Universidade Federal de Viçosa
Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes– CCH
Departamento de Geografia - DGE

Caracterização dos solos através da rede de drenagem e sua relação com índice de intemperismo (Ki)em uma topossequência no SE do Brasil

Vinicio Coelho Lima

Viçosa,Minas Gerais - Brasil

Julho/2015

VINICIO COELHO LIMA

Caracterização dos solos através da rede de drenagem e sua relação com índice de intemperismo (Ki) em uma topossequência no SE do Brasil

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da UFV como exigência parcial para conclusão do curso de Bacharelado em Geografia.

Banca examinadora:

Profº Joao Carlos Ker – Orientador

Departamento de Solos – UFV

ProfºAndré Luis Lopes de Faria – Conselheiro

Departamento de Geografia - UFV

Dsc. José João Lelis de Souza

Pesquisador UFV

Resumo

Os solos a serem estudados fazem parte de um segmento da paisagem do sudeste brasileiro, entre a Zona da Mata mineira e o litoral norte do Estado do Rio de Janeiro. Estes solos estão dispostos na forma de uma topossequência, situada predominantemente sobre terrenos do embasamento cristalino e bordejada a noroeste pelos alinhamentos da Serra da Mantiqueira, e a sudeste pelas baixadas litorâneas do norte fluminense. Pouco tem se discutido sobre a participação da rede de drenagem na diferenciação desses solos, assim como sobre seu papel. É proposta deste trabalho investigar sobre a geografia desses solos, assim como a influência dos padrões da rede drenagem sobre a distribuição da cobertura pedológica ao longo da secção longitudinal estudada e sua relação com as unidades pedológicas destacadas pelo levantamento exploratório (RADAM-BRASIL, 1983). Com essa finalidade foram utilizados os resultados obtidos pelo relatório técnico da Primeira Reunião de Classificação Correlação e Aptidão agrícola de Solos – I-RCC (EMBRAPA, 1979). A análise de padrão da rede de drenagem teve como base as cartas topográficas de escala 1:50.000 do IBGE e modelos digitais de elevação do projeto TOPODATA do INPE. Foram estudados seis solos na topossequência proposta: um Latossolo Vermelho Amarelo - LVA, um Latossolo Vermelho Escuro – LV (PRJ 7), um Luvissolo Crômico – TC (PRJ8), dois Chernossolos :um Argilúvico – MT (PRJ 9) e um Rêndzico – MD (PRJ 10), um Vertissolo – V (PRJ 11) e um Argissolo Amarelo – PA (PRJ 14). Suas litologias variam de áreas proterozóicas (LU, LVE, TC, MT, MD e V) à Sedimentos Terciários do Grupo Barreiras no caso do Argissolo (PRJ 14). A discussão conjunta dos resultados da distribuição dos solos na topossequência contou com o auxílio da cartografia geológica, climatológica, pedológica e geomorfológica, disponíveis em detalhe equivalente com a escala de trabalho realizada. Assim, ressalta-se a grande heterogeneidade dos processos pedogenéticos envolvidos (latolização, carbonatação, propriedades vérticas, elutriação e lessivagem.), que de maneira geral obtêm boa correlação com o gradiente climatológico, tendendo a temperaturas mais elevadas e menores índices de precipitação, à medida que a sequência se desloca para o litoral e atinge menores altimetrias (RADAM-BRASIL,1983; EMBRAPA, 2004; 2005; 2006).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Mapas

1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ---------- 17
2. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO CONTENDO OS PRINCIPAIS NÍVEIS TOPOGRÁFICOS---------- 29
3. DENSIDADE DA REDE DE DRENAGEM DA BHRM---------- 49

Figuras

1. PERFIL LONGITUDINAL E UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS -- 12
2. EXTRATO DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DE ITAPERUNA-RJ---------- 18
3. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO---------- 20
4. CARTAS TOPOGRÁFICAS DO IBGE---------- 23
5. FLUXOGRAMA CONTENDO AS ETAPAS DA PESQUISA---------- 25
6. CÁLCULO DA DENSIDADE DE DRENAGEM---------- 26
7. ESTIMADOR DE INTENSIDADE DE KERNEL---------- 27
8. ANÁLISE DA DISSECAÇÃO PELO ICR---------- 44
9a a 9i. ANÁLISES DESCRITIVAS DA REDE DE DRENAGEM DA BHRM---------- 45-47
10 e 11. GRÁFICOS DE DISPERSÃO DOS VALORES DE DENSIDADE DE DRENAGEM E ATRIBUTOS DO SOLO---------- 51
12a a 12d. AMOSTRAS CIRCULARES DOS SOLOS ABORDADOS---------- 51

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadros

1. LEGENDAS E INFORMAÇÕES SOBRE OS SOLOS ESTUDADOS------- 22
2. ANÁLISE DESCRITIVA DA REDE DE DRENAGEM---------- 24
3. COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIA, MÁXIMO, MÍNIMO E DESVIO PADRÃO DA DENSIDADE DE DRENAGEM DA BHRM OBTIDOS NA PESQUISA COM OS VALORES ESTABELECIDOS PELA ANA(2011). ---------- 48
4. INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DE DENSIDADE DE DRENAGEM---------- 48

Tabelas

1. PERFIS, HORIZONTES E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE ARGILA, CTC E ATIVIDADE DA ARGILA---------- 32
2. ANÁLISE FÍSICA---------- 33
3. ANÁLISE QUÍMICA---------- 35 E 36
4. DENSIDADE DE DRENAGEM DAS AMOSTRAS CIRCULARES E VALORES DE Ki, SATURAÇÃO POR BASES E RELAÇÃO SILTE/ARGILA---------- 50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Amostra Circular
ANA	Agência Nacional de Águas
BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé-MG
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Dd	Densidade de Drenagem
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICR	Índice de Concentração da Rugosidade
RADAM-BRASIL	Levantamento dos Recursos Naturais do Território Brasileiro
RCC	Reunião de Classificação, Correlação e Interpretação da Aptidão Agrícola dos Solos
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
ZC	Zona de Cisalhamento

Sumário

1. INTRODUÇÃO----------10

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Índice Ki----------13

2.2. Caracterização de solos por padrões da rede de drenagem ----------14

3. OBJETIVOS

3.1. Geral----------16

3.2. Específicos----------16

4. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

4.1. Localização----------17

4.2. Clima----------18

4.3. Geomorfologia----------18

4.4. Geologia----------19

5. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

5.1. Materiais utilizados----------22

5.2. Procedimentos adotados

5.2.1. Solos----------24

5.2.2. Rede de drenagem e relevo----------24

5.2.2.1. Identificação dos padrões e formas da drenagem ----------24

5.2.2.2. Densidade de drenagem----------26

5.2.2.3. Dissecação do relevo----------26

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Considerações sobre os solos da topossequência----------28

6.1.1. Latossolos----------30

6.1.2. Solos com B textural ----------31

6.1.2.1. Solos com B textural do Planalto Rebaixado----------31

6.1.2.2. do Tabuleiro Costeiro----------37

6.1.3. Solos com sequência A-C----------39

6.2. Caracterização da rede de drenagem e do relevo

6.2.1. Análise descritiva da rede de drenagem e do relevo----------41

6.2.2 Análise quantitativa da rede de drenagem----------48

6.2.3 Densidade da rede de drenagem e os tipos de solos----------50

7. **CONCLUSÕES ----------53**
8. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS----------54**

1. Introdução

Os solos estudados neste trabalho incluem os perfis descritos e analisados por ocasião da Primeira Reunião de Classificação, Correlação e Interpretação de Aptidão Agrícola de Solos – I RCC (EMBRAPA, 1979), identificados como PRJ-7, PRJ-8, PRJ-9, PRJ-10, PRJ-11 e PRJ-14. O perfil identificado como LU-1, foi caracterizado por NUNES (1999) em estudos sobre a caracterização de alguns solos da Zona da Mata Mineira. A partir dos dados sobre o grau de intemperismo (índice Ki) e de outras características acerca dos respectivos processos genéticos envolvidos (química, física e mineralogia), revelados pelos trabalhos citados, foi possível estabelecer uma sequência onde o grau de evolução dos solos se corresponde de maneira direta com os diferentes níveis topográficos encontrados na área estudada (crono)topossequência.

A topossequência proposta faz parte do Domínio de Mares de Morros Florestados (AB`SABER, 1970), e se estende pelo vale do rio Muriaé. O perfil longitudinal traçado alcança 145 km de extensão, desde as Serranias da Zona da Mata mineira (porção leste do Estado de Minas Gerais) até os tabuleiros costeiros do norte Fluminense, atingindo 750 m de desnível. A diversidade das formas de relevo refletem a importância dos eventos tectonoestruturais marcados pela deformação generalizada da litologia, posteriormente arrasada pela ação do clima úmido, onde podem ser facilmente identificados a existência de superfícies que se diferenciam em função da altimetria. Com base na literatura geomorfológica, essas superfícies são interpretadas como Patamares Escalonados (RADAM BRASIL, 1983), pertencentes ao contexto da Depressão dos rios Pomba e Muriaé (DANTAS, 2001).

Cabe ressaltar a grande heterogeneidade dos processos pedogenéticos envolvidos (latolização, carbonatação, vertização, lessivagem e elutriação) que de maneira geral obtêm boa correlação com o gradiente climatológico, tendendo a temperaturas mais elevadas e menores índices de precipitação, à medida que a sequência se desloca para o litoral e atinge menores altimetrias (RADAM BRASIL,1983; EMBRAPA, 2004; 2005; 2006).

O trabalho então, baseia-se nas pesquisas realizadas por HORTON (1945), sobre a relação infiltração/deflúvio nos processos de erosão hídrica, e por FRANÇA (1968) que incorporou à estas pesquisas, caracterizações morfológicas, químicas e

mineralógicas de perfis de solos, possibilitando inferências adicionais sobre a evolução das paisagens.

Neste trabalho teve-se como hipótese que solos profundos com boa drenagem interna, tendem apresentar menor deflúvio superficial e, consequentemente, menor número de rios e canais por unidade de área. Por outro lado, solos de drenagem interna mais lenta e com elevado gradiente textural, tendem a apresentar maior deflúvio superficial e portanto, maior número de rios e canais por unidade de área. Em áreas onde houvesse associações destes solos é de se esperar resultados intermediários.

A caracterização de solos através da rede de drenagem tem sido explorada por diversos pesquisadores, o que pode ser constatado pela vasta bibliografia sobre assunto. DEMATTÊ & DEMÉTRIO (1998), em estudos sobre os solos do Paraná, destacaram a importância da análise de padrões da rede de drenagem em grandes áreas, por possibilitarem amostragem em áreas realmente homogêneas, facilitando a análise de áreas de transição para outros solos. Segundo eles, a aplicação desses estudos podem auxiliar na elaboração de cartas de solo à nível semidetalhado, possibilitando planejamentos do uso da terra regionais, racionalizando o uso e preservando os solos. Contudo, diversos autores têm destacado a insuficiência dessas pesquisas para tal fim. (CARVALHO ET AL., 1990; FRANÇA E DEMATTÊ, 1991; FRANÇA E DEMATTÊ, 1993; DEMATTÊ E DEMÉTRIO, 1998; REDDY ET AL., 2004; PISSARRA ET AL., 2004)

Acerca da influência do relevo na distribuição geográfica desses solos, o presente trabalho incita a participação da conformação da paisagem atual na diferenciação do grau de evolução dos solos da topossequência, onde buscou-se estabelecer a correspondência entre a hidrologia e as diferentes condições do intemperismo observados na sequência em questão. Tendo como referência a influência da rede drenagem nos processos evolutivos da paisagem (BELCHER, 1945 apud ESPINDOLA, 2010; FRANÇA, 1968; MARCHETTI & GARCIA, 1990), a pesquisa centrou-se na correlação entre o índice de intemperismo Ki e o parâmetro morfométrico de densidade de drenagem (Dd), com o intuito de fornecer subsídios à compreensão da relação entre os compartimentos topográficos e a gênese dos solos da topossequência, como demostra a figura 1.

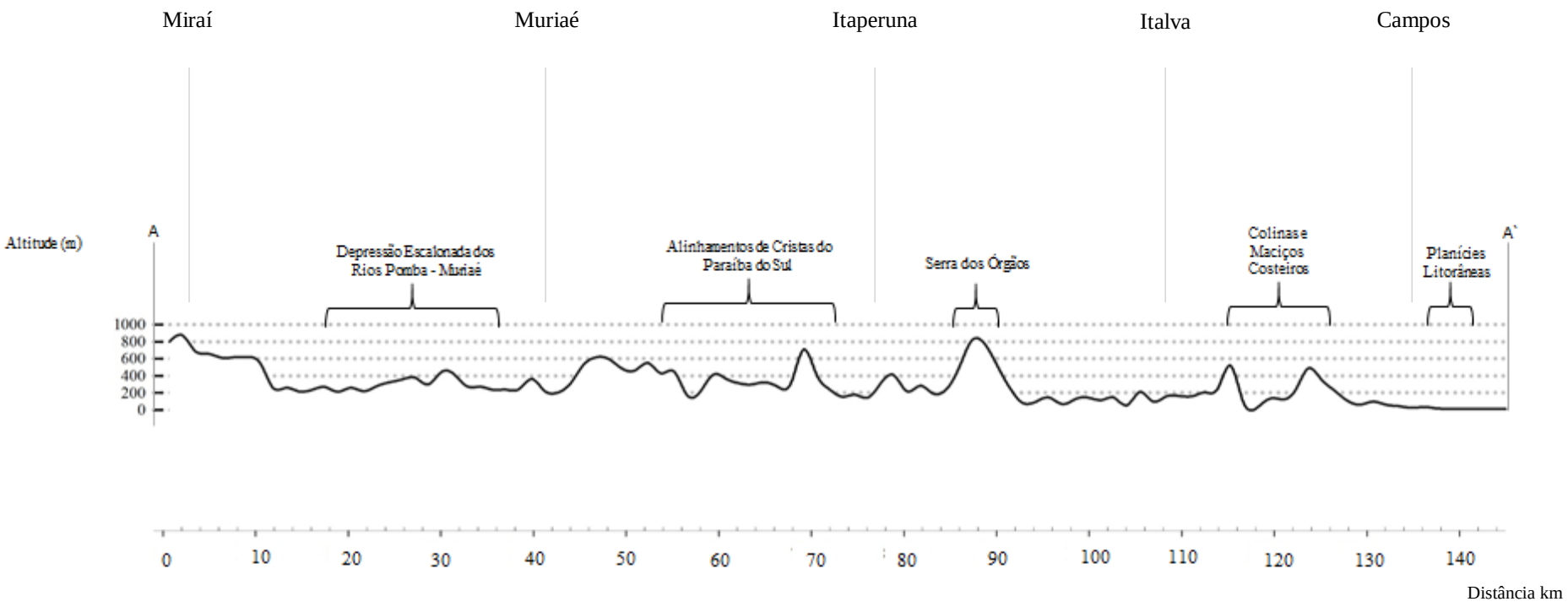


Figura 1 – Perfil longitudinal e unidades geomorfológicas da topossequência

2. Fundamentação Teórica

2.1.Índice Ki

Os argilominerais apresentam estreita correlação com propriedades físicas do solo (textura, estrutura, consistência, permeabilidade, expansão e contração, cor, etc.) e propriedades químicas (disponibilidade de nutrientes, CTC, pH, etc.) muito em função do seu reduzido tamanho, < 0,002 mm, e de suas propriedades coloidais, quando menores que 0,001 mm, conferindo-lhes elevada área superficial e reatividade de superfície (KÄMPF *et al*., 2012)

A mineralogia da fração argila é de grande utilidade para os estudos de pedogênese, ao revelar os processos e as condições de formação do solo que atuaram sob um dado material pré ou inalterado. Sendo a classificação de solos baseada em sua gênese, agrupando solos com origens e processos de formação semelhantes, a mineralogia é utilizada no agrupamento de solos cujo comportamento das argilas apresentam características semelhantes, podendo ser utilizada como subsídio para estratégias de manejo do solo de maneira geral (BAPTISTA et al., 1998).

A composição mineralógica de um determinado solo, como já mencionado, é influenciada pela mineralogia da rocha originária e pelos fatores e processos de formação do solo. Em ambientes tropicais e subtropicais úmidos, devido ao processo de intemperismo, ocorre a lixiviação de elementos considerados mais solúveis (Na_2O, K_2O, CaO, MgO e SiO_2,) e a concentração daqueles considerados pouco solúveis, como no caso dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Com base neste processo, são calculados diferentes índices químicos e mineralógicos que são utilizados para diferenciar o grau de alteração do solo (RESENDE & SANTANA, 1998).

