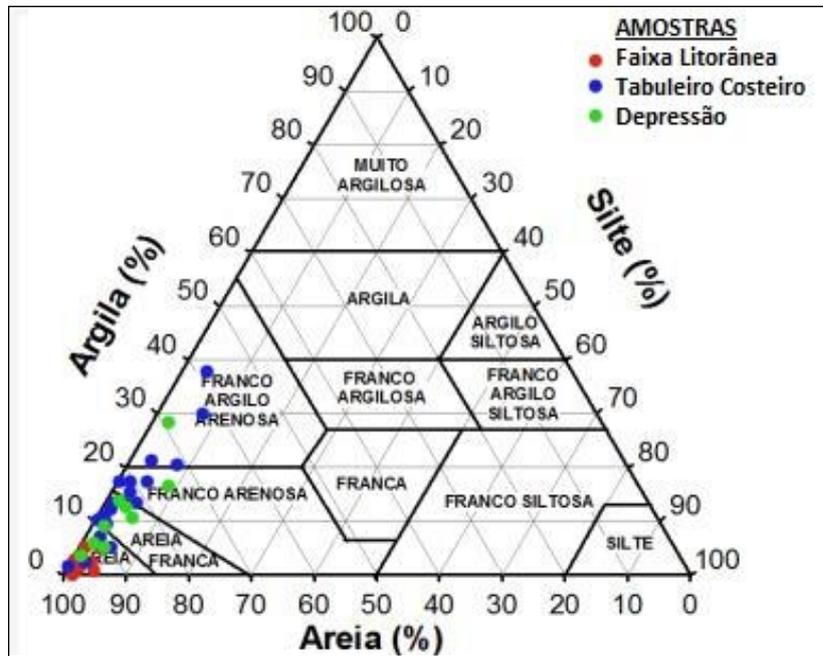
Como os solos das três unidades são classificados, de acordo com o IDEMA (2012), como Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Amarelo Distrófico, compreendemos, em primeiro momento, que os solos da bacia têm baixa anisotropia¹. A baixa anisotropia foi verificada em campo tanto horizontal como verticalmente no solo pela pouca diferenciação da cor e da textura, o que contribuiu para diminuir o número de tradagens e de amostras coletadas e analisadas.

Logo, a primeira informação em campo verificada e confirmada posteriormente em laboratório foi à baixa variação das propriedades cor e textura dos solos nas suas três dimensões, o que condiz com as características das classes de solo Latossolos e Neossolo quartzarênico, que, apesar do primeiro ser um solo muito velho e o segundo ser um solo jovem, os dois apresentam baixa anisotropia.

Em relação à granulometria, os solos coletados nas três topossequências apresentaram pouca porcentagem de argila e silte e maiores valores de areia grossa e areia fina, variando, de acordo com a classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SANTOS, 2005), entre arenosa e argilo-arenosa (Figura 21).

¹Anisotropia refere-se à qualidade de uma substância ou sistema dependendo da direção (RESENDE et al., 2007). Os solos que contêm grande diferenciação vertical ou lateral podem ser considerados muito anisotrópicos, e quando não apresentam, são pouco anisotrópicos.

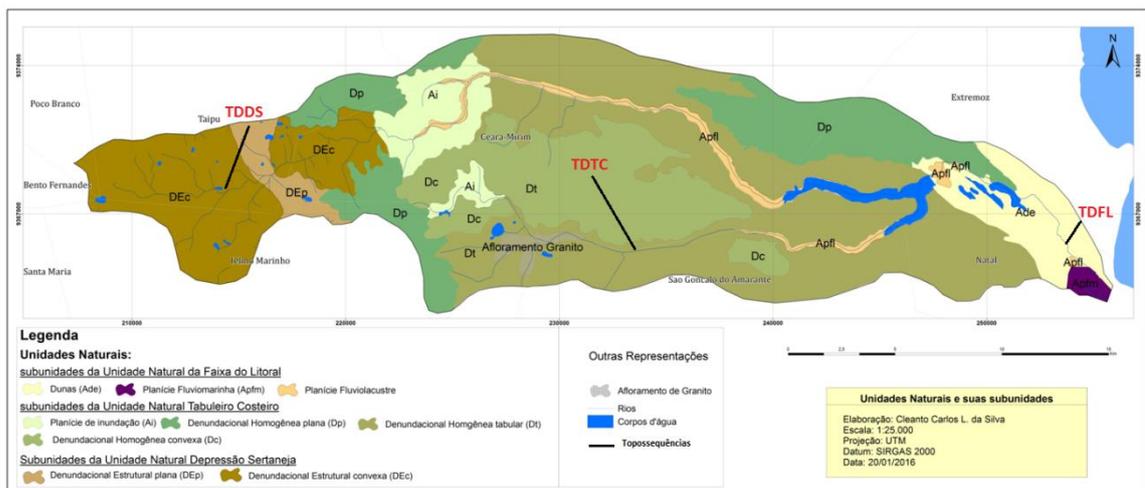
Figura 21 – Triângulo textural com a representação das amostras coletadas das topossequências das três unidades naturais



Fonte: Adaptado de Santos, 2005.

Vale destacar que foram criadas nomenclaturas para diferenciação das amostras de trado de cada topossequência das unidades: TDFL, para as amostras de trado na unidade Faixa Litorânea; TDTC, para as amostras de trado da unidade de Tabuleiro Costeiro; e TDDS, para as amostras de trado da unidade Depressão Sertaneja (Figura 22).

Figura 22 – Áreas selecionadas para realização das topossequências nas unidades naturais.

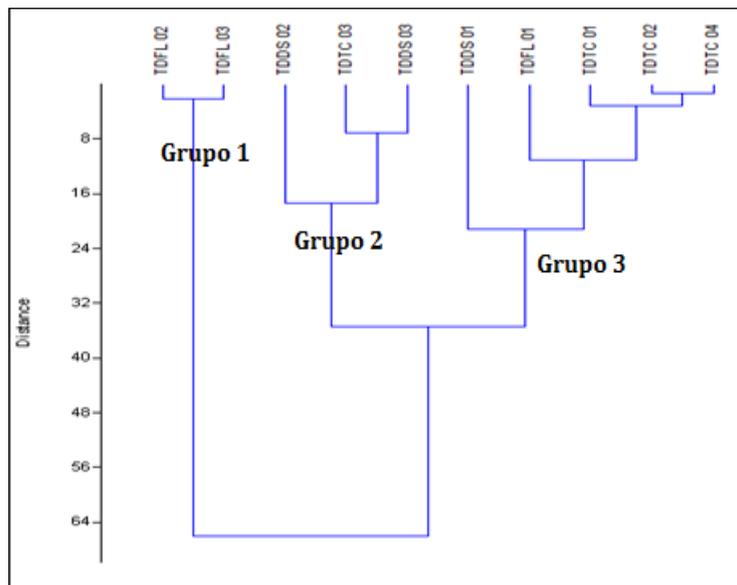


Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Os resultados das análises granulométricas se assemelharam com as características já conhecidas das classes de solos Neossolo Quartzarênico e Latossolo. As amostras das toposequências da unidade Faixa Litorânea, composta por dunas, foram classificadas como arenosa, independente da profundidade. Já as amostras das toposequências das unidades Tabuleiro Costeiro e Depressão Sertaneja, apresentaram na superfície um solo arenoso ou areia-franca e com um suave aumento no valor de partículas finas (silte e argila) com a profundidade.

Para diferenciar ou apontar as semelhanças das amostras de trado das três unidades naturais em relação à composição granulométrica, foi gerado um dendrograma (Figura 23), através do método estatístico de análise agrupamento (análise de Clusters), realizado com o auxílio do programa “*Past Paleontological Statistics*”. Assim, podemos identificar 3 grupos de amostras que pouco se diferenciam.

Figura 23 – Dendrograma relativo às análises de agrupamento das tradagens, com base nos valores médios de textura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As amostras do primeiro grupo, TDFL 02 e TDFL 03, são as que mais se diferenciam das demais por apresentarem baixa porcentagem de areia grossa (0,05 – 0,002 mm e menor que 0,002 mm, respectivamente) e por apresentarem aproximadamente 90% de areia fina (0,2 – 0,05 mm), sendo portanto os solos mais arenosos da bacia do Rio Doce. Já no grupo 2, contendo as tradagens TDDS 02, TDDS 03 e TDTC 03, as tradagens se assemelham entre si por apresentarem os maiores valores de silte e argila (0,05 – 0,002 mm e menor que 0,002mm, respectivamente) entre todas as amostras; e as amostras do grupo 3, formadas pelas

tradagens TDDS 01, TDFL 01, TDTC 01, TDTC 02 e TDTC 04, que apresentam os maiores valores de areia grossa entre todas as amostras de cada tradagem.

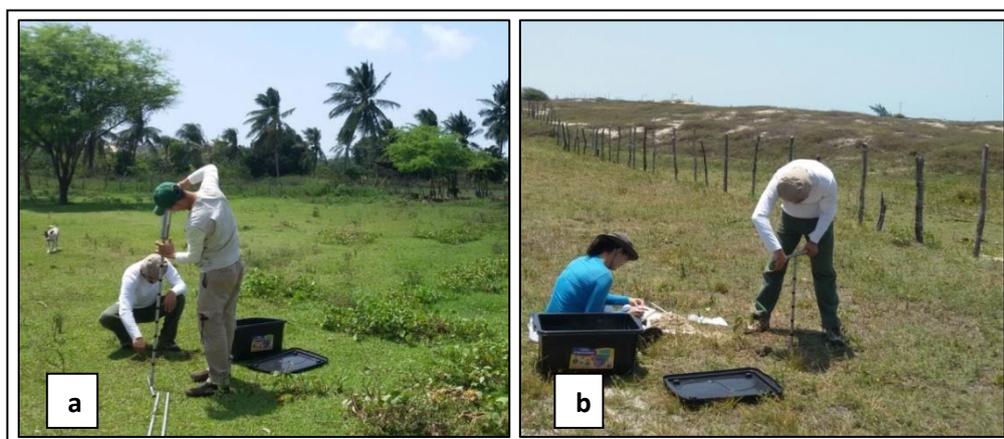
São furos de trados muito semelhantes, demonstrado pelas distancias entre os furos no gráfico, que se diferenciam no dendrograma mais pela variação de silte e argila. Analisando as figuras 20 e 22, fica evidente que a característica granulometria dos solos da bacia do Rio Doce é muito parecida, devido a quantidade de área fina que se destacam nas amostras.

