

AKENYA FREIRE DE ALKIMIM

**GEOAMBIENTES, MORFOMETRIA E SOLOS DA BACIA DO RIO  
BENEVENTE, ES**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

A313g  
2009

Alkimim, Akenya Freire de, 1979-

Geoambientes, morfometria e solos da bacia do rio  
Benevente, ES / Akenya Freire de Alkimim. – Viçosa, MG,  
2009.

xvi, 109f. : il (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: João Luiz Lani.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 87-95.

1. Ciência do solo. 2. Solos - Uso. 3. Solos manejo.
  4. Bacias Hidrográficas. 5. Sistemas de informação geográfica. 6. Solos - Degradação. 7. Solos - Conservação.
  8. Solos - Erosão. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDD 22.ed. 631.4

AKENYA FREIRE DE ALKIMIM

**GEOAMBIENTES, MORFOMETRIA E SOLOS DA BACIA DO RIO  
BENEVENTE, ES**

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

APROVADA: 21 de dezembro de 2009.

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Co-orientador)

---

Prof. Raphael B. Alves Fernandes  
(Co-orientador)

---

Prof. Ivo Jucksch

---

Prof. Felipe Nogueira Bello Simas

---

Prof. João Luiz Lani  
(Orientador)

*À minha família  
e, especialmente, ao meu Paizinho  
querido.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Paizinho tão querido que é a luz e o amor da minha vida e que sempre me ajudou a superar todos os meus desafios.

À minha família, especialmente minha mãe, pela compreensão com relação aos momentos em que sempre estive ausente.

Ao Orientador e Prof. João Luiz Lani por toda atenção e ensinamentos.

Ao Co-orientador e Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho pelo apoio e amizade.

Aos profs. Raphael Bragança, Ivo Jucksch, Felipe Simas e Carlos Ernesto Schaefer pelas críticas e sugestões que contribuíram para o aperfeiçoamento desse trabalho.

Ao meu estagiário Gustavo Vieira Veloso pela ajuda e dedicação, principalmente, nos momentos mais difíceis dessa trajetória.

Ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, pela formação acadêmica e pelo crescimento intelectual e profissional.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas e, em especial, aos laboratoristas.

Ao pessoal do Labgeo e aos colegas Rodrigo, André, Henrique, Renato e Igor pelo auxílio.

À equipe do NEPUT pela colaboração, principalmente ao Alberto, Eder e Natália.

Aos técnicos do IEMA, principalmente ao José de Aquino, pela disponibilização dos dados e pela cooperação.

À Paula Cristina, Jussileide e Lórence pelo companheirismo e ajuda incondicional.

À Universidade Federal de Viçosa, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) que permitiram o meu crescimento profissional, pessoal e a conquista desse título.

Enfim, a todas aquelas pessoas que, quer seja direta ou indiretamente, contribuíram para que eu alcançasse mais um sonho. A todos o meu muito obrigado.

## **BIOGRAFIA**

AKENYA FREIRE DE ALKIMIM, filha de Valéria Pires de Castro, nasceu em Ponte Nova, estado de Minas Gerais, no dia 1 de Janeiro de 1979.

Em 2002, iniciou o curso de Geografia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), diplomando-se em Janeiro de 2008.

Em Abril de 2008, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa (UFV), diplomando-se em Dezembro de 2009.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Bacias Hidrográficas .....	4
2.2. Geoambientes.....	6
2.3. Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	9
<b>3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO BENEVENTE .....</b>	<b>11</b>
3.1. Localização da Bacia do Rio Benevente.....	11
3.2. Geologia .....	12
3.3. Geomorfologia .....	15
3.4. Relevo .....	15
3.5. Solos.....	16
3.6. Vegetação.....	17
3.7. Clima.....	18
3.7.1. Temperatura.....	18
3.7.2. Aspectos Pluviométricos .....	19
3.8. Hidrografia.....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
4.1. Caracterização Morfométrica da Bacia do Rio Benevente .....	20
4.1.1. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)...	20
4.1.2. Declividade e Altitude .....	22

4.1.3. Faces de Exposição da Radiação Solar.....	22
4.1.4. Morfometria da Bacia do Rio Benevente .....	22
4.1.4.1. Coeficiente de Compacidade .....	23
4.1.4.2. Fator de Forma .....	23
4.1.4.3. Índice de Circularidade .....	24
4.1.4.4. Ordem dos Cursos d'águas .....	24
4.1.4.5. Densidade de Drenagem .....	25
4.1.4.6. Declividade Média .....	25
4.2. Caracterização e Mapeamento dos Solos da Bacia do Rio Benevente .....	26
4.3. Análises Físicas.....	26
4.3.1. Textura.....	28
4.3.2. Densidade do Solo (Ds).....	28
4.3.3. Densidade de Partículas (Dp) .....	28
4.3.4. Argila Dispersa em Água (ADA) .....	28
4.3.5. Grau de Flocculação (GF) .....	29
4.3.6. Porosidade Total (PT).....	29
4.3.7. Microporosidade e Macroporosidade .....	29
4.4. Análises Químicas.....	30
4.4.1. Análise Química do Solo (Rotina).....	30
4.4.2. Fósforo Remanescente.....	30
4.5. Análise Mineralógica .....	30
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
5.1. Caracterização Geral dos Geoambientes da Bacia do Rio Benevente.....	32
5.1.1. Serras com Domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos.....	33
5.1.2. Tabuleiros Dissecados com Predomínio dos Latossolos Amarelos Coesos.....	39
5.1.3. Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos Coesos e Solos Hidromórficos (Gleissolos e Organossolos).....	41
5.2. Características Físicas, Químicas e Mineralógicas dos Solos Representativos dos Geoambientes Estudados .....	43
5.2.1. Caracterização Física .....	43
5.2.2. Caracterização Química .....	54

5.2.3. Caracterização Mineralógica .....	58
5.3. Uso e Ocupação do Solo .....	61
5.3.1. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Benevente .....	61
5.3.2. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Serras com Domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos .....	64
5.3.3. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Tabuleiros Dissecados com Predomínio dos Latossolos Amarelos Coesos.....	68
5.3.4. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos Coesos e Solos Hidromórficos (Gleissolos e Organossolos) .....	71
5.4. Características Gerais e Morfométricas da Bacia e Sub-bacias do Rio Benevente.....	71
5.4.1. Caracterização Geral e Morfométrica da Bacia do Rio Benevente.....	71
5.4.2. Caracterização Geral e Morfométrica das Sub-bacias do Rio Benevente .	75
<b>6. RESUMO E CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE QUADROS

1. ....	P
Principais eventos geológicos da bacia do rio Benevente, ES.....	13
2. ....	C
Características das unidades geomorfológicas da bacia do rio Benevente, ES .....	16
3. ....	C
Características das formações vegetacionais da bacia do rio Benevente, ES.....	18
4. ....	C
Classificação da declividade adotada para a separação dos diferentes tipos de relevo da bacia do rio Benevente, ES .....	22
5. ....	L
Localização dos principais perfis de solos amostrados na bacia do rio Benevente, ES.....	27
6. ....	C
Caracterização geral dos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES .....	35
7. ....	D
Distribuição das classes de solos por geoambiente da bacia do rio Benevente, ES .....	39
8. ....	P
Principais classes de solos e suas características identificadas na bacia do rio Benevente, ES .....	44

9.	.....	D
	istribuição das principais classes de solos da bacia do rio Benevente, ES	47
10.	.....	A
	álises físicas referentes aos perfis de solos descritos na bacia do rio Benevente, ES	48
11.	.....	A
	álises químicas referentes aos perfis de solos descritos na bacia do rio Benevente, ES	54
12.	.....	P
	incipais minerais encontrados nas frações argila, silte e areia dos perfis de solos estudados na bacia do rio Benevente, ES	58
13.	.....	U
	so e ocupação do solo da bacia do rio Benevente, ES	61
14.	.....	P
	opulação estimada nos principais municípios que abrangem a bacia do rio Benevente, ES	61
15.	.....	U
	so e ocupação do solo dos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES	65
16.	.....	C
	lasses de declividade da bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES	73
17.	.....	D
	istribuição das sub-bacias de acordo com os respectivos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES	78
18.	.....	D
	istribuição das classes de solos modais por sub-bacias do rio Benevente, ES	79
19.	.....	U
	so e ocupação do solo das sub-bacias do rio Benevente, ES	80
20.	.....	C
	aracterísticas morfométricas da bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES	81

21. ....	E
xposição do terreno à radiação solar das sub-bacias do rio Benevente, ES.....	83

## LISTA DE FIGURAS

1. ....	L
localização da bacia do rio Benevente no estado do Espírito Santo.....	11
2. ....	F
luxograma referente às operações envolvidas na elaboração dos mapas de declividade, face de exposição da radiação solar e sub-bacias do rio Benevente, ES.....	21
3. ....	C
classificação hierárquica da rede de drenagem conforme Strahler .....	25
4. ....	P
principais geoambientes identificados na bacia do rio Benevente, ES .....	34
5. ....	B
loco-diagrama do geoambiente Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos da bacia do rio Benevente, ES.....	38
6. ....	B
loco-diagrama indicativo do geoambiente Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos da bacia do rio Benevente, ES em contato com o cristalino na parte superior .....	40
7. ....	B
loco-diagrama do geoambiente Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos) da bacia do rio Benevente, ES.....	42
8. ....	E
spacialização das classes de solos da bacia do rio Benevente, ES .....	45

9. ....	V
ista geral do Cambissolo latossólico utilizado com saibro para construção de estradas.....	46
10. ....	A
ambiente de ocorrência do Neossolo Quartzarênico na paisagem proveniente do quartzito .....	52
11. ....	U
uso do solo com pastagens nos morros (braquiária) e turismo rural .....	60
12. ....	U
uso e ocupação do solo da bacia do rio Benevente, ES.....	62
13. ....	C
achoeira Engenheiro Reeve, Alfredo Chaves - ES .....	63
14. ....	P
lantio da banana nas encostas pluviosas da bacia do rio Benevente, ES.....	64
15. ....	V
ista geral de um vale com alto controle estrutural e uso do solo com diversas atividades como eucalipto, café, dentre outras na bacia do rio Benevente, ES.....	66
16. ....	Á
reas sujeitas à erosão laminar intensa, especialmente nas bordas dos Tabuleiros .....	68
17. ....	P
perfil topográfico do rio Benevente da nascente até a foz.....	71
18. ....	M
odelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) da bacia do rio Benevente, ES.....	73
19. ....	D
eclividade do terreno da bacia do rio Benevente, ES .....	75
20. ....	S
ub-bacias hidrográficas de ordem de drenagem igual ou superior a 5 da bacia do rio Benevente, ES.....	76

21. ....	F
ace de exposição da radiação solar da bacia do rio Benevente, ES.....	77
22. ....	D
istribuição por área (%) das classes de declividade da bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES .....	82

## RESUMO

ALKIMIM, Akenya Freire, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2009. **Geoambientes, Morfometria e Solos da Bacia do Rio Benevente, ES.** Orientador: João Luiz Lani. Co-orientadores: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Raphael Bragança Alves Fernandes.

A preocupação com a água no estado do Espírito Santo levou o governo estadual a adotar medidas, no sentido de contribuir para a conservação desse recurso natural. A bacia do rio Benevente, localizada no sul do Estado, foi escolhida como área piloto do Projeto ProdutorES de Água. A falta de informações mais detalhadas dos geoambientes da bacia do rio Benevente se contrapõe à grande importância do gerenciamento do uso dos recursos naturais baseado no conhecimento da real capacidade suporte e da vulnerabilidade desses recursos. O conhecimento sobre as características dos diferentes ambientes dentro da Bacia e Sub-bacias contribui para o melhor planejamento do espaço com bases sustentáveis e melhor adequação do uso dos solos, no sentido de potencializar o aumento da qualidade e quantidade de água armazenada dentro da Bacia. Esse estudo objetivou determinar as características morfométricas da bacia do rio Benevente; identificar os principais geoambientes com base nas características pedo-geomorfológicas; caracterizar as principais classes de solos em seus aspectos físicos, químicos e mineralógicos e como elas se inter-relacionam na paisagem; avaliar quais tipos de uso do solo estão degradando mais o ambiente e sugerir alternativas de uso e ocupação do solo que visem a sua conservação. Para caracterização dos solos da área de estudo foi realizada a coleta de amostras, por meio da abertura de trincheiras com posterior descrição

morfológica dos perfis. As amostras coletadas foram submetidas às análises físicas, químicas e mineralógicas. Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG), por meio do software ArcGis 9.2 para a elaboração dos mapas na escala de 1:50.000. Os geoambientes foram definidos a partir do agrupamento das características pedo-geomorfológicas peculiares a cada área delimitada. Os aspectos morfométricos foram obtidos através do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) elaborado por meio da interpolação das curvas de nível (20 em 20 m) na escala de 1:50.000. A Bacia foi estratificada em três principais geoambientes, de acordo com a homogeneidade dos atributos avaliados, que apresentam características exclusivas: Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos, Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos e Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos). Os solos, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural, sendo distróficos ou álicos. A composição mineralógica é constituída, principalmente, por caulinita e gibbsita, o que denota a baixa reserva mineral desses solos. A pecuária é uma das principais atividades degradantes da Bacia. As alternativas de uso e ocupação variam de acordo com as especificidades dos ambientes estudados. Com relação à morfometria, a parte mais alta da Bacia possui maior densidade de drenagem e está sujeita a um maior controle estrutural onde os rios correm encaixados. Na parte baixa a densidade de drenagem é menor, e os rios correm sobre sedimentos em direção ao sudeste, acompanhando a inclinação natural do Grupo Barreiras.

## ABSTRACT

ALKIMIM, Akenya Freire, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, december, 2009. **Geoenvironments, Morphometry and Soils of the Benevente River Basin, ES.** Adviser: João Luiz Lani. Co-Advisers: Elpídio Inácio Fernandes Filho and Raphael Bragança Alves Fernandes.

Concern about water in the state of Espírito Santo led the state government to adopt measures to contribute to the conservation of this natural resource. The Benevente river basin, located in the southern state, was chosen as pilot area of the Project *ProdutorES de Água*. The lack of more detailed information of geoenvironments Benevente river basin contrasts the importance of managing the use of natural resources based on knowledge of the actual carrying capacity and vulnerability of these resources. Knowledge about the characteristics of different environments within the Basin and Sub-basins contribute to better planning of space with a sustainable and more appropriate land use, to a greater increase in the quality and quantity of water stored within the Basin. This study aimed to determine the morphometric characteristics of the Benevente river basin, identifying the main geo-environments based on the pedo-geomorphology characteristics; characterize the main soil classes in terms of physical, chemical and mineralogical and how they interrelate in the landscape; what types of land use are degrading the environment and suggest alternative use and land cover aimed at their conservation. The characterization of soils of the study area was conducted to collect samples by trenching with subsequent morphological description of the profiles. The samples were submitted to

physical, chemical and mineralogical analysis. Geographic Information System (GIS), ArcGIS 9.2 software, was used in the preparation of maps on scale 1:50.000. The geo-environments were defined as the combination of the peculiar pedo-geomorphological characteristics to each designated area. The morphometric features were obtained from Digital Elevation Model Hydrologically Consistent (DEMHC) prepared by the interpolation of contour lines (20 by 20 m) on scale 1:50.000. The Basin was divided into three main geo-environments, according to the homogeneity of attributes, which have intrinsic characteristics: *Serras* with Haplic Cambisols (Inceptols), Rock Outcrops and Red-Yellow Latosol (Oxisol), *Tabuleiros Dissecados* with Yellow Latosol (Oxisol) cohesive and *Planícies Costeiras* with Yellow Latosol (Oxisol) cohesive and lowlands (Gleys and Histosols). Mostly soils are poor in chemical elements and they are dystrophic or alic. The mineralogical composition consists mainly of kaolinite and gibbsite which indicates the low mineral reserve of the soils. Livestock is a major degrading activity in the Basin. Alternative uses and land cover vary according to the studied sites. With regard to morphometry, the upper Basin has a higher drainage density and is subject to greater structural control where the rivers flow on rocks. In the lower Basin the drainage density is lesser and the rivers flow over sediments toward the southeast, following a natural inclination of the Barreiras Group.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, os agrupamentos humanos procuraram se estabelecer ao redor de regiões ou locais onde havia água (rios, lagos, nascentes, etc.) que desempenharam papel importante na fixação do homem seja no meio rural ou urbano. Isso se deve ao grande interesse do ser humano nessas áreas, pois são regiões onde se podem encontrar, em geral, as melhores terras, maior biodiversidade, água, tanto para o consumo humano quanto para as plantas e animais, além de ser área estratégica para o transporte, extração de areia, dentre outros (Attanasio et al., 2006).