O índice Ki indica a relação molecular SiO_2/Al_2O_3, refletindo a remoção de sílica e permanência do alumínio, devido seu acúmulo relativo no solo (MONIZ et al., 1982). Em regiões de clima quente e úmido a estabilidade do argilomineral caulinita é favorecida em decorrência da monossialitização, processo de dessilicação parcial, sendo este mineral o mais abundante e comum nos solos brasileiros e predominante nos Latossolos, Nitossolos, Argissolos, Plintossolos e Cambissolos (RESENDE, 1976; KER, 1995; BAPTISTA et al., 1998). Por esta razão o Ki da caulinita pode ser tomado como referência para este índice de intemperismo. Variando de 2,00 a 2,10, a relação molecular SiO_2/Al_2O_3 da caulinita (Grim, 1968) serve como base para a distinção de

solos tropicais muito ou pouco intemperizados (KEHRIG, 1949; NETO & ALMEIDA, 2013).

Solos muito intemperizados apresentam mineralogia composta por argilominerais e por minerais primários residuais, quartzo principalmente. Já solos pouco intemperizados apresentam predominantemente em sua composição, argilominerais neoformados e minerais em processo de alteração química para argilominerais. No sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS) o índice Ki é utilizado para caracterizar solos onde a atuação do intemperismo e lixiviação foram intensos, promovendo a perda de bases e sílica, como no conceito do horizonte diagnóstico B Latossólico (EMBRAPA, 2013).

Segundo o manual de métodos de análise do solo (EMBRAPA, 2011), a determinação da relação molecular Ki é feita através da solubilização de amostras de solo por meio do ataque sulfúrico (H_2SO_4 na proporção 1:1). A dissolução pelo H_2SO_4 pressupõe que somente os argilominerais são dissolvidos, refletindo a composição percentual de Si e Al próximos aos da fração coloidal do solo. (EMBRAPA, 2011).

O índice Ki calculado pela expressão:

$$Ki = \left(\frac{\%SiO_2}{\%Al_2O_3}\right) \times 1{,}7$$

2.2.Caracterização de solos por padrões da rede de drenagem

As características da rede de drenagem sintetizam o resultado do trabalho erosivo das águas, sendo utilizada em diversas pesquisas geomorfológicas e pedológicas para o entendimento da relação solo-superfície.

Na diferenciação de solos em áreas extensas, a análise morfométrica é utilizada na compreensão da relação causa/efeito nos processos pedológico e hidrológico na formação de uma dada bacia hidrográfica (POLITANO, 1992; PISSARRA, 2002; ALVES, 2003 apud PISSARA *et al.*, 2006).

A drenagem superficial fornece indicações sobre a relação infiltração/deflúvio, sendo uma importante ferramenta de análise em estudos morfológicos, para estabelecer unidades homogêneas nas áreas de estudo (ALVES & CASTRO, 2003; BARBOSA & FURRIER, 2009).

BELCHER (1945), apud ESPINDOLA (2010), assim como FRANÇA (1968), ao interpretarem padrões aerofotogramétricos, concluíram que a relação infiltração/deflúvio, é que, em última análise, governa os processos evolutivos das paisagens.

A densidade de drenagem, como definida por HORTON (1945), tem se demonstrado um dos mais consistentes parâmetros da análise morfométrica, de onde podem ser inferidos dados sobre a capacidade de infiltração, permeabilidade e textura dos substratos presentes (LUEDER, 1959).

CHRISTOFOLETTI (1979, 1981) analisou diversos trabalhos que discutem a variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem e suas correlações com as variáveis do meio físico. Ainda que as variáveis do clima, relevo, litologia e a cobertura vegetal exerçam influência concomitante na relação infiltração/deflúvio, vários autores tem destacado a correspondência positiva entre os padrões da rede de drenagem e os tipos de solos. FRANÇA (1968), FADEL (1972), CARVALHO (1977), trabalharam com padrões de rede de drenagem e sua relação com unidades de mapeamento de solos. FRANÇA & DEMATTÊ (1990) concluíram a respeito da eficácia da utilização dos valores de densidades de drenagem na separação entre Latossolos e Argissolos na região de Iracemapolis, SP. DEMATTÊ & DEMÉTRIO (1996) verificaram estreita correlação entre a densidade de drenagem e determinados atributos morfológicos, químicos e mineralógicos, ligados à intensidade de intemperismo dos solos de algumas regiões do Estado do Paraná.

Ao analisar as características da rede de drenagem e os aspectos fisiográficos ligados aos parâmetros morfométricos, PISARRA et al. (2006) concluíram sobre o êxito na distinção entre unidades constituídas por Latossolos e Argissolos, assim como na diferenciação do grau de desenvolvimento dos solos da bacia do córrego Rico, na região nordeste do Estado de São Paulo.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Analisar a influência da rede de drenagem e as suas possíveis contribuições para o entendimento de como a intensidade do intemperismo se altera juntamente com os diferentes níveis topográficos.

3.2 Específicos

Investigar se os dados utilizados, assim como a análise estatística realizada no SIG, são úteis para representar os valores de densidade de drenagem na área de estudo, bem como sobre os valores encontrados por outros autores.

Propor a reflexão da análise quantitativa da variabilidade espacial da densidade de drenagem em relação à distinção das unidades de solos geneticamente diferentes dentro da área estudada, e se esta mesma análise serviria para diferenciar o grau de intemperismo de tais solos.

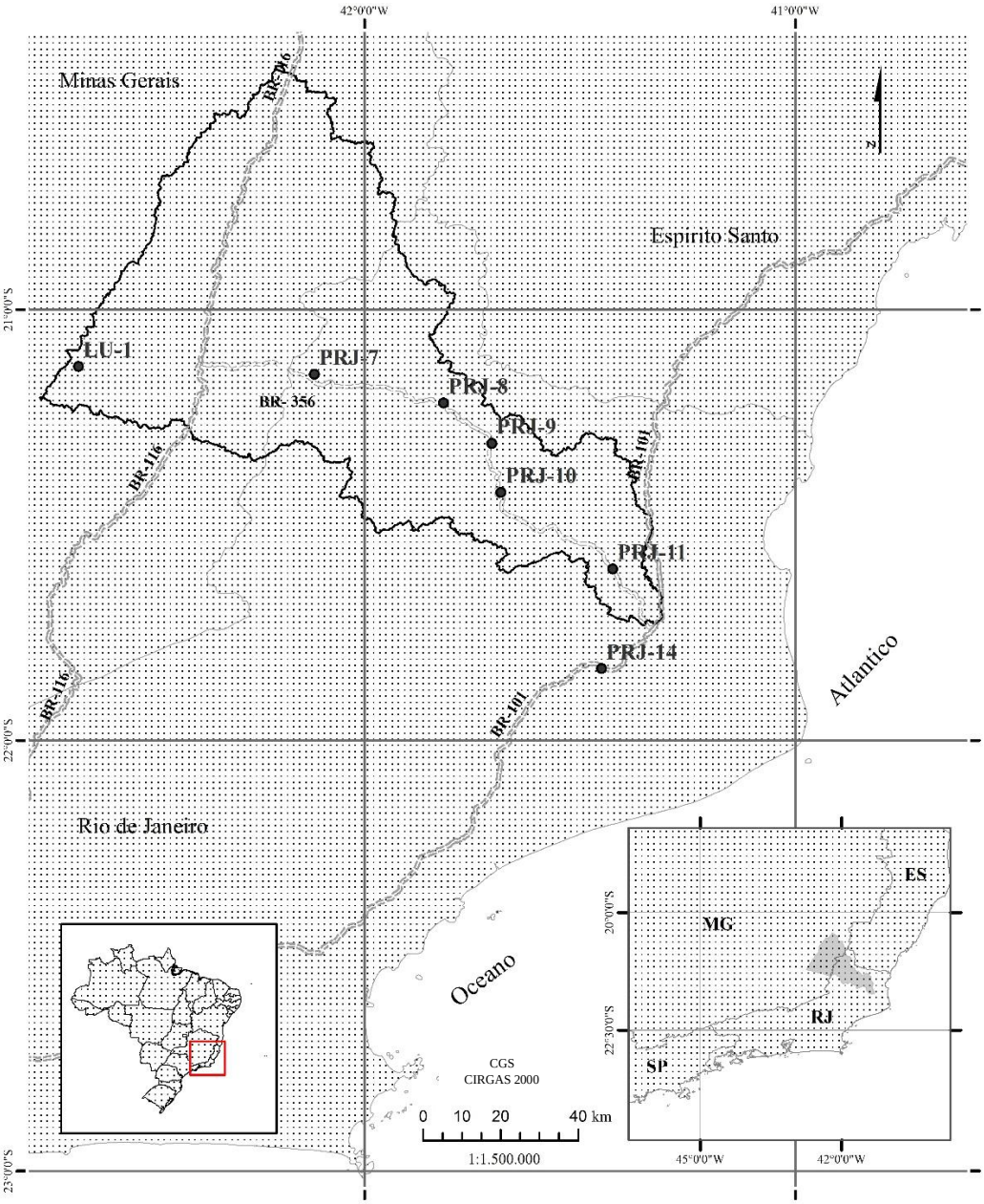
Questionar a possiblidade do controle estrutural, exercido pelo amplo conjunto de feixes de falhas e fraturas, correspondente às diferentes zonas de cisalhamento que cortam a BHRM, de influenciar os valores de densidade de drenagem, de forma a inviabilizar sua correlação com as características dos solos.

4. Caracterização do meio físico

4.1. Localização

Os perfis selecionados encontram-se na bacia hidrográfica do Rio Muriaé (BHRM), delimitada conforme pode ser visto no Mapa 1, exceto o Argissolo Amarelo (PRJ- 14), que se encontra na bacia do Rio Paraíba do Sul. A área de interesse para este estudo está situada entre as coordenadas 43º 0’ e 43º30’ de longitude W e entre 20º 0’ e 22º 0’ de latitude S. Encontra-se limitada a SW pelos planaltos dissecados do E de Minas Gerais e a E pelas Baixadas Litorâneas no N do Rio de Janeiro.

Mapa – 1. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé



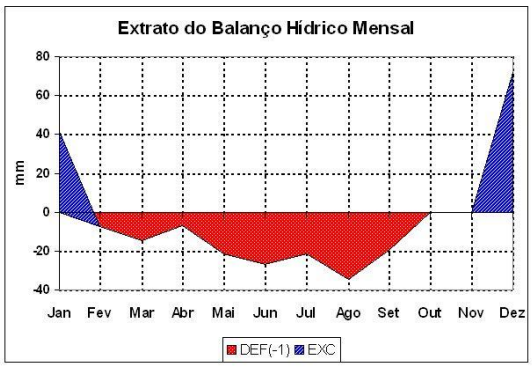
4.2. Clima

Segundo a caracterização do clima de Köeppen (1948), a tipologia do clima da bacia hidrográfica do Rio Muriaé é **Aw**, com características típicas de clima tropical chuvoso com inverno seco, onde as médias pluviométricas do trimestre mais seco são inferiores a 60 mm.

A precipitação média anual na área de influência da BHRM fica entorno de 1000 mm e podendo apresentar valores inferiores a 800 mm. O aumento na precipitação é notado no sentido do litoral ao interior, tendo correlação com o gradiente altimétrico, onde em detrimento das porções inferiores da bacia, a umidade formada sobre o oceano precipita preferencialmente sobre a serra da Mantiqueira. (EMBRAPA, 2005, 2006).

A evapotranspiração, segundo Thornthwaite, é superior a 1300 mm anuais, indicando um significativo déficit hídrico no solo durante boa parte do ano, o que pode ser verificado pelos dados de balanço hídrico de Itaperuna-RJ e Campos-RJ (Figura 2).

Itaperuna-RJ



Campos dos Goytacazes-RJ

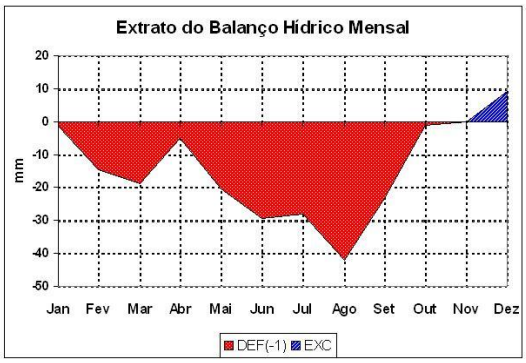


Figura 2- Extrato do balanço hídrico mensal das estações climatológicas de Itaperuna-RJ e Campos-RJ. Fonte: INMet

4.3. Geomorfologia

Com exceção do perfil PRJ-14, que faz parte da Unidade Tabuleiros Costeiros, a área de estudo encontra-se inserida na Unidade Depressão Escalonada dos Rios Pomba-Muriaé, cuja morfologia é predominantemente controlada pelo regime climático (RADAM-BRASIL, 1984). Dantas (2001), ao compartimentar esta unidade no âmbito da BHRM, o denominou como Depressão Interplanáltica Intercalada por Alinhamentos Serranos Escalonados. Este compartimento limita-se a norte com os Patamares Escalonados do Caparaó; a sul, com os Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul; a

oeste, avança sobre ramificações das Serranias da Zona da Mata Mineira, e a leste pelos Maciços Costeiros.

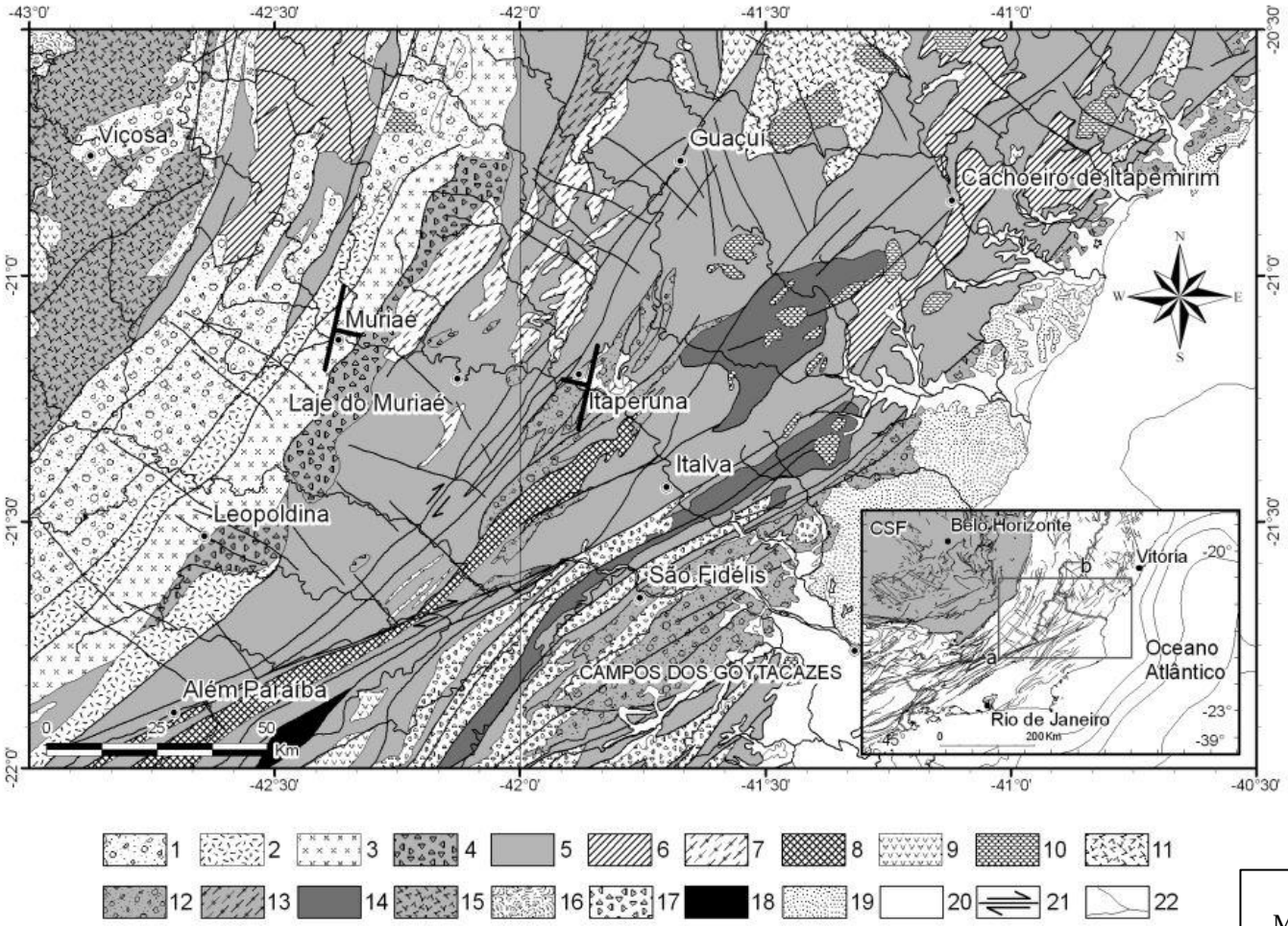
O relevo é marcado, em grande parte, por cotas altimétricas que variam entre 100 e 700 m, à medida que se aproxima da Serra da Mantiqueira, por onde avança sob acelerada erosão remontante, chegando a atingir desnível superior a 500 m entre a cabeceira e a foz da bacia do rio Muriaé (RADAM BRASIL, 1984), como destacado na figura 1. A Depressão Escalonada dos Rios Pomba e Muiré atravessa as litologias do Grupo Juiz de Fora, a oeste, e do Grupo Paraíba do Sul, na porção centro oriental, onde desenvolvem-se formas de relevo predominantemente de dissecação homogênea, ainda que algumas formas apresentem modelado de dissecação diferencial (RADAM BRASIL, 1984).