4.1 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Faixa Litorânea

É importante destacar primeiramente que os solos dessa unidade natural Faixa Litorânea, diferentemente dos solos das outras unidades naturais da bacia do Rio Doce, são considerados solos alóctones, pois são constituídos por depósitos marinhos e fluviais recentes que sofreram deposição e, por conseguinte, processo pedogenético. Ou seja, não são solos que se originaram a partir da rocha base presente na área.

O perfil pedológico foi realizado com tradagem do divisor de água até o leito no baixo curso do Rio Doce (Figura 24), atravessando toda subunidade “Ade”, composta por dunas fixas e dunas móveis sobre um solo quartzoso bem mais antigo, sendo possivelmente uma paleoduna². Como dito anteriormente, os solos dessa unidade são classificados como Neossolos Quartzarênicos (SUDENE, 1971; IDEMA, 2012).

Figura 24 – Topossequência na unidade Faixa Litorânea: coletas de amostras dos furos TDFL 01 (a) e TDFL 03 (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

²Paleodunas são depósitos eólicos mais antigos sem forma definida, com desenvolvimento pedogenético. (GIANNINI, 2007).

A topossequência da unidade Faixa Litorânea tem 1100 metros de comprimento, com um relevo bem variado devido à deposição das dunas presentes na paisagem, variando de 8 a 20% de declividade, considerado como terreno ondulado de acordo com a EMBRAPA (1979) e com desnível altimétrico de 25 metros. As vertentes cortadas pela topossequência se apresentam na maior parte como vertentes convexas (divergentes). Na parte composta por paleoduna o relevo apresenta-se mais plano, com declividade variando de 0 a 3%.

O solo, com características de um Neossolo Quartzarênico, se apresenta muito poroso e bem drenado, e com ausência de estruturas, não plástico e não pegajoso. Essas características se apresentam sem variação vertical e horizontal, com exceção da amostra do horizonte superficial do primeiro furo (TDFL 01), próximo ao leito Rio Doce, que a maior quantidade de matéria orgânica (Tabela 02) possibilitou a formação de estruturas granulares.

TABELA 02 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Faixa Litorânea.

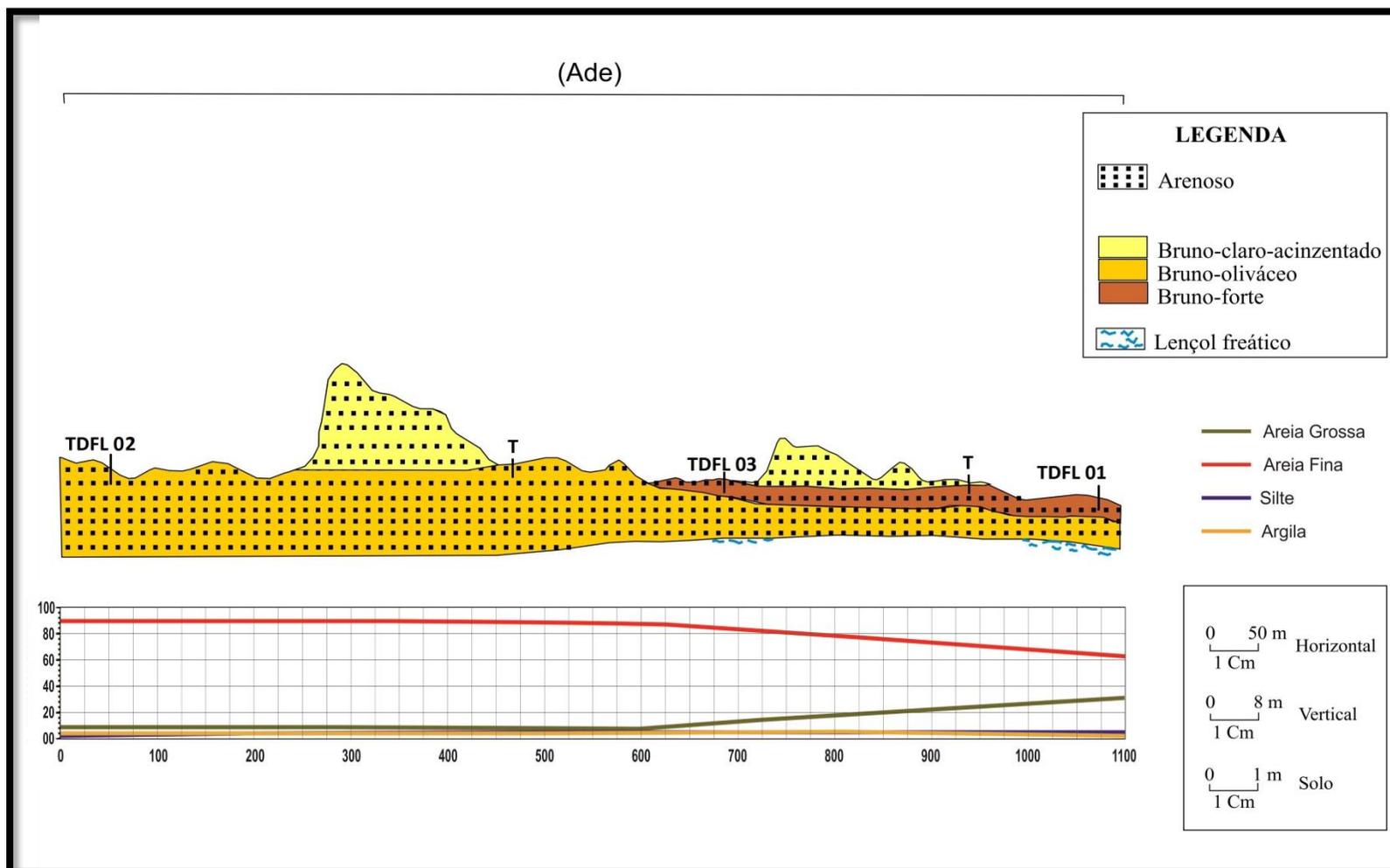
Amostras	Profundidade (m)	Matéria Orgânica (%)
TDFL 01	0,0 - 0,20	2,38
TDFL 01	0,40 - 0,60	0,80
TDFL 01	0,60 - 0,80	0,68
TDFL 02	0,0 - 0,20	0,97
TDFL 02	0,20 - 0,40	0,32
TDFL 03	0,0 - 0,20	1,41
TDFL 03	0,40 - 0,60	1,29

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As amostras de solo que apresentam maiores porcentagens de matéria orgânica são dos furos TDFL 01 (próximo ao leito do rio) e TDFL03 (próximo ao divisor de água), as mais superficiais. Esse fato se deve por ficarem em áreas de maior vegetação, diferentemente da TDFL 02, que se localiza na área de duna móvel da unidade.

O solo apresenta pouca diferenciação na cor: apresenta um bruno-oliváceo (2,5 Y 6/2, úmido) em todo perfil vertical do solo no limite superior da unidade (Figura 25); nas proximidades do Rio Doce, este horizonte está sob um solo com coloração bruno forte (10 YR 3/3, úmido). Neste último caso a coloração pode ser devido à maior presença de matéria orgânica e maior uso do solo pelas atividades antrópicas. Já os sedimentos de duna móvel sobre o solo coletado apresentam-se na coloração bruno-claro-acizentado (2,5 Y 5/5, úmido).

Figura 25 – Perfil de solo gerado pela topossequência na unidade Faixa Litorânea.

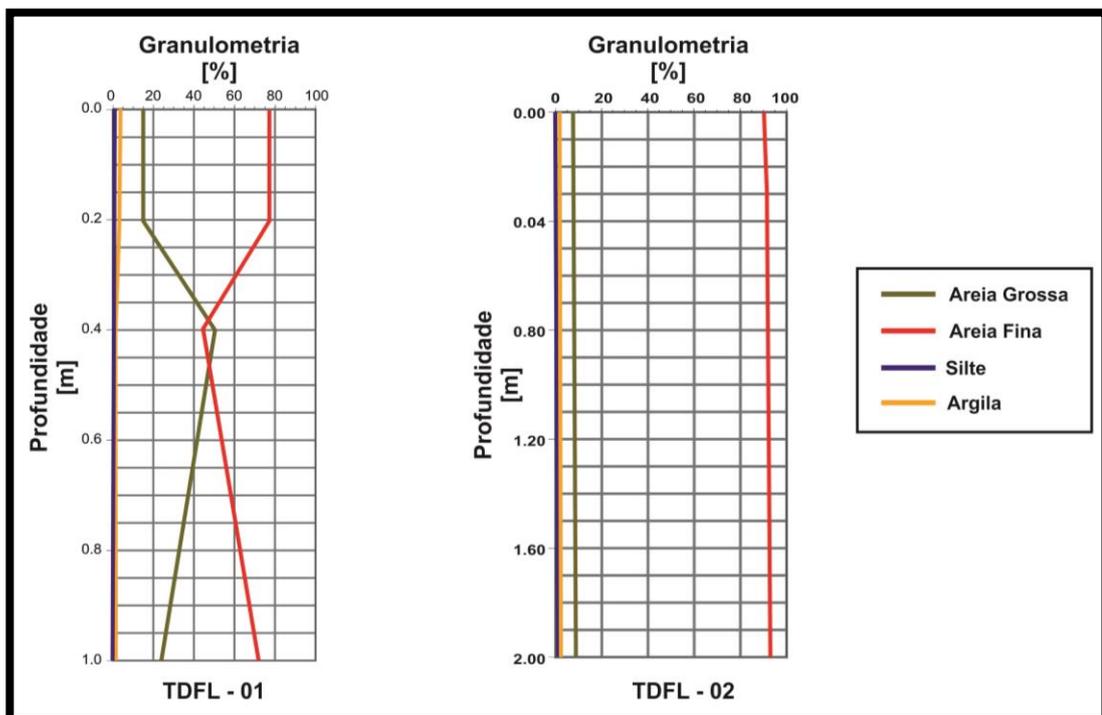


Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Em relação à composição granulométrica do perfil da topossequência, todas as amostras foram classificadas como arenosas, de acordo com o triângulo americano modificado (SANTOS *et al.*, 2002), sendo uniforme vertical e horizontalmente. Quanto mais afastado do rio, maiores são as porcentagens de areia fina. Já a quantidade de areia grossa diminui do leito do rio em direção ao divisor de água.