O aumento do consumo e a falta de conservação da água favorecem a escassez desse recurso natural pela diminuição da sua qualidade e quantidade, causada por diversas modificações no regime de escoamento superficial e no ciclo hidrológico, consequências das alterações ambientais provocadas pelo homem. O uso inadequado dos solos resulta em sua degradação com influência na qualidade e quantidade de água por eles armazenada. O conhecimento sobre as características dos solos e a adequação do seu uso permite não só aumentar o volume de água disponível nos cursos d'água, como também a regularização da vazão. Dessa forma, a adequação do uso do solo, baseado na sua aptidão, promove o melhor uso dos recursos naturais, elementos importantes para o desenvolvimento sustentável de uma bacia hidrográfica.

O estado do Espírito Santo enfrenta problemas relacionados à água, tanto no que se refere à qualidade quanto, principalmente, à quantidade. Os motivos são os mais variados como a contaminação dos mananciais por dejetos sólidos e líquidos, despejados nos cursos d'água sem um prévio tratamento; a infiltração das águas das chuvas que é cada vez menor, em razão do selamento do solo pela

compactação; os desmatamentos, entre outros. Isso tem contribuído para a redução sensível da vazão dos rios, além de causar a seca de inúmeras nascentes.

O grande desenvolvimento de determinadas regiões no Espírito Santo, principalmente as litorâneas e a implantação de indústrias aumentaram consideravelmente a demanda por água no Estado. A atração de um grande contingente populacional, relacionada ao turismo propiciado pelas praias capixabas, faz com que a demanda por água seja crescente, principalmente durante a alta temporada (verão). Em relação às indústrias, a sua localização estratégica está, em muitos casos, atrelada à fonte de abastecimento de água. O pólo industrial de Anchieta é uma das mais recentes preocupações em relação ao fornecimento de água pela bacia do rio Benevente que abastece essa região.

A bacia do rio Benevente está localizada no sul do estado do Espírito Santo. Representativa do sudeste brasileiro, por pertencer à Mantiqueira Setentrional, sua posição no Estado é estratégica devido à proximidade do mar (porto), da capital (Vitória) e de grandes indústrias, apresentando grande potencial turístico atribuído às praias e áreas serranas.

Diante da crescente demanda por água, o governo do Estado tem adotado medidas, no sentido de contribuir tanto para o aumento da quantidade quanto da qualidade desse bem natural. Por esse motivo, a bacia do rio Benevente foi escolhida como a área piloto do Projeto ProdutorES de Água. Constitui-se numa Bacia modelo entre os estados brasileiros, no sentido de conservação das florestas em importantes áreas que visam a proteção dos corpos hídricos.

Com o objetivo de aumentar a oferta de água dentro do Estado foi implementado, a nível de experiência, o mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) na Bacia. O Projeto ProdutorES utiliza os recursos financeiros de royalties do petróleo e do gás e da compensação financeira do setor hidroelétrico, com o intuito de investir na conservação das fontes de água. O mecanismo do PSA é uma ferramenta utilizada pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) para manter os fragmentos florestais e incentivar a recuperação florestal nas áreas potencialmente fornecedoras de sedimentos aos corpos hídricos. Esse incentivo se efetiva por meio da

compensação financeira ao proprietário rural que se dispuser a prestar um serviço ambiental de aumento da qualidade e disponibilidade de água na Bacia.

A falta de informações mais detalhadas dos ambientes da bacia do rio Benevente, a ausência de um diagnóstico ambiental e a falta de um plano de manejo, contudo, se contrapõe à grande importância do planejamento do uso dos recursos naturais, baseado no conhecimento da real capacidade suporte e da vulnerabilidade desses recursos. O que tornou indispensável o estudo da bacia do rio Benevente, no sentido de fornecer informações relevantes que contribuíssem tanto para o aumento do volume quanto da qualidade de água disponível na Bacia.

A estratificação de geoambientes é uma importante ferramenta nos trabalhos de uso e ocupação do solo, tendo em vista que permite a compartimentação do meio físico de acordo com suas dinâmicas: solo, clima, vegetação, relevo e organismos. Sua importância se pauta no melhor conhecimento da região em estudo o que permite que aspectos físicos, químicos e mineralógicos relacionados aos solos, sejam levantados e que tratamentos individualizados sejam direcionados à área.

Tendo em vista o melhor uso e manejo dos recursos naturais da bacia do rio Benevente, procurou-se conhecer as características dos geoambientes, da morfometria, dos solos e do seu uso e ocupação desde a nascente até a foz. Para tanto, objetivou-se:

- Determinar as características morfométricas da bacia e sub-bacias do rio Benevente;
- Identificar os principais geoambientes da Bacia com base nas suas características pedo-geomorfológicas;
- Caracterizar as principais classes de solos em seus aspectos físicos, químicos e mineralógicos e como elas se inter-relacionam na paisagem;
- Avaliar, de forma geral, quais tipos de uso do solo está degradando mais o ambiente;
- Sugerir alternativas de uso e ocupação do solo que visem à conservação e o aumento da disponibilidade hídrica da Bacia para atender a demanda turística e industrial.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Bacias Hidrográficas**

A bacia hidrográfica é conceituada de diferentes formas por diversos autores. Para Lima (1976) é uma unidade física de planejamento que se refere a uma área de terra drenada por um determinado curso de água e limitada, perifericamente, pelo chamado divisor de águas (Valente & Castro, 1981). Viessman et al. (1972) definem como uma área delimitada topograficamente, drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, dispondo de uma simples saída para que toda vazão efluente seja descarregada. De acordo com Rocha (1991), é uma área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago.

As bacias são áreas da superfície terrestre que contribuem para a formação de córregos, riachos, ribeirões e rios, sendo representadas tanto por pequenas áreas (bacias hidrográficas de um pequeno córrego), quanto por grandes áreas (bacias de grandes rios), conforme Valente & Dias (2001). A expressão bacia hidrográfica pode ser utilizada tanto para grandes como para pequenas áreas de terras, bastando localizá-la no espaço, ajustando-lhe o nome do curso de água responsável pela drenagem superficial da área.

As características físicas da bacia hidrográfica são, em grande parte, controladas ou influenciadas pela sua estrutura geológica (Christofolletti, 1981). Somadas às características bióticas possuem importante papel nos processos de ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida por deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e

subsuperficial (Lima, 1986). A área, a forma e o relevo de uma bacia exercem grande influência sobre a quantidade de água produzida por deflúvio. A forma e o relevo atuam sobre a taxa ou regime da produção de água, tal como a taxa de sedimentação. O padrão de drenagem afeta a disponibilidade de sedimentos, bem como a taxa de formação do deflúvio (Tonello et al., 2006).

O volume total de água de um curso d'água é formado pelo escoamento superficial e pelo fluxo de água do solo que formam os lençóis subterrâneos que, por meio das fontes e nascentes, voltam a abastecer os cursos d'água. Em uma bacia de drenagem, as características de vazões são muito influenciadas pelo diversos tipos de solos predominantes, devido às suas diferentes capacidades de infiltração. Outras características importantes são a rede de drenagem e a declividade média da bacia que influenciam na vazão resultante e estão relacionadas à extensão da inundação. Esses dois fatores também dão uma indicação a respeito do solo e das condições superficiais que existem na bacia hidrográfica (Wisler & Brater, 1964).

O estudo da bacia é de fundamental importância, já que, a quantidade e a qualidade de água para diferentes usos, são em certos casos, limitantes. A qualidade da água pode ser definida como a capacidade que ela oferece para diferentes usos, o que vai depender da sua composição química que está ligada às fases de ciclo hidrológico, assim como as características edáficas, litológicas e fisiográficas da bacia (Valente & Castro, 1981).

Ao processo de aumento da quantidade e qualidade de água, bem como à estabilização ou regularização desta quantidade de água ao longo do ano, denomina-se “produção de água”. A produção de água é alcançada pelo manejo da bacia e o seu sucesso deve estar atado à sua regulação sazonal, isto é, procurar a menor variação na vazão entre a estação chuvosa e a mais seca do ano (Valente & Dias, 2001).

O manejo de bacias hidrográficas engloba todos os tratamentos que venham a sofrer os recursos naturais da bacia e tem por objetivo assegurar o máximo de suprimento em qualidade e quantidade, dentro de princípios técnicos e econômicos (Valente & Castro, 1981).

As bacias hidrográficas são ótimas unidades para estudo e planejamento integrado dos recursos naturais renováveis (Valente & Castro, 1981) e constituem-se como unidades naturais para a análise de ecossistemas. Apresentam características próprias, as quais permitem utilizá-las para testar os efeitos do uso da terra. Os cursos d'água formados numa bacia servem como indicadores da manipulação do solo pelo homem. Assim, os rios que drenam uma região apresentam suas águas com características físico-químicas próprias, que refletem as atividades de uso do solo nas áreas à montante (Castro, 1980).

O planejamento do uso dos recursos naturais em termos de sustentabilidade requer inicialmente a organização e a disponibilização de informações sobre o ambiente. Aspectos de clima, solo, vegetação dentre outros, determinam os estados de preservação ambiental (Simões et al., 1995). Pelo estudo dos solos pode-se facilmente reconhecer e estratificar esses ambientes que ocorrem na paisagem (Resende & Rezende, 1983). Dos vários fatores fisiográficos que afetam as vazões dos cursos d'água, Wisler & Brater (1964) citam como um dos mais importantes a utilização do solo.

O planejamento de uso de uma bacia hidrográfica, da mesma forma que as ações de manejo, têm sua eficiência regulada pelo conhecimento que se dispõe do sistema a ser manejado ou gerenciado. A compreensão da estrutura e do funcionamento do ecossistema fornecerá indicações sobre onde, quando e como uma determinada medida de manejo ambiental deve ser implementada (Pavanelli, 1996).

## **2.2. Geoambientes**

A combinação dos fatores geomorfológicos (natureza das rochas e do manto superficial, declividade, dinâmica das vertentes), climáticos (precipitação, temperatura, balanço hídrico), hidrológicos (profundidade e flutuações do lençol freático, afloramento e nascentes) e pedológicos (textura, nutrientes, pH, dentre outros) caracterizam os geoambientes que se constituem em um sistema essencialmente dinâmico que varia no tempo e no espaço. Os elementos que o compõem não devem ser estudados isoladamente, mas através das conexões, isto é, das inter-relações entre os componentes do meio físico e biótico. Dessa forma,

o estudo dos geoambientes corrobora para um melhor planejamento ambiental, de forma a visar uma agricultura sustentável com vista à recuperação do potencial ecológico da área (Schneider, 1985).

Os elementos naturais, avaliados individualmente, revelam diferentes graus e índices de mutabilidade. A organização hierárquica, o dinamismo do sistema, sua flexibilidade são características inerentes aos geoambientes que apresentam estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez maior sob a influência do homem (Sotchava, 1962).

Para Bertrand (1972), o geoambiente está relacionado a uma porção do espaço, resultante da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em constante evolução. Deve-se refletir, entretanto, sobre essa organização espacial e suas unidades ambientais integradas em diferentes escalas. Apesar da aparente monotonia das características paisagísticas, a nível local, essas unidades são múltiplas e distinguem-se entre si, sendo a combinação de elementos, em geral, significativamente díspares dos aspectos predominantes em escalas mais amplas (Schneider, 1985).

A falta de conhecimento referente às peculiaridades ambientais locais, não raramente, acarreta em desequilíbrios, fato que favorece o desgaste e empobrecimento dos solos através da erosão acelerada, o que ocasiona o assoreamento de represas e leitos de rios, com graves conseqüências ambientais, e de ordem sócio-econômicas. Nesse sentido, o estudo dos geoambientes, com base na sua estratificação, é um importante fator para a qualidade do planejamento ambiental, pois permite agregar características homogêneas e interações entre os elementos em unidades que levam ao conhecimento das peculiaridades dos diferentes sistemas ambientais pertencentes a uma determinada área de estudo.

Grigoriev citado por Ross (1997) define como “Estrato Geográfico” a camada que se estende da baixa atmosfera até a parte externa e rígida da Terra, onde foi possível o desenvolvimento do homem enquanto ser biológico e social. E é exatamente neste “Estrato Geográfico” que se articula a ação humana, demonstrando a importância da compreensão de seu todo em

função do entendimento dos mecanismos funcionais de cada um de seus componentes em relação aos demais. Trata-se, sobretudo, de uma visão geossistêmica, em que o solo assume papel fundamental, haja vista que o conhecimento das suas características leva à compreensão da forma como os elementos físicos se interagem na paisagem, visto que o solo pode ser considerado como a interface entre os elementos do meio físico (Resende et al., 2002a). É, portanto, o resultado da integração dos seus fatores de formação: material de origem, clima, relevo, organismo, tempo (Jenny, 1941).

O solo é, reconhecidamente, um fator determinante nos processos de estudo e caracterização ambiental, planejamento sustentável de uso da terra e de manutenção dos recursos naturais. É decorrente de contínuas transformações pelas quais perpassa ao longo de sua formação que revelam as dinâmicas e os processos pretéritos pelo qual esteve sujeito (Matos, 2008).

O estudo da estratificação de ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na bacia do rio Itapemirim, no Estado do Espírito Santo (Lani et al., 2001), discorre sobre a importância da identificação das unidades de mapeamento que permite estratificar a região em macroambientes distintos, fato que contribui para o conhecimento ambiental da área. Essa importância também é observada por outros autores, porque permite a maior concepção das peculiaridades concernentes a cada área estratificada (Lani, 1987; Martins et al., 2006) e identificação das potencialidades e limitações de pedoambientes (Resende et al., 2002b; Mancio, et. al., 2007)

A identificação dos geoambientes no Parque do Ibitipoca, no município de Lima Duarte, MG (Dias et al., 2002) ressaltam o valor do conhecimento das características de diferentes atributos relativos a cada ambiente estratificado. Características, estas, que permitiram identificar a fragilidade dos ambientes estudados, tendo como principais indicadores a vegetação e a profundidade dos solos.

### **2.3. Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

A função histórica do mapa, como referência para o entendimento dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, sofreu mudanças em sua elaboração a partir da segunda metade do século XX, com o desenvolvimento simultâneo da tecnologia da informática que tornou possível armazenar e representar um conjunto de informações em ambiente computacional.

O SIG constitui um valioso instrumento no que concerne o melhor gerenciamento dos recursos naturais. Isso porque, a utilização do SIG permite a compreensão de diversos fenômenos que ocorrem no espaço através do uso de ferramentas computacionais (softwares) que permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados.

Alguns autores destacam a importância do uso do SIG como significativa ferramenta de análise do uso e ocupação do solo (Rojas, 2004), mapeamento de solos (McBratney et al., 1991; Chappel, 1996; Sinowski & Auerswald, 1999; Smith et al., 2006), relações solo-paisagem (Ippoliti et al., 2005; Zhao et al., 2008), caracterização dos solos e rede de drenagem (França & Demattê, 1990; Demattê & Demétrio, 1995; Silva & Carvalho, 2002; Peng et al., 2003; Pissarra et al., 2006), impactos ambientais (Chikhaoui et al., 2005; Paz et al., 2006), manejo do meio ambiente (Moreira, 2003) ressaltando sua acuidade na produção de informações que permitem a melhor tomada de decisão no que diz respeito às ações de interferência no espaço geográfico.

O SIG é um instrumento computacional do geoprocessamento utilizado para o entendimento dos fenômenos espaciais. A partir dessa ferramenta podem-se realizar operações na base de dados como captura, armazenamento, manipulação, análise, apresentação, busca de informações, análises estatísticas. Permite também uma visualização e análise geográfica sobre mapas, o que propicia uma investigação sistemática das propriedades e relações posicionais dos eventos e entidades representados em uma base de dados georreferenciados que transformam os dados em informação destinada ao apoio à decisão (Zaidan & Silva, 2004).