Os alinhamentos de serras, constituem importantes relevos montanhosos de direção preponderante SW-NE. São considerados no contexto da Depressão escalonada dos rios Pomba e Muriaé como remanescentes da Unidade Alinhamentos de Cristas do Paraíba do sul, que se apresentam de maneira descontínua, sendo destacados como conjuntos residuais de serras (RADAM BRASIL 1984). Apresentam formas características de dissecação diferencial e constituem limites abruptos com o relevo circundante, atingindo amplitudes de relevo sempre superiores a 300 m, podendo atingir 700 m (EMBRAPA, 2005). Correspondem a um feixe de falhas e fraturas de direção NE-SO denominados lineamentos Além Paraíba (Almeida *et. al.* 1975).

Em conjunto, esse compartimento caracteriza-se por um relevo colinoso de baixa amplitude (entre 30 e 100 m de desnivelamento), que se contrasta com vertentes retilíneas muito íngremes, com ocorrência frequente de paredões rochosos, da qual fazem parte os alinhamentos serranos.

4.4. Geologia

A área estudada pertence a Província Geotectônica Mantiqueira Setentrional, de idade transamazônica, 2.200-1.800 M.A., tendo sofrido retrabalhamento durante o MesoNeoproterozóico pela orogênese Brasiliana. Sua litologia é composta por rochas metamórficas de diferentes graus, intenso plutonismo granítico e deformações variadas, representadas pelo Complexo Juiz de Fora e Complexo Paraíba do Sul, como ilustrado pela figura 3.



1- Complexo Juiz de Fora
2- Suíte Quirino
3- Suíte Muriaé
4- Suíte Leopoldina
5- Complexo Paraíba do Sul
6- Suíte Galiléia, Tonalitos tipo Virgínia Velha, Alto Guandu, Bom Jesus do Galho, Cachoeiro
7- Granitos Eugenópolis, Varre-Sai, Suíte Natividade
8- Suíte Granítica Serra da Araras
12- Suíte Bela Joana
14- Suíte Angelim
15- Piedade
17- Desengano
19- Grupo Barreiras
20- Depósitos Quaternários

Mapa Geológico do Brasil ao Milionésimo CPRM – 2004
Folhas: SF 23/24 Rio de Janeiro e Vitória
Adaptado de Karniol, 2007

Figura 3. Geologia da área de estudo

O complexo Juiz de Fora corresponde a uma intercalação tectônica entre as litologias do embasamento pré 1,7 GA e os metassedimentos neoproterozóicos da Megassequência Andrelândia (Paiciullo et al. 2000), ambos metamorfisados em fácies de granulitos. Na unidade magmática (RADAM BRASIL,1984) é composta por um conjunto muito heterogêneo de ortogranulitos, compreendendo granulitos gnaissificados com composições variando entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos. A mineralogia é dominantemente composta por ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, K-feldspato, quartzo, hornblenda e biotita. A unidade metassedimentar é constiuida por uma associação de gnaisses de origem sedimentar com idade entre 1,0 e 0,79 Ga (Ribeiro *et al*. 1995) de composição pelítica e semi-pelítica. Sua composição mineralógica principal é constituída por granada, biotita, silimenita, quartzo, plagioclásio e K-feldspato.

A designação Complexo Paraíba do Sul é dada às rochas heterogêneas e muito tectonizadas aflorantes na região do vale do Rio Paraíba do Sul. A terminologia é utilizada para abranger um agrupamento composto dominantemente por gnaisses e migmatitos, extremamente bandados e cataclásticos no referido vale. Inclui ainda subunidades de rochas kingzíticas, charnokíticas e granitoides, além de lentes de quartizítos, calcossilicáticas, anfibolitos, metabásicas e mármores, este último atribuído ao Grupo Italva.

5. Materiais e procedimentos

5.1. Materiais utilizados

Dados analíticos e descrição morfológica referentes a caracterização dos perfis, PRJ-7, PRJ-8, PRJ-9, PRJ-10, PRJ-11 e PRJ-14 foram adquiridos por meio do relatório técnico da Primeira Reunião de Classificação Correlação e Aptidão agrícola de Solos – I-RCC (EMBRAPA, 1979) A caracterização do perfil LU-1 foi feita por NUNES (1999).

Quadro 1. Legenda e outras informações sobre os solos estudados.

ID	Classificação (SiBCS 2011)	Fonte	Litologia	Coordenadas
				Graus Decimais
LU-1	Latossolo Vermelho Amarelo	Nunes (1999)	Complexo Juiz de Fora	Lat: -21, 137825 Long: -42,664294
PRJ-7	Latossolo Vermelho Amarelo	I-RCC	Complexo Paraiba do Sul	Lat: -21,15 Long: -42,11666
PRJ-8	Luvissolo Crômico abrúptico	I-RCC	Complexo Paraiba do Sul	Lat: -21,21667 Long: -41,81666
PRJ-9	Chernossolo Argilúvico	I-RCC	Complexo Paraiba do Sul	Lat: -21,35 Long: -41,88333
PRJ-10	Chernossolo Rêndzico	I-RCC	Complexo Paraiba do Sul	Lat: -21,42397 Long: -41,68372
PRJ-11	Vertissolo	I-RCC	Complexo Paraiba do Sul	Lat: -21, 601968 Long: -41,42434
PRJ-14	Argissolo Amarelo álico abrúptico	I-RCC	Sedimentos do Grupo Barreiras	Lat: -21, 83333 Long: -41, 15

O material de consulta e a cartografia utilizados como referência para este estudo são provenientes do levantamento sistemático do território brasileiro na escala 1:1.000.000, RADAM BRASIL, referente às folhas SF23/24, Rio de Janeiro/Vitória. O relatório técnico e material cartográfico produzidos pelo projeto foram adquiridos via portal eletrônico da biblioteca do IBGE.

Os solos caracterizados na topossequência, com exceção de LU-1, são os principais componentes das unidades de solos do levantamento exploratório utilizado como base para este estudo, apresentando relevância significativa na representatividade dos solos da BHRM e condizentes com a escala de trabalho adotada.

Modelo digital de elevação obtido no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por intermédio do projeto TOPODATA, o qual utiliza dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 30 m. Foram adquiridos 5 articulações 1:250.000 em formato TIF com projeção espacial definida para o Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS 84. Também foram utilizados arquivos DGN referentes à hidrografia das cartas topográficas do IBGE 1:50.000 (figura 4), produzidas por restituição fotogramétrica e equidistância de 20 m.

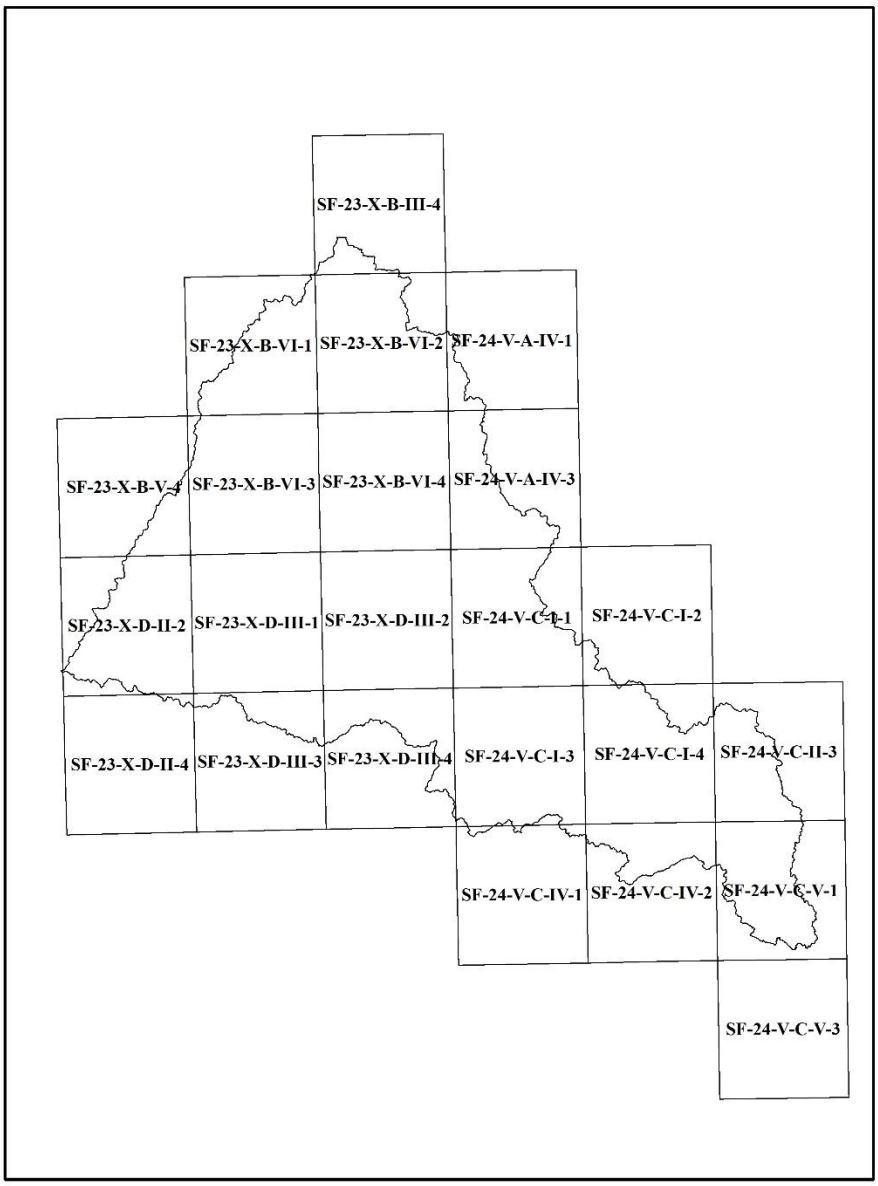


Figura 4-. Cartas topográficas do IBGE utilizadas

5.2 Procedimentos adotados

5.2.1. Solos

Os solos da topossequência foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2011). A partir dos resultados das análises químicas e mineralógicas, bem como da descrição morfológica, os solos foram caracterizados segundo a bibliografia pertinente, como pode ser visto na figura 5.

5.2.2 Rede de drenagem e relevo

Em todos os cálculos efetuados no geoprocessamento, bem como nos arquivos cartográficos utilizados, adotou-se a projeção Universal Transversal Mercator, com a finalidade de se calcular as distâncias em sistema métrico.

5.2.2.1. Identificação dos padrões e formas de drenagem

A rede de drenagem da BHRM foi analisada de acordo com os estudos de CHRISTOFOLETTI (1974), e SOARES e FIORI (1976), onde foram avaliados nesta etapa, apenas os aspectos qualitativos da rede de drenagem (Quadro 2).

Quadro 2. Análise descritiva da rede de drenagem.

Aspectos	Breve descrição
Padrão	Refere-se a organização espacial da rede de drenagem. Os padrões de drenagem (dendrítico, treliça, retangular, paralela, radial e anelar) foram estabelecidos comparativamente com aqueles modelos expostos por Cristofoletti (1974);
Densidade de drenagem	Definida como sendo o número de canais fluviais por unidade de área;
Angularidade	Corresponde ao ângulo de confluência entre rios, considerando-se a angularidade como baixa quando o ângulo for inferior a 60°, média quando entre 60 – 120° e alta quando o ângulo for superior a 120°;
Sinuosidade	Refere-se à sinuosidade dos canais fluviais, podendo ser classificados em curvos; dominantemente curvos; curvos e retilíneos (mistos).
Tropia	Propriedade na qual a drenagem desenvolve-se em direções preferenciais, sendo unidirecional (uma direção preferencial), bidirecional (duas direções), e multidirecional;
Assimetria	Grau de diferenciação entre os canais de drenagem de um lado e do outro de um canal principal, variando de fraca (diferença apenas no tamanho dos elementos) a forte (diferença no tamanho e na forma).

Adaptado CRISTOFOLETTI (1974) e SOARES E FIORI (1976).

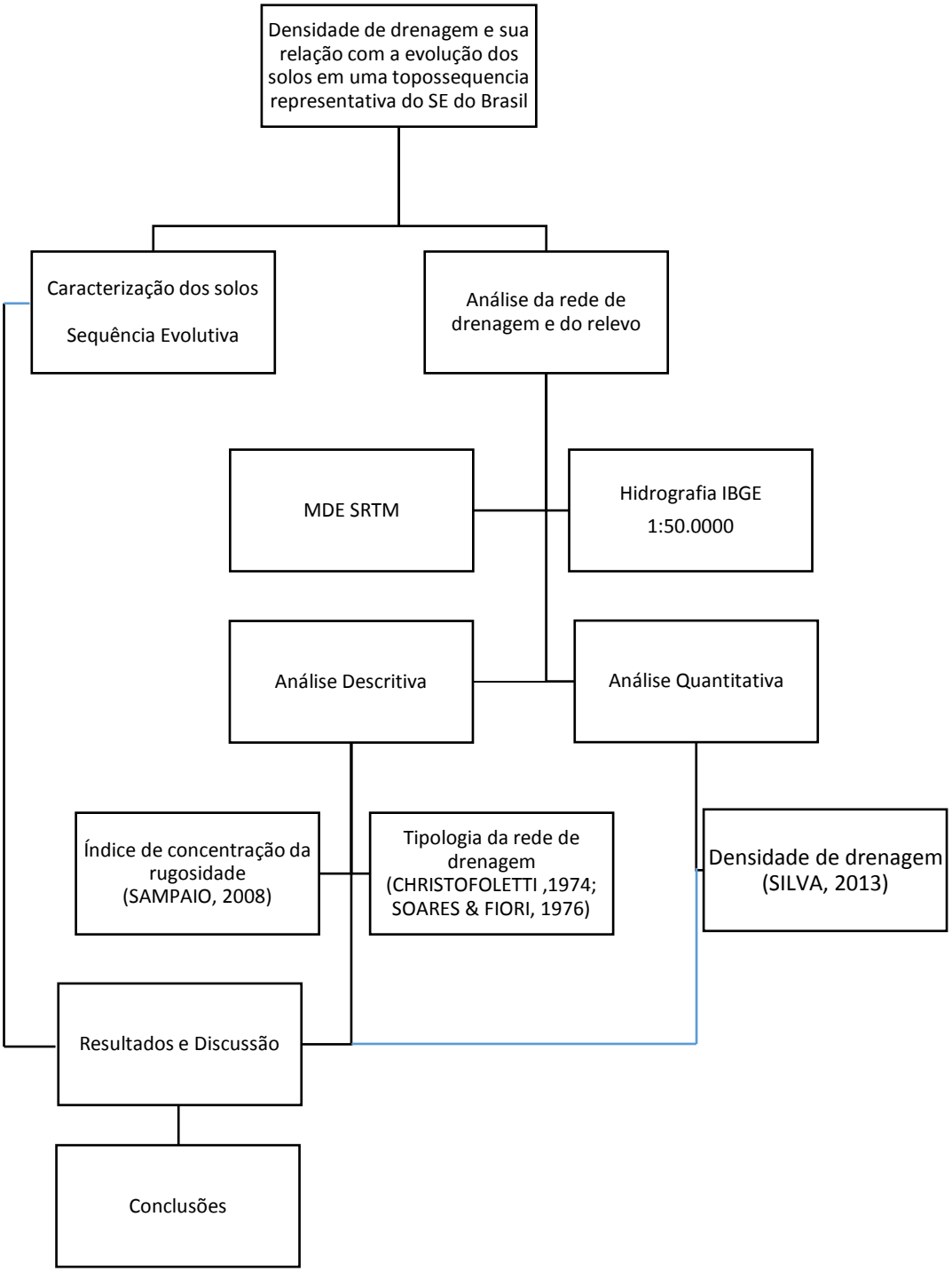


Figura 5: Fluxograma contendo as etapas da pesquisa.