Em profundidade, a tradagem a 5 metros do leito do Rio Doce mostra uma variação de porcentagem entre areia fina e areia grossa, o que pode mostrar uma deposição em tempo diferente de sedimento das dunas e sedimentos trazidos pelo rio. Já na tradagem próximo ao divisor de água da bacia, há predominância de areia fina, mostrando que o material do solo é mais bem selecionado (Figura 26).

Figura 26 – Distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDFL 01 e TDFL 02 da topossequência da unidade Faixa Litorânea.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A predominância da areia em todo o perfil vertical do solo indica que o solo possui boa permeabilidade, possibilitando maior infiltração e diminuindo o escoamento superficial. Por outro lado, demonstrado isso pela ausência de estruturas no solo, a ausência de agregação de partículas, devido aos valores inexpressivos de silte, argila e matéria orgânica, facilita o arraste do sedimento ocasionado pela força da água (DYONISIO, 2010).

As coletas das amostras indeformadas do solo possibilitaram identificar a densidade do solo e a porosidade total, importantes para compreender os processos hídricos na unidade. Usando a metodologia proposta pela Embrapa (1997), as amostras indeformadas coletadas no mesmo perfil onde se realizaram as tradagens, em análise, determinaram um solo com densidade de $1,431\text{g/cm}^3$ e com uma porosidade de 36,80%.

O resultado caracteriza um solo com uma elevada macroporosidade e com densidade baixa o que demonstra um solo não compactado que, conseqüentemente, possibilita uma maior infiltração e um fraco escoamento hídrico. Relacionado esses resultados com o tipo de vertente dominante na topossequência, podemos caracterizar o solo com baixa susceptibilidade a erosão.

O Ensaio de Inderbitzen realizado com a amostra indeformada coletada na unidade Faixa Litorânea, classificou o solo como muito erodível, de acordo com o critério para avaliação do potencial de erodibilidade do solo de Higashi (2006), pois das 1150,35 gramas de amostra coletadas com o anel, 131,35 gramas ficaram retidas nas peneiras após o ensaio de 2 horas, o que corresponde a 11,41% do total da amostra seca.

O resultado de umidade natural da amostra foi de 19,05%. A baixa umidade está relacionada diretamente com a ausência de estruturas no solo, a baixa porcentagem de matéria orgânica e por ser bastante arenoso, características essas que contribuem para a baixa capacidade de retenção de água.

Em campo, a erosão dessa unidade é observada de forma bem forte na área urbana e nas áreas de agriculturas próximas ao leito do Rio doce. Na área urbana, com a impermeabilização do solo, aumenta o escoamento superficial facilitando o arraste de material. Já nas áreas de agricultura familiar próximo ao leito do rio, o solo desnudo, sem a cobertura da mata ciliar, facilita o processo erosivo.

São encontrados com frequência nas áreas inclinadas sulcos e ravinamentos provocados pela chuva nas ruas não asfaltadas da área urbana da unidade Faixa Litorânea (Figura 27), como também nas áreas de agricultura, afetando a produção agrícola, as construções urbanas e provocando o assoreamento do Rio Doce.

Figura 27 – Pontos de erosão na área urbana (“a” e “b”) e de atividade agrícola no leito do Rio Doce unidade Faixa Litorânea (“c” e “d”).



Fonte: Pesquisa de campo, 2015.

4.2 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Tabuleiro Costeiro

De acordo com SUDENE (1971) e IDEMA (2012), o solo que predomina na unidade natural Tabuleiro Costeiro é o Latossolo Amarelo Distrófico, formado sobre o Grupo Barreiras, sendo portanto um solo autóctone. O que diferencia o solo dos dois referenciais citados acima, é que o primeiro caracteriza o solo como textura média e o segundo como arenosa, o que, neste último caso, foi confirmado no nosso trabalho.

Como características dos Latossolos Amarelo Distróficos, podemos citar a pouca diferenciação entre os horizontes, avançado estágio de intemperismo, bem drenados, baixa Capacidade de Troca Catiônica (CTC), etc (OLIVEIRA, 2011). Com a caracterização morfológica realizada neste trabalho, algumas dessas características foram confirmadas, como a pouca diferenciação dos horizontes e o solo bem drenado.

A topossequência realizada nesta unidade foi da parte mais elevada do relevo, no divisor que separa o Rio Mudo do Rio Guajiru, até a proximidade do leito do Rio Guajiru, recortando as subunidades naturais Denudacional Homogênea tabular (Dt) e Denudacional Homogênea Convexa (Dc).

O perfil realizado para a topossequência mostrou uma topografia bastante variada, com desnível altimétrico de aproximadamente 66 metros, com a inclinação variando de suave-ondulado (03% a 08%) a ondulado (08% a 20%), na subunidade Denudacional Homogênea Tabular (Dt), e de forte-ondulado (20% a 45%) a montanhoso (45% a 75%), na subunidade Denudacional Homogênea convexa (Dc), nas vertentes próximas ao leito do Rio Guajiru. É nesta última subunidade que se identifica a maior frequência de fenômenos de erosão em toda a bacia do Rio Doce.

As tradagens realizadas mostraram solos bem profundos, superiores a 2 metros, e as descrições morfológicas mostraram um solo com pouca diferenciação entre os horizontes e pouca diferenciação lateral, uma textura arenosa e com pouca presença de matéria orgânica. Para a realização das atividades laboratoriais, foram selecionados quatro tradagens para representar todo o perfil, as que mais se diferenciavam na descrição da coleta de solo no campo, denominadas assim: TDTC 01, TDTC 02, TDTC 03 e TDTC 04.

Na tradagem TDTC 01, nos primeiros 0,70 metros, o solo contém estrutura granular, com tamanho pequeno e em quantidade fraca. Sua consistência apresenta-se macio, quando seco, e não plástico e ligeiramente pegajoso, quando molhado. A partir daí até o limite permitido com o trado, 3,30 metros, o solo apresenta estrutura em blocos subangulares, descrito com muito pequeno e de quantidade moderada. Quanto à consistência, nessa profundidade, se apresenta macio, quando seco, e ligeiramente plástico e pegajoso, quando molhado. Apresentando em todo o perfil, ausência de cerosidade e fracamente cimentado.

No furo TDTC 02, todo o perfil vertical do solo apresenta-se com estruturas em blocos subangulares, de tamanho muito pequeno e em quantidade fraca. Em relação à consistência, nos primeiros 0,50 metros, o torrão do solo é considerado como solto quando seco e não plástico e não pegajoso quando molhado; dos 0,50 a mais de 2,0 metros, o torrão do solo se apresenta como macio, quando seco, e ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso, quando molhado.

Nas amostras do furo TDTC 03 (Figura 28), o solo apresenta estruturas em blocos angulares, de tamanho pequeno e quantidade moderada nos primeiros 0,50 metros, apresentando ainda consistência ligeiramente dura, quando seco o torrão, quando molhado o torrão, sendo fracamente cimentado. Dos 0,50 a mais de 2,0 metros, as estruturas são descritas como blocos subangulares, de tamanho médio e quantidade moderada. A consistência varia de dura a muito dura, quando seco o torrão, e plástico e pegajoso o torrão quando molhado, sendo também caracterizado como fortemente cimentado.

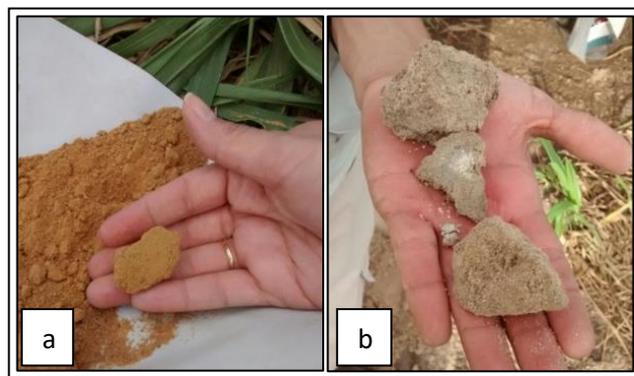
Figura 28 – Coleta de solo na unidade Tabuleiro Costeiro: terceiro furo (TDTC 03).



Fonte: Pesquisa de campo, 2017.

Nas amostras do furo TDTC 04, de 0,0 a 1,0 metro, o solo apresenta estrutura granular, de tamanho pequeno e quantidade fraca, com uma consistência solta a macia, quando seca, e não plástica e não pegajosa, quando molhada, sendo fracamente cimentado. Na profundidade superior a 1,0 metro, o solo se caracteriza pela estrutura em blocos subangulares, de tamanho grande e de quantidade forte (Figura 29), além da consistência se apresentar como dura, quando seca, e muito plástica e muito pegajosa, quando molhada, sendo fortemente cimentado.