O SIG proporciona ao usuário o aumento na capacidade de manipulação de dados extensos. Facilita a descrição detalhada de características da superfície terrestre e permite que características como o uso da terra e sua altimetria, obtidas por qualquer processo de entrada de dados, sejam manipuladas e utilizadas em projetos de planejamento do uso da terra, gerenciamento e monitoramento dos recursos naturais, dentre outros. Isso faz do SIG uma ferramenta importante para aqueles que têm possibilidade de intervir na tomada de decisão, no que se refere às ações de interferência no espaço geográfico.

A utilização de técnicas do geoprocessamento é de grande importância para o entendimento dos fenômenos solo-superfície, o que as tornam uma alternativa rápida e econômica em comparação a métodos tradicionais (Odeh et al., 2001; McBratney et al., 2006, Fiorio & Demattê, 2009). Contribui para a classificação das formas da paisagem (Ippoliti et al., 2005); permite a otimização e redução do tempo gasto em determinados trabalhos, como mapeamento de solos (Bui & Moran, 2003; Peterson, 2009); favorece a identificação, através de mapas temáticos, da maioria das áreas potenciais para uma intervenção preventiva e corretiva para onde políticas públicas poderiam/deveriam ser direcionadas (Chikhaoui et al., 2005).

O conhecimento do ambiente e seu comportamento entre os elementos físicos, adquiridos através das informações obtidas por meio do geoprocessamento, permitem a proposição de diagnóstico dos fatores ambientais e a estimativa de resposta aos impactos de atividades antrópicas, o que leva a uma intervenção mais precisa na área de estudo. E é dentro desse contexto que se insere o SIG, como uma ferramenta útil ao homem, uma vez que permite a tomada de decisão sobre determinada área do espaço geográfico, além de ser uma ferramenta capaz de otimizar o trabalho de profissionais ligados ao meio ambiente.

### 3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO BENEVENTE

#### 3.1. Localização da Bacia do Rio Benevente

A bacia do rio Benevente localiza-se no sul do estado do Espírito Santo e abrange o município de Alfredo Chaves, e parte dos municípios de Anchieta, Iconha, Guarapari e Piúma (Figura 1).

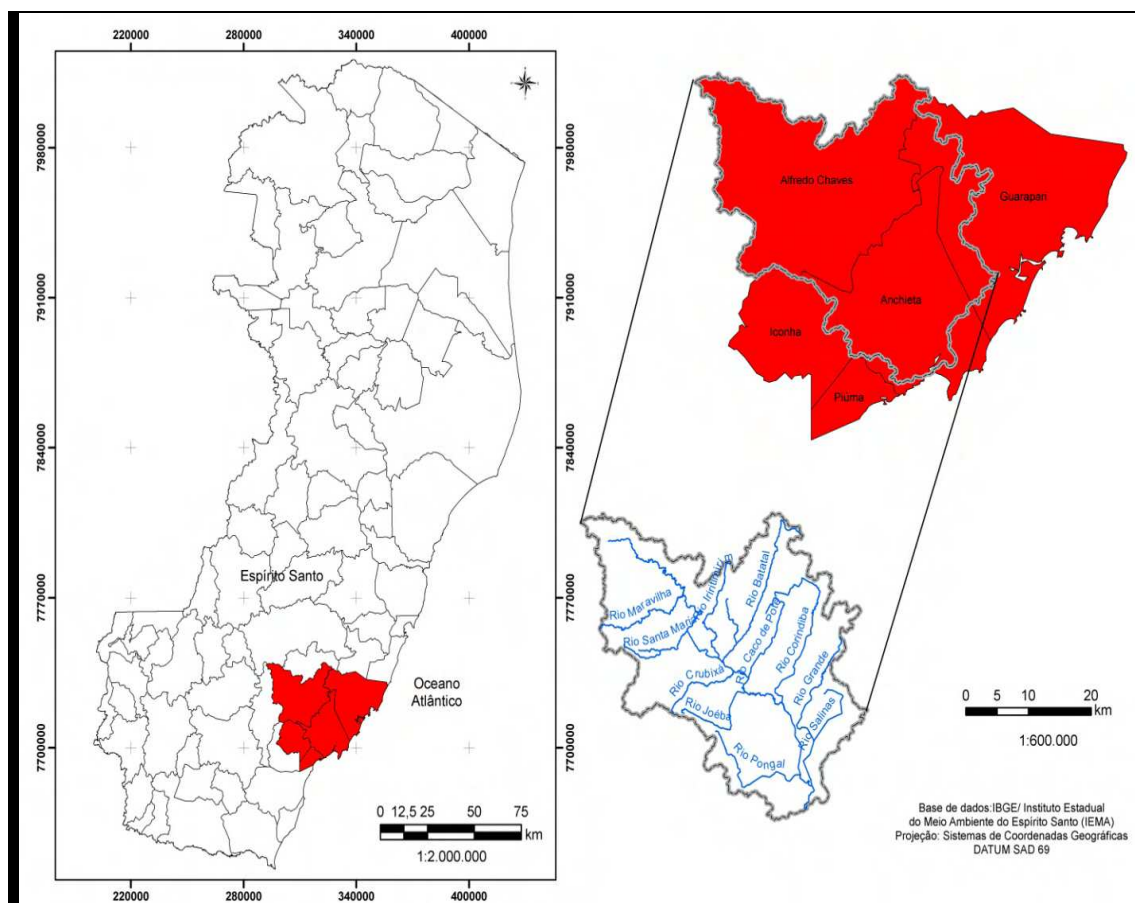


Figura 1. Localização da bacia do rio Benevente no estado do Espírito Santo.

O rio Benevente tem sua principal nascente na Serra do Tamanco entre os municípios de Alfredo Chaves e Vargem Alta no distrito de Urânia, com sua foz

localizada na cidade de Anchieta. A bacia do rio Benevente está inserida na Unidade Hidrográfica Benevente que inclui as bacias da Lagoa Mãe-bá e do rio Meáipe, em Guarapari. Possui uma área de drenagem de, aproximadamente, 1.090 km<sup>2</sup>. A disponibilidade hídrica da Bacia é estimada em 30 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (IEMA, 2008).

### **3.2. Geologia**

A geologia da bacia do rio Benevente é bem representativa do Estado. Composta, em sua maior parte, por rochas cristalinas Pré-Cambrianas (gnaisses) que fazem parte do Escudo Cristalino Brasileiro e se apresentam na forma de cadeias de montanhas pertencentes a Serra da Mantiqueira. O restante da área é formado por sedimentos Terciários (Grupo Barreiras) e Quaternários (Aluviões e Sedimentos Marinhos). Das rochas Pré-Cambrianas, a maior parte pertence ao Complexo Paraíba do Sul e, em menor parte, à Suíte Intrusiva Espírito Santo (RADAMBRASIL, 1983). Dentre as unidades do Complexo Paraíba do Sul ocorrem os gnaisses (granatíferos e kinzigitos) que assumem estrutura homogênea, com aspectos de granadas gnaisses granitóides. As rochas da Suíte Intrusiva Espírito Santo são representadas por um conjunto, predominantemente granítico a granodiorítico, formado dentro do Complexo Paraíba do Sul (EMBRAPA, 1978; RADAMBRASIL, 1983).

A história geológica do Espírito Santo é anterior a 650 Ma antes do presente (Quadro 1). Durante parte do Pré-Cambriano, o Estado era uma bacia sedimentar entre dois continentes: América do Sul e África. Durante o ciclo Brasileiro sob o efeito de grandes pressões e altas temperaturas, ocorridos durante esse período, as rochas sedimentares que se encontravam mais no interior fundiram-se e ao esfriar, cristalizaram-se dando origem as rochas cristalinas. No período de calmaria, a erosão expôs as rochas das camadas mais profundas por um longo tempo.

**Quadro 1. Principais eventos geológicos da bacia do rio Benevente, ES**

Era	Período	Idade (Ma de anos)	Formação	Litologias	Eventos Principais
Cenozóico	Quaternário	0-1,8		Dunas, restingas e cordões litorâneos. Areias, cascalhos e argilas inconsolidadas.	Sedimentos marinhos Aluviões
	Terciário	Neógeno	Grupo Barreiras	Arenitos e sedimentos areno-argilosos com laterização.	Formação do Grupo Barreiras. Soerguimento da Cordilheira dos Andes.
		Paleógeno			Atividades ígneas intrusivas e extrusivas.
Mesozóico	Cretáceo	65-142			Separação entre a América do Sul e a África. Formação do rift valley. Formação das rochas das bacias marginais costeiras.
	Jurássico	142-206			Início do desmantelamento da Pangea.
Paleozóico		248-545			Colisão dos grandes paleocontinentes e conseqüente formação da Pangea.
Pré-Cambriano	Superior	1.000	Suíte Intrusiva Espírito Santo	Granitos pós-tectônicos em geral cinza e de granulação média a fina. Granitos sintectônicos em domínios restritos migmáticos.	As rochas foram submetidas à intensa deformação devido aos esforços progressivos de direção SE-NO e tangenciais. Fusão das rochas sedimentares que se encontravam mais no interior da crosta terrestre. O Estado do Espírito Santo era uma bacia sedimentar entre dois continentes. Intensa atividade tectônica, causando formação de novas rochas. Origem dos invertebrados, das algas, dos fungos.
	Médio	1.800			Primeiras células eucarióticas.
	Inferior	2.500 4.560	Complexo Paraíba do Sul	Rochas enderbíticas a charnockíticas. Gnaisses granitóides de composição granítica a tonalítica. Silimanita-granada gnaisses granitóides.	Primeiras células fotossintetizantes. Formação de compostos orgânicos que originaram a vida e os primeiros seres procarióticos.

Fonte: RADAMBRASIL (1983); Lani et al. (2008).

Os períodos de instabilidade permitiram que as rochas se deslocassem umas em direção às outras gerando falhas. Nesse contexto, rochas foram formadas em diferentes profundidades e com composições químicas distintas. Ao se estabilizarem, ficaram lado a lado resultando em faixas de rochas cristalinas mais ou menos paralelas às costas dos antigos continentes

As rochas Pré-Cambrianas da Província Estrutural Mantiqueira fazem parte de um cinturão de rochas granulíticas em processos policíclicos de rejuvenescimento. O Pré-Cambriano é marcado por dobramentos da crosta terrestre, antecedendo a separação da América do Sul e da África, subdividindo o antigo continente Gondwana. A separação definitiva ocorreu depois de 80 Ma. Esse quadro, assim, configura os eventos sucedidos durante o Pré-Cambriano (Lani et al., 2008).

Na área de separação entre os dois continentes ocorreu um afundamento, formando o que se chama de rift valley, que representava um contínuo entre a bacia do Espírito Santo e a do Congo (Cretáceo Inferior ao Pós-Mioceno). Este, posteriormente, começou a ser preenchido por sedimentos que originaram as rochas das bacias marginais costeiras importantes na gênese do petróleo. Atividades ígneas intrusivas e extrusivas ocorreram nessa época (Paleógeno).

Nos períodos de relativa calma a área esteve sujeita a ação erosiva e atuação da pedogênese que expôs as rochas que se encontravam nas camadas mais profundas o que permitiu que rochas cristalinas fossem erodidas, quase no mesmo nível, dando origem às superfícies de aplainamento extensas, conhecidas como pediplanos. Durante o período glacial, época mais fria e mais seca, o mar se encontrava num nível mais baixo. A água, que até então estava num nível mais alto, agora se encontrava concentrada na forma de imensas calotas de gelo. Esse evento propiciou a formação de solos muito profundos que, sob essas condições mais secas, sofreram erosão. Tal fato permitiu que houvesse uma grande deposição de sedimentos que atingiu uma área extensa do relevo acidentado, cobrindo parcialmente as rochas cretáceas da bacia do Espírito Santo dando origem ao Grupo Barreiras (Terciário - Neógeno). O material do Grupo Barreiras é muito pobre em nutrientes, haja vista que são sedimentos originados de antigos solos (também pobres) que foram erodidos.

Durante o período interglacial, temperaturas mais elevadas permitiram que o nível do mar subisse e entalhasse os sedimentos dos tabuleiros, formando as escarpas ou falésias. Posteriormente, o nível do mar baixou novamente e atingiu um nível significativamente baixo o que levou a formação de vales profundos nos sedimentos do Grupo Barreiras.

O processo de deposição dos sedimentos Quaternários data do Pleistoceno e se encontram no interior do continente, sendo que o depósito mais recente é datado do Holoceno (situados na faixa costeira). As planícies costeiras, formadas nesse período, caracterizam-se pelo relevo plano, com solos desde arenosos e profundos até Gleissolos e Organossolos formados em condições de alagamento permanente ou temporário. Os sedimentos depositados pelos rios, nesse período, formaram os Aluviais, denominados de Neossolos Flúvicos (EMBRAPA, 2006).

### **3.3. Geomorfologia**

A área apresenta diversas unidades geomorfológicas tais como: Tabuleiros e Planícies Costeiras, Colinas e Maciços Costeiros caracterizados por reduzidos valores altimétricos. Compreendem colinas côncavo-convexas, serras e maciços litorâneos. A oeste da unidade Colinas e Maciços Costeiros ocorrem os Patamares Escalonados do Sul Capixaba, caracterizado por um elevado bloco assinalado pela presença de vales ou sulcos estruturais e encostas marcadas por falhamentos em quase toda a sua extensão. No litoral há a presença de pontões e inselberg. Na região serrana os rios são encaixados e, em geral, possuem leitos pedregosos e encachoeirados. Compreende parte da Mantiqueira Setentrional, onde se observa grande diversidade de ambientes que se constituem em refúgios para diversas espécies vegetais da Mata Atlântica (RADAMBRASIL, 1983).

### **3.4. Relevo**

Duas unidades geomorfológicas são características da área de estudo (Quadro 2): o relevo serrano, que chega a atingir altitudes superiores a 1.000 m e as baixadas litorâneas. A primeira apresenta áreas com diferentes graus de

dissecação desde fraco à fortemente dissecado, formado por rochas cristalinas que compõem o Escudo Cristalino Brasileiro e sedimentos do Grupo Barreiras (EMBRAPA, 1978; RADAMBRASIL, 1983). Já a segunda, pelas áreas de planícies.

**Quadro 2. Características das unidades geomorfológicas da bacia do rio Benevente, ES**

Unidade Geomorfológica e Processos de Formação	Características
Planícies Litorâneas (Formas de Acumulação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracteriza-se pelo relevo plano e drenagem deficiente, com formação de região pantanosa flúvio-lacustre.</li> <li>• Presença de formações arenosas extensas no litoral o que lhe confere formato retilíneo.</li> <li>• Planícies fluviais: áreas que abrangem planícies e terraços fluviais e flúvio-lacustres situadas em áreas de declives &lt; 4%.</li> <li>• Planícies marinhas: abrangem as planícies e terraços marinhos e flúvio-marinhos.</li> </ul>
Planaltos Dissecados (Formas de Dissecação)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presença de chapadões Terciários.</li> <li>• Observam-se as formas arredondadas do relevo (formato de meia-laranja) já significativamente alteradas em alguns locais. Essas formas são modificadas, principalmente, por um processo de ravinamento.</li> <li>• Presença de vales em forma de V nos relevos mais acidentados e nos tabuleiros vales em forma de U.</li> </ul>

**Fonte: EMBRAPA (1978); RADAMBRASIL (1983); Lani et al. (2008).**

As planícies litorâneas são formações Quaternárias resultantes de sedimentos depositados pelo mar ou pelos aluviões continentais depositados pelos rios. Caracterizam-se pelo seu relevo plano que devem sua forma às formações arenosas extensas. Estas, contudo, não assumem forma expressiva na Bacia.

**3.5. Solos**

De forma genérica, os solos predominantes na parte superior da Bacia são os Cambissolos Háplicos associados aos Afloramentos Rochosos com relevo montanhoso e escarpado. Esses solos são de fertilidade natural baixa (álícos ou distróficos), entretanto são os mais utilizados para o plantio de lavouras brancas (milho, feijão, etc.) e a banana, além do café arábica na parte superior e o conilon na parte inferior. Os Cambissolos latossólicos associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos também se encontram na parte superior da Bacia. Os

Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam boas condições físicas para o desenvolvimento das plantas, embora o relevo seja limitante e possuem baixa fertilidade natural (distróficos ou álicos). Na parte inferior das vertentes pode ocorrer os Argissolos Vermelho-Amarelos e como os demais são de baixa fertilidade. Observam-se também, ao longo dos rios a montante das cachoeiras, pequenas áreas de Aluviais (Neossolos Flúvicos) e Gleissolos Háplicos. Esses solos ocorrem nos vales mais amplos constituindo os chamados alvéolos devido às cachoeiras ou qualquer outro impedimento a energia dos córregos e rios.