5.2.2.2. Densidade de drenagem (Dd)

O mapa de isolinhas de densidade de drenagem foi gerado segundo a metodologia proposta por Silva (2013). Consiste da análise estatística dos canais da rede de drenagem na escala de 1:50.000, por meio do estimador de densidade (*density line*), ferramenta integrante da extensão *Spatial Analyst* do software ArcGis 10.1. O estimador foi configurado para que fossem indicados a extensão dos cursos de drenagem existentes por km².

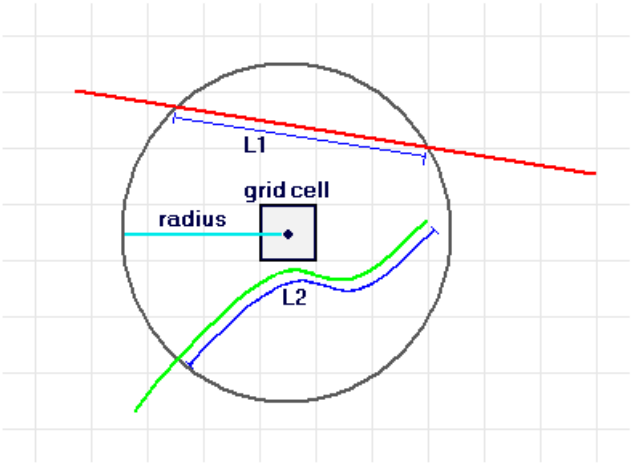


Figura 6. Comprimento das linhas e a vizinhança circular utilizada para determinar a densidade de linhas, onde a Dd corresponde: $L_1 + L_2 + ... L_x$ / área da circunferência. FONTE: ESRI

A fim de realizar uma análise do efeito da Dd e dos atributos químicos e mineralógicos na discriminação das classes de solos na BHRM, adotou-se a amostragem proposta por RAY & FISCHER (1960) para interpretação litológica, adaptada por FRANÇA (1968) para solos. Assim, foram alocadas amostras circulares (AC) de 10 km² nas áreas correspondentes a cada solo caracterizado na topossequência e analisadas quanto a densidade de drenagem correspondente.

5.2.2.3. Dissecação do relevo

A análise descritiva da dissecação do relevo constituiu da aplicação da proposta metodológica de Sampaio (2008), que desenvolveu o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) com a finalidade de "identificar parâmetros que possibilitassem incrementar a acurácia do mapeamento da rede de drenagem" (SAMPAIO, 2008). O processo de geração do ICR é feito pela aplicação do estimador de Kernel, adotando-se

como referencial de análise a distribuição espacial da declividade, a partir da análise da repetição dos valores de declividade por unidade de área. Nessa análise espacial foi utilizado o estimador de densidade de Kernel, ferramenta da extensão *Spatial Analyst* do *software* ArcGis 10.1.

Para isso é necessário a transformação da matriz de declividade em um arquivo *shapefile* de pontos, onde cada ponto detém o valor da respectiva matriz de declividade expresso em percentagem.

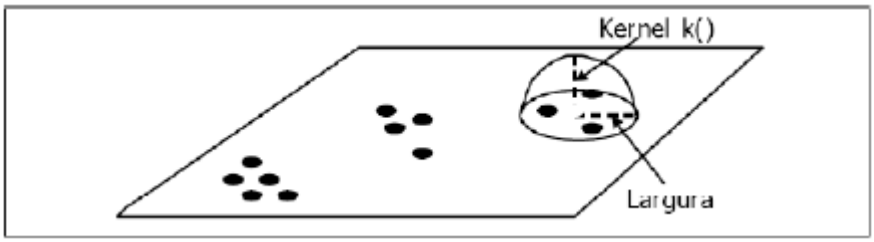


Figura 7-. Estimador de intensidade de Kernel. Câmara & Carvalho (2001)

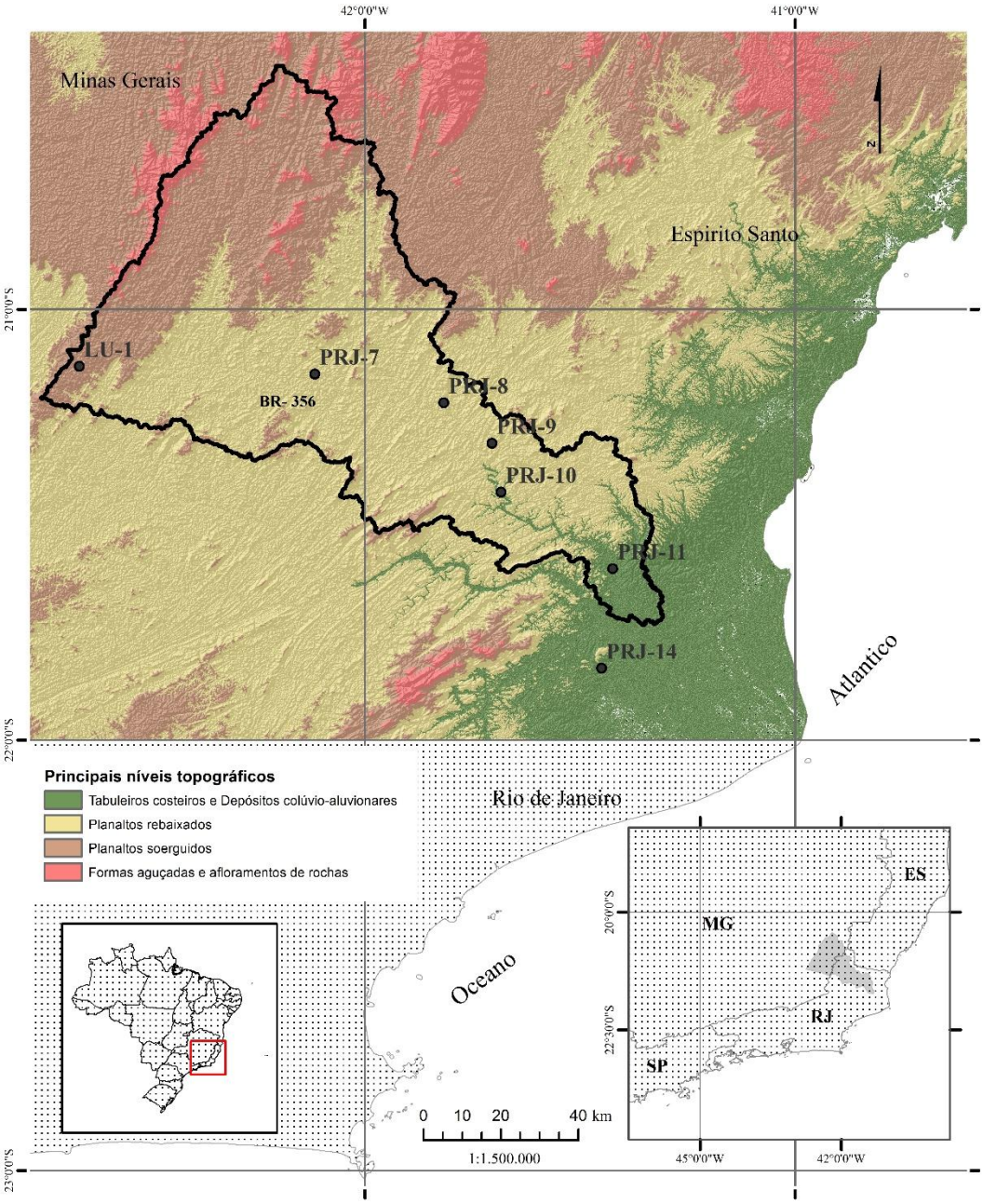
O raio de abrangência utilizado para o estimador de Kernel foi de 1128 m, o que corresponde a área de aproximadamente 4 km² (SOUZA & SAMPAIO 2010). Para esta pesquisa buscou estabelecer o número de classes, assim como os seus respectivos intervalos, de maneira a atender de forma prática os objetivos do trabalho.

6. Resultados e discussão

6.1. Considerações sobre os solos da topossequência

As diferentes condições de relevo na BHRM indicam a ocorrência de diferentes processos superficiais e subsuperficiais na diferenciação da cobertura pedológica. A alternância da influência dos processos morfogenéticos e pedogenéticos nos solos estudados, exerce controle preponderante sobre a evolução desses solos (JÚNIOR et al., 2008). Para tanto, os solos foram agrupados em função da altitude, dividindo-se entre os de Planalto Soerguido, Planalto Rebaixado e dos Tabuleiros Costeiros.

Mapa – 2. Modelo Digital de Elevação contendo os principais níveis topográficos



6.1.1 Latossolos

Dos Latossolos estudados, LU-1 e PRJ-7, ambos apresentaram, dentro das características físicas e químicas analisadas, conforme tabelas 2 e 3, similaridade com solos dos domínios de mares de morros florestados (AB`SABER, 1996; REZENDE & RESENDE, 1996). No horizonte B. o Ki variou de 1,78 no Planalto Soerguido, Latossolo Vermelho-Amarelo, à 1,33 no Planalto Rebaixado, Latossolo Vermelho, sendo o primeiro mais eletropositivo e menor relação silte/argila, portanto se contrapondo ao grau de evolução expresso pela relação SiO_2/Al_2O_3 mediante o ataque sulfúrico.

Entre os horizontes superficiais, o Latossolo Vermelho Amarelo apresentou teor de Carbono orgânico significativamente mais elevado que o encontrado no Latossolo Vermelho, variando de 3,68 % (Latossolo Vermelho Amarelo) à 1,25 %. O teor de carbono orgânico não apresentou correspondência com a fertilidade natural da camada superficial, uma vez que apesar do elevado teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho Amarelo, este apresenta menor CTC e maior saturação de alumínio. Tal fato é possivelmente explicado pela acumulação de carbono orgânico em função da sua complexação pelo alumínio. FASSBENDER & BORNEMISZA (1994) concluíram que a pobreza química aliada a complexação com alumínio condicionam uma maior acumulação de carbono orgânico.

Estas informações apresentam significativa relevância na utilização do teor de carbono orgânico para diferenciação desses solos quanto o potencial para a produção vegetal. A importância da participação de compostos orgânicos na camada superficial de solos evoluídos, é entendida como de grande importância para produção agrícola brasileira, tendo em vista a relação entre as raízes finas e as condições químicas, disponibilidade de nutrientes e toxidez por alumínio, nas primeiras camadas de solo.

No caso do Latossolo do Planalto Soerguido, onde a morfogênese é mais pronunciada, com maior dissecação, o solo é mais rejuvenescido pela erosão, apesar de sua pobreza química (JÚNIOR et al., 2008). Onde há morfogênese mais intensa, tem-se horizonte Bi com características morfológicas semelhantes à de Latossolos. São solos onde a relação silte/argila pode ser empregada como característica acessória para diferenciar Latossolos de Cambissolos (EMBRAPA, 2013).

6.1.2 Solos com B textural

Dos solos com B textural, PRJ-8, PRJ-9 e PRJ- 14, a mudança de compartimento geológico é evidentemente demonstrada pelos dados analíticos. Os solos do Planalto Rebaixado, PRJ-8 (Luvissolo) e PRJ 9 (Chernossolo Argilúvico), ambos sobre o embasamento cristalino, apresentam alta saturação por bases, valores nulos de Al^{3+}, correspondendo também aos menores valores do Δ pH. Tais características encontradas parecem corroborar com o ambiente mais seco, sazonal, contrastando com os ambientes mais úmidos encontrados no Planalto Soerguido e nos Tabuleiros Costeiros. No Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, PRJ-14, os dados analisados evidenciam o papel mais acentuado da pedogênese sobre o relevo plano e ambiente mais úmido neste compartimento. Consequentemente, este apresentou o menor valor do Ki entre os solos com B textural, 1,8, contra 2,46 e 2,23 no Luvissolo e Chernossolo respectivamente. Os valores de saturação por bases e por alumínio diferem os solos com Bt entre eutróficos, no Planalto Rebaixado e Álico no Tabuleiro Costeiro, o que evidencia a natureza quimicamente pobre do material depositado.

Quanto à transição textural, característica do Bt, em PRJ 8 e PRJ 14 o incremento de argila em profundidade apresentou-se de maneira mais pronunciada, em que o teor de argila mais que dobrou do horizonte A para o Bt. Tal característica significa existência de condições de maior restrição à drenagem do perfil e ao desenvolvimento do sistema radicular, sujeitando esses solos à perdas por erosão superficial. Em PRJ 8, sobre relevo movimentado, o risco de degradação pela erosão é maior, devido a menor capacidade de infiltração da água e maior escoamento superficial sobre circunstâncias de declive. Portanto, merece atenção especial quanto as formas de manejo, que devem abranger medidas conservacionistas do solo que contribuam para infiltração da água. Nos solos com Bt do Planalto Rebaixado, a translocação de argila é acompanhada de cerosidade expressiva, no mínimo moderada e comum, caso que não ocorre no Argissolo do Tabuleiro Costeiro.

6.1.2.1. Solos com B textural do Planalto Rebaixado

Estes ocorrem em posição semelhante na paisagem, terço inferior e relevo movimentado e se destacam pela elevada saturação por bases e pelos baixos teores de alumínio trocável. A CTC é sempre alta ou muito alta em todos os horizontes, sendo os maiores valores encontrados no horizonte C. A abundante presença de biotita e

feldspatos na composição mineralógica da areia indicam uma elevada reserva potencial de minerais primários. A saturação por bases é também muito alta, contendo no mínimo 69 % cátions básicos. Com exceção do horizonte superficial, os teores de carbono orgânico são baixos e diminuem em profundidade. A textura do horizonte B é argilosa ou muito argilosa, seguida de teores relativamente elevados de silte, sempre superiores aos da fração areia. Os valores do Ki são sempre maiores que 2,2 no horizonte B.

No Luvissolo (PRJ 8), que apresenta cerosidade forte na maior parte do horizonte B, a maior concentração de argila é encontrada no topo do Bt (Bt1) - 69 %, havendo decréscimo a medida que se aproxima do horizonte C, atingindo 54 % em Bt3. Por outro lado, a atividade da fração argila (sem correção para carbono) é maior a medida que se aproxima de C, juntamente com o aumento da fração silte. A atividade da argila que no Bt1 é 18 $cmol_c$/ kg de argila e 29 $cmol_c$/ Kg de argila no Bt2, chegando à 63,7 $cmol_c$/ Kg de argila no Bt3. A grande variação do valor da atividade da argila, com base no limiar de 27 $cmol_c$/ kg de argila utilizado para diferenciar solos Ta e Tb (EMBRAPA), parece refletir uma alteração gradual na mineralogia da argila no interior do Bt.

Tabela 1 – Perfis, Horizontes e seus respectivos valores de argila, CTC e atividade da argila sem correção para carbono.

Perfil	Horizonte	% de Argila	CTC	Ativ. da Argila
PRJ 8	Ap	27	12,5	46,29
	A2	31	9,5	27,9
	Bt1	69	13	18,84
	Bt2	64	18,6	29,06
	Bt3	53	33,8	63,77
PRJ 9	Ap	47	14,8	31,4
	Bt1	55	16	29,09
	Bt2	57	16,6	29,12
	Bt3	51	16,5	32,35
	Bt4	48	18,5	38,54

Os valores da atividade da argila indicam predominância de cargas variáveis (dependentes de pH) no Bt1, como os da caulinita, óxidos de Fe e de Al, e no Bt3, condizente com geração de cargas por substituição isomórfica (permanentes), como os de minerais do tipo 2:1 (KURI & KÄMPF, 2012), sendo o horizonte Bt2 intermediário.