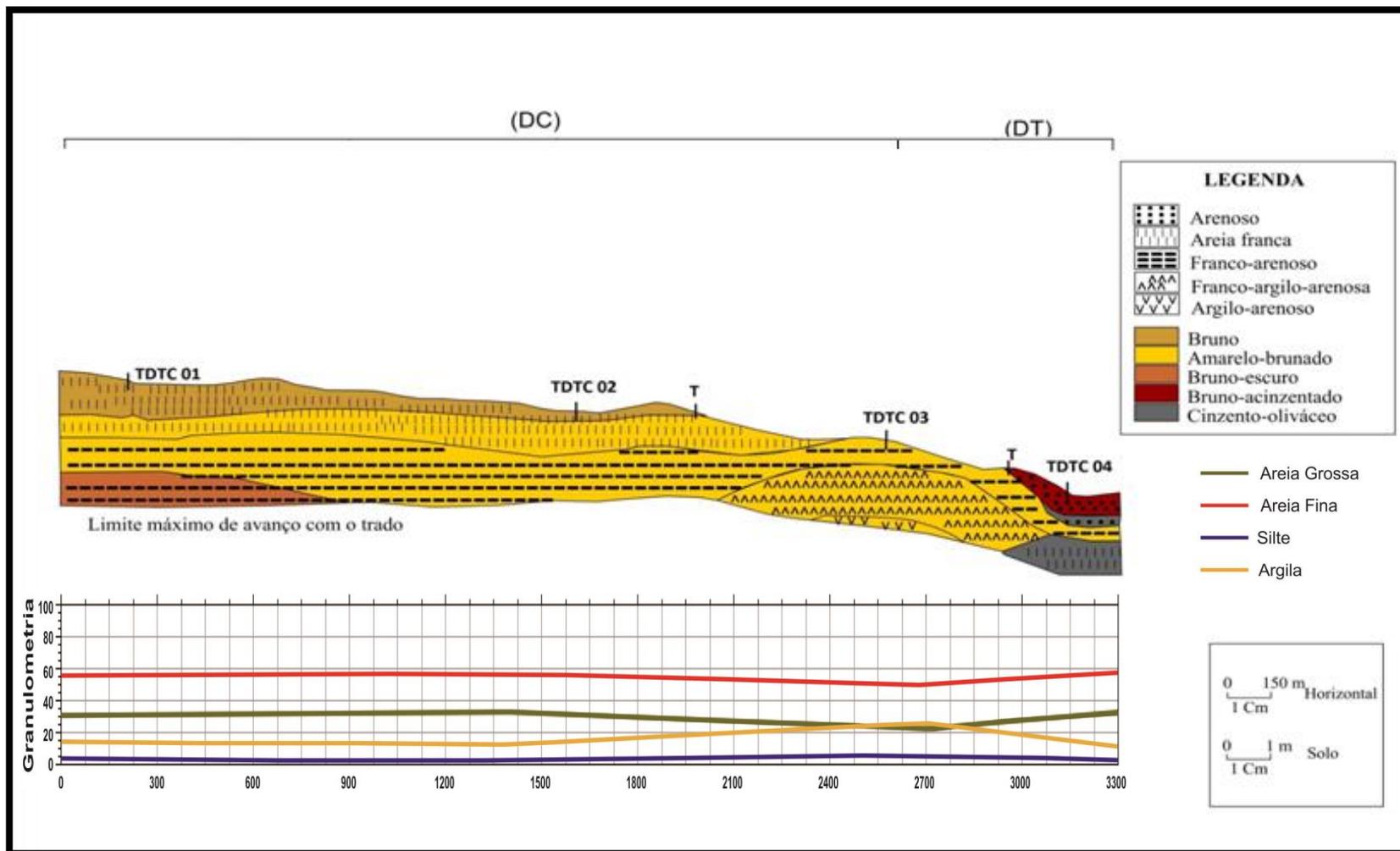
Figura 29 – Estruturas angulares e subangulares das amostras dos pontos TDTC 03 (a) e TDTC 04 (b), da unidade Tabuleiro Costeiro.



Fonte: Pesquisa de campo, 2017.

Através das descrições morfológicas de campo e as análises físicas, definimos o perfil pedológico (Figura 30), através da descrição da coloração e quanto a sua textura. Desta forma, podemos ter uma visão da diferenciação pedológica no relevo.

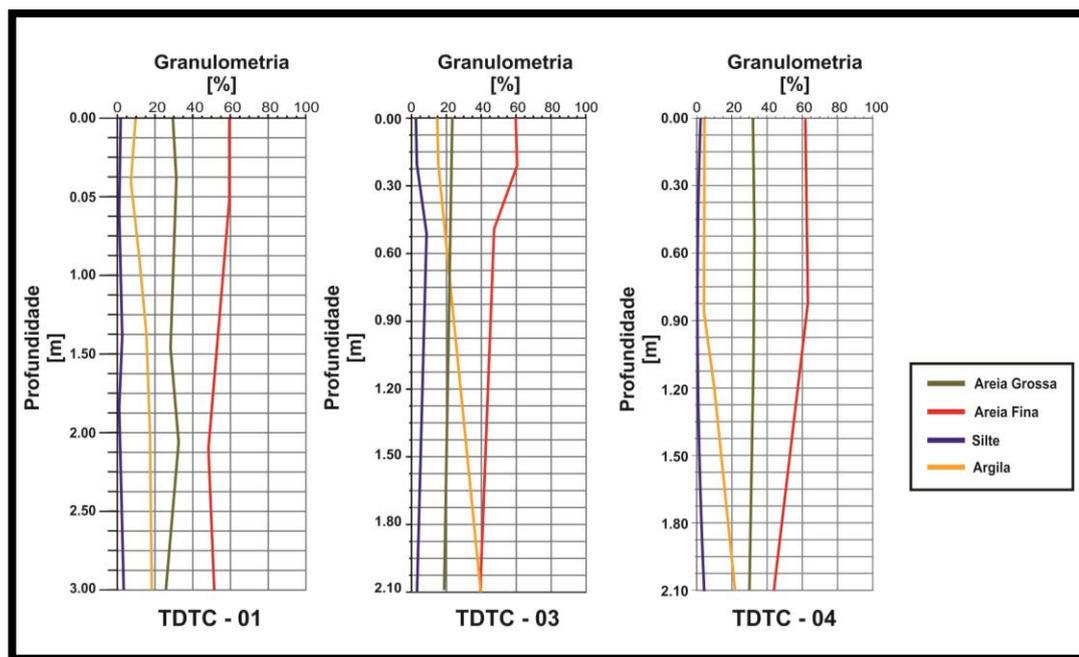
Figura 30 – Perfil gerado pela topossequência na unidade Tabuleiro Costeiro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Observamos no perfil longitudinal que a variação da porcentagem das partículas de areia grossa, areia fina, silte e argila permanecem quase a mesma, com exceção do perfil do furo TDTC 03, que apresentou uma pequena queda da porcentagem de areia grossa e areia fina e um aumento na porcentagem de argila, passando de um solo classificado como areia franca para um solo com textura franco-argilo-arenosa. No perfil vertical a porcentagem de areia predomina, mas há diminuição da quantidade de areia e aumento da quantidade de argila (Figura 31).

Figura 31 – Distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDTC 01, TDTC 03 e TDTC 04 da topossequência da unidade Tabuleiro Costeiro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Como dito anteriormente, por ser um solo com pouca diferenciação entre os horizontes, o perfil se apresenta com pouca variação de cor. No TDTC 01, o primeiro metro apresenta uma coloração bruno (7.5 YR 5/3), de 1,0 a 2,30, a coloração passa a ser amarelo-brunado (10 YR 5/4) e a partir desse limite até o final do furo a amostra tem cor bruno-escuro (7.5 YR 5/6).

No TDTC 02, o solo se apresenta como bruno (7.5 YR 5/3) nos primeiros 0,40 metros e com cor amarelo-brunado (10 YR 5/6) no restante do perfil. Já a amostra TDTC 03, apesar de ser a mais heterogênea em relação a sua composição granulométrica, é a que apresenta menor diferenciação em relação à cor, estando todo o perfil caracterizado como amarelo-brunado (10 YR 5/6).

O furo TDTC 04 apresenta uma coloração bruno-acizentado (10 YR 5/2) nos primeiros 0,60 metros; dos 0,60 a 1,00 metros, a coloração é cinzento-oliváceo (5 Y 5/2); de 1,00 a 1,40 metros a coloração é amarelo-brunado (10 YR 5/4); e por fim, até a profundidade de 2,10 metros a cor volta a ser classificada como cinzento-oliváceo (5 Y 5/2). É importante destacar que esse furo se encontra próximo ao leito maior do Rio Guajiru e o solo aparenta ser aluvial, o que pode explicar a alternância da coloração cinzento-oliváceo neste furo.

Em relação à quantidade de matéria orgânica (Tabela 03), com base na classificação do teor de matéria orgânica no solo da Comissão de Fertilidade do Solo Para o Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), o solo da camada mais superficial dos furos TDTC 01 e TDTC 02 apresentam uma quantidade média, enquanto o solo do furo TDTC 04 apresenta valor considerado baixo e o furo TDTC 03 apresenta um valor considerado bom.

Tabela 03 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Tabuleiro Costeiro.

Amostras	Profundidade (m)	Matéria Orgânica (%)
TDTC 01	0,0 - 0,10	2,57
TDTC 01	0,20 - 0,40	1,58
TDTC 02	0,0 - 0,10	2,62
TDTC 02	0,30 - 0,40	1,27
TDTC 03	0,0 - 0,10	2,95
TDTC 03	0,20 - 0,40	5,58
TDTC 04	0,0 - 0,20	1,71
TDTC 04	0,60 - 0,80	0,74

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Vale lembrar que a matéria orgânica no solo diminui a densidade do solo, contribuindo para maior crescimento radicular da vegetação, e para maior infiltração da água, deixando o solo mais poroso (HENZ *et al.*, 2007). Nos dois casos, contribui para diminuir o potencial da erosão hídrica.