Os Latossolos Amarelos (Grupo Barreiras) estão distribuídos nas áreas dos Tabuleiros Costeiros (parte média e baixa da Bacia) e são caracterizados pela pedoforma convexo-convexa com distintos graus de dissecação e alta coesão do horizonte subsuperficial. Nos terços inferiores das encostas há também a presença de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Ocorrem também, nesse ambiente, ao longo dos rios e nos vales inundados, os Aluviais (Neossolos Flúvicos) e Gleissolos Háplicos. Esses últimos ocupam áreas mais expressivas da Bacia do que na parte superior.

Próximo ao litoral, em razão da influência marinha, há a ocorrência de Gleissolos e Organossolos com ou sem tiomorfismo nos fundos dos vales (EMBRAPA, 1978; RADAMBRASIL, 1983; Nascimento, 2004).

### **3.6. Vegetação**

As formações vegetacionais são compostas pela Floresta Ombrófila Densa e Áreas de Formações Pioneiras que apresentam características peculiares (Quadro 3) e variam de acordo com o tipo de solo, clima, relevo, entre outros (EMBRAPA, 1978; RADAMBRASIL, 1983). Percebeu-se na região da Bacia a ocorrência de intenso desmatamento que cedeu lugar a áreas de pastagens, onde é comum a presença do capim-gordura (*Melinis minutiflora*), intercalado por vegetação secundária e áreas de reflorestamento de eucalipto, dentre outros tipos de cultura. Há na Bacia, também, intenso uso com café (arábica e canephora) e banana. Os remanescentes florestais encontram-se localizados em áreas de difícil acesso para o uso de culturas.

### Quadro 3. Características das formações vegetacionais da bacia do rio Benenvente, ES

Classe de Formação	Subgrupo de Formação	Características
Floresta Ombrófila Densa	Floresta Montana	<ul style="list-style-type: none"><li>• Associada a relevo fortemente dissecado e de difícil acesso;</li><li>• Vegetação secundária sem palmeiras;</li><li>• Reflorestamento, eucalipto;</li><li>• Agricultura, culturas permanentes;</li><li>• Pastagens, em sua maioria, <i>Brachiaria decumbens</i>.</li></ul>
Área das Formações Pioneiras	Influência Flúvio Marinha Arbórea (Mangue)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Representam os ambientes halófilos da desembocadura dos cursos da água do mar;</li><li>• Vegetação do tipo arbórea ou herbácea;</li><li>• Os solos de textura limosa ou mesmo argilosa proporcionam o desenvolvimento de uma vegetação arbórea especializada: o mangue;</li><li>• Presença dos gêneros <i>Rhizophora</i> e <i>Avicenia</i>, nas partes permanentemente alagadas e <i>Laguncularia</i> que cresce nos locais só atingidos pela preamar.</li></ul>

Fonte: RADAMBRASIL (1983).

## 3.7. Clima

### 3.7.1. Temperatura

O relevo, que induz a uma variação altimétrica acentuada, e a proximidade do Oceano Atlântico influenciam diretamente no clima da Bacia. Há um gradiente de altas precipitações pluviométricas que vai da parte litorânea em sentido a parte superior. Em direção as maiores altitudes observa-se a diminuição da temperatura acompanhada pelo aumento da umidade relativa do ar.

De forma geral, o clima predominante na parte superior da Bacia, de acordo com a classificação de Köppen, é o Tropical Úmido de Altitude, com influência marcante do relevo e da exposição das serras, nas proximidades da nascente. O Tropical Úmido Típico é dominante nas faixas litorâneas.

A temperatura média anual decresce de 24° C na foz a 22° C nas cabeceiras (parte superior). A umidade relativa média anual cresce na mesma direção de 79% a 83% e a evaporação anual decresce de 1.000 a 900 mm, ainda na mesma direção (IEMA, 2008).

### **3.7.2. Aspectos Pluviométricos**

O índice pluviométrico é bastante considerável para a região, com aumento regular de sudeste para noroeste, ou seja, da foz em direção às cabeceiras, oscilando entre 1.200 mm anuais até 1.700 mm da parte baixa até a parte média da Bacia e podendo chegar até 2.000 mm na parte alta. Daí decresce levemente até o extremo noroeste onde apresenta, em geral, cerca de 1.500 mm (IEMA, 2008; ANA, 2009).

A época chuvosa é o verão (outubro a março) e a seca o inverno (maio a setembro). Mas, à medida que se avança para a parte superior (cabeceiras), a estação seca diminui a ponto de, na metade superior da Bacia, quase não haver período seco propriamente dito, devido às chuvas orográficas que ocorrem na parte alta da Bacia durante todo o ano (ANA, 2009).

### **3.8. Hidrografia**

Os principais afluentes da bacia do rio Benevente são os rios Salinas, Corindiba, Grande, Santa Maria, Maravilha, Iiritimirim, Batatal, Crubixá, Caco de Pote, Joéba, Pongal, além dos córregos Redentor, Arerá, São Bento, Pedra, Cedro, Rio Novo de Matilde e Ferradura e do ribeirão São Joaquim.

Os cursos d'água tendem a seguir a direção sudeste acompanhando uma inclinação natural dos sedimentos do Grupo Barreiras nos Tabuleiros Costeiros (área de maior expressão entre a BR 101 e o litoral). Não é, contudo, uma região bem servida por água como a serrana, pois apresenta baixa densidade de drenagem. O lençol freático mostra-se relativamente elevado o que propicia um aumento da perda de água por evapotranspiração na época seca. A forma do leito dos rios (fundo chato dos vales), que chama a atenção pela largura das várzeas e a pouca expressividade dos rios, também proporcionam essa perda. Os cursos maiores que existem nessa área são advindos das partes mais acidentadas do relevo, de condições mais pluviosas e com solos mais porosos. Na região litorânea os rios buscam diretamente o mar (Lani et al., 2008). A bacia do rio Benevente é de domínio Estadual e de significativa beleza cênica atribuída à presença de diversos pontões rochosos e às suas cachoeiras. Uma das mais famosas se encontra em Alfredo Chaves (cachoeira Engenheiro Reeve).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Caracterização Morfométrica da Bacia do Rio Benevente**

#### **4.1.1. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC)**

A partir da base de dados da área da bacia do rio Benevente (disponibilizada pelo IEMA – ES) procedeu-se à elaboração do Modelo Digital de Elevação da Bacia (MDE), com resolução de 10 x 10 m que foi gerado via interpolação de curvas de nível (de 20 em 20 m), originalmente na escala de 1:50.000, e o pré-processamento da drenagem gerada por meio da hidrografia na escala de 1:50.000.

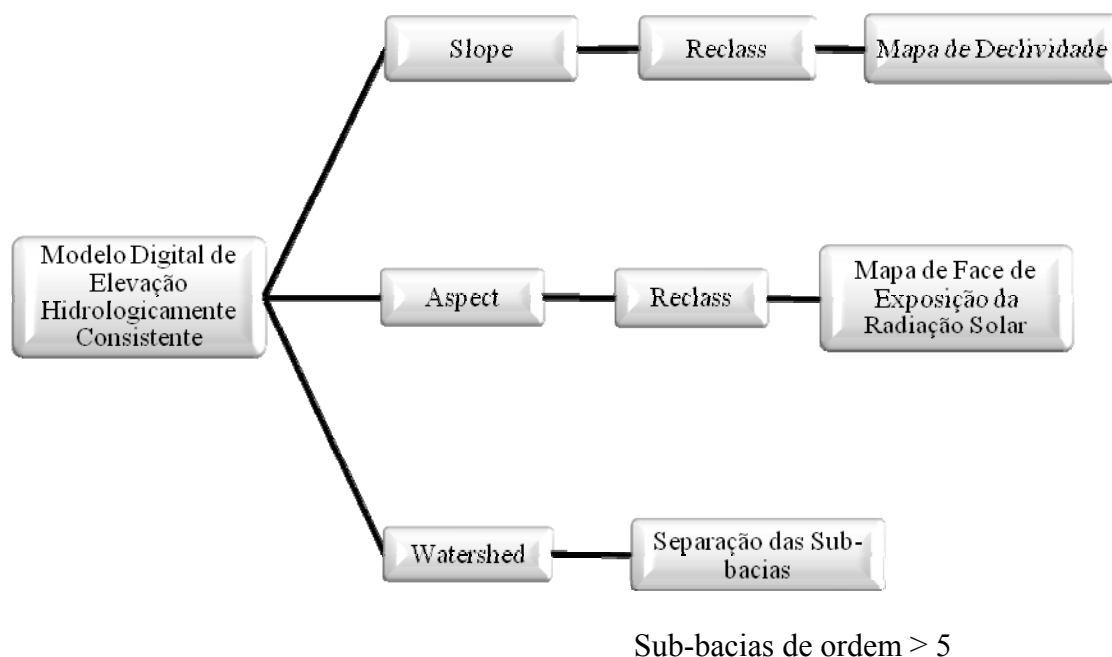
Arquivos individuais na escala de 1:50.000 foram gerados contendo: os limites da área da Bacia, a hidrografia mapeada conectada e orientada no sentido do escoamento superficial e os dados de altimetria discriminados em curvas de nível e pontos cotados. A elaboração do MDE foi realizada utilizando-se como algoritmo de interpolação o *TOPO TO RASTER* do software ArcGis 9.2.

As depressões espúrias, ou seja, células de menor valor cercadas por outras com maiores valores de elevação, remanescentes ou que foram introduzidas no MDE foram removidas garantindo a consistência do escoamento superficial ao longo da rede de drenagem, obtida de forma que o MDE se tornasse Hidrologicamente Consistente (Baena et al., 2004). Como na parte próxima à foz há significativa área plana, fez-se necessário o aprofundamento da rede de drenagem, para que os rios tendessem a seguir sua orientação correta, que no caso das regiões mais elevadas é facilitado devido ao forte controle estrutural que confere ao rio curvas características que se encaixam, consideravelmente, na

paisagem. Assim, obteve-se como produto o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

A partir do MDEHC foi procedida a subdivisão da bacia do rio Benevente em sub-bacias para efeitos de comparação, haja vista a sua extensa área. As sub-bacias foram separadas utilizando-se a função *watershed* do ArcGis 9.2 (Figura 2). Para isso, foram agrupadas sob uma mesma denominação sub-bacias de ordem de drenagem  $\geq 5$ . Nessa análise, os tributários que representavam canais menores que 100 m não foram incorporados nessa agregação, porque poderiam induzir a um maior número de ordem de drenagem.

A base de dados e as análises foram geradas utilizando o sistema de informações geográficas (SIG), por meio do software ArcGis 9.2 e a extensão *ArcHydro Tools*, desenvolvidos pela *Environmental System Research Institute – ESRI*.



**Figura 2.** Fluxograma referente às operações envolvidas na elaboração dos mapas de declividade, face de exposição da radiação solar e sub-bacias do rio Benevente, ES.

#### 4.1.2. Declividade e Altitude

O Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) foi utilizado como entrada para a elaboração dos mapas de declividade e altitude. As classes de declividade foram separadas e reclassificadas em seis intervalos distintos (Quadro 4).

**Quadro 4. Classificação da declividade adotada para a separação dos diferentes tipos de relevo da bacia do rio Benevente, ES**

Declividade	Discriminação
%	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

**Fonte: EMBRAPA (1979).**

#### 4.1.3. Faces de Exposição da Radiação Solar

O cálculo da face de exposição da radiação solar da Bacia foi efetuado a partir do MDEHC, sendo este o tema de entrada. A orientação do terreno foi dividida em seis classes, Norte ( $0^\circ - 45^\circ$ ;  $315^\circ - 360^\circ$ ), Leste ( $45^\circ - 135^\circ$ ), Sul ( $135^\circ - 225^\circ$ ), Oeste ( $225^\circ - 315^\circ$ ) e as áreas planas ( $-1^\circ$  a  $0^\circ$ ) com declividade  $\leq 10\%$ , que não apresentam orientação geográfica preferencial.

#### 4.1.4. Morfometria da Bacia do Rio Benevente

De posse da delimitação da área da Bacia, foram obtidas diferentes características físicas, como: área, perímetro, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, declividade, altitude e faces de exposição da radiação solar.

#### 4.1.4.1. Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. De acordo com Villela & Mattos (1975), esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. O  $K_c$  foi determinado com base na seguinte equação:

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Sendo:

$K_c$  = Coeficiente de compacidade

$P$  = Perímetro (km)

$A$  = Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

#### 4.1.4.2. Fator de Forma

O fator de forma é referente à forma da bacia como a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão).

A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Segundo Villela & Mattos (1975), uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchente que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. O fator de forma ( $F$ ) foi determinado, utilizando-se a seguinte equação:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Sendo:

F = Fator de forma

A = Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

L = Comprimento do eixo da bacia (km).

#### 4.1.4.3. Índice de Circularidade

O índice de circularidade (IC), preconizado por V. C. Miller (Rocha, 1997), tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada. Para isso, utilizou-se a seguinte equação:

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2}$$

Sendo:

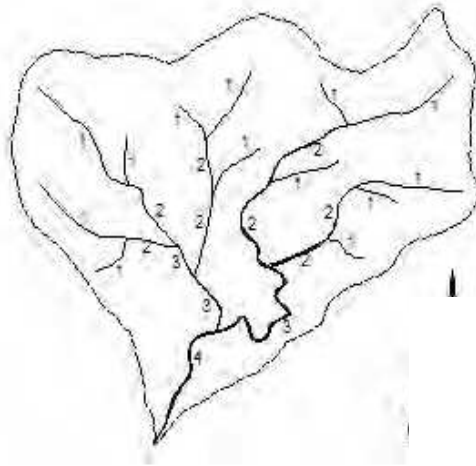
IC = Índice de circularidade

A = Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

P = Perímetro (km).

#### 4.1.4.4. Ordem dos Cursos D'águas

A categorização dos cursos d'água foi baseada na classificação apresentada por Strahler (Christofoletti, 2006), em que os canais de primeira ordem não apresentam tributários. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente (Silveira, 2001). A junção de um canal de dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste (Figura 3).



**Figura 3. Classificação hierárquica da rede de drenagem conforme Strahler (Christofolletti, 2006).**

#### **4.1.4.5. Densidade de Drenagem**

O sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem. O índice foi determinado segundo a equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Sendo:

Dd = Densidade de drenagem (km km<sup>-2</sup>)

Lt = comprimento total de todos os canais (km)

A = Área de drenagem (km<sup>2</sup>)

#### **4.1.4.6. Declividade Média**

A declividade média determina a maior ou menor velocidade de escoamento superficial da água e está relacionada com a magnitude dos picos de enchentes e de infiltração, ao maior ou menor grau de erosão associada a cobertura vegetal, ao tipo de solo e ao seu uso e ocupação. A declividade média foi obtida com a ferramenta *Zonal Statistic as Table* do ArcGis 9.2.

## **4.2. Caracterização e Mapeamento dos Solos da Bacia do Rio Benevente**

A área da bacia do rio Benevente foi, previamente, avaliada por meio da análise do MDEHC e de ortofotos (escala 1:15.000), no intuito de nortear o trabalho de mapeamento de solos. A região foi percorrida para a visualização das principais classes de solos, sua distribuição na paisagem e o seu inter-relacionamento. Após a caracterização das diferentes unidades de mapeamento foram abertos 9 perfis para a descrição morfológica de seus respectivos horizontes (Santos et al., 2005) e coleta de amostras para a caracterização analítica. Os 9 (nove) perfis escolhidos são representativos das principais classes de solos identificadas na Bacia (Quadro 5).

O material de solo coletado foi acondicionado em sacolas plásticas, posteriormente destorroado, seco ao ar e passado em peneiras de 2 mm, para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e submetidas às análises físicas, químicas e mineralógicas.