Tabela 2 –Análise Física

Solo	Atributos físicos							
	Hor	Prof	Casc ou >	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Silte/Argila
		(cm)	dag / kg					
LU 1	A	0-35		17	14	16	53	0,30
	Bw	35-85		13	13	7	67	0,10
PRJ 7	Ap	0-17	1	32	17	13	38	0,34
	A3	- 35	-	23	16	13	48	0,27
	B1	- 70	0	18	14	13	55	0,24
	B2	- 100	0	17	15	11	57	0,19
	B3	- 145	3	16	15	16	53	0,30
	B4	- 175	3	17	17	14	52	0,27
	B5	- 250	4	17	17	14	52	0,27
	B6	- 290	14	25	22	19	34	0,56
	C							
PRJ 8	Ap	0-10	0	23	17	33	27	1,22
	A2	- 20	1	19	16	31	34	0,91
	B1t	- 55	0	8	5	18	69	0,26
	B2t	- 95	0	2	6	28	64	0,44
	B3t	- 120	0	2	14	31	53	0,58
	C1							
	C2							
PRJ 9	Ap	0-28	3	17	13	23	47	0,49
	B	- 45	7	17	10	18	55	0,33
	B1t	- 70	6	13	8	22	57	0,39
	B2t	- 95	1	10	8	31	51	0,61
	C							
	B3t	- 110	4	9	8	35	48	0,73
PRJ 10	Ap	0-20	2	21	19	18	42	0,43
	A2	- 42	2	21	18	18	43	0,42
	C1	- 70	8	13	10	55	22	2,50
	C2	- 125	33	13	18	57	22	4,75
	C3	- 160	16	23	24	46	7	6,57
PRJ-11	Ap	0-20	-	43	20	13	24	0,54
	A1	- 45	3	41	20	12	27	0,44
	C1g	- 55	3	33	16	8	43	0,19
	C2g	- 70	3	30	16	10	44	0,23
	C3g	- 90	2	31	16	10	43	0,23
	C4	- 105	35	23	11	27	39	0,69
PRJ 14	Ap	0-20	1	68	16	7	9	0,78
	A2	- 35	2	64	18	5	13	0,38
	B1t	- 70	3	39	14	5	42	0,12
	B2t	- 100	4	35	12	6	47	0,13
	B3t	- 135	2	34	10	5	51	0,10
	B4t	- 285	2	35	13	4	48	0,08

A participação de esmectita e caulinita na fração argila é confirmada pela constatação através de difratograma de raios x, e estão de acordo com os valores intermediários de CTC encontrados, aproximando-se das constatações sobre a constituição mineralógica caulinítica mais esmectítica ou sob a forma de interestratificados, encontrados por Ibraiano et al. (2004), Mota (1997) em Luvissolos de clima semi-árido.

A alta saturação por bases no complexo de troca (destacar o Potássio), pH em torno de 6 e a condição de drenagem imperfeita, associados ao clima sazonal seco, se mostram de acordo com o pedoambiente peculiar de formação de argilominerais 2:1 (KURI & KÄMPF, 2012) e corroboram com a identificação da análise mineralógica. Na composição mineralógica da areia foi constatado a presença de biotita intemperizada em Bt2 e Bt3, totalizando 40 % da fração. Assim, como identificado por LUZ et al. (1992) e PINTO & KÄMPF (1996), é possível que a formação de montmorilonita (*in situ*) nesse solo, ocorra a partir da transformação de micas, sendo este o mineral mais abundante na fração areia do horizonte C1, totalizando 89 %. Sobre a transição entre os horizontes A e Bt, é cabível atrelar a maior formação de argila na parte superior do Bt com a gênese de argila por destruição de argilominerais 2:1 (montmorilonita), assim como encontrado por Almeida (1995) e que demonstra contribuir significativamente com a característica de mudança textural abrupta nesse solo.

Apesar de se tratar de classes diferentes, PRJ 8 (Luvissolo) e PRJ 9 (Chernossolo), apresentam, de maneira geral, condições químicas e morfológicas semelhantes, distanciando-se pelo horizonte superficial, que no PRJ 8 não tem expessura para ser considerado como A Chernozêmico. Em ambos horizontes superficiais o íon Ca^{++} é o dominante na constituição do valor da soma de bases, correspondendo 40 % da CTC no A Proeminente (Luvissolo) e 80 % no A chernozêmico, podendo-se levar em consideração o papel exercido por compostos do tipo húmus–cálcio na adição de matéria orgânica no horizonte Chernozêmico (FENTON, 1983; ANJOS, 1999).

Em subsuperfície, no perfil PRJ 8 ocorre uma inversão da composição da CTC, passando haver predominância do Mg^{++} em relação ao Ca^{++} a medida que se aprofunda em direção ao horizonte C, o que pode repercutir em relações Ca/Mg e Mg/K desfavoráveis ao crescimento de certos vegetais (BOYER, 1971). Este fato tem sido constatado em outros trabalhos sobre Luvissolos do Norte/Noroeste do Estado do Rio

Tabela – 3. Análise Química

Solo	Hor	ΔpH	C.org	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Soma	Al^{3+}	H^{+}	CTC	V	m	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
			%								($cmol_c\ kg^{-1}$)	%				
LU 1	A	-0,7	3,68	0,3	0	0,04	0,05	0,4	0,8		10,5	4	67	-	-	-
	Bw	0,1	3,68	0,2	0	0	0,01	0,2	0		3	6	16	14,2	1,7	1,78
PRJ 7	Ap	-0,9	1,52	1,3	1,1	0,13	0,02	2,6	0,5	3,6	6,7	39	16	10,7	1,16	1,31
	A3	-0,8	0,98	0,45	0,45	0,09	0,04	1	0,9	3,1	5	20	47	12,4	1,25	1,28
	B1	-0,8	0,77	0,45	0,45	0,05	0,04	1	0,7	2,9	4,6	22	41	13,4	1,17	1,37
	B2	-0,5	0,45	0,25	0,25	0,04	0,06	0,6	0,5	2,9	4	15	46	13,7	1,31	1,35
	B3	-0,3	0,37	0,2	0,2	0,03	0,06	0,5	0,2	2	2,7	19	29	13,4	1,21	1,27
	B4	-0,2	0,31	0,15	0,15	0,01	0,03	0,3	0,1	1,4	1,8	17	25	14,1	1,21	1,28
	B5	-0,1	0,16	0,15	0,15	0,01	0,03	0,3	0	1,1	1,4	21	0	13,7	1,38	1,22
	B6	0,2	0,14	0,15	0,15	0,01	0,03	0,3	0	0,4	0,7	43	0	15,8	1,28	0,83
	C	-0,1	0,11	0,3	0,3	0,05	0,14	0,8	0	0,9	1,7	47	0	14,2	0,87	0,88
PRJ 8	Ap	-1,1	1,63	5,2	3,2	0,1	0,01	8,5	0	3,9	12,4	69	0	8,6	1,06	2,15
	A2	-1,3	0,8	4,8	2,5	0,09	0,03	7,4	0	2,1	9,5	78	0	9,9	1,5	2
	B1t	-1,1	0,52	4	6,7	0,05	0,02	10,8	0	2,2	13	83	0	15,7	1,51	2,15
	B2t	-1,1	0,36	2,5	12,9	0,14	0,1	15,6	0	3	18,6	84	0	16,9	1,25	2,28
	B3t	-1,6	0,35	2,4	26,7	0,14	0,19	29,4	1	3,4	33,8	87	3	16,7	5,19	2,97
	C1	-2,2	0,24	2	50,4	0,17	0,32	52,9	1,3	2,5	56,7	93	2	16,3	2,81	3,28
	C2	-2,9	0,16	1,7	72,2	0,16	0,44	74,5	1,3	2,5	78,3	95	2	12,9	3,26	4,72
PRJ 9	Ap	-1,4	0,72	11,8	2,7	0,17	0,08	14,8	0	0	14,8	100	0	8,5	0,89	2,27
	B	-1,4	0,53	11,6	3,7	0,65	0,06	16	0	0	16	100	0	8,2	0,88	2,1
	B1t	-1,3	0,49	11,7	3,8	1,07	0,06	16,6	0	0	16,6	100	0	10,9	1,01	2,22
	B2t	-1,4	0,32	12	3,7	0,79	0,05	16,5	0	0	16,5	100	0	11,2	0,96	2,24
	B3t	-1,4	0,29	13,3	4,4	0,69	0,07	18,5	0	0	18,5	100	0	10,9	0,86	2,24
	C	-1,5	0,13	12,1	4,7	0,65	0,07	17,5	0	0	17,5	100	0	10,7	1,18	2,49

Tabela 3 - Continuação

	Hor	ΔpH	C.org	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Soma	Al^{3+}	H^{+}	CTC	V	m	Fe_2O_3	TiO_2	Ki
			%								($cmol_c\ kg^{-1}$)	%				
PRJ- 10	Ap	-1	1,4	29,3	2,3	0,06	0,18	31,8	0	0	31,8	100	0	6,7	0,9	2,84
	A2	-0,8	1,91	30,5	2,1	0,09	0,19	32,9	0	0	32,9	100	0	6,2	0,79	2,82
	C1	-0,6	0,6	16,7	1	0,02	0,14	17,9	0	0	17,9	100	0	3	0,29	3,17
	C2	-1	0,13	12,6	1	0,01	0,16	13,8	0	0	13,8	100	0	2,7	0,16	5,09
	C3	-0,9	0,11	14,9	2,4	0,01	0,16	17,5	0	0	17,5	100	0	2,5	0,21	5,49
PRJ-11	Ap	-0,6	1,86	15	2	0,49	0,05	17,5	0	0	17,5	100	0	2,8	0,66	2,96
	A1	-0,7	0,8	11,8	2,3	0,38	0,04	14,5	0	0	14,5	100	0	3,2	0,65	2,7
	C1	-1	0,57	14,2	3,4	0,41	0,05	18,1	0	0	18,1	100	0	4,6	0,82	2,48
	C2	-1	0,46	13,8	4,1	0,26	0,06	18,2	0	0	18,2	100	0	5,1	0,87	2,34
	C3	-1	0,42	15,3	4,8	0,09	0,09	20,3	0	0	20,3	100	0	5,2	0,78	2,53
	C4	-0,9	0,4	16,6	5,5	0,07	0,16	22,3	0	0	22,3	100	0	3,5	0,63	2,74
PRJ -14	Ap	-1	0,51	1,1	0,7	0,05	0,04	1,9	0	1	2,9	66	0	2,5	0,44	3,23
	A2	-1,2	0,27	0,8	0,3	0,02	0,04	1,2	0,2	0,9	2,3	52	14	1,9	0,61	2,23
	B1t	-1,2	0,32	0,9	0,5	0,01	0,05	1,5	0,7	1,1	3,3	45	32	3,5	1,03	1,93
	B2t	-0,8	0,25	0,35	0,35	0,01	0,04	0,8	1,9	1,1	3,8	21	70	4,4	1,05	1,98
	B3t	-0,9	0,21	0,3	0,3	0,01	0,03	0,6	2	1	3,6	17	77	3,3	1,18	1,82
	B4t	-0,7	0,16	0,2	0,2	0,01	0,03	0,4	1,6	0,6	2,6	15	80	3,3	1,04	1,81

de Janeiro (BRASIL, 1958; IBRAIMO et al., 2004). Dado a maior solubilidade do Mg^{++} em relação ao Ca^{++} é provável que o elevado teor de magnésio na CTC em profundidade esteja relacionado com sua abundância na estrutura de argilominerais, ou herdado diretamente do material de origem.

Diferentemente do PRJ 8, no PRJ 9 (Chernossolo) a CTC no interior do Bt é bem semelhante nos 4 sub-horizontes analisados (Bt1, Bt2, Bt3 e Bt4), além de não apresentar caráter abrúptico. A atividade da argila (sem correção para carbono) é sempre maior que 27 $cmol_c$/ kg de argila, variando de 29 $cmol_c$/ kg nos dois primeiros subhorizontes (Bt1 e Bt2) a 38 $cmol_c$/ kg de argila no Bt4, portanto considerada como de atividade alta, apesar da análise mineralógica da argila do horizonte Bt4 não constar a presença de minerais 2:1. Merece destaque o valor elevado de K^+ no perfil PRJ 9, que é maior no subhorizonte Bt2, 418 mg/dm³, e que decresce a medida que se aproxima do C, evidenciando a atuação de clima seco e de considerável reserva mineral.

6.1.2.2. do Tabuleiro Costeiro

Dos solos com Bt, o PRJ 14 foi o que demonstrou maior grau evolução, apresentando relação SiO_2/Al_2O_3 (Ki) mais baixa, 1,88 na média para o horizonte Bt. O Al^{3+} é o íon predominante da CTC na maior parte do horizonte B, conferindo-lhe o caráter (endo) álico. A soma de bases é muito baixa, pouco superior aos valores encontrados para os Latossolos LU-1 e PRJ 7, e composta predominantemente pelo Ca^{2+}, seguido pelo Mg^{2+}. A participação da fração areia no perfil foi maior dentre todos os solos da topossequência, em detrimento aos menores valores encontrados na fração silte. A mineralogia da fração grosseira é composta predominantemente pelo quartzo, contendo traços de ilmenita, silimanita e biotita.

Se comparados aos valores encontrados em solos originados de rochas máficas, os teores de Fe_2O_3 e TiO_2 obtidos pelo ataque sulfúrico são muito baixos, e revelam a pobreza em ferro dos sedimentos do Grupo Barreiras. O horizonte B é argiloso ou muito argiloso, com transição textural do A para o Bt abrupta, havendo mudança de 9 para 42 % de argila em pouco mais de 35 cm.

O horizonte coeso, comum nesses solos, também pôde ser constatado no PRJ 14 através da descrição morfológica, onde apresentou no horizonte A2 estrutura maciça moderadamente coesa. Analogamente ao caráter abrúptico discutido anteriormente, o atributo coeso exerce influência no crescimento das raízes, na movimentação e

armazenamento de água (ARAUJO FILHO, 2003), acarretando em problemas com erosão (UFV, 1984; JACOMINE, 1996; KER, 1997) e subdesenvolvimento das raízes mais profundas que não conseguem penetrar a camada adensada. Devido ao comportamento extremamente duro do horizonte coeso (fragipã, duripã), quando seco, é comum que as culturas sofram de stress hídrico durante o período de estiagem (CINTRA, 1997). Quando irrigados, tendem a apresentar boas condições físicas, dado a menor expressão do atributo coeso com umidade. São solos com elevada exigência de fertilização, necessidade de calagem e gessagem, tendo sido melhor aproveitados em culturas mais tecnificadas, como no caso do cultivo de atemóia irrigado por microaspersão e citros e mamão sobre pivô central, no platô irrigado de Neópolis, Estado de Sergipe, bem como pastagem e cana-de-açúcar na região.

No horizonte superficial, o PRJ 14 se diferencia dos demais solos de B textural pelo menor teor de C orgânico e pelo menor conteúdo de argila (84% de areia). Contudo é nessa camada onde são encontradas as melhores condições para o desenvolvimento de culturas, em função do pequeno teor de alumínio trocável e maior conteúdo de Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, decorrente da ciclagem geoquímica. Nos horizontes Ap e A2 o valor V (%) é maior que 50, porém, o baixo valor da Soma de bases e da CTC comprometem a classificação do horizonte superficial como eutrófico (epi), tendo em vista o elevado grau de desenvolvimento (alitização) e a mineralogia quartzoza do perfil, ou seja, de baixa fertilidade natural (KER & NOVAIS, 2011).

Dada a importância química da camada superficial na fertilidade natural desses solos e da sua abundância em partículas grosseiras, é possível que variações na quantidade de areia fina e de argila nessa camada condicionem maior interação entre as frações orgânicas e minerais, promovendo um ambiente mais propício para o desenvolvimento de plantas. É conveniente destacar que no PRJ 14, nas duas camadas superficiais, Ap e A2, os teores de Al^{+++} são quase nulos e os valores H^{+} são baixos, dando a entender que a baixa CTC é o principal limitante do conteúdo de cátions básicos provenientes da ciclagem.

Como assinalado anteriormente, dos parâmetros observados no PRJ 14, entende-se que seu estado é decorrente da ação da pedogênese intensa, associada ao clima úmido da faixa litorânea e superfícies planas/tabulares formadas por sedimentos argiloarenosos, pobres em ferro, do Grupo Barreiras (EMBRAPA, 1995; JACOMINE, 1996).

Contudo, com o manejo específico e variando com o nível tecnológico empregado, os solos coesos do Tabuleiro Costeiro são de fundamental importância para as economias regionais, tendo em vista a forte participação de agroindústrias na produção de eucalipto, cana de açúcar, citros, coco, entre outros, que se beneficiam principalmente do relevo plano e suave ondulado característico dos Tabuleiros Costeiros. Por outro lado, tendo em vista a intensa ocupação histórica sofrida por grande parte das áreas de influência desses solos, faixa litorânea, é necessário que as informações disponibilizadas estejam de acordo com a diversidade de sua utilização e adequadas a diferentes níveis tecnológicos.

6.1.3. Solos com sequência A-C

Os solos de sequência A-C aqui considerados, se distinguem completamente dos demais da topossequência em função dos processos pedogenéticos que ocorrem, assim como pela pouca expressividade na área estudada (BRASIL, 1958). Estão fortemente relacionados com o material originário em que ocorrem, associados com afloramentos de mármore provenientes do Complexo Paraíba do Sul.