As amostras de solos indeformadas na unidade em questão foram utilizadas para a determinação da densidade e porosidade total, além da realização do Ensaio de Inderbitzen. Assim, a densidade média do solo da unidade Faixa Litorânea foi de 2.039 g/cm³, como uma porosidade que compreende 9,361 % do total do solo, o que indica um solo mais compactado e menos poroso que nas outras duas unidades naturais, o que significa que tem um menor

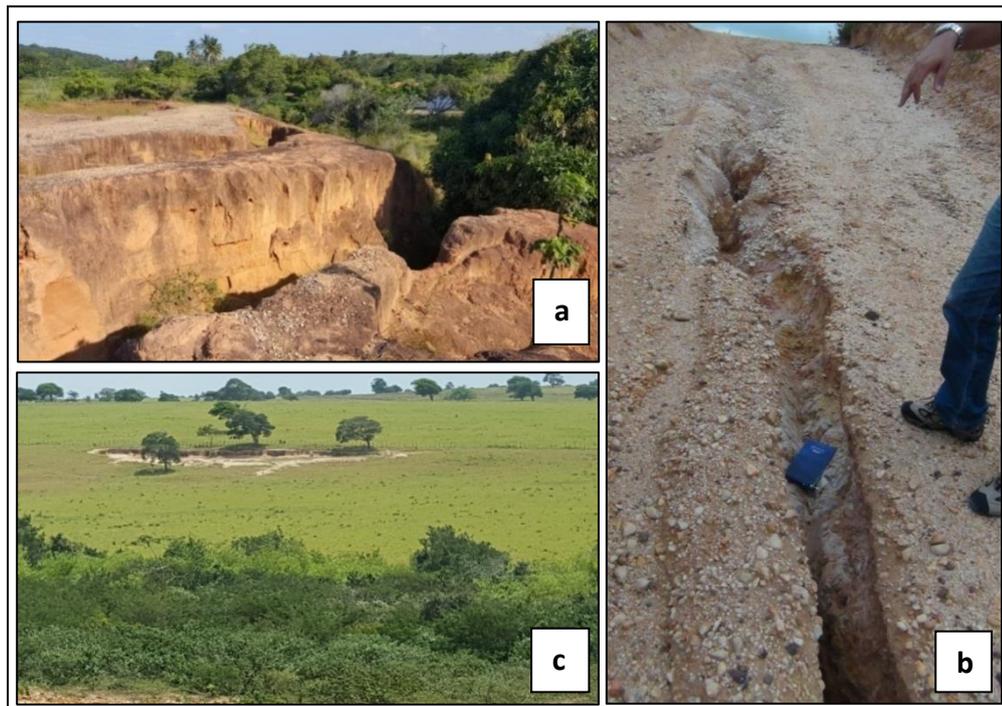
potencial de infiltração hídrica, aumentando assim o escoamento hídrico superficial. O solo dessa unidade também se apresenta mais úmido, com a umidade correspondente a 33,11%.

No Ensaio de Inderbitzen, a amostra de solo se mostrou com maior potencial de erodibilidade que os solos das outras unidades naturais, sendo classificável como muito erodível, de acordo com o critério para avaliação do potencial de erodibilidade de Higashi (2006), apresentando perda de 21,15% do total da amostra seca, sob as condições do ensaio.

Essa maior susceptibilidade a erosão, quando comparada à análise dos solos da unidade anterior, ocorre devido à unidade Tabuleiro Costeiro ter sobre seu solo, maior quantidade de área de pastagem, que compacta as camadas superficiais do solo através do pisoteado do gado.

In situ, a erosão é observada com maior frequência nas vertentes próximas aos rios Mudo e Guajiru (Figura 32), ocasionada principalmente pela retirada de vegetação nas vertentes convergentes e de inclinação bem-ondulado. A unidade apresenta o solo ocupado em boa parte pela pecuária e extensiva, que contribui na compactação superficial do solo pelo gado, o que dificulta a impermeabilização e facilita o araste das partículas do solo pelo escoamento hídrico.

Figura 32 – Fenômenos de erosão nas vertentes dos rios Mudo e Guajiru (a e b) e área de pastagens para gado (c) na unidade natural Tabuleiro Costeiro.



Fonte: Pesquisa de campo, 2017.

4.3 Caracterização morfológica e físico-hídrica dos solos da unidade Depressão Sertaneja

Os solos da unidade natural Depressão Sertaneja, de acordo com a SUDENE (1971), são classificados como Planossolo e Bruno não-cálcico (Luvisolos Crômicos) já os solos do IDEMA (2012) classificam como Latossolo Amarelo Distrófico. Com as descrições morfológicas e as análises físicas em laboratório, ficou evidente que algumas características das amostras de solos coletadas na unidade não condizem com as classificações citadas acima.

Os solos dessa unidade têm uma predominância da granulometria areia fina, ficando entre a textura arenosa e areia-franco e apresenta variação dos horizontes pouco desenvolvida, não se diferenciando muito dos solos da unidade natural Tabuleiro Costeiro. Estas duas características citadas acima distanciam este solo da classificação da SUDENE, pois não corresponde a solos com horizontes B textural, nem a nítida diferenciação entre os horizontes, característicos dos Luvisolos e Planossolos (EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2011).

Quanto à classificação do solo de acordo com o IDEMA, o solo da área se mostrou também distante dos Latossolos Amarelo Distrófico, já que o solo se mostrou pouco profundo e pouco desenvolvido, com a presença em todo o corpo pedológico de mineral primário – mica. Diferentemente, os Latossolos têm como características serem bem profundos e com intemperização intensa, sendo destituído de minerais primários (EMBRAPA, 2006).

Então, de acordo com as análises do solo da unidade Depressão Sertaneja, as características físicas do solo indicam como possível classe de solo o Neossolo Regolítico, quem tem como textura predominante à arenosa, pouco evoluído, ocorrendo em áreas declivosas e com presenças de minerais primários.

A topossequência realizada na unidade foi da parte norte do divisor de água da bacia até o leito do Rio Mudo, recortando as duas subunidades da área da geologia do cristalino, com extensão de 2500 metros. O perfil realizado na área mostrou uma topografia bastante ondulada, com desnível altimétrico de 20 metros, mas com declividade baixa, variando de suave ondulado (03 a 08%) a ondulado (08 a 20%). Na passagem da DEp para DEc há uma variação significativa no terreno, mostrando maiores inclinações.

As tradagens realizadas na unidade mostraram solos pouco profundos, variando de 0,6 m, próximo ao Rio Mudo, a 2,0 metros. As descrições morfológicas de campo e as análises granulométricas mostraram solos com pouca diferenciação entre os horizontes e pouca diferenciação longitudinal. Em laboratório, as amostras das tradagens selecionadas da unidade para realização análises receberam a denominação de TDDS 01, TDDS 02 e TDDS 03.

A tradagem TDDS 01, próximo ao divisor de água da bacia, na subunidade DEp, foi o mais profundo, chegando a 2,0 metros de profundidade. Os primeiros 1,6 metros a amostra se apresentava com estruturas subangulares, de tamanho médio a muito pequena e fraca em relação à quantidade. Em relação à consistência, o torrão seco se torna macio e, quando molhado, é considerado não-plástico e não pegajoso. Dos 1,6 aos 2,0 metros, a estrutura do solo é subangular, de tamanho pequeno e de quantidade forte. A consistência do solo é dura, quando seca, e ligeiramente plástica e pegajosa. O solo é considerado fracamente cimentado.

No furo TDDS 02, localizado próximo ao leito do Rio Mudo, na subunidade DEc, o corpo do solo chegou apenas 0,6 cm, atingindo a rocha. Todo o solo contém estrutura em blocos subangulares, de quantidade moderada e de tamanho pequenos. A consistência do solo foi descrito como ligeiramente dura, quando seco, e não-plástica e ligeiramente pegajosa.

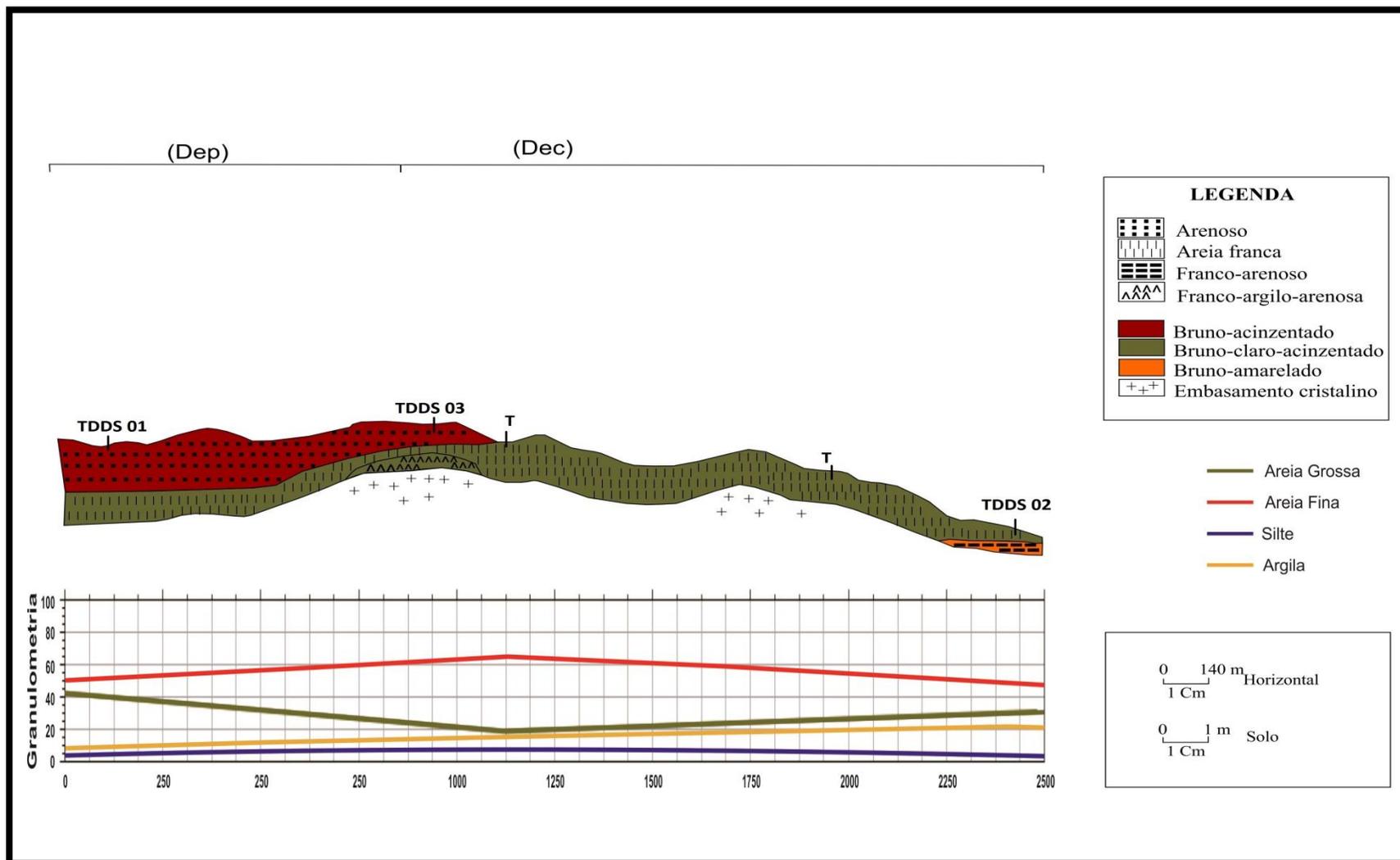
No furo TDDS 03, localizado no limite entre a subunidade DEp e DEc, o solo chegou a profundidade de 1,0 m, alcançando o material alterado da rocha subjacente. Os primeiros 0,4 metros correspondem a um solo com estruturas em blocos subangulares, de tamanho médio e quantidade fraca, com a consistência macia, quando seco, e não-plástica e não pegajosa, quando molhado.