O mapa de solos foi elaborado na escala de 1:50.000 a partir das análises das ortofotos (1:15.000), MDE, descrição de perfis de solos e coleta de amostras extras (seção de controle). Observações de campo também foram consideradas, com o intuito de identificar as classes de solos pela morfologia, sendo esses pontos georreferenciados. Apesar da escala ser grande, o nível de detalhamento não é muito elevado.

A partir da avaliação do mapa de solos, ortofotos e MDE, procedeu-se à elaboração do mapa de geoambientes, na escala de 1:50.000, com base nas características pedo-geomorfológicas apresentadas pelos ambientes estratificados.

## **4.3. Análises Físicas**

Foram realizadas as seguintes análises: textura, densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), microporosidade, porosidade total e macroporosidade. As metodologias de análise sem citação bibliográfica seguem as recomendações indicadas em EMBRAPA (1997).

**Quadro 5 . Localização dos Principais Perfis de Solos Amostrados na Bacia do Rio Benevente, ES**

Número	Classe	Coordenada		Altitude (m)	Geoambiente	Observações Gerais
		Latitude Sul	Longitude Oeste			
1	Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico A moderado textura franco arenosa	20° 27,134'	40° 41,509'	605	Serras	Uso atual: pastagem com capim Pernambuco ( <i>Paspalum sp.</i> ).
2	Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico A moderado típico textura arenosa	20° 27,201'	40° 41,557'	609	Serras	Provenientes do quartzito e são utilizadas como saibro.
3	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa	20° 32,944'	40° 42,256'	391	Serras	Plantio de eucalipto com 4 meses, antes era pastagem. Terço superior da encosta.
4	Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa	20° 32,933'	40° 41,150'	376	Serras	Em volta, presença de pedregosidade e rochiosidade, todavia no perfil não foi observado.
5	Latossolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado textura muito argilosa	20° 48,384'	40° 40,684'	47	Planícies Costeiras	Horizonte C com presença de concreções ferruginosas. Extremamente coeso e endurecido. Concreções muito duras como se fossem mosqueados, mas quebrável pela força.
6	Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico A moderado textura franco argilo arenosa	20° 38,094'	40° 44,728'	12	Tabuleiros Dissecados	
7	Argissolo Vermelho-Amarelo Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa	20° 35,534'	40° 47,954'	340	Serras	Encontra-se no terço inferior da encosta. Presença de minhocas no horizonte A.
8	Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura argilosa	20° 48,389'	40 39,388'	13	Planícies Costeiras	Próximo ao mar (cidade de Anchieta).
9	Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico textura argilo arenosa	20° 36,232'	40° 50,601'	497	Serras	

#### **4.3.1. Textura**

Ao conteúdo de 10 g de TFSA de cada uma das amostras coletadas, foi adicionado a solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, agitadas, posteriormente, em rotação de 50 rpm por 16 horas. A fração areia grossa foi separada por peneira de malha de 0,2 mm e a fração areia fina por peneira de malha 0,053 mm. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a fração silte por diferença (Ruiz, 2005a; 2005b).

#### **4.3.2. Densidade do Solo (Ds)**

A densidade dos solos foi determinada com a utilização do método do anel volumétrico. O solo foi retirado do anel volumétrico e passado para um recipiente previamente pesado. Os recipientes foram levados à estufa por 48 horas a 100 – 105 °C, para posterior pesagem e determinação da massa de solo. Após a determinação do volume de cada anel volumétrico, foi calculada a densidade dos solos.

#### **4.3.3. Densidade de Partículas (Dp)**

Foram utilizadas 20 g de solo seco em estufa a 100 - 105 °C por 48 horas. Em seguida as amostras foram acondicionadas em balão volumétrico aferido de 50 mL. Adicionou-se álcool etílico e o balão foi agitado para eliminar as bolhas de ar até completar o volume do balão. Por diferença obteve-se o volume da parte sólida que, juntamente com a massa de sólidos, permitiram o cálculo da densidade de partículas.

#### **4.3.4. Argila Dispersa em Água (ADA)**

A determinação do teor de argila dispersa em água foi realizada por meio da dispersão de 10 g de TFSA com água pelo método da pipeta. As amostras foram acondicionadas em garrafas PET contendo 200 mL de água e, posteriormente, agitadas em rotação de 50 rpm por 16 horas, passadas para proveta de 500 mL e completado o volume (Ruiz, 2005a). Decorrido o tempo

calculado (Lei de Stokes) foi pipetado 25 mL e passado para um béquer previamente tarado que, posteriormente foi levado a estufa a 100 - 105 °C por 48 horas. Após 48 horas o béquer foi pesado e determinado a massa da argila.

#### **4.3.5. Grau de Flocculação (GF)**

O Grau de flocculação foi calculado a partir da relação entre a argila dispersa em água (ADA) e a argila total (AT) obtida após dispersão com a seguinte expressão:

$$GF = \frac{AT - ADA}{AT} \times 100$$

#### **4.3.6. Porosidade Total (PT)**

A porosidade total foi calculada a partir dos valores de densidade do solo ( $D_s$ ) e de partículas ( $D_p$ ) pela expressão:

$$PT = 1 - \frac{D_s}{D_p}$$

#### **4.3.7. Microporosidade e Macroporosidade**

Os anéis, com as amostras indeformadas dos solos, foram transferidos para a mesa de tensão preparada para trabalhar com tensão de 60 cm de coluna d'água. Após 48 horas, o conteúdo dos cilindros foi transferido para recipientes e todo o conjunto pesado. Posteriormente, o conteúdo foi levado para a estufa a 100 - 105 °C por 48 horas, decorrido esse tempo ele foi pesado novamente e a microporosidade determinada. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

## **4.4. Análises Químicas**

### **4.4.1. Análise Química do Solo (Rotina)**

Foram realizadas as análises químicas de rotina, conforme se segue: pH em H<sub>2</sub>O e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, com relação solo-solução 1:2,5; fósforo extraído com solução Mehlich 1 e determinado por colorimetria; potássio extraído com solução Mehlich 1 e determinado por fotometria de emissão de chama; cálcio e magnésio extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, determinados por absorção atômica; alumínio trocável extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> (Defelipo & Ribeiro, 1997); acidez potencial (H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>) extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> com pH ajustado a 7,0 e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> e carbono orgânico determinado pelo método Walkley-Black. As metodologias de análise sem citação bibliográfica seguem as recomendações indicadas em EMBRAPA (1997).

### **4.4.2. Fósforo Remanescente**

Foi determinado na solução de equilíbrio após agitação de 5 g de TFSA por uma hora com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de fósforo (Alvarez et al., 2000).

## **4.5. Análise Mineralógica**

Procedeu-se à oxidação da matéria orgânica das amostras de TFSA em contato com a solução de hipoclorito de sódio a 10% em pH 9,5. Em seguida, foi realizada a dispersão das amostras isentas de matéria orgânica para posterior separação de suas frações. A areia foi obtida pelo material retido em peneira de 0,05 mm. A suspensão resultante foi transferida para garrafas PET de 2,0 L (marcado nas profundidades de 10 e 15 cm), completando-se o volume com água a pH 10 para a obtenção de silte e argila. Posteriormente, foi feita a remoção de ferro, por meio da solução de citrato de sódio (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> · 2H<sub>2</sub>O) 0,2 mol L<sup>-1</sup> e ditionito de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) a pH 4,8.

Amostras de areia, silte e da fração argila desferrificada (lâmina com argila orientada) foram submetidas à análise de Raios-X, segundo o método de difração proposto por Jackson (1956). Os difratogramas foram obtidos por meio da radiação monocromática de  $K\alpha$ -Cobalto e filtro de níquel, no intervalo de 0 a  $50^\circ 2\theta$ . Os difratogramas foram interpretados de acordo com Chen (1977), Brindley & Brown (1980) e Resende et al. (2005).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Caracterização Geral dos Geoambientes da Bacia do Rio Benevente**

A bacia do rio Benevente está inserida em uma área de significativa beleza cênica, proporcionada pela combinação de diferentes fatores ambientais como altas precipitações, temperatura, Afloramentos Rochosos (ocorrência de vários pontões rochosos), nascentes, cachoeiras, cobertura vegetal, solos, com presença marcante de diferentes estratos ambientais. Do ponto de vista humano, caracteriza-se por uma heterogeneidade advinda da colonização européia, principalmente, de imigrantes italianos.

Apresenta diferenciação altimétrica significativa, de 0 m a nível do mar até, aproximadamente, 1.600 m na região serrana. Assim como a altimetria, o relevo apresenta acentuadas variações desde planos até escarpados. Da mesma forma, os solos também apresentam diversidades, com Latossolos Vermelho-Amarelos nas pedoformas convexo-convexas, Latossolos Amarelos coesos em relevos mais suaves, Argissolos Vermelho-Amarelos nas pedoformas côncavo-côncavas (terço inferior), Cambissolos Háplicos, em sua maioria, entre rochas e nos sopés dos Afloramentos Rochosos, Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos adjacentes aos cursos d'água. A parte litorânea, próximo à foz do rio Benevente, é assinalada por solos com tiomorfismo (Gleissolos e Organossolos). Essa variação indica a diversidade de ambientes que podem ser encontrados na área.

No domínio do Grupo Barreiras observa-se relevo com distintos graus de dissecação com inserções de ilhas de cristalino. Em direção às cabeceiras de drenagem, próximo ao município de Alfredo Chaves, há presença marcante do embasamento cristalino em que é possível observar os vales em formas de

V (alguns agudos), nos relevos mais acidentados e em formas de U em locais menos declivosos onde normalmente há algum embasamento cristalino que impede a drenagem e leva a formação dos alvéolos.

De acordo com a escala de trabalho e com as observações de campo, foi possível estratificar a bacia do rio Benevente em três macro ambientes (Figura 4), com base nas características pedo-geomorfológicas que distinguem esses geoambientes entre si (Quadro 6), denominados de:

- Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos. Os solos, em sua maioria são distróficos ou álicos e localizam-se em áreas de relevo acidentado montanhoso ou escarpado.
- Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos. No fundo dos vales em forma de U, presença de Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos. Ocorrem também ilhas de cristalino.
- Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos). Há a presença de Gleissolos e Organossolos tiomórficos próximos a foz do rio Benevente.

#### **5.1.1. Serras com Domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos**

O geoambiente Serras é formado por rochas cristalinas (Granito-Gnaiss) que compõem o Escudo Cristalino Brasileiro (RADAMBRASIL, 1983). Caracterizado por um elevado bloco distinto, com presença marcante de vales ou sulcos estruturais e encostas assinaladas por falhamentos em quase toda a sua extensão (EMBRAPA, 1978; RADAMBRASIL, 1983). Distingue-se pelos largos interflúvios representados pela significativa distância entre estes e o talvegue.

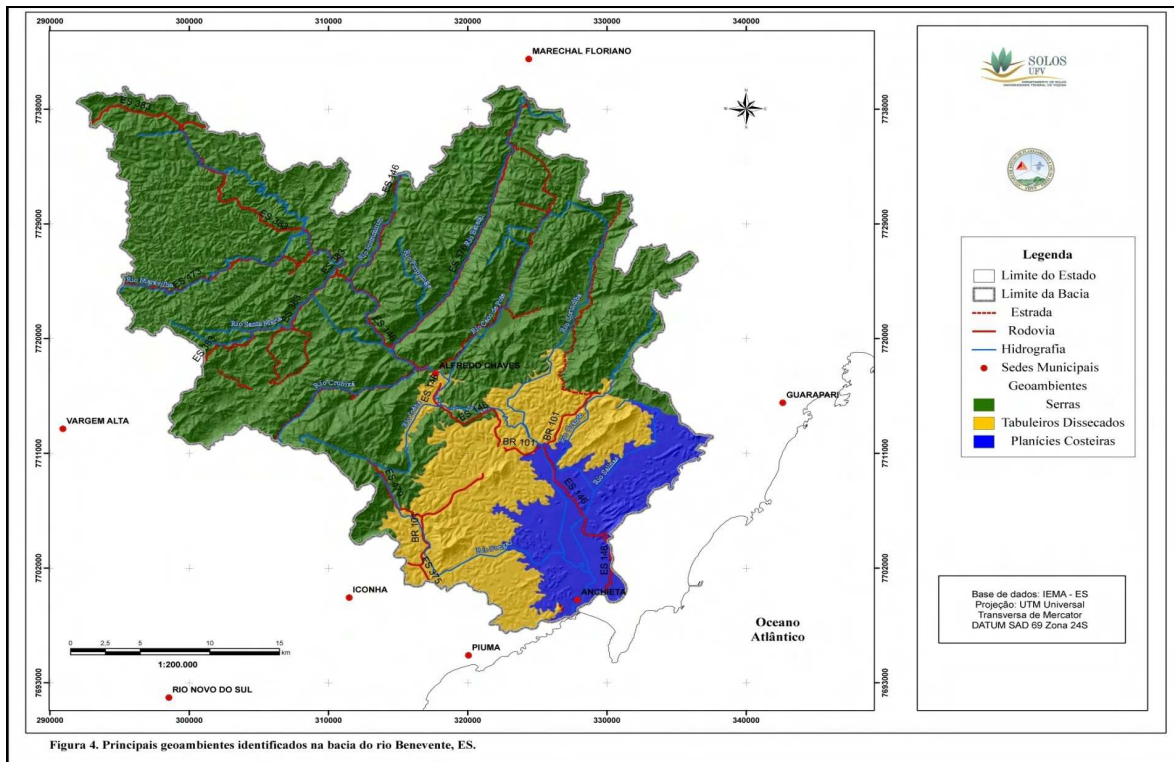


Figura 4. Principais geomorfias identificadas na bacia do rio Benevente, ES.

**Quadro 6. Caracterização geral dos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES**

	<b>Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos</b>	<b>Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos</b>	<b>Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos)</b>
Altitude (m)	100 – 1.589	0 – 500	0 – 300
Relevo	O relevo é acentuado com presença de rochas expostas (Afloramentos Rochosos) e solos com relevo forte ondulado a montanhoso, às vezes até escarpado. Presença de vales encaixados na forma de V, vales suspensos após algumas cachoeiras e vales na forma de U. Isso ocorre mais na parte superior da Bacia. Os vales em forma de U são facilmente perceptíveis pela presença de Gleissolos Háplicos ou Neossolos Flúvicos. A energia dos rios é intensa e há a presença de hidrelétricas.	Variação altimétrica devido às ilhas de cristalino. Relevo forte ondulado com topos suave ondulado. Os rios correm sobre sedimentos e os vales apresentam um fundo chato (soterramento). A erosão laminar nas encostas é intensa e no rio Benevente há grande intensidade da fração areia nas sua bordas. Em alguns vales verificou-se a presença de matacões rolados da parte superior.	Relevo suave ondulado e vales de fundo chato. O rio corre sobre sedimentos e há maior incidência de solos hidromórficos. Cotas altimétricas mais elevadas devido a presença de ilhas de cristalino.
Aspectos geológicos	Rochas Prê-Cambrianas (embasamento cristalino) com o predomínio do gnaiss. Pequenas áreas graníticas. No fundo dos vales suspensos há ocorrência de sedimentos fluviais do Quaternário.	Presença marcante do Grupo Barreiras (Terciário) com ilhas do cristalino (Prê-Cambriano). No fundo dos vales há a presença de sedimentos fluviais do Quaternário.	Presença marcante do Grupo Barreiras com ilhas do cristalino. No fundo dos vales há a presença de sedimentos fluviais do Quaternário.
Processos morfogenéticos	Afloramentos Rochosos que atribui feição mais dissecada à paisagem. Ação do escoamento superficial ativada pela declividade.	Escoamento superficial ativado na estação chuvosa devido à baixa permeabilidade do solo e ausência de vegetação em alguns locais.	Escoamento superficial ativado na estação chuvosa devido à baixa permeabilidade do solo e ausência de vegetação em alguns locais.