São solos com pH em torno de 8,0; as variações do pH dentro do perfil são pequenas e de no máximo de 0,8. (pH). Constituem os solos menos evoluídos da topossequência, apresentando os maiores valores de Ki, que variaram em torno da média de 3,88 no PRJ-10 e 2,62 no PRJ-11 (Tabela-3). Em ambos a CTC é média e a saturação por bases é máxima. O íon dominante da CTC é o Ca^{2+}, cerca de 90 %, seguido pelo Mg^{2+}. Os elevados teores de cálcio encontrados ratificam a natureza do material de origem associado, assim como os elevados valores de pH.

Quanto a textura, no PRJ-10, a maior percentagem de argila é encontrada no horizonte superficial, com aproximadamente 40 % desta fração, sucedida pela maior concentração de silte nos horizontes subjacentes, com porcentagens que variam em torno de 50%. No Vertissolo (PRJ-11), em detrimento da fração silte, encontram-se maiores concentrações de fração grosseira, que chegam a constituir mais do que 60 % dos horizontes superficiais.

Além da natureza do material, os processos pedogenéticos associados, carbonatação (PRJ-10) e vertização(PRJ-11), evidenciam o principal traço característico do clima da área, com uma seca muito acentuada, sendo que mais de 80 % das

precipitações incidem no semestre de verão. Segundo os extratos de balanço hídrico (ver item 4.2), na maior parte do ano a região encontra-se em déficit hídrico expressivo.

Os valores de Fe_2O_3 encontrados pelo ataque sulfúrico são baixos, em média 5 %, com variações muito pequenas no interior do perfil e correspondem a natureza pobre em Fe do material de origem. Quanto a drenagem do perfil, a presença de horizonte concrecionário – petrocálcico (PRJ-10) e estrutura prismática bem desenvolvida (PRJ—11) associados a pouca profundidade, constituem impedimentos a percolação interna da água.

Ambos ocorrem em altitudes próximas a 50 metros, em relevo menos dissecado. Em geral, correspondem as áreas de baixada, junto aos rios de maior ordem, próximos ao rio principal, associados à afloramentos de rochas do Grupo Italva ou acumulações de provenientes da sua decomposição, depósitos (colúvio) aluvionares.

6.2. Caracterização da Rede de Drenagem e do relevo

6.2.1 Análise descritiva da rede de drenagem e do relevo

Os principais padrões e formas da rede de drenagem encontrados na área de estudo são apresentados nas figuras 9 a, b, c, d, e, f, g, h, i.

Com elevada frequência e de maneira generalizada na área estudada, os canais e cursos de água apresentam feições retilíneas e angularidade mediana, demonstrando mudanças abruptas na direção dos rios. Tal característica deve-se ao elevado controle estrutural exercido por um amplo conjunto de feixes de falhas e fraturas, representados pelas Zonas de Cisalhamento Além Paraíba, Santo Antônio de Pádua, Baltazar e Itajara (RADAM BRASIL, 1983).

Com a identificação dos principais padrões de drenagem da área estudada, foi observado que o controle estrutural no desenvolvimento da rede de drenagem na BHRM é mais intenso nos tributários da margem esquerda do rio Muriaé, SO da área. Estes refletem com maior expressão os padrões de drenagem do tipo treliça, retangular e paralelo (figuras 9a e 9b).

Na região compreendida sobre o divisor topográfico situado a montante da BHRM, é verificado, através da análise da dissecação do relevo, que as áreas de maior dissecação coincidem com os principais lineamentos estruturais, associados a padrões de drenagem do tipo treliça e retangular (Figuras 9a e 9b). Contudo, foi identificado uma grande variação da densidade de drenagem, o que indica a participação de outros fatores, não associados somente ao controle estrutural, no desenvolvimento da rede de drenagem.

Com os parâmetros adotados para a geração do ICR, foi possível identificar a existência de divisores topográficos formados sobre ilhas de dissecação inferior as áreas circunjacentes, que indicam a presença de topos aplainados, como demostrado na Figura 8. Nessa região, apesar da dissecação elevada, são encontradas áreas onde a densidade de drenagem é relativamente baixa, associada à elevada relação infiltração/deflúvio e maior permeabilidade do substrato.

Essas características estão relacionadas à presença de vertentes regularizadas e em equilíbrio relativo, indicando momentânea estabilidade da rede hidrográfica. Isto se deve ao fato de que nessa região ocorre um planalto de topo aplainado, correspondente a

uma superfície de cimeira regional – correlacionável à superfície Sul-Americana de King (1956), sustentada predominantemente por solos bastante evoluídos, como no caso do LU-1 (ROESER et al., 1984; BEISSENER et al., 1997, apud. ROMANO & CASTAÑEDA, 2006).

A proposta sobre remanescentes de superfícies de erosão para explicar a diferenciação de níveis topográficos, como no caso de King (op. cit), são tradicionalmente controversas e pouco consensuais no Brasil (MAGALHÃES & TRINDADE, 2004). Além disso, o elevado grau de dissecação nas áreas de planalto soerguido faz com que os topos aplainados ocupem atualmente pequenas dimensões (CORREA, 1984), logicamente minimizando sua respectiva influência sobre as características da rede de drenagem atual.

Os padrões identificados como complexos, nas bacias que envolvem simultaneamente padrões paralelo/treliça e (sub)dendrítico (fig. 9a e 9b), evidenciam a modificação no comportamento hidrológico no desenvolvimento da rede de drenagem, à medida que variam sob o controle exercido pela estrutura e pelo substrato pedológico (morfogênese/pedogênese). As drenagens retilíneas devem provavelmente refletir em maior grau as características da litologia e de sua estrutura, associados a pedogênese menos intensa em solos pouco profundos (maior erosão). O aprofundamento da rede drenagem ocasiona o desequilíbrio no funcionamento da dinâmica hídrica das vertentes, consequentemente modificando a organização dos solos.

É possível que os valores de densidade de drenagem muito elevados nessas áreas, sejam resultantes da retomada erosiva das formas de relevo, possivelmente atribuída à geração de descontinuidades e basculamentos provenientes de atividade tectônica recente. A presença de planícies e terraços suspensos, descritos por outros autores (CORREA, 1984; RESENDE & REZENDE. 1996), sugerem uma mudança do nível de base local e reforçam a hipótese de movimentação tectônica.

Através da análise da dissecação, foi possível constatar que as principais anomalias (valores anômalos inferiores) estão relacionadas a acumulações relativamente delgadas e descontínuas, sendo representadas em grande parte por terraços fluviais e depósitos coluvio-aluviais em canais de ordem inferior.

Na bacia do rio Carangola a rede de drenagem passa a assumir característica menos retilínea, com tropia multiderecional e padrão (sub) dendrítico (figuras 9d e 9e).

Nessas áreas é provável que os processos de retomada erosiva e de expansão da rede de drenagem não estejam relacionados a reativação dos sistemas de falhas, representando em maior grau, o padrão de dissecação homogênea. Sob essas circunstâncias, é provável que a concentração de altos valores de Dd estejam associados a abundância de solos com horizonte B textural, associadas a rede de drenagem bem desenvolvida (figuras 9d e 9e).

A presença de modelados de dissecação homogênea, representados por colinas e morros convexos (IBGE, 2009), associados com padrões retilíneos de elevado controle estrutural, indicam que, em parte, houve um aproveitamento pela dissecação fluvial de antigos planos de fratura, representados por padrões de drenagem do tipo paralelo, treliça e retangular em relevo menos dissecado e de menor Dd.

A ocorrência bastante frequente dessas características na rede de drenagem e do relevo na área estudada, parecem denotar uma alteração severa dos fatores responsáveis pela instauração e desenvolvimento da rede de drenagem no decorrer da evolução da paisagem. O controle estrutural exercido pela tectônica cenozóica da Província Geológica Mantiqueira é destacada por ALMEIDA (1964) que expôs a formação do denominado “Sistemas de Rifts da Serra do Mar” e do soerguimento acelerado da Serra da Mantiqueira, região de cimeira da topossequência, estando a morfogênese marcada pela reativação de sistemas de falhas herdadas do Ciclo Brasiliano.

No relevo, há sobreposição entre, superfícies de dissecação, com expansão da rede hidrográfica, e, superfícies de acumulação, colmatagem e aplainamento incompleto, ambos afetados por movimentações tectônicas e consequente reajuste dos canais, com a formação de terraços.

Refletem portanto, a alternância cíclica dos processos que atuaram sobre a formação do relevo atual, condições paleoclimáticas, nível dos oceanos e atividade tectônica, Ou seja, em épocas de elevação dos níveis de base, predominou a dissecação homogênea, e com o decréscimo do nível de base, houve um maior aprofundamento dos canais e expansão da rede de drenagem, com o aproveitamento das linhas de fraqueza.

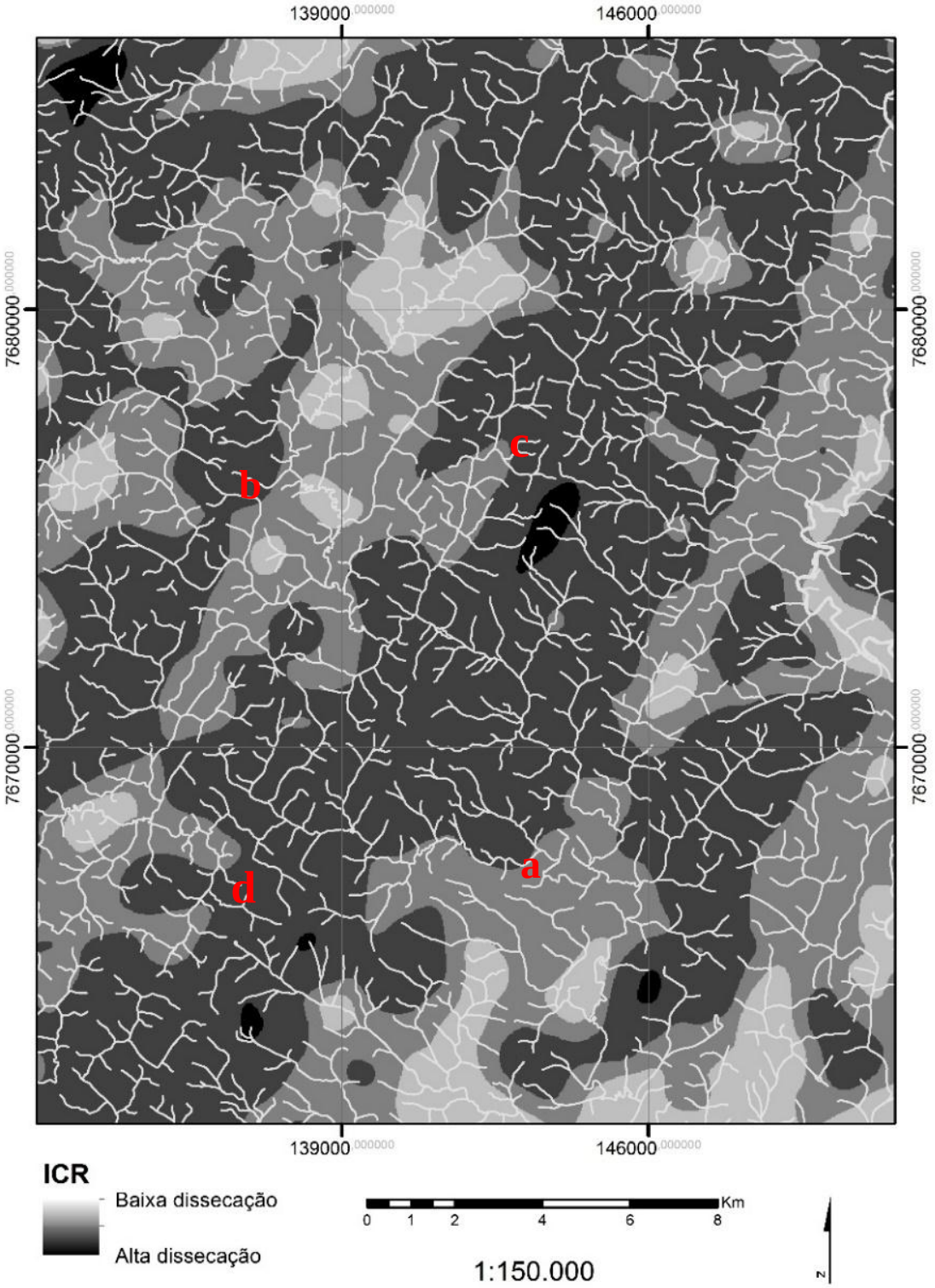
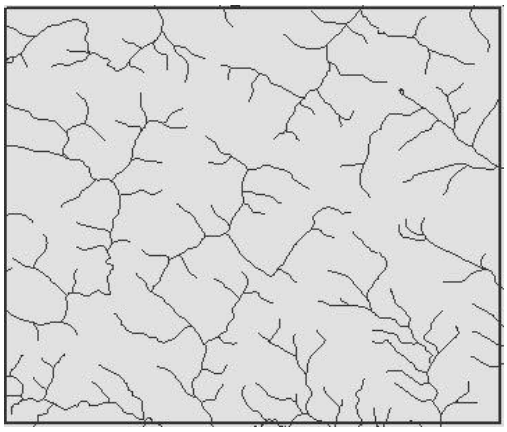
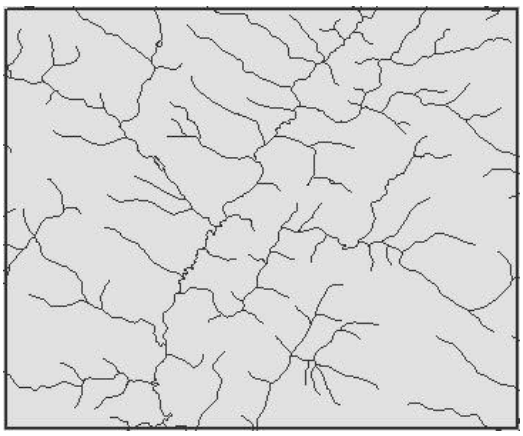


Figura 8 - Análise da dissecação pelo ICR (SAMPAIO, 2008). Em "a", "b" divisores topográficos em topos planos do Planalto Soerguido. Em "c" e "d" é possível visualizar divisores topográficos formados em superfícies de topos aguçados, referentes aos Alinhamentos de Cristas do Paraiba do Sul (RADAM-BRASIL, 1984), contendo os maiores valores para o ICR.

a	b
	

(a) Padrão complexo, na maior parte treliçado, com áreas de padrão retangular (centro) e dendrítico (inferior direito); Canais retilíneos, com baixo grau de integração; assimetria forte. (b) Padrão treliça, média angularidade; o grau de integração é baixo, havendo aumento em direção à montante; a tropia é bidirecional com direção SO-NW predominante; a assimetria é forte. Ambos, (a) e (b), são encontrados próximo as área de cabeceira da BHRM, correspondem a carta de Miraí e parte das cartas de Ervália, Muriaé e Miradouro. A drenagem dessas áreas demonstra grande influência dos lineamentos estruturais que formam o divisor topográfico à motante da bacia. Apesar de envolverem diferentes padrões, dendrítico, subdendrítico, na área em questão, o principal padrão encontrado é o treliça, que demonstra em sua maior parte mudança abrupta na direção dos canais, que chegam a formar cotovelos com ângulos próximos a 90°. No levantamento exploratório (RADAM, 1983), essas áreas compreendem unidades constituídas por Latossolos Distróficos e Argissolos Distróficos. A densidade de drenagem é baixa ou mediana. Encontram-se nessas características, além do próprio Rio Muriaé, as Subbacias do rio Preto, do rio Fumaça e córrego Samambaia.

Figuras 9a e 9b -Análises descritivas da rede de drenagem da BHRM.