De 0,4 a 0,8 metros predomina no solo estruturas em blocos subangulares e de tamanho pequeno e quantidade moderada, com a consistência sendo ligeiramente dura, quando seca, e não-plástica e não pegajosa, quando molhada. Na metragem final, de 0,8 a 1,0 m, a consistência da amostra passa a ser considerada como dura, quando seca, e ligeiramente plástica e pegajosa.

Quanto à cor, o solo do furo TDDS 01 apresenta uma coloração bruno-acizentado (10 YR 5/2) nos primeiros 1,2 metros, passando pra bruno-claro-acizentado (2.5 Y 6/2). Na medida em que avança na topossequência o horizonte de cor bruno-acizentado vai ficando menos espesso, chegando a apresentar apenas 0,4 metros de espessura no furo TDDS 03. No restante do furo, o solo apresenta-se na cor bruno-claro-acizentado. No furo TDDS 02, predomina como horizonte superficial o material com a cor bruno-claro-acizentado nos primeiros 0,3 metros, depois o solo apresenta-se como bruno-amarelado até os 0,6 metros, em contato com a rocha.

Com a descrição morfológica em campo e as análises granulométricas, chegamos à definição do perfil pedológico (Figura 33), onde se pode observar as variações do solo da unidade Depressão Sertaneja, de forma que podemos entender a variação textural e de cor tanto em profundidade no solo como em seu comprimento. Assim, podemos gerar resultados do comportamento hídrico em relação aos processos pedológicos no relevo.

Figura 33 – Perfil gerado pela topossequência na unidade Depressão Sertaneja.



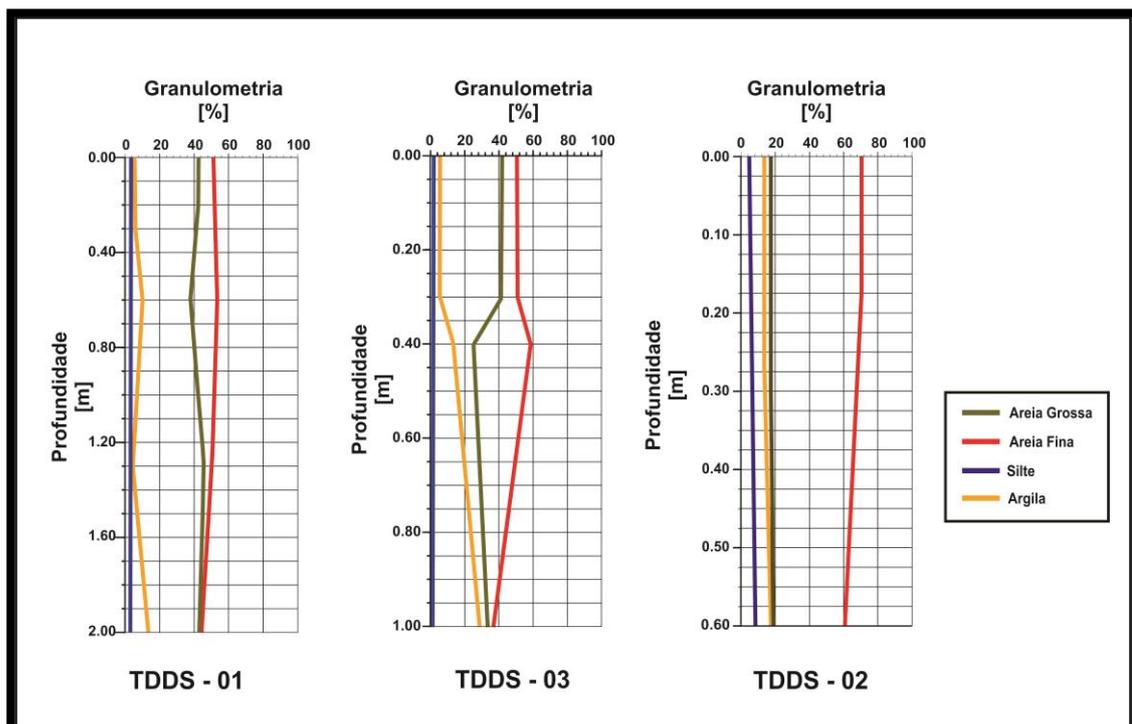
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na análise do perfil longitudinal, observa-se que predomina a areia fina em torno dos 50%, com um rápido aumento pra mais de 60% no furo TDDS 03, o que também se contradiz com a porcentagem de areia fina, que começa na topossequência com aproximadamente 40% e cai pra aproximadamente 20% no furo TDDS 03. Já a porcentagem de argila começa no perfil com quase 10% e chega próximo ao Rio Mudo com mais de 20%. Os teores de silte são os mais baixos.

Já na análise do perfil vertical, todo o horizonte bruno acinzentado apresentou-se como arenoso, tanto as amostras coletadas no furo TDDS 01 como as do furo TDDS 03. O restante do corpo pedológico do furo TDDS 01, de coloração bruno-claro-acinzentado, apresentou a textura areia-franco. No horizonte de cor bruno-claro acinzentado do furo TDDS 03 o solo apresentou textura arenosa dos 0,4 até 0,6 metros, e uma textura franco-argilo-arenosa dos 0,6 a 1,0 metros, onde apresentava fragmentos característicos de rocha alterada.

No furo TDDS 02, o solo é classificado como areia-franco nos primeiros 0,3 metros, no horizonte de cor bruno-claro-acinzentado. No restante do solo, no horizonte de cor bruno-amarelado, o solo passa a ser classificado como franco-arenoso (Figura 34).

Figura 34 – distribuição granulométrica em profundidade das tradagens TDDS 01, TDDS 03 e TDDS 02 da topossequência da unidade Depressão Sertaneja.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A camada mais superficial da topossequência, de acordo com o resultado da queima da matéria orgânica das amostras coletadas, apresenta matéria orgânica em quantidades baixa, de acordo com CFSEMG (1999), correspondendo a 1,28% do total do solo no furo TDDS 01, 1,73% no furo TDDS 02 e 1,45% no furo TDDS 03 (Tabela 04).

Tabela 04 – Porcentagem de matéria orgânica nas amostras superficiais dos furos de trado da unidade Depressão Sertaneja.

Amostras	Profundidade (m)	Matéria Orgânica (%)
TDDS 01	0,0 - 0,20	1,28
TDDS 01	0,40 - 0,60	1,36
TDTC 02	0,0 - 0,20	1,73
TDTC 02	0,20 - 0,40	2,22
TDTC 03	0,0 -0,10	1,45
TDTC 03	0,40 - 0,50	3,50

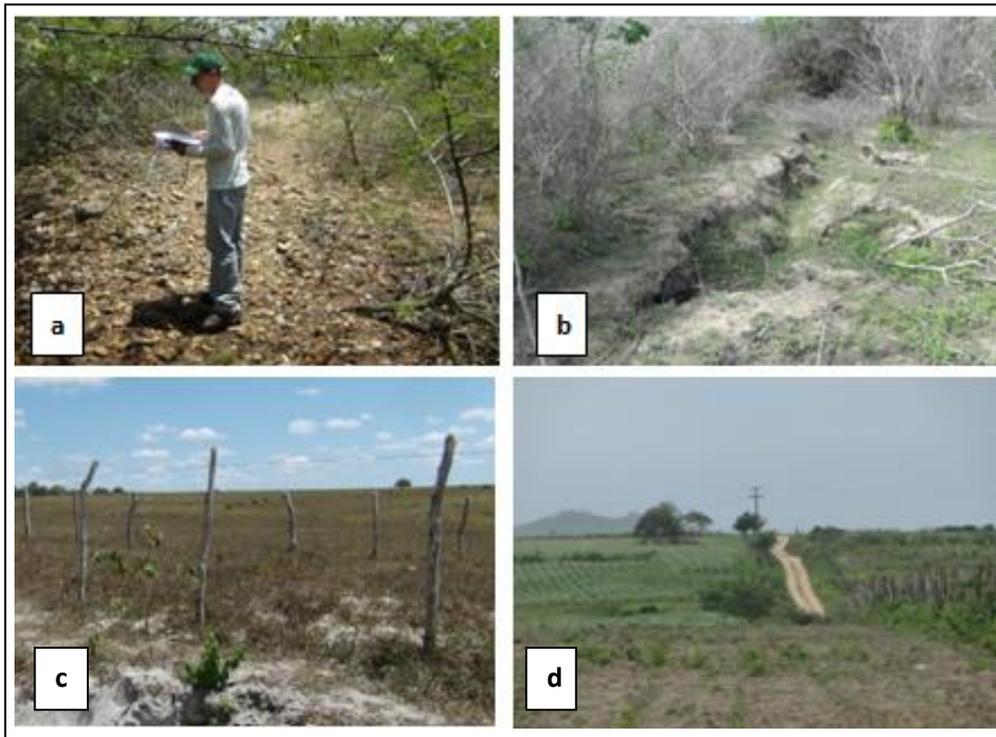
Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

As análises realizadas com as amostras indeformadas mostraram um solo com densidade média de 1,572 g/cm³, sendo também um solo poroso, com aproximadamente 28,92%. Essa densidade baixa possibilita uma maior porosidade e, conseqüentemente, maior infiltração, diminuindo o escoamento superficial (SOUZA, 2000). Quanto à umidade natural do solo, a amostra foi que apresentou o menor valor entre as amostras das outras unidades, com apenas 5,95% de umidade.