Continuação

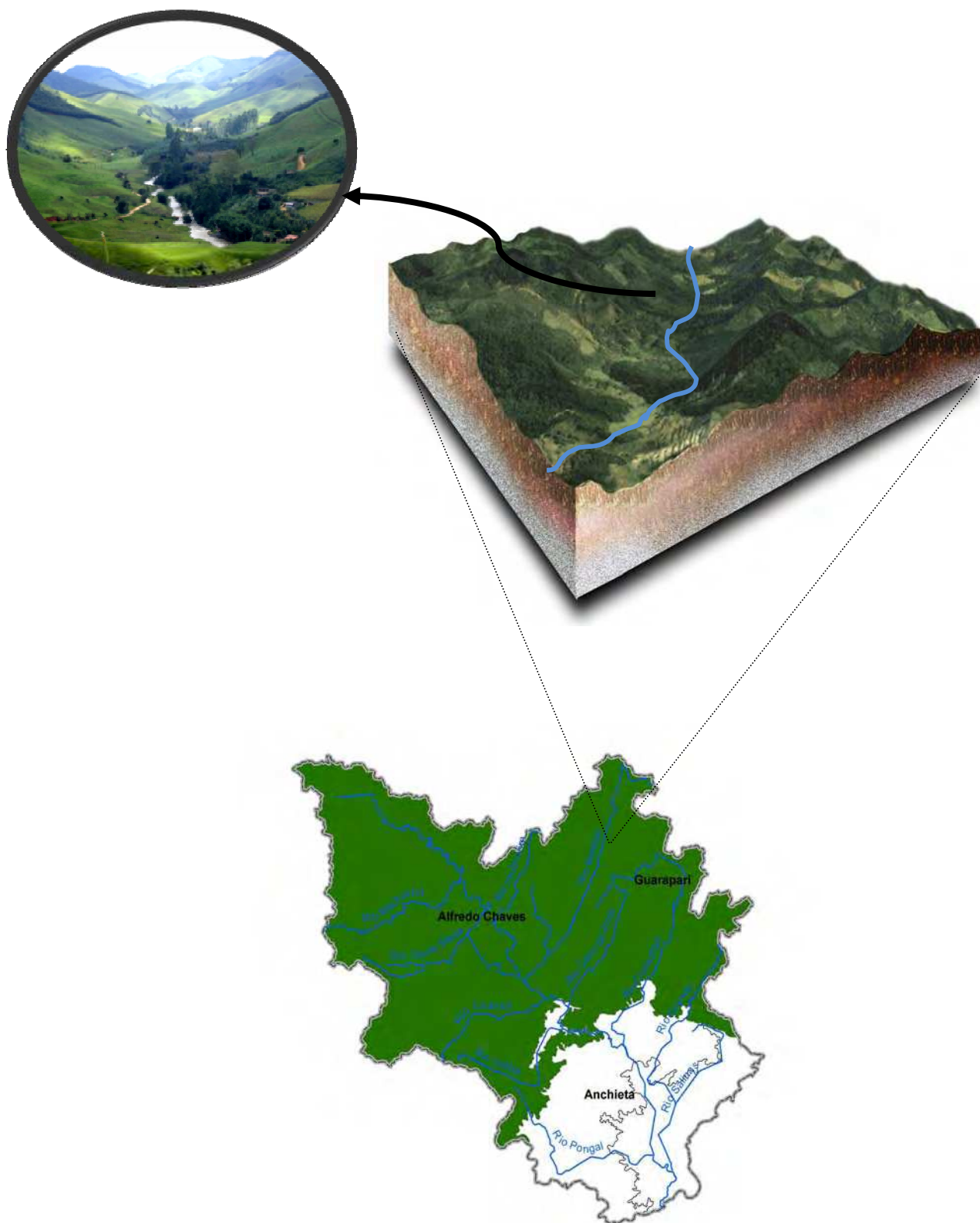
	<b>Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos</b>	<b>Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos</b>	<b>Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos)</b>
Solos	Predomínio dos Cambissolos Háplicos e latossólicos no terço médio e superior da encosta e Latossolos Vermelho-Amarelos nas áreas convexas. Em muitos pontos há presença de Afloramentos Rochosos e Neossolos Litólicos. Os Argissolos Vermelho-Amarelos ocorrem no terço inferior. No fundo dos vales em U ocorrem Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos. Foram identificados na parte superior da Bacia em condições de topo, Neossolos Quartzarênicos (lentes de quartzito).	Na parte superior presença de Latossolos Amarelos, Latossolos Amarelos coesos e nos fundos dos vales Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos. Pode ocorrer em razão da erosão excessiva Argissolos Amarelos. Presença de ilhas do cristalino.	Latossolos Amarelos coesos e algumas manchas de Latossolos Vermelhos coesos (Grupo Barreiras). Ao longo do rio Benevente há a presença de solos hidromórficos com e sem tiomorfismo (Gleissolos e Organossolos) e Neossolos Flúvicos.
Hidrografia	Lençol freático profundo. Drenagem dendrítica com presença de grande quantidade de nascentes. Apresenta leitos pedregosos.	Lençol freático, relativamente, elevado. Baixa densidade de drenagem.	Lençol freático, relativamente, elevado. Baixa densidade de drenagem.
Vegetação natural	Predomínio de Floresta Ombrófila Densa e nos Afloramentos Rochosos, Campos Rupestres. Nas áreas em recuperação, presença marcante do Camará ( <i>Gochnatia polymorpha</i> ).	Predomínio de Floresta Ombrófila Densa e Campos Rupestres nas áreas de Afloramentos Rochosos.	Predomínio de Floresta Ombrófila Densa e Campos Rupestres nas áreas de Afloramentos Rochosos. Próximo a foz do rio Benevente há a ocorrência de mangue (bastante degradado).
Aspectos econômicos	Pastagens naturais e plantadas, plantio de banana, café e, em menor proporção, fruticultura, olericultura, seringueira, eucalipto. Turismo Ecológico.	Pecuária extensiva, plantação de eucalipto, café, cana-de-açúcar.	Pecuária extensiva, café conilon, pesca, exploração de petróleo. Turismo litorâneo.
Alternativas de uso	Grande potencial para o turismo ecológico. Há inúmeros locais com belezas cênicas notáveis (cachoeira Engenheiro Reeve).	No Grupo Barreiras utilizar os topos de morro para plantio e preservar o terço inferior. Nas áreas de várzeas, incentivo à agroecologia. Deve dar prioridade a atividades que protejam bem o solo.	No Grupo Barreiras utilizar os topos de morro para plantio e preservar o terço inferior. Atividades devem proteger bem o solo. Devido à presença do mar, há grande potencial para o turismo litorâneo.

Esse geoambiente apresenta relevo preponderantemente forte ondulado, montanhoso ou, em muitos casos, escarpado, com pedoformas do tipo convexo-convexas (Latosolos Vermelho-Amarelos) e côncavo-côncavas (Argissolos Vermelho-Amarelos) (Figura 5), e predominância dos Cambissolos Háplicos que representam 68,35% da área total do geoambiente Serras, caracterizados pela sua baixa fertilidade natural, sendo álicos ou distróficos (Quadro 7). Os Latossolos Vermelho-Amarelos (14,44%) são distróficos ou álicos e, de modo geral, apresentam boas condições físicas para o desenvolvimento das plantas e possuem baixa fertilidade natural. Em menor extensão nesse geoambiente, ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelos (4,10%), Gleissolos Háplicos, Neossolos Litólicos, Flúvicos e Quartzarênicos (em relevo montanhoso). Observa-se, também, a ocorrência de Gleissolos Háplicos nos vales suspensos após algumas cachoeiras.

Comparado aos outros geoambientes, as Serras apresentam maior diversidade de solos e microambientes. Os solos são caracterizados pelos baixos valores de soma de bases, à exceção do horizonte superior (A) em que estes são um pouco mais elevados, dada a reciclagem de nutrientes e a presença de matéria orgânica. Os solos profundos observados nessas áreas mais elevadas foram formados sob condições bioclimáticas úmidas e quentes (Lani et al., 2008).

Os Latossolos Amarelos coesos não são representativos desse geoambiente, embora possam ser encontrados no limite entre os geoambientes Serras e Tabuleiros Dissecados. Daí a pequena área de Latossolos Amarelos coesos terem sido incorporadas ao primeiro geoambiente.

Os vales, característicos desse geoambiente, distinguem-se pela sua forma encaixada, correspondentes ao nível de base da hidrografia local, onde o embasamento cristalino apresenta-se exposto junto ao leito dos rios. A vegetação natural é composta por mata ciliar e, em alguns pontos, é praticamente inexistente.



**Figura 5. Bloco-diagrama do geoambiente Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos da bacia do rio Benevente, ES. No fundo dos vales, nos alvéolos, ocorrem pequenas áreas de Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos**

**Quadro 7. Distribuição das classes de solos por geoambientes da bacia do rio Benevente, ES**

Classes de Solos	Geoambientes		
	Serras	Tabuleiros Dissecados	Planícies Costeiras
	.....Área (%).....		
LVAd	14,44	0,07	0,00
LAdx	11,66	67,51	46,96
CXbd1 + LVAd	11,43	1,76	0,40
CXbd2 + AR	56,92	12,65	3,10
PVAd	4,10	0,00	0,00
RYbd + GXbd + GJ + OX + OJ	1,45	18,01	49,54

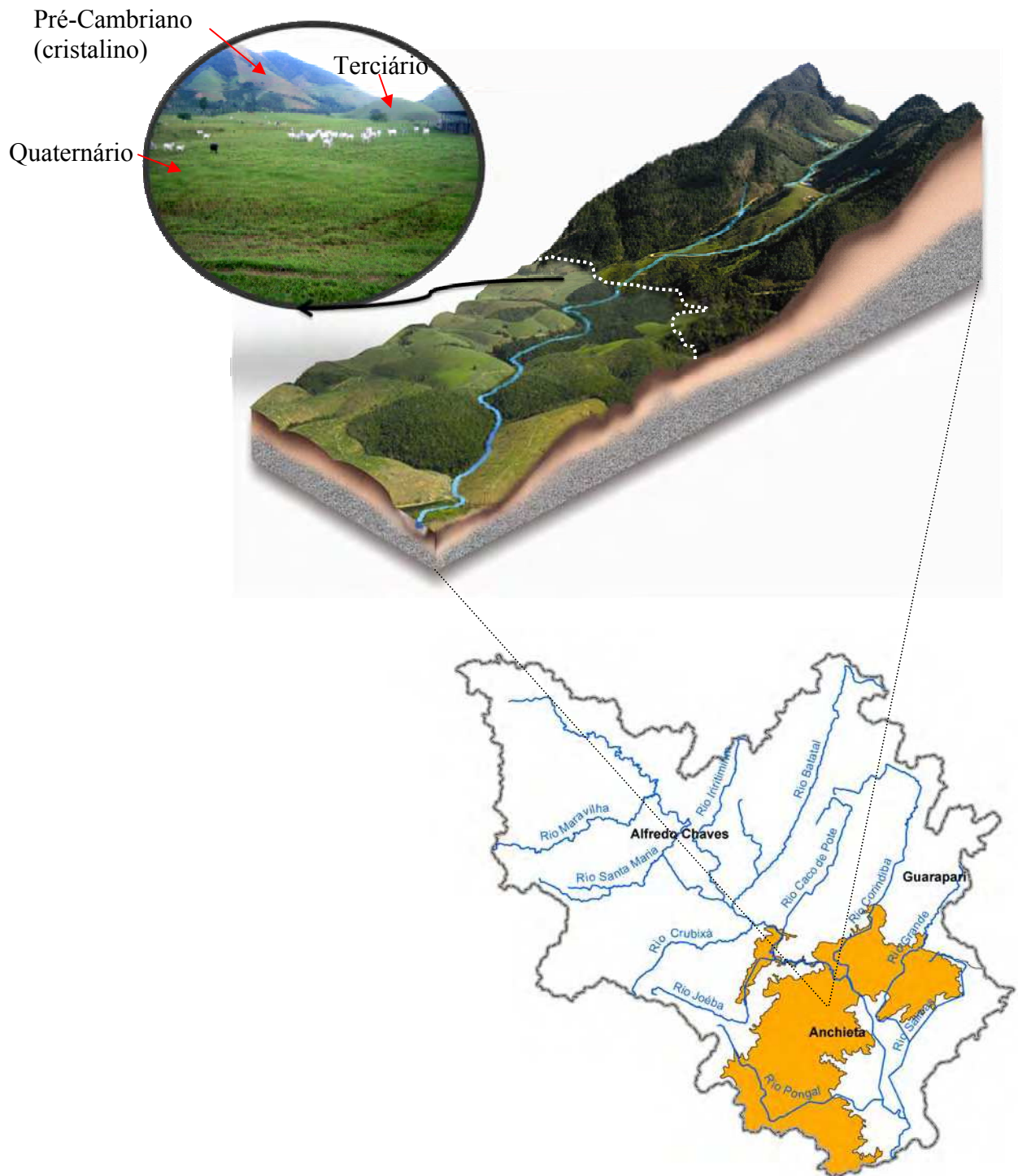
Simbologia: LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico; LAdx: Latossolo Amarelo Distrocoeso típico; CXd1 + LVAd: Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico em associação com o LVAd; CXd2 + AR: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico em associação com os Afloramentos Rochosos; PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico; RYbd + GJ + OX + OJ: Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico + Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico + Gleissolo Tiomórfico + Organossolo Háptico + Organossolo Tiomórfico.

### **5.1.2. Tabuleiros Dissecados com Predomínio dos Latossolos Amarelos Coesos**

Os chapadões do Terciário fortemente dissecados (Grupo Barreiras), que atingem altitudes superiores a 100 m em direção às partes interioranas e terminam de encontro às elevações do cristalino (Figura 6), caracterizam o geoambiente dos Tabuleiros Dissecados. Ao mesmo tempo esses chapadões são inclinados de norte para o sul (EMBRAPA, 1978).

O Grupo Barreiras caracteriza-se por formações de períodos secos relacionadas ao desmonte de antigas superfícies de aplainamento do continente (Bôas et al., 2001; Melo et al., 2002; Lani et al., 2008). Entretanto, sua origem tem sido motivo de muitas discussões. Tradicionalmente, os sedimentos do Grupo Barreiras tem sido considerado como de origem continental, mas trabalhos recentes apontaram evidências de influência marinha, tanto de natureza paleontológica, como sedimentológica (Arai, 2006).

Outra característica inerente a essa área é a diferenciação da forma apresentada pelo Barreiras que se mostra mais dissecada devido à maior ação erosiva do rio que foi capaz de moldar, de maneira significativa, essa paisagem. Nesse geoambiente, o Grupo Barreiras está associado às ilhas de formações do cristalino. Associados ao cristalino ocorrem, por vezes, os Cambissolos Hápticos (microambientes) que são, em sua maioria, utilizados com a cultura da banana.