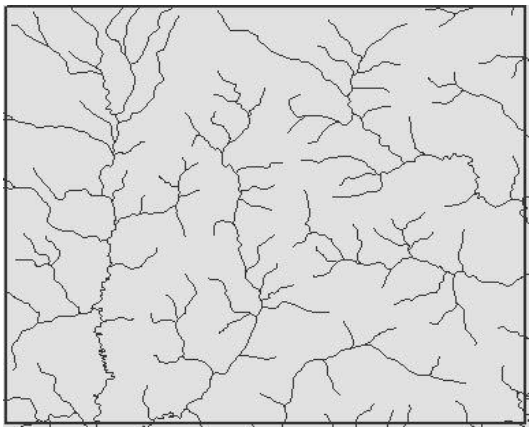
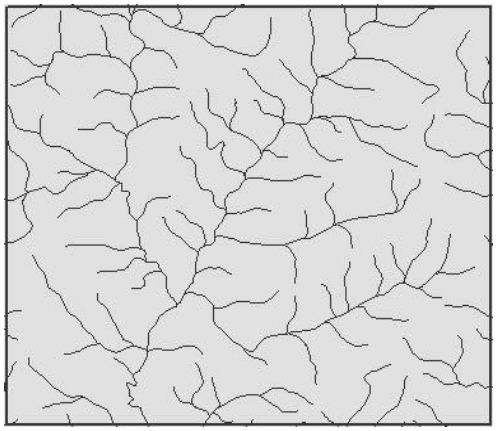
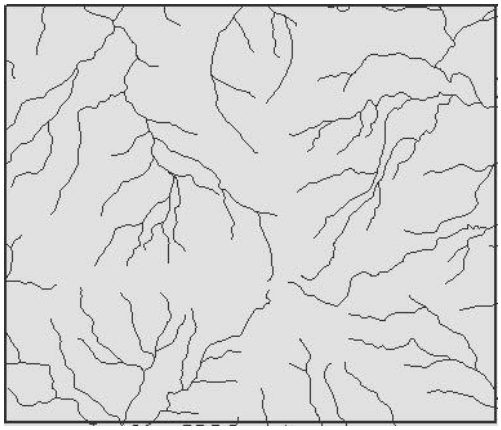
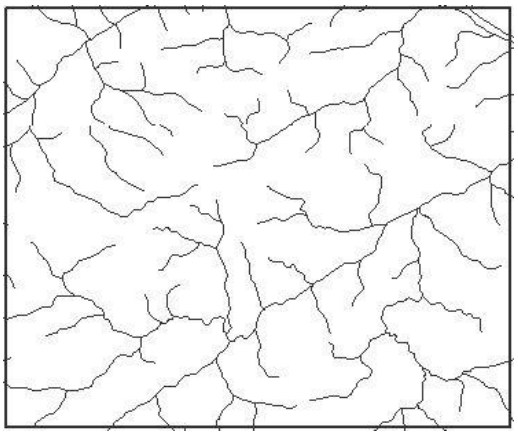
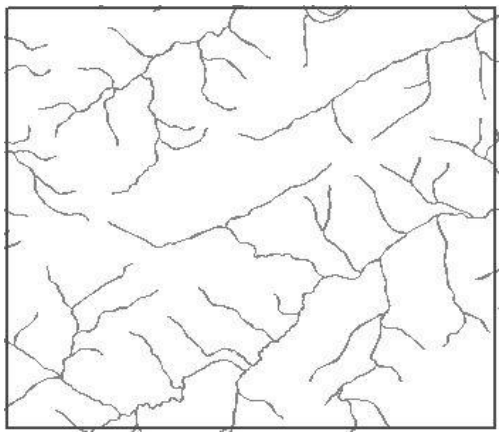
c	
	A área em questão consiste no prolongamento dos aspectos descritos em (a) e (b), seguindo o rumo NW da ZC Cataguases, em direção a parte mais setentrional da BHRM. Se diferencia das anteriores pela tropia, que passa a ter tendência multidirecional e pelo padrão, passando haver predominância do subdendrítico. Consiste numa área de transição, onde o controle estrutural é menos expressivo. Corresponde à boa parte da hidrografia das cartas de Miradouro e Fervedouro. A densidade de drenagem é elevada.

Figura 9c-Análise descritiva da rede de drenagem da BHRM.

d	e
	

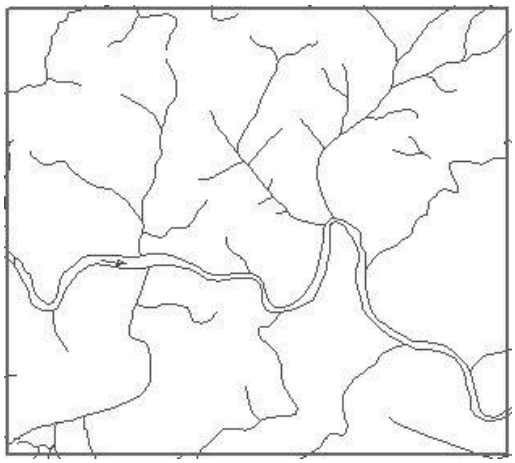
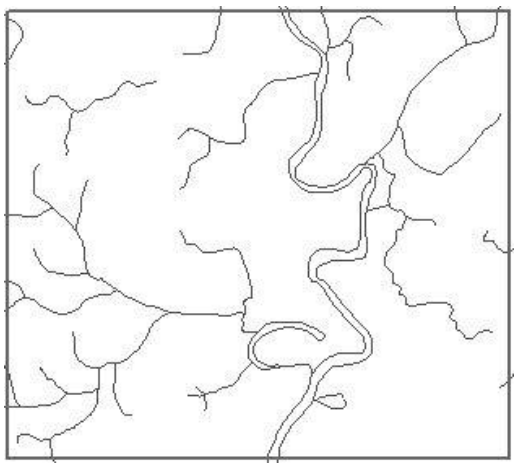
(d): Padrão dendrítico; sinuosidade mista; assimetria fraca; a tropia é multidirecional; densidade de drenagem alta; a angularidade é alta; encontra-se numa extensa faixa a NW da BHRM, onde apesar de comum, as cicatrizes dos lineamentos estruturais são menos evidentes através da hidrografia. Este tipo de drenagem encontra-se dominantemente nas imediações da carta Porciúncula e em partes na carta Varre-Sai. (e): Padrão anômalo, aproximando-se do padrão Palimpsético descrito por Howard (1967). Contudo é possível verificar a maior expressão do padrão dendrítico, associado a angularidade baixa e grau de integração moderado, assim como em (d).

Figuras 9d e 9e - Análises descritivas da rede de drenagem da BHRM.

f	g
	

(f) e (g): Padrão paralelo; sinuosidade fraca; assimetria fraca; angularidade média; densidade de drenagem média. Constituem grande parte da hidrografia da porção média da margem esquerda do Rio Muriaé. Tal aspecto da drenagem é fortemente influenciado por falhas transcorrentes atribuídas as Zonas de Cisalhamento Santo Antônio de Pádua, Baltazar e Itajara (RADAM BRASIL, 1983). Compreendem áreas correspondentes a unidade de solos eutróficos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolo Vermelho. É representada pela hidrografia da carta Miracema e por partes das cartas São João do Paraíso, São Fidelis e Italva.

Figuras 9f e 9g - Analises descritivas da rede de drenagem da BHRM.

h	i
	
(h) e (i): Padrão dendrítico e subdendrítico; predominância de canais curvos; A angularidade é em geral média; assimetria é fraca; a densidade de drenagem é baixa. Corresponde à parte baixa do Rio Muriaé, referente a carta de Travessão, onde é possível perceber uma maior sinuosidade dos rios e canais, refletindo uma menor energia da água corrente em áreas de deposição atual e de depósitos terciários. O relevo é em sua maior parte suave ondulado, podendo variar de plano à ondulado. Segundo RADAM-BRASIL (1983) os tipos de solos predominantes destas áreas são Gleysolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	

Figuras 9h e 9i – Análises descritivas da rede de drenagem da BHRM.

Considerando as características encontradas nessa análise, é possível que a variação nas propriedades dos solos na topossequência esteja associada as superfícies geomórficas de diferentes que ocorrem. Assim como em outras pesquisas envolvendo a questão solos/relevo, como a de LEPSCH *et al* (1977) sobre o platô ocidental do estado de São Paulo, é possível que a maior diversidade dos solos em áreas de Planalto Rebaixado esteja associada a superfície mais jovem, “superfície erosional”, devido a maior variedade de materiais e consequentemente maior variedade de tipos de solos.

6.2.2. Análise quantitativa da densidade de drenagem

Os valores encontrados a partir da elaboração do mapa de densidade de drenagem, revelaram correspondência com os resultados obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) em estudos sobre "previsão de eventos críticos na Bacia do Rio Paraíba do Sul" (ANA, 2011). Os valores da metodologia empregada, assim como os indicados pela ANA indicam que o valor de densidade de drenagem para a BHRM é próximo de 2,0 km/km².

Quadro 3 – Comparação dos valores média, máximo, mínimo e desvio padrão da Densidade de drenagem da BHRM obtidos na pesquisa com os valores estabelecidos pela ANA(2011).

Valor	**autor**	**ANA(2011)**
	km/km²	
Média	1,87122	1,98
Máximo	8,8038	
Mínimo	0,1067	
Desvio Padrão	0,6831	

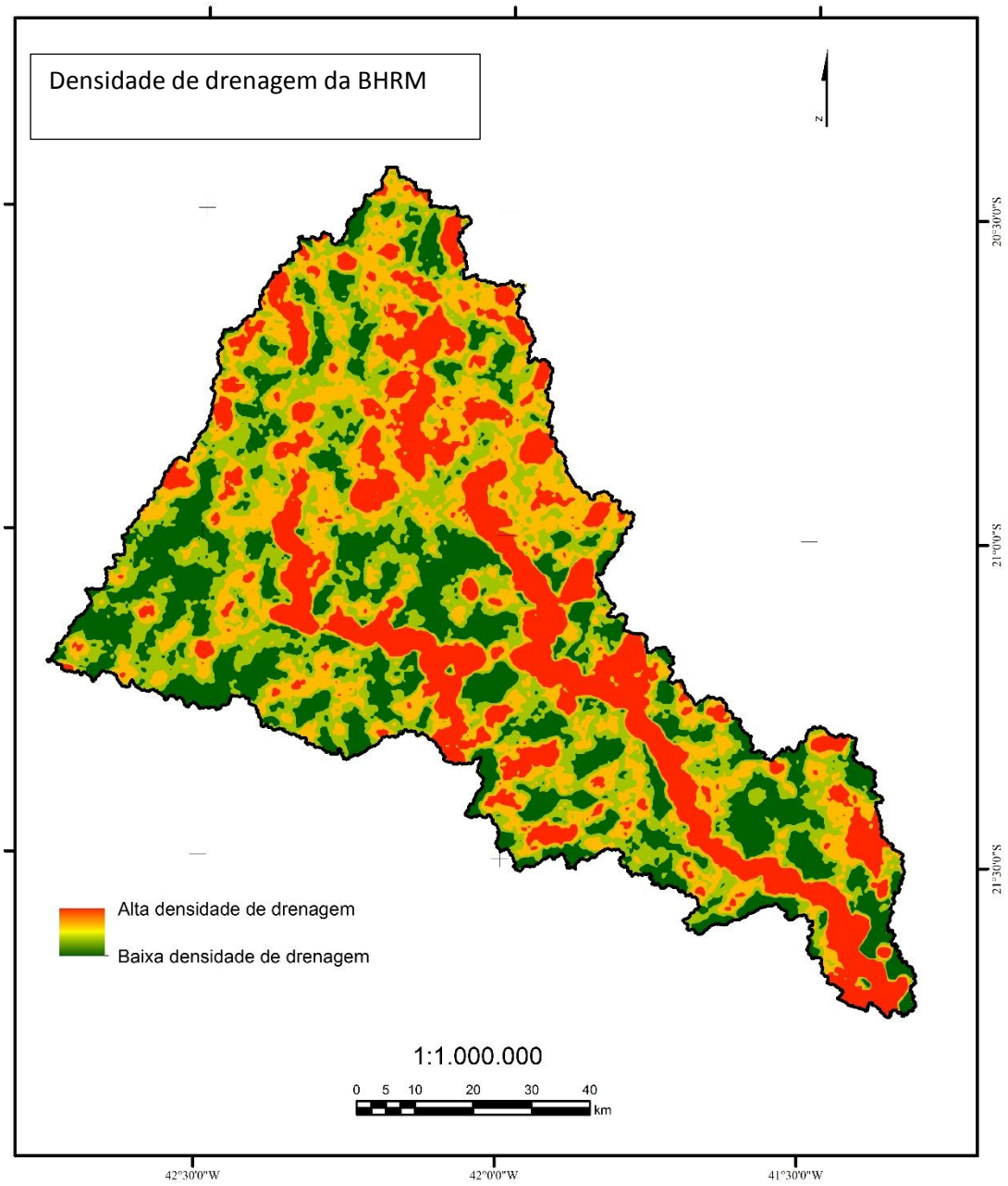
De acordo com a interpretação dos valores de densidade de drenagem proposta por FRANÇA (1968), os valores de Dd média encontrados na confecção do mapa de isolinhas, correspondem ao valor de Dd intermediário desse autor, e indicando que a bacia possui tendência mediana de escoamento superficial.

Quadro 4 –Interpretação dos valores de Dd, segundo FRANÇA (1968)

Dd (Valores)	**Classes**	**Interpretação Ambiental**
<1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5-2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial
2,5-3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento e enxurradas
>3,0	Super-alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

A densidade de drenagem (Dd), calculada segundo HORTON (1945), corresponde à relação entre o comprimento total de rios de uma dada (sub)bacia e sua respectiva área, sendo expressa em km de rios/km². Dessa maneira, para a (sub)bacia analisada é encontrado um único valor de densidade de drenagem, que representa toda a unidade de análise

Mapa 3 - Densidade de drenagem da BHRM



Na confecção do mapa de densidade de drenagem, tal como proposto por SILVA (2013), a variabilidade espacial da densidade de drenagem passa a ser um dado do tipo contínuo, representada sob formato matricial. Este tipo de representação permite a visualização da distribuição dos dados dentro de uma mesma unidade de análise, oferecendo maior potencial na investigação da variabilidade espacial da Dd e suas possíveis correlações com diversas variáveis do meio físico, litologia, relevo, clima, cobertura vegetal e tipo de solo; uma vez que tais fatores interagem concomitantemente e com diferentes pesos (HIRUMA & PONÇANO, 1994).

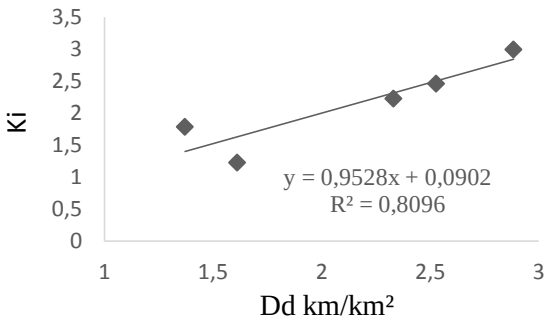
6.2.3. Densidade de drenagem e os tipos de solos

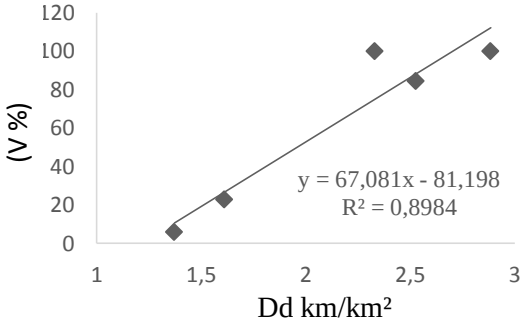
Os valores de densidade de drenagem obtidos para cada amostra circular (Ac), assim como os respectivos atributos químicos da topossequência são mostrados na tabela 4.

Neste estudo, observou-se uma correlação positiva e significativa entre a Dd e as características químicas, saturação por bases (r^2 = 0,898), índice Ki (r^2 = 0,809) e relação site/argila (r^2 = 0,58), corroborando com os resultados obtidos por DEMATTÊ & DEMETRIO (1996a,b) e DEMATTÊ et al. (2010). No entanto, não se obteve significância estatística satisfatória entre as correlações que incluíram a AC correspondente as áreas de deposição do Grupo Barreiras. Tal fato ressalta o controle exercido pela litologia sobre a variabilidade da Dd, indicando a maior permeabilidade dos substratos sedimentares grosseiros, os quais obtiveram valores de Dd inferiores aos solos desenvolvidos sobre rochas metamórficas. Essa observação confirma as conclusões de DEMATTÊ & DEMETRIO (1998) a respeito da pertinência da análise da rede de drenagem na diferenciação de solos num mesmo substrato rochoso.