No Ensaio de Inderbitzen, a amostra do solo se mostrou classificada como erodível, de acordo com o critério para avaliação do potencial de erodibilidade de Higashi (2006), apresentando perda de 8,05% do total da amostra seca, sob as condições do ensaio, levando em consideração a inclinação de 10°, de acordo com a inclinação do relevo predominante na unidade.

Em campo, a erosão é mais comum nas áreas próximas ao leito do Rio Mudo, sendo agravada ainda mais pela ausência da mata ciliar do seu leito. Como atividades que predominam no uso do solo da unidade estão a pecuária extensiva e a agricultura familiar. Em algumas áreas próximas ao leito do Rio Mudo encontra-se uma superfície pedregosa (Figura 35), o que indica o poder de transporte do rio em chuvas torrenciais.

Figura 35 – Fenômenos de erosão na unidade natural Depressão Sertaneja da bacia do Rio Doce e suas principais ocupação do solo: cascalho arastado pelas águas do Rio Mudo (a), ravinas no solo (b), propriedades de pecuária (c) e áreas agrícolas (d).



Fonte: Pesquisa de campo, 2016.

Desta forma, embora os solos da unidade Depressão Sertaneja apresentem-se muito próximos aos solos das outras duas unidades em relação à granulometria, fica claro que a utilização dos solos por atividades antrópicas diferentes tem influência nos processos erosivos de forma diferenciada em cada unidade. Vale destacar que as principais características que diferem a unidade Depressão Sertaneja das demais é geologia e a questão climática, sendo esta última a de maior influência devido os índices pluviométricos serem os menores de toda a bacia hidrográfica.

Fica evidente que, mesmo os solos das três unidades apresentando características granulométricas muito próximas, o diferencial do potencial de erodibilidade de cada unidade se dá através das diversas formas de uso do solo. Na unidade Faixa Litorânea, os fenômenos de erosão são mais presentes nas áreas urbanas; na unidade Tabuleiro Costeiro, a erosão aparece com mais frequência na área de pastagem; e na última unidade, Depressão Sertaneja, pela retirada de lenha e agricultura. Vale destacar ainda, em relação ao relevo, que em todas as três unidades a erosão predominou nas vertentes próximas aos rios, onde era pra ser estabelecida a mata ciliar.

An aerial photograph showing a large, irregularly shaped reservoir or lake in the center-left, surrounded by dense green vegetation. To the right, a river channel flows from the reservoir towards the bottom right corner. The surrounding landscape is a mix of green fields and some brownish, possibly cleared or sandy areas. The overall scene depicts a natural water body within a rural or semi-rural environment.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada para o mapeamento das unidades naturais que leva em conta o relevo como delimitador das unidades sistêmicas, proposta por Ross (1992), baseado na proposta teórico metodológica de Ab'Sáber (1969), foi necessária para o desenvolvimento da pesquisa, já que possibilitou mapear e identificar os principais compartimentos ambientais, levando em consideração o estrato geológico, o relevo e o solo.

Através dessa abordagem, foi realizado um mapeamento detalhado da área da bacia, na escala de 1:25.000, dividindo a bacia em três unidades naturais e nove subunidades. O mapeamento foi necessário para a aplicação da técnica da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por Boulet (1993), que possibilitou orientar a aplicação das topossequências dentro da área da bacia do Rio Doce.

A realização das duas metodologias foi fundamental para compreensão dos processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Doce, atingindo o objetivo proposto dessa dissertação, permitindo identificar os principais fatores que influenciam nos processos erosivos através da assimilação da dinâmica ambiental da bacia.

Foram constatados através de análises pedológicas, como os ensaios granulométricos e de Inderbitzen, que a relação entre o relevo e o solo, o substrato geológico em cada unidade geoambiental tem forte influência nos processos erosivos. Sobre o material de origem, há uma interação solo-relevo que possibilita o escoamento superficial da água e facilita o arraste das partículas do solo em toda a bacia.

Embora cada unidade se apresente diferenciada através da relação dos seus diversos aspectos naturais, a relação entre o solo e o relevo não se diferenciaram muito nas unidades, se aproximando no mesmo grau de susceptibilidade a erosão. Essa aproximação se deve as características comuns nas três unidades: valores insignificantes das granulometrias de silte e argila, pouca estrutura e consistência fraca no solo.

Na maior parte da área das três unidades dentro da bacia do Rio Doce o relevo se comporta como pouco ondulado e bem drenado, o que favorece a infiltração hídrica, o que não condiz com a quantidade de fenômenos de erosão. O predomínio dos focos erosivos é verificado nas vertentes próximas aos leitos dos rios que compõe a bacia, Rio Guajiru, Rio Mudo e Rio Doce.

São nas vertentes, próximas aos leitos dos rios da bacia que apresentam as maiores declividades do terreno. Nessas áreas, os fenômenos da erosão predominam nas vertentes convergentes, que tem como característica concentrar o fluxo hídrico, aumentando assim o potencial de arraste de partículas do solo pela água.

O que contribui ainda mais para ocorrência dos processos erosivos nas vertentes próximas aos rios é a retirada da vegetação nativa nas margens dos rios através do desenvolvimento da agricultura familiar e da pecuária extensiva. Outro fator importante na contribuição dos processos erosivos, principalmente na unidade natural Faixa Litorânea é a urbanização, que impermeabiliza o solo e aumenta do escoamento hídrico.

A unidade Faixa Litorânea apresenta solos arenosos classificados como Neossolos Quartzarênicos (SUDENE, 1971; IDEMA, 2012), sendo profundos, porosos e bem drenados. Essa unidade representa o baixo curso da bacia do Rio Doce, compreendendo o rio que dá nome a bacia. Os fenômenos predominantes de erosão são agravados devido à ocupação de residências na margem do rio e a retirada da mata ciliar.

A unidade Tabuleiro costeiro apresenta solos classificados como Latossolos Amarelo Distrófico, sendo bem profundos, bem intemperizados e com pouca variação de horizontes, sendo suas texturas classificados de acordo com a profundidade de arenoso a franco-arenoso. Os fenômenos de erosão predominam nas vertentes, próximos dos leitos dos rios Mudo e Guajiru, identificados principalmente nas áreas de pasto e nas áreas destinadas a empréstimos do solo.

Na unidade Depressão Sertaneja, as características morfológicas analisadas do solo impossibilitaram a confirmação das classes de solos propostas pela SUDENE (1971) e IDEMA (2012). O solo tem como característica ser pouco profundo a raso, com textura arenosa, em direção ao divisor de água, e areia franca em direção ao leito do Rio Mudo. Apresenta também em todo o solo minerais primários – micas. Essas características indicam como a possível classificação do solo o Neossolo Regolítico. Os fenômenos de erosão são mais fortes próximo ao leito do rio Mudo, sendo agravado pela retirada da vegetação, principalmente as lenhosas.

Para os rios da bacia, que são responsáveis por abastecer a Lagoa de Extremoz, utilizada para o abastecimento hídrico das residências de algumas cidades dentro da bacia, como a própria capital Natal, é necessário à conservação do solo. Algumas medidas podem ser tomadas com a finalidade de o efeito da erosão:

Nas áreas que foram constatadas que apresentam maiores focos erosivos, que correspondem às vertentes próximas aos leitos dos rios, deve-se preservar a mata ciliar; recuperar a vegetação nas áreas de empréstimo do solo; e regulamentar e fiscalizar melhor a Zona de Proteção Ambiental 9 (ZPA 9), que compreende todo o sistema frágil de lagoas e dunas do Rio Doce, que está sendo utilizada para a agricultura e para a expansão urbana.

Os resultados finais mostraram que a relação existente entre o solo e o relevo dentro da bacia hidrográfica do Rio Doce tem grande influência na erosão hídrica, mostrando maior predominância da erosão do solo nas áreas de maior declividade do relevo. Logo, são essas áreas na bacia que a morfogênese se destaca. Sabendo da importância hídrica da bacia e dos seus solos, é preciso aprofundar os estudos nessas três unidades para que se desenvolva uma utilização sustentável dos seus recursos naturais, minimizando os impactos dos diversos tipos de uso do solo, através de um planejamento adaptado para cada unidade natural da bacia do Rio Doce.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A. de. **A Teoria Geomorfológica e Sua Edificação: Análise Crítica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 4, N° 2 , 51-67 , 2003.
- ALBUQUERQUE, A. W.; CHAVES, I.B.; VASQUES FILHO, J. **Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regolito eutrófico de Caruaru (PE)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. n.18, p. 279-283, 1994.
- AMÉRICO, M. C L.; **Processos Sócio-ambientais Relacionados a Situações de Degradação na Região do Rio Doce**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, PRODEMA, 2006.
- ANGELIM, L. A. de A. *etal.* **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000**. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.
- ANGELIM, L. A. A., MEDEIROS, V. C., NESI, J.R. 2006. Programa Geologia do Brasil – PGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala. 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERNA, 2006.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Área Degradada**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- ÁVILA, F. F. de. **Análise da Cobertura Pedológica em uma Topossequência na Bacia do Córrego dos Pareiras – Depressão de Gouveia/MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2009.
- AVILA, L. O. de [*et al.*]. **VI Seminário de Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física**. Universidade de Coimbra, 2010.
- AB'SÁBER A.N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Geomorfologia, n.18, 1969.
- BERTRAND, G.. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**. n. 13. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo: São Paulo, 1972.
Disponível em:<http://xa.yimg.com/kq/groups/1624466/1240532828/name/paisagem%2Bbertrand.df>
- BEZERRA, F. H. R.; MELLO, C. L. e SUGUIO, K. **A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões**. Geol. USP, Sér. cient. [online]. 2006, vol.6, n.2, pp. III-VI. ISSN 1519-874X.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z.. **Visão Integrada da Problemática da Erosão**. Livro Guia do III Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Curitiba, 1985.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.