**Figura 6. Bloco-diagrama indicativo do geoambiente Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos da bacia do rio Benevente, ES em contato com o cristalino na parte superior.**

Os solos mais representativos dos Tabuleiros Dissecados são os Latossolos Amarelos coesos (67,51%) caracterizados por sua pobreza química, com baixa fertilidade natural e alta coesão entre partículas (Ferreira et al., 1999b; Lima, 2004;

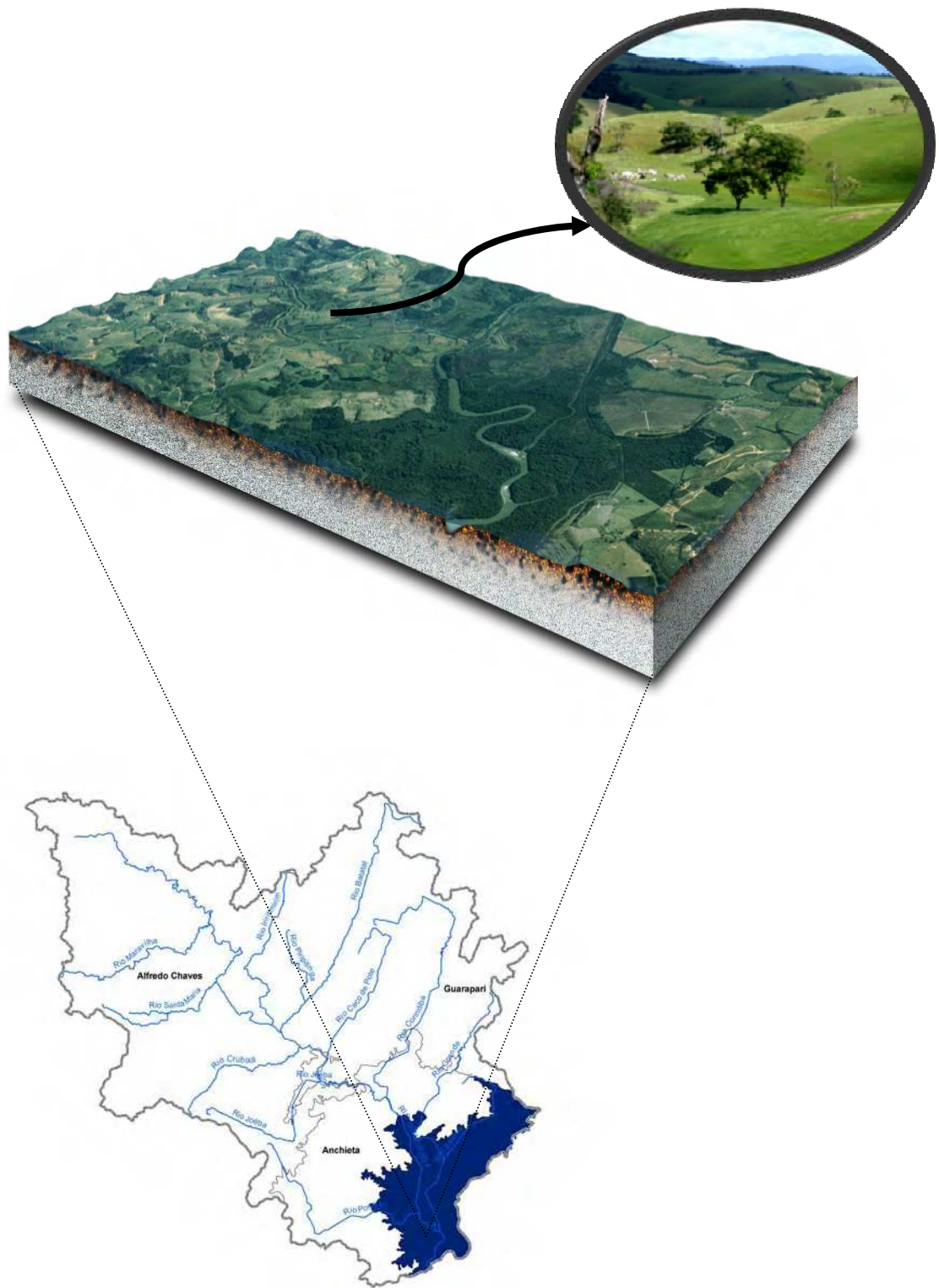
Corrêa, 2005). Outros tipos de solos que também podem ser encontrados na área são os Neossolos Flúvicos associados aos Gleissolos Háplicos (18%) nos fundos dos vales. Estes, por sua vez, estão normalmente localizados em relevos em forma de U, decorrentes da inundação dos fundos dos vales pela elevação do nível do mar.

Os cursos d'água seguem a direção sudeste acompanhando uma inclinação natural do Barreiras. Nos Tabuleiros Dissecados, a densidade de drenagem é menor se comparada às Serras. O rio corre sobre sedimentos e o lençol freático mostra-se relativamente elevado devido à menor espessura dos solos representativos dessa área (comparado aos solos do geoambiente Serras), fato que propicia um aumento da perda de água por evapotranspiração na época seca.

### **5.1.3. Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos Coesos e Solos Hidromórficos (Gleissolos e Organossolos)**

Os sedimentos Terciários, caracterizados pelo Grupo Barreiras e Quaternários datados do Pleistoceno e do Holoceno, depositados pelo mar ou pelos aluviões continentais, consorciados a pequenas ilhas de formações cristalinas, constituem o geoambiente das Planícies Costeiras. O Barreiras chega até as proximidades do litoral onde se apresenta levemente inclinado nessa direção. Esse ambiente é constitutivo por áreas de reduzidos valores altimétricos (Figura 7), onde o Grupo Barreiras mostra-se menos dissecado com altitudes, em geral, em torno de 30 m (EMBRAPA, 1978).

Os solos encontram-se em áreas relativamente planas, com pequenos locais de cotas mais elevadas (afloramentos), com encostas convexas, sem a parte côncava no contato entre as duas pedoformas. São áreas propícias à mecanização, todavia devido a sua susceptibilidade a erosão, não é recomendável a esse tipo de atividade. O adensamento superficial é outra característica inerente aos solos desse geoambiente atribuído à gênese dos Latossolos Amarelos coesos que são os solos peculiares dessa região.



**Figura 7. Bloco-diagrama do geoambiente Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos) da bacia do rio Benevente, ES.**

O acúmulo de materiais sulfídricos sob a influência dos sedimentos marinhos recentes contribui para a formação dos solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos) em ambiente redutor, nas regiões pantanosas das zonas costeiras.

As áreas de mangue são características desse geoambiente, principalmente próximo à foz do rio Benevente, em Anchieta.

## **5.2. Características Físicas, Químicas e Mineralógicas dos Solos Representativos dos Geoambientes Estudados**

### **5.2.1. Caracterização Física**

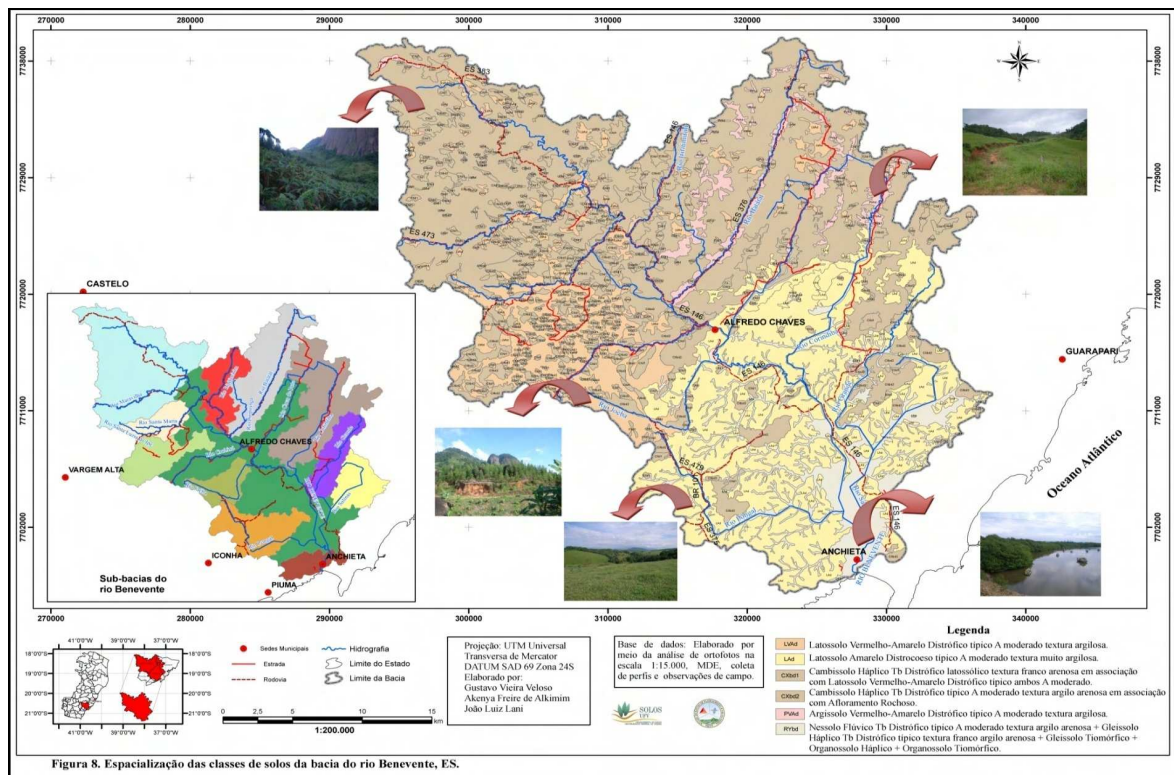
Os Cambissolos Háplicos e latossólicos; Latossolos Vermelho-Amarelos e Amarelos; Argissolos Vermelho-Amarelos; Neossolos Flúvicos, Quartzarênicos e Litólicos, Gleissolos Háplicos e solos com tiomorfismo (Gleissolos e Organossolos) são os principais solos identificados na bacia do rio Benevente (Quadro 8).

As associações dos Neossolos Flúvicos com os Gleissolos Háplicos e Tiomórficos com Organossolos Tiomórficos constituem uma unidade de mapeamento que englobam áreas situadas nas partes mais altas, médias e baixas da Bacia. Na parte alta e média podem ser encontrados Neossolos Flúvicos associados à Gleissolos Háplicos. Na parte baixa, próximo ao litoral, foi verificada associação dos Neossolos Flúvicos com Gleissolos e Organossolos Tiomórficos devido à influência marinha.

Os Cambissolos latossólicos - P1 (Cambissolos Háplicos latossólicos, EMBRAPA, 2006) estão intrinsecamente ligados à erosão dos antigos Latossolos Vermelho-Amarelos. Ocorrem em relevo mais acidentado e estão sujeitos à intensa erosão laminar e, em consequência dela, há a concentração de material mais grosseiro na parte superior do perfil. Apresentam estreito horizonte “Bw” sobreposto a um profundo horizonte C. São solos pouco representativos (Figura 8) e correspondem a 8,76% da área total da Bacia. Caracterizam-se pelos altos teores de areia total, com maior proporção de areia grossa (em média  $770 \text{ g kg}^{-1}$ ), utilizados como saibro para revestimento de estradas (Figura 9).

**Quadro 8. Principais classes de solos e suas características identificadas na bacia do rio Benevente, ES**

Geoambientes	Serras		Neossolos Litólicos	São solos rasos, com horizonte pouco espesso associados às áreas de Afloramentos Rochosos.
		<b>Topo</b>	Neossolos Quartzarênicos	São solos profundos, arenosos, de baixa reserva mineral devido à presença exclusiva do quartzo nas suas frações.
		<b>Terço Superior</b>	Latossolos Vermelho-Amarelos	São bem desenvolvidos do ponto de vista pedogenético, profundos, bem drenados.
		<b>Morros</b>	Cambissolos Hápicos	Caracterizam a classe dos Cambissolos típicos, sendo solos pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético.
			Cambissolos latossólicos	Apesar de apresentar características semelhantes as dos Latossolos enquadram-se na classe dos Cambissolos devido ao horizonte B ser pouco espesso.
		<b>Terço Inferior</b>	Argissolos Vermelho-Amarelos	Solos com B textural, estrutura em blocos subangulares de tamanho pequeno e médio.
	<b>Baixadas (Várzeas)</b>	Neossolos Flúvicos	Solos originados a partir de sedimentos aluviais depositados pelos rios.	
		Gleissolos Hápicos	Solos hidromórficos com horizonte que apresentam cores de gleização, provocadas pelo seu encharcamento temporário ou permanente. Possuem drenagem deficiente.	
	Tabuleiros Dissecados	<b>Morros</b>	Latossolos Amarelos	São caracterizados pela coesão entre as partículas que define o maior adensamento desses solos. Estão associados à deposição de sedimentos das antigas superfícies de aplainamento dos continentes.
		<b>Várzeas</b>	Neossolos Flúvicos	Solos originados a partir de sedimentos aluviais depositados pelos rios.
			Gleissolos Hápicos	Solos hidromórficos com horizonte que apresenta cores de gleização, provocadas pelo seu encharcamento temporário ou permanente. Possuem drenagem deficiente.
	Planícies Costeiras	<b>Morros</b>	Latossolos Amarelos	São caracterizados pela coesão entre as partículas que define o maior adensamento desses solos. Estão associados à deposição de sedimentos das antigas superfícies de aplainamento dos continentes.
			Neossolos Flúvicos	Solos originados a partir de sedimentos aluviais depositados pelos rios.
		<b>Várzeas</b>	Gleissolos Hápicos	Solos hidromórficos com horizonte que apresentam cores de gleização, provocadas pelo seu encharcamento temporário ou permanente.
			Gleissolos Tiomórficos	Solos hidromórficos com presença de materiais ricos em enxofre devido a influência marinha.
Organossolos Hápicos			Solos provenientes do acúmulo de material orgânico em condições de drenagens muito restritas.	
	Organossolos Tiomórficos	Solos hidromórficos permanentemente inundado dos ambientes pantanosos das costas litorâneas, de coloração escura devido ao acúmulo de matéria orgânica e acúmulo de materiais ricos em enxofre devido à influência marinha.		





**Figura 9. Vista geral do Cambissolo latossólico (Cambissolo Háplico latossólico – EMBRAPA, 2006) utilizado como saibro para construção de estradas. Percebe-se a alta profundidade do horizonte C e Cr e a pequena espessura do horizonte “Bw”.**

A existência dessa fração grosseira é atribuída ao material de origem (gnaisse leucocrático) associado às lentes de quartzito que aparecem, por vezes, intercaladas as rochas gnáissicas obedecendo ou não a estrutura geral das mesmas (EMBRAPA, 1978). Acredita-se que a presença do quartzito colaborou para a formação dos Neossolos Quartzarênicos associados aos Cambissolos latossólicos. Apesar dos Cambissolos latossólicos apresentarem características de Latossolos, em razão da baixa profundidade, é classificado como Cambissolos Háplicos.

Os grãos de areia proporcionam maior permeabilidade ao Cambissolo latossólico, ainda assim oferecem significativa susceptibilidade à erosão, devido à grande profundidade do horizonte C que se encontra frequentemente exposto, em razão da forte dissecação da paisagem. São altamente propensos a desmoronamentos e a formação de voçorocas. Recomenda-se, portanto, que os mesmos sejam deixados como área de preservação permanente - Classe 6 no Sistema de Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho et al., 1995) e Classe VIII no Sistema de Capacidade de Uso das Terras (Lepsch et al., 1991). Sugere-se também que seja evitada a exposição do horizonte C desses solos na abertura das estradas, o que incrementa sua instabilidade e favorecem deslizamentos, tornando

esses solos os maiores produtores de sedimentos que irão assorear os rios e córregos a jusante.

O Cambissolo latossólico possui maior estabilidade dos agregados, mesmo tendo textura mais arenosa, quando comparado ao Cambissolo Háplico (P4), conforme indicam os maiores valores de argila dispersa em água e menor grau de floculação apresentado por esse último. Ao contrário do Cambissolo latossólico, o Cambissolo Háplico apresenta maiores teores de argila, sendo enquadrados na classe textural dos argilo arenosos e caracteriza-se pela sua maior representatividade dentro da Bacia, por ocupar área de 44,37% (Quadro 9).

**Quadro 9. Distribuição das principais classes de solos da bacia do rio Benevente, ES**

Classes de Solos	Bacia do Rio Benevente
	Área (%)
LVAd	10,66
LAdx	24,35
CXbd1 + LVAd	8,76
CXbd2 + AR	44,37
PVAd	3,02
RYbd + GXbd + GJ + OX + OJ	8,84

Simbologia: LVAd: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico; LAdx: Latossolo Amarelo Distrocóeso típico; CXd1 + LVAd: Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico em associação com o LVAd; CXd2 + AR: Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico em associação com os Afloramentos Rochosos; PVAd: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico; RYbd + GJ + OX + OJ: Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico + Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico + Gleissolo Tiomórfico + Organossolo Háplico + Organossolo Tiomórfico.

A relação macro-microporos (Quadro 10) é mais elevada no Cambissolo latossólico (1,2), enquanto que no Cambissolo Háplico ela é de 0,2. Isso sugere que o Cambissolo latossólico, devido à macroporosidade, apresenta maior capacidade de infiltração de água do que os Cambissolos Háplicos. As alterações na estrutura do solo interferem nas relações de drenagem, quantidade de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração das raízes das plantas, aeração e temperatura. Tais alterações contribuem para o aumento da resistência do solo à penetração, mudanças na porosidade total, na distribuição dos poros, na armazenagem e disponibilidade de água para as plantas e na dinâmica da água na superfície e dentro do perfil do solo (Silva & Kay, 1997; Klein & Libardi, 2002; Souza & Alves, 2003).