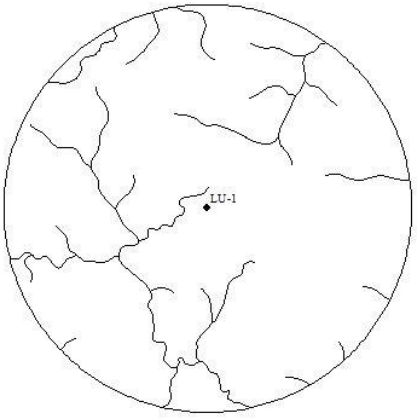
Tabela 4 – Densidade de drenagem das ACs e os respectivos valores do Ki, Saturação por bases(%) e relação silte/argila

Atributo	Valor	Amostra Circular						
		km/km²						
		LU-1	PRJ-7	PRJ-8	PRJ-9	PRJ-10	PRJ-11	PRJ-14
	Média	1,3711	1,611	2,528	2,331	2,884	5,063	0
	Máximo	1,712	3,043	3,547	2,699	3,443	5,922	1,17158
Dd	Mínimo	1,0711	1,053	1,920	1,827	1,855	3,694	4,0137
	Desvio Padrão	0,180	0,615	0,373	0,1884	0,240	0,601	1,0993
Ki	Média	1,78	1,22	2,46	2,22	2,99	2,59	1,885
V (%)	Média	6	22,8	84,66	100	100	100	24,5
silte/argila	Média	0,1	0,305	0,42	0,576	2,93	0,49	0,107

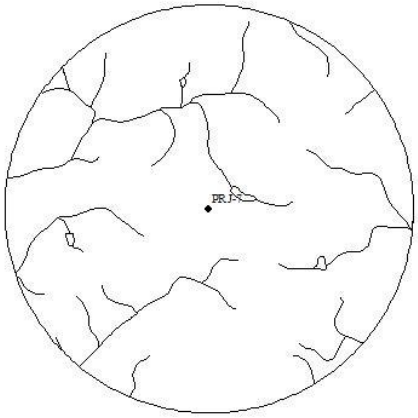




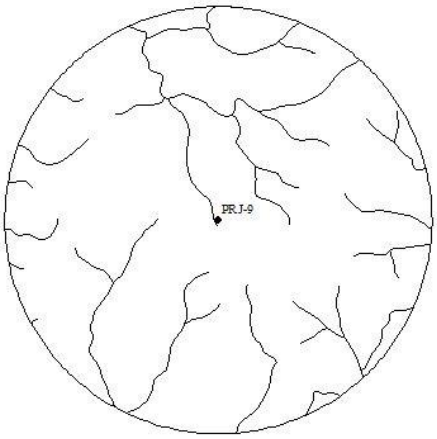
Figuras 10 e 11: Gráficos de dispersão dos valores de densidade de drenagem e atributos do solo.



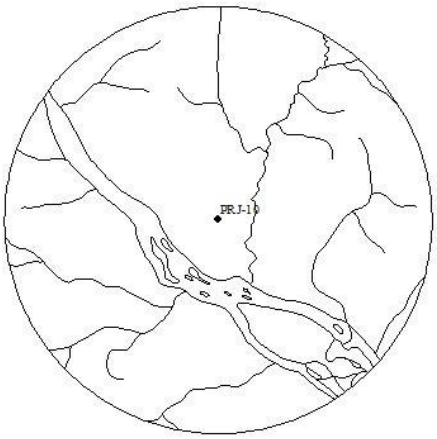
a. AC LU-1. Latossolo Vermelho-Amarelo



b. AC PRJ-7. Latossolo Vermelho-Amarelo



c. AC PRJ-9. Chernossolo Argilúvico



d. AC PRJ-11. Vertissolo

Figuras 12a, 12b, 12c, 12d: Amostras Circulares correspondentes dos solos: Latossolo Vermelho-Amarelo em 12*a* e 12*b*; e Chernossolo Argilúvico 12c; Vertissolo 12d.

Sobre as áreas de rochas metamórficas, os menores valores de Dd (> 2 km km²) foram encontrados sobre ACs que continham os Latossolos, refletindo a estrutura mais desenvolvida desses solos, condicionando uma drenagem mais eficiente do perfil. Já as amostras circulares que continham solos com horizonte B textural e sequência de horizontes A-C, apresentaram maior Dd (> 2 km / km²), demonstrando a menor permeabilidade desses solos. Os maiores valores de Dd encontrados, correspondem aos solos que apresentaram transição textural abrupta (PRJ-8) e horizonte petrocálcico (PRJ-10), associados a drenagem mais restrita destes.

A saturação por bases (V %) foi a variável que apresentou maior valor de r², tendo seu valor aumentado à medida que a Dd também aumenta. Este resultado deve-se provavelmente ao fato de que os solos com maior Dd tendem a ser menos lixiviados, condicionando menor perda de sílica e de cátions básicos (Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na e K^{+}).

Os valores do índice Ki também acompanharam as variações da Dd, e corresponderam as características mineralógicas das argilas que afetam percolação interna de água nas diferentes classes de solos analisados. Nos Latossolos LU-1 e PRJ-7, que presentaram os menores índices de Ki, também foram encontrados os menores valores de Dd, muito provavelmente em função da maior espessura e melhor estrutura que favorecem a drenagem interna do perfil. Por outro lado naqueles solos em que o Ki foi maior, os valores de Dd também foram maiores, sobretudo nos solos onde foi constata a presença de argilominerais expansivos (EMBRAPA, 1979), PRJ-8, PR-10 e PRJ-11.

O maior valor encontrado de Dd correspondeu ao solo com característica morfológica de fendilhamento (slickensides) (PRJ-11), provavelmente devido a propriedade das argilas expansíveis em relação estrutura prismática associadas a restrição na infiltração de água no perfil.

Neste estudo os valores de densidade de drenagem nas ACs de Latossolos, foram discretamente maiores do que aqueles encontrados por outro autores, com valores de densidade de drenagem para ACs de Latossolos mais próximos de 1,0 km/km². Tal fato, deve estar ligado a influência particular do controle estrutural sobre a área estudada, contribuindo com uma maior densidade de rios por unidade de área (ver ítem 6.2.1).

7. Conclusões

Os valores da Dd obtidos pelo método da análise estatística no SIG foram muito próximos daqueles encontrados pela Agência Nacional de Águas em estudos sobre a bacia do rio Muriaé, e indicam sua viabilidade para estudos sobre a densidade de drenagem.

A análise da variabilidade espacial da variável densidade de drenagem, assim como seus respectivos valores nas Amostras Circulares, corresponderam à hipótese levantada, onde foi possível distinguir os solos da topossequência estudada em função dos seus diferentes graus de evolução.

Os gráficos de dispersão dos dados que incluíram a Amostra Circular do Tabuleiro Costeiro apresentaram os menores valores para o r^2, havendo correspondência com as afirmações de outro autores sobre a pertinência da análise da rede de drenagem na diferenciação de solos num mesmo substrato rochoso.

As características encontradas na análise da rede de drenagem, indicaram a passagem de diferentes eventos na evolução da paisagem atual da área estudada, corroborando as evidencias levantadas por outros autores sobre a participação de superfícies geomórficas de idades distintas na distribuição dos solos à nível regional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. **Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil.** Geomorfologia, n.20, p.1-26, 1970

ALMEIDA, B. G. **Avaliação de impacto do manejo com irrigação em solos brunos não cálcicos do estado de Sergipe**. 1995. 117p. Tese (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. In: **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, p.117-127, 2003.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; RAMOS, D. P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais**. São Paulo: Genesis, 1999. P.91-116.

BAPTISTA, G. M. M.; NETTO, J. S. M.; MENESES, P. R**. Determinação da Relação Sílica - Alumina a partir dos Dados do Sensor AVIRIS (JPL/NASA), para Discretização Espacial do Grau de Intemperismo de Solos Tropicais.** Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos ,Brasil, 11-18 setembro1988, INPE, p. 1345-1355

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Guruji, litoral sul do estado da Paraíba. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada,**13, 2009, Viçosa. Anais...Viçosa: UFV, 2009. CD-Rom

BAYER, C., MIELNICZUK, L. Dinâmica e função da matéria orgânica In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais.** São Paulo: Genesis, 199. P.91-116

BEISSNER H., CARVALHO A., LOPES L.M., VALETON I. 1997. The Cataguazes Bauxite Deposit. In: Carvalho A., Boulange B., Melfi A.J., Lucas Y. (eds.). **Brazilian bauxite deposits**. São Paulo: USP, FAPESP, Paris: ORSTOM, pp.:195-208.

BELCHER, D.J. 1945**. The engineering significance of soil patterns.** Photogrammetric Engineering, 11: 115-148.

BENNEMA, J; CAMARGO, M. N.; WRIGHT, A. C. S. 1962. **Regional contrasts in South American soil fonnation, inrelation to soil classification and soil fertility.** Int. Soil Conf. New Zealand, Trans.Comm.IV-V:2-15.

BOYER. J**. Propriedades do solo e fertilidade**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1971. 196p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Comissão de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal (contribuição à Carta de solos do Brasil)**. Rio de Janeiro, 1958. 350 p. (Boletim do SNPA, n. 11).

BRAUN, E.G. 1961. **Observações sobre a erosão dos solos em Brasi1ia.** Rev. Bras. Geografia. 23(1):217-234.

BRAUN, OSCAR P.G. **Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro. v. 32, n. 3, p. 3-40. 1970.

CARVALHO, W.A**. Fotointerpretação de bacias hidrográficas e amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural.** Piracicaba, 1977. 132p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura"Luiz de Queiroz"/USP). 1959. 462p.

CAVALCANTI, A.C. **Estudo de latossolos argilosos do Planalto Central do Brasil; caracterização, distinções de acordo com duas superfícies de aplainamento, gênese e classificação**. Itaguaí, RJ, UFRRJ, 1977. 186p. (Tese M.S.).

CHRISTOFOLETTI, A. 1979. **A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas**. Geografia, 4(8): 23-42.

_____. 1981 **A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem**. Not.Geomorfol., 21(42): 3-22.

CORRÊA, G.F**. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa. MG**. Viçosa, UFV, 1984. 87p. (Tese M.S.)

DANTAS, M. E. Geomorfologia do estado do Rio de Janeiro. In: **Estudo geoambiental do estado do Rio de Janeiro.** Brasília: CPRM-DEGET, 2001. 66 p. Inclui mapas. Inclui 1 CD-ROM.

DE MARTONNE, Emanuel. **Problemas morfológicos do Brasil Tropical Atlântico**. Revista brasileira de Geografia, São Paulo. v. 5, n. 4, p. 532-550. 1943.

DEMATTÊ, J. A. M.; DEMÉTRIO, V. A. **Fotointerpretação de padrões de drenagem em amostras circulares na caracterização de solos basálticos do estado do Paraná**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.109-115, 1996.

EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNCLS). **Manual de Métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro, 1979, s.n.p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Caracterização climática do município de São José de Ubá, Estado do Rio de Janeiro**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2006.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Diagnóstico do meio físico da bacia hidrográfica do Rio Muriaé.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2005.

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Macropedoambientes da região noroeste fluminense - uma contribuição ao planejamento ambiental**. Documentos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2004.

_____. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Anais Da I Reunião de Classificação e Interpretação de Aptidão Agrícola dos Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979.276 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ed. rev. ampl. - Brasilia, DF: Embrapa, 2013

FADEL, H. **Fotointerpretaçao de bacias e de redes de drenagem de três series de solos da fazenda Ipanema, município de Araçoiaba da Serra (SP).** Piracicaba, 1972. 92p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz”/USP).

FENTON, Mollisols In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. (Eds.) **Pedogenesis and soil taxonomy. II. The soil orders.** Amsterdan: Elsevier, 1983. P.125-160.

FRANÇA, G.V. 1968**. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Tese de Doutorado, 151 p.

GRIM, R. E. **Clay mineralogy**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1968. 460p.

HARROSSOWITZ, H. **- "Laterit. Forschritte der Geologie und Palaentologie"** - 1926.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basin: hidrophysical approach to quantitative morphology.** Bulletin of the Geological Society of America, London, 56:275-370, 1945.

IBRAIMO, M. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LANI, J. L.; ROLIM NETO, F. C.; ALBUQUERQUE, M. A.; MIRANDA, V. J. **Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos Lagos (RJ).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p.695-712. 2004.

JACOMINE, P. K. T. **A nova classificação Brasileira de solos**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009

LEPSCH, I. F. ; BUOL, S. W. ; DANIELS, R. B. **Soil-landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil.** II. Soil morphology, genesis, and classification. Soil Science Society os American Journal. 1977, P. 109-115

KEHRIG, A. G. **As relações Ki e Kr no solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/ Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1949. 67p. Boletim do Instituto de Química Agrícola, n. 13.

KER, J. C.; NOVAIS, R. F. Fundamentos para o desenvolvimento da pedologia e da fertilidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. Disponívelem:<http://jararaca.ufsm.br/websites/classolos/download/TextosSol/Texto03 pdf>. Acesso em: 27 dez. 2011

KING, LESTER CHARLES. **A Geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro. v. 18, n. 2, p. 147-266. 1956.

LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 2.ed. Campinas, SBCS/SNLCS, 1984. 45p.

LUEDER, D.R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications.** New York, McGraw-Hill,

LUZ, L. R. Q. P.; SANTOS, M. C. D. & MERMUT, A. R. **Pedogênese em uma topossequência do semi-árido de Pernambuco**. R. Bras. Ci. Solo, 16:95-102, 1992.

MARCHETTI, D. A.; GARCIA G. J. **Mapeamento de solos através do caracter espectral, da rede de drenagem e da vegetação.** An. ESALQ, Piracicaba, 47 (parte 1): 193-220, 1990

MOTA, F.O.B. **Mineralogia de solos da região semi-árida do estado do Ceará.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 145p. (Tese de Doutorado)

NACIF, P. G. S. **Bacia hidrográfica do rio Cachoeira: dinâmica do meio físico com ênfase aos domínios pedológicos.** 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2001

NETO, L. A.; ALMEIDA, J. A**. Caracterização morfológica e química de Argissolos com horizontes subsuperficiais escurecidos em Santa Catarina Revista de Ciências Agroveterinárias.** Lages, v.12, n.3, 2013.

NUNES, W.A.G.A. **Caracterização física, química, mineralógica, micromorfológica e espectral de alguns solos da zona da mata mineira.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999.148p. (Tese de Mestrado).

PACIULLO F.V.P., RIBEIRO A., ANDREIS, R. R., TROUW, R.A.J. 2000. **The Andrelândia Basin, a Neoproterozoic intra-plate continental margin, southern Brasília belt**. Rev. Bras. Geoc., 30: 200-202

PINTO, L. F. S. & KÄMPF, N**. Solos derivados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul**. R. Bras. Ci. Solo, 20:447-458, 1996.

PISSARA, T. C. T.; BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W. **Morphometric analysis of the Córrego Rico watershed, Jaboticabal - SP, Brazil**. Científica, Jaboticabal, v.34, n.2, p.170-177, 2006.

RAY, R.G. 1963. **Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico**. Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo, 88 p.

RESENDE, M. & SANTANA, D.P. **Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação dos latossolo**s. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DOS SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1998. p.225-232.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: UFLA, 5 ed. Revisada. 2007

REZENDE SB, RESENDE M, GALLOWAY HM (1972) **Cronotopossequência de solos em Viçosa,** Minas Gerais. R. Ceres, 167-181.

REZENDE, S. B. & RESENDE, M. **Solos dos Mares de Morro: Ocupacao e Uso**. O Solo nos grandes Domínios Morfoclimaticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. VICOSA - MG: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO, 1996, v., p. 261-288.

REZENDE, S.B. **Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil.** West Lafayette, Purdue University, 1980. 143p. (Tese Ph.D.)

_____. Geomorphology, mineralogy and genesis of four soils on gneiss in southeastern Brazil. West Laffeyte, University of Purdue, 1980. 143p. (Tese de Doutorado)

RIBEIRO A., TROUW R.A.J, ANDREIS R.R., PACIULLO F.V.P., VALENÇA J.G. 1995. **Evolução das bacias Proterozóicas e o termo-tectonismo Brasiliano na margem sul do Cráton do São Francisco.** Rev. Bras. Geoc., 25: 235-248.

ROESER H., ROESER U.G., GROSSI A.R., FLORES J.C.C. 1984. Contribuição à origem das jazidas de bauxita de Cataguases, MG. In: **SBG, Congr. Bras. Geol**., **33**, Rio de Janeiro, Anais, 8:853-865.

SAMPAIO, T. V. M. **Índice de Concentração de Rugosidade (ICR):** Uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de geotecnologias. Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. Viçosa – MG, 2009.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo.** 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SOUZA, L. F., SAMPAIO T. V. M. **Aplicação do Índice de Concentração da Rugosidade à Identificação de Classes de Dissecação do Relevo**: Uma proposta de quantificação e automatização em ambientes SIG. III Simpósio Brasileiro de CIecias Geodesicas e Tecnologias da Informação. Recife, PE. Julho 2010.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) **– analysis of erosion al topography**. Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

VALVERDE, O. **Estudo regional da Zona da Mata de Minas** Gerais. *Revista Brasileira de .Geografia*, 1958