BOARDMAN, J. **Soil Erosion on The South Downs: A Review**. Soil Erosion on Agricultural Land. Editores: J. Boardman, I. D. L. Foster e J. A. Dearing, PP. 87-105, 1990.

BOTELHO, M. G. R.; SILVA, S. A. **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil. 2010. p. 153-189.

BOULET, R. **Uma Evolução Recente da Pedologia e Suas Implicações no Conhecimento da Gênese do Relevo**. Anais do 3. ABEQUA, 1992.

BOULET, R. **Análise Estrutural da Cobertura pedológica e Cartográfica**. Campinas: XXI CBSC, 1993.

BRASIL, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Bento Fernandes, estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005a.

BRASIL, Serviço Geológico do Brasil – CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento Por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Jandaira/RN**. Recife-PE: CPRM/PRODEM, 2005b.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 1º edição. Rio de Janeiro, 1995.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2º edição. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual Técnico de Vegetação**. 2º edição. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. PROJETO RADAM BRASIL - Ministério da Integração Nacional. Levantamento dos recursos naturais. Folha SB. 24-25. Jaguaribe/Natal. Vol. 23, Rio de Janeiro, 1981.

BUDEL, J. Climatic and Climatorphc Geomorphology. Tradução: Adilson Avanzi de Abreu. **Revista do Departamento de Geografia**. Vol. 19, 111-118, 2006.

CASSETI, V. **Ambiente e Apropriação do Relevo**. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em 13 de Fevereiro de 2016.

CASTRO, V. L. L. de; **Águas Subterrâneas no Curso Inferior da Bacia do Rio Doce/RN – Subsídios Para um Gerenciamento Integrado**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, 2000.

CHRISTOFOLETTI, A.A **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, Ed. 2º, 1980.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. **Zoneamento Ecológico Econômico**. In: FLOREZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285-318.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. 8º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

DYONISIO, H. A. F. **Erosão Hídrica: Suscetibilidade do Solo**. Revista Eletrônica Thesis, São Paulo, ano VII, n. 13, p. 15-25, 1º semestre, 2010.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

ERHART, H. **La génèse des sols en tant que phénomène géologique**. Paris, Massoned. 1956.90p.

ESPINDOLA, C. R. **História da pedologia: um resgate bibliográfico**. I Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra e III Simpósio Nacional Sobre Ensino de Geologia no Brasil. Campinas, São Paulo, 2007.

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a pedologia: um repasse bibliográfico**. Campinas, São Paulo: UNICAMP, 2008.

FERNANDES, R. E. F.; SANTOS, A. F. de P. dos; COSTA, M. F.; COSTA, F. F. da. **Avaliação da acurácia em levantamentos cinemáticos em tempo real aplicando a técnica RTK**. III Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente, São Paulo, 2012.

GIANNINI, P. C. F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociência. São Paulo, 2007.

GUERRA, A. J. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010

HENRIQUE, F. M. **Análise Morfopedológica Aplicada a Compreensão dos Processos Erosivos em Vertentes no Município de Pilões/PB**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012.

HIGASHI, R.A.R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. 486p.

IBGE, IDEMA, **Ministério de Viação e Obras Públicas**. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional Relatório, p.205, 1912.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográficos. **Solos - RN**, Escala:1:100.000, 2012. CDROM.

INMET. **Normais Climatológicas 1961 a 1990**. INMET. Brasília, 1992.

JERÔNIMO, C. H. de M.; SOUZA, F. R. S. de. **Determinação do Índice de Qualidade da Água da Lagoa de Extremoz-RN: Série Temporal e Correlação a Índices Pluviométricos.** Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). v(10), nº 10, p. 2219-2232, 2013.

JOSEMIR. A. N.; *et al.* **Análise Pluviométrica do Rio Grande do Norte – Período: 1963-2009** – Natal, RN: EMPARN, 2010. 71p.

KIEHL, E. J. **Adubação orgânica – 500 perguntas e respostas** / Edmar José kiehl – Piracicaba, 2008.

KOETZ, M. **Método Para Determinação da Erodibilidade e da Tensão Crítica de Cisalhamento do Solo em Estradas Não Pavimentadas.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos.** 2º ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

LIMA, J. A. de. **Morfopedologia Aplicada à Interpretação da Dinâmica Hídrica de Duas Nascentes na Alta Bacia do Rio São Lourenço.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.

MAGALHÃES, V. L. **Os Sistemas Pedológicos e a Paisagem na Bacia da Sanga Clara Marechal Cândido Rondon-PR.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, 2009.

MONECHE, M. S. de F. **A Perspectiva Geomorfológica: Subsídios a Análise Ambiental.** Departamento de Geografia do Centro de

MONTEIRO, C. A. de F. **William Morris Davis e a teoria geográfica.** Revista Brasileira de Geomorfologia, UGB, v.2, n.1, 2001 a, p.1-20.

NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Zoneamento Ambiental de Natal.** Natal, 2008. 82p.

_____. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Plano de Gestão para a área da Bacia Hidrográfica do Rio Doce situada no Município de Natal/RN.** Natal, 2006, 158p.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada.** 4. Ed. – Piracicaba: FEALQ, 2011.

PASSOS, E.; BIGARELLA, J. Superfície de Erosão. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

PINTO, M. N. **Aplainamento dos Trópicos – Uma revisão Conceitual.** Rio Claro/SP: AGETEO, V. 13, Nº 26, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. de; CASTRO, S. S.; FERNANDES BARROS, O. N.; MANFREDINI, S.; PELLERIN, J.; RUELLAN, A. e TOLEDO, G. S. **Um estudo da**

Dinâmica de Solos: Formação e Transformação de Perfis com Horizonte B Textural. Salvador: XVIII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 1981.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **Geomorfologia e pedologia.** Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol. 1, nº 1, 2000.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **O Estudo das Formações Superficiais no Brasil.** São Paulo: Revista do Instituto Geológico, 22 (1/2), 65-78, 2001.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino e Pesquisa.** Revista do Departamento de Geografia da USP. Nº 15, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. de. **O Papel da Pedogênese no Modelado do Relevo: Busca de Novos Paradigmas.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física/II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Portugal: Coimbra, 2010.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZEDE, S. B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 5ª ed. Lavras: Editora UFLA, 2007.

RODRIGUES, S. F. S. **Avaliação das Alterações da Rede de Drenagem em Sub-bacias e Microbacias do Alto e Baixo Rio Capivari (Louveira e Rafard/SP).** Dissertação de Mestrado – EESC/USP, São Carlos, 2003. 245 p.

ROSS, J. L. S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão Taxonômica do Relevo.** Revista do Departamento de Geografia – USP. EDUSP Editora. Nº 6, Pg: 17 – 30. 1992.

ROSS, J. L. S. **Suporte da Geomorfologia Aplicada: os táxons e a cartografia do relevo.** Departamento de Geografia da Universidade Federal de São Paulo – USP. São Paulo, 1994. www.geomorfologia/forum.com.br . Acesso 30/03/2010.

RUELLAN, A; QUEIROZ NETO, J.P.; PELLERIN, J. (1984/1985) **Analyse structurale de la couverture pédologique: une experienced' en seignement et de recherche au Brésil.** Paris, Cah. ORSTOM, sér. Pédol. v. 19, n. 4, p. 253-256.

RUELLAN, A. & DOSSO, M. **Regards sur le sol.** Universités Francophones. Le Éditions Foucher, Paris. 1993.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; e ANJOS, L. H. C dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SALGADO, A. A. R. **Superfície de Aplainamentos: Antigos Paradigmas Revistos Pela ótica dos Novos Conhecimentos Geomorfológicos.** Belo Horizonte: Geografias, 03(01) 64-78, 2007.

SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru-SP. Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo de erosão urbano rural.** São Paulo: Tese de doutorado. FFLCH-USP, 1994.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: Teoria e Prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SERHID - Secretaria dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. **Comitê de Bacias Hidrográficas. Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos,** 2001. Disponível em. Acesso em 13 out. 2012. SISTEMA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=370>>. Acesso em 10 de fev. 2016.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.253-260, 2001.

SILVA NETO, J. C. A. da. **Avaliação da Vulnerabilidade à Perda de Solos na Bacia do Rio Salobra, MS, Com Base nas Formas do Terreno.** Geografia (Londrina), v. 22, n. 1.p.05-25 jan/abr. 2013.

SOARES, R. C.. **Diagnóstico e Avaliação Geoquímico-Ambiental da Zona de Proteção Ambiental 9 (ZPA 9), baixo curso do Rio Doce, Natal/RN.** 2006. 70f. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SOUZA, Z.M. **Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria (MS) sob diferentes usos e manejos.** 127f. 2000. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2000.

SUDENE. **Levantamento Exploratório- Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte.** Boletim técnico n° 21. Recife –PE, 1971.

TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. **Decifrando a Terra – 2ª edição.** Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009

TORRADO P. V., LEPSCH, I. F. e CASTRO, S. S. **Conceitos e Aplicações das Relações Pedologia-Geomorfologia em Regiões Tropicais Úmida.** Tópico Ci. Solo, 4: 145-192, 2005

TRENTIN, R. **Definição de unidades geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu – oeste do RS / Dissertação (mestrado) – Unidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.**

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

TRICART, J. **Paysage et ecologie.** Paris, Rev. Geomorph. Dynam, XXVIII (1):81-95, 1979.

TUCCI, C. E. **Apreciação do plano nacional de recursos hídricos e visão prospectiva dos programas e ações. Documento de apoio às ações de planejamento da Agência Nacional de Águas.** Brasília: ANA, 2001. 53 p.

VITTE, A. C. **Considerações sobre a teoria da etchplanação e suas aplicações nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas.** São Paulo: Terra Livre, N 16, p. 11-24, 2001.

YASSUDA, E. R. **Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais.** Rev. Adm. Púb., v.27, n.2, p.5-18, 1993.

ZAPAROLI, F. C. M. **As Transformações Pedológicas Identificadas na Toposequência Sítio São José na Bacia do Córrego Aratu, Florai, PR.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, 2009.