**Quadro 10. Análises físicas referentes aos perfis de solos descritos na bacia do rio Benevente, ES**

Símbolo	Prof. cm	Areia			Silte	Argila	Classe Textural	ADA g kg <sup>-1</sup>	GF (%)	Solo g cm <sup>-3</sup>	Partículas	Macroporosidade	Microporosidade m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	Porosidade Total
		Grossa	Fina	Total										
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa - P3														
A	0-18	410	120	530	90	380	Argilo arenosa	100	74	1,43	3,11	0,18	0,36	0,54
AB	18-36	340	80	420	110	470	Argila	20	96					
BA	36-52	340	60	400	100	500	Argila	10	98					
Bw1	52-70	300	50	350	100	550	Argila	10	98	1,22	2,9	0,21	0,37	0,58
Bw2	70-120	320	70	390	140	470	Argila	40	91					
Bw3	120-170	350	50	400	80	520	Argila	20	96					
BC	170-200+	330	70	400	210	390	Argila	40	90					
Latossolo Amarelo Distrocóseo típico A moderado textura muito argilosa - P5														
A	0-15	340	120	460	80	460	Argilo arenosa	150	67	1,48	2,57	0,04	0,38	0,42
AB	15-27	310	120	430	90	480	Argila	160	67					
BA	27-40	280	130	410	100	490	Argila	150	69					
Bw1	40-95	230	90	320	80	600	Muito argilosa	10	98	1,48	2,69	0,13	0,32	0,45
Bw2	95-130	200	90	290	70	640	Muito argilosa	10	98	1,43	2,88	0,17	0,33	0,50
BC	130-170	200	80	280	80	640	Muito argilosa	10	98					
C	170-215+	190	80	270	100	630	Muito argilosa	10	98					
Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico A moderado textura argilo arenosa - P4														
A	0-13	510	120	630	90	280	Franco argilo arenosa	80	71	1,18	2,75	0,01	0,35	0,36
AB	13-22	420	130	550	110	340	Franco argilo arenosa	100	71					
Bi	22-48	410	130	540	90	370	Argilo arenosa	90	76	1,19	2,47	0,15	0,37	0,52
Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico A moderado textura franco arenosa - P1														
A	0-18	650	120	770	70	160	Franco arenosa	30	81	1,16	2,6	0,30	0,25	0,55
Bi	60-80	640	100	740	100	160	Franco arenosa	50	69	1,23	2,5	0,28	0,23	0,51
C1	80-90	710	90	800	130	70	Areia franca	10	86					
C2	90-170	480	190	670	280	50	Franco arenosa	20	60					
C3	170+	790	60	850	110	40	Areia franca	10	75					
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa - P7														
A	0-20	370	100	470	180	350	Argilo arenosa	110	69	1,30	2,58	0,06	0,44	0,50
AB	20-32	330	110	440	110	450	Argila	210	53					
BA	32-49	290	80	370	120	510	Argila	180	65					
Bt1	49-83	270	70	340	140	520	Argila	10	98	1,28	2,74	0,08	0,45	0,53
Bt2	83-150+	280	90	370	150	480	Argila	10	98					

**Continuação**

Horizonte	Granulometria						Classe Textural	ADA	GF	Densidade		Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total
Símbolo	Prof.	Areia			Silte	Argila				Solo	Partículas			
		Grossa	Fina	Total										
	cm	.....g kg <sup>-1</sup> .....					g kg <sup>-1</sup>	(%)	.....g cm <sup>-3</sup> .....	.....m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> .....				
Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico A moderado textura franco argilo arenosa - P6														
A	0-20	110	430	540	230	230	Franco argilo arenosa	50	78					
C	20-40	130	440	570	210	220	Franco argilo arenosa	40	82					
Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico típico A moderado textura areia - P2														
A	0-18	850	100	950	10	40	Areia	10	75					
AC	30-40	810	140	960	30	20	Areia	10	50					
C	80+	890	60	950	40	10	Areia	10	0					
Neossolo Litólico Eutrófico típico A textura argilosa - P8														
A	0-20	420	80	500	160	340	Franco argilo arenosa	100	71					
Gleissolo Háptico textura franco argilo arenosa - P9														
A	0-20	420	80	500	160	340	Franco argilo arenosa	10	97					

Desse modo, baseado nas características físicas apresentadas pelo Cambissolo Háplico e na sua posição na paisagem (terço médio das encostas), pode-se inferir que esse solo estará sujeito a maiores problemas com erosão a depender do tipo de uso a que eles são destinados, da cobertura vegetal, dentre outros. Pois a velocidade de infiltração nos microporos é menor o que, associado às condições de relevo mais íngreme, supõe-se que levaria a uma maior perda de água por escoamento superficial, o que facilitaria a erosão laminar que tenderia a evoluir para uma erosão em sulcos a depender dos cuidados a serem destinados a essas áreas.

Valores maiores de porosidade total são encontrados para o Latossolo Vermelho-Amarelo - P3 ( $0,54 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ;  $0,58 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) quando comparado ao Latossolo Amarelo coeso - P5 ( $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ;  $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), para os horizontes A e Bw1, respectivamente. Em relação aos microporos, ambos os solos apresentam valores aproximados, com exceção do horizonte A do Latossolo Amarelo coeso. Os menores valores de macroporosidade no Latossolo Amarelo coeso, principalmente no horizonte superficial ( $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) resultam na maior densidade do solo apresentada por este. Observa-se o maior adensamento da superfície como segue:  $1,48 \text{ g cm}^{-3}$  para o horizonte A;  $1,48 \text{ g cm}^{-3}$  para o horizonte Bw1 e  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$  para o horizonte Bw2.

O adensamento da superfície do Latossolo Amarelo coeso é consequência das características peculiaridades relativas à sua gênese, somado ao tipo de uso a que está destinado (pastagem) que também favorece a sua compactação. Possui textura mais arenosa no horizonte superior e relações moleculares Ki e Kr mais elevadas (EMBRAPA, 1978), o que revela seu alto grau de intemperismo. A caulinita e gibbsita são os principais minerais encontrados na sua fração argila, com predomínio da primeira.

A mineralogia está estritamente relacionada à estrutura desse tipo de solo, como evidencia o trabalho de Ferreira et al. (1999a; 1999b) no estudo da mineralogia da fração argila de um Latossolo Amarelo coeso. Os baixos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e alta coesão entre as partículas, em razão do ajuste face a face das placas de caulinita tornam o solo mais denso ou com maior facilidade de compactação principalmente na parte superior do horizonte B. Isso implica na formação de

estruturas em blocos subangulares, com aspecto maciço e poroso que corroboram para a maior densidade do solo, maior proporção de poros pequenos, menor permeabilidade e maior susceptibilidade à erosão, em especial a laminar, que chega a erodir completamente o horizonte A desse tipo de solo.

A ocorrência dos Latossolos Amarelos coesos está associada aos locais de relevo suave ondulado e ondulado próximos ao litoral. Eles ocupam área de 24,35% da Bacia, sendo essa área destinada, em sua maior parte, à pastagem que contribui para a maior compactação da superfície devido ao pisoteio excessivo do gado e, conseqüentemente, para a redução significativa da permeabilidade do solo. Percebe-se que um manejo mais adequado para essas áreas é de fundamental importância, no sentido de evitar ou mesmo minimizar os impactos negativos da erosão, compactação e baixa infiltração de água no solo.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos (P7) assumem pouca representatividade dentro da bacia do rio Benevente (3,02%). São solos cauliniticos, argilosos, com horizonte superficial mais arenoso, argila de atividade baixa, fertilidade natural baixa e ácidos. O Argissolo Vermelho-Amarelo apresenta maior número de microporos ( $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ;  $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) do que macroporos ( $0,06$ ;  $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), para os horizontes A e B, respectivamente. O que revela sua maior susceptibilidade à erosão e tendência ao aumento do escoamento superficial. Para conservação dessas áreas, medidas que poderiam ser tomadas seria a implantação de culturas que protegessem o solo ao impacto da chuva aumentando, assim, a estabilidade dos agregados.

Os Neossolos Quartzarênicos (P2) são pouco representativos em termos de área (não foi incluído na área mínima mapeável). Constituem-se como solos arenosos, em que há a predominância de areia grossa (em média  $850 \text{ g kg}^{-1}$ ) sobre as demais frações silte e argila. O quartzo é o mineral dominante na fração areia. Apresenta-se hialino e arestado fato que comprova que não houve transporte, mas formação *in situ*. São solos profundos, excessivamente drenados que se localizam nos terços superiores dos morros com relevo montanhoso e escarpado, em áreas sem nenhum uso agrícola. Apesar da pobreza química, esse tipo de solo sustenta uma vegetação de porte arbóreo (Figura 10), que se constitui num ecossistema dinâmico, sendo sua sobrevivência atrelada à ciclagem de nutrientes.

Fundamentado na sua dinâmica ecossistêmica, recomenda-se deixá-los como Área de Preservação Permanente (APP), porque são ambientes muito frágeis dado a baixa coesão entre suas partículas que facilita desbarrancamentos e solapamentos.



**Figura 10. Ambiente de ocorrência do Neossolo Quartzarênico na paisagem proveniente do quartzito. Verifica-se que a vegetação é espaçada em razão da baixa fertilidade do solo.**

Os Neossolos Litólicos (P8) ocupam parte pouco expressiva da Bacia associados às áreas de Afloramentos Rochosos. São solos pouco evoluídos do ponto de vista pedogenético, de pequena espessura. Somando-se a isso, sua localização na paisagem que, normalmente, está próxima a áreas de relevo movimentado constitui um obstáculo à sua utilização agrícola.

Os Neossolos Flúvicos (P6) ocupam os fundos de vales e estão correlacionados às áreas de sedimentos quaternários depositados pelos rios. Apresentam camadas estratificadas que não possuem relação pedológica entre si, constituindo-se assim, em solos muito heterogêneos do ponto de vista físico, químico e mineralógico. São quase completamente utilizados com pastagens, embora façam parte da Área de Preservação Permanente.

A saturação por água, de forma permanente ou periódica, caracterizam os Gleissolos Háplicos (P9) que, assim como os Neossolos Flúvicos, se encontram nos fundos de vales em áreas de relevo plano. Os Gleissolos Háplicos normalmente ocorrem nas maiores depressões e mais longe da calha dos rios. São, em quase sua totalidade, utilizados com pastagem de braquiária.

É recomendado, também, deixar esses solos como Área de Preservação Permanente, evitando ao máximo sua drenagem, por se tratarem de verdadeiras caixas d'águas.

### **5.2.2. Caracterização Química**

Os dados analíticos demonstram baixos níveis de fertilidade, o que denota a pobreza química geral de grande parte dos solos amostrados (Quadro 11). Os teores de alumínio trocável também são altos para a maioria dos solos e o fósforo constitui-se como um elemento limitante pela sua baixa disponibilidade. Os solos têm, em sua maioria, pequena quantidade de cálcio e magnésio trocáveis notadamente no horizonte A.

O Cambissolo latossólico (P1) possui valores muito baixos de soma de bases trocáveis e fósforo (Alvarez et al., 1999). Essas mesmas características são observadas no Cambissolo Háptico (P4), no Latossolo Vermelho-Amarelo (P3) e no Amarelo coeso (P5) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (P7). O Cambissolo latossólico é álico com teor de carbono orgânico considerado no nível bom (Alvarez et al., 1999), concentrando-se nos primeiros 18 cm de profundidade. O carbono decresce acentuadamente a partir daí, a ponto de não ser detectado a partir de 80 cm. O Cambissolo Háptico, por sua vez, possui maior soma de base atribuída, principalmente, aos maiores teores de Ca e K nos primeiros horizontes que, acredita-se, serem provenientes do tipo de adubação relacionado ao cultivo da banana na área.

Os baixíssimos valores de soma de bases trocáveis e saturação de bases, pobreza química, caráter álico caracterizam os Latossolos Vermelho-Amarelos que ocupam parte significativa da área da Bacia (10,66% mais as associações com os Cambissolos latossólicos). São solos muito profundos, oxídicos, de baixa erodibilidade devido à grande estabilidade dos agregados. Com relação ao P-rem, pode-se dizer que o horizonte A desses solos apresentam baixa adsorção de P, possivelmente em razão da sua textura mais arenosa e dos maiores teores de carbono orgânico. Observa-se que a capacidade de troca catiônica e a saturação de bases nesses solos são maiores nos horizontes superficiais, em virtude do retorno de bases que se torna viável por meio da matéria orgânica.

Quadro 11. Análises químicas referentes aos perfis de solos descritos na bacia do rio Benevente, ES

Horizonte	Profundidade cm	pH		P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	V %	m	CO dag kg <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl													
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa - P3</b>																
A	0-18	5,1	4,1	0,9	0,08	0,4	0,3	1,0	5,28	0,78	1,78	6,06	13	56	2,1	20,2
AB	18-36	4,9	4,2	0,4	0,04	0,1	0,0	1,0	3,63	0,14	1,14	3,77	4	88	0,9	15,8
BA	36-52	4,9	4,3	0,2	0,03	0,1	0,0	0,7	2,97	0,13	0,83	3,10	4	84	0,6	14,1
Bw1	52-70	4,8	4,4	0,2	0,02	0,0	0,0	0,5	2,81	0,02	0,52	2,83	1	96	0,3	3,3
Bw2	70-120	4,8	4,7	0,4	0,03	0,1	0,0	0,4	2,15	0,13	0,53	2,28	6	75	0,2	1,8
Bw3	120-170	5,1	4,9	0,2	0,01	0,1	0,0	0,3	1,98	0,11	0,41	2,09	5	73	0,1	2,1
BC	170-200+	5,0	4,7	0,4	0,02	0,1	0,0	0,2	1,49	0,12	0,32	1,61	7	63	0,0	2,8
<b>Latossolo Amarelo Distrocioso típico A moderado textura muito argilosa - P5</b>																
A	0-15	5,3	4,2	2,0	0,19	0,7	0,6	0,5	4,62	1,49	1,99	6,11	24	25	1,8	23,3
AB	15-27	4,8	4,0	0,8	0,02	0,4	0,1	0,9	3,96	0,52	1,42	4,48	12	63	0,9	23,3
BA	27-40	4,9	4,2	0,6	0,01	0,5	0,2	0,6	2,97	0,71	1,31	3,68	19	46	0,6	23,3
Bw1	40-95	5,2	4,8	0,4	0,01	0,6	0,3	0,5	1,82	0,91	1,41	2,73	33	35	0,2	13,1
Bw2	95-130	5,0	4,5	0,4	0,00	0,3	0,4	0,3	1,98	0,70	1,00	2,68	26	30	0,1	14,5
BC	130-170	4,7	4,3	0,6	0,00	0,4	0,3	0,5	2,15	0,70	1,20	2,85	25	42	0,1	12,6
C	170-215+	4,6	4,3	0,8	0,00	0,2	0,2	0,5	2,31	0,40	0,90	2,71	15	56	0,1	10,9
<b>Cambissolo Háptico Tb típico A moderado textura argilo arenosa - P4</b>																
A	0-13	5,5	4,5	2,2	1,10	2,1	0,6	0,2	5,12	3,80	4,00	8,92	43	5	2,1	15,8
AB	13-22	5,1	4,0	1,5	0,40	0,9	0,3	1,4	6,27	1,60	3,00	7,87	20	47	1,9	19,6
Bi	22-48	4,9	4,1	0,8	0,12	0,4	0,1	1,4	5,12	0,62	2,02	5,74	11	69	1,1	8,7
<b>Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico A moderado textura franco arenosa - P1</b>																
A	0-18	5,0	4,2	2,4	0,07	0,3	0,1	1,2	8,58	0,47	1,67	9,05	5	72	3,2	15,7
Bi	60-80	5,0	4,5	1,1	0,05	0,2	0,0	0,5	2,81	0,25	0,75	3,06	8	67	1,0	15,2
C1	80-90	4,9	4,5	0,9	0,04	0,2	0,0	0,3	0,33	0,24	0,54	0,57	42	56	0,0	36,1
C2	90-170	5,2	4,1	0,4	0,08	0,1	0,1	1,3	1,16	0,28	1,58	1,44	19	82	0,0	48,3
C3	170+	5,2	4,6	1,3	0,04	0,0	0,0	0,3	0,17	0,04	0,34	0,21	19	88	0,0	50,5
<b>Argissolo Vermelho-Amarelo Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa - P7</b>																
A	0-20	5,0	4,0	2,2	0,11	0,4	0,3	1,4	5,45	0,81	2,21	6,26	13	63	2,0	22
AB	20-32	4,9	4,1	0,8	0,04	0,1	0,0	1,9	4,62	0,14	2,04	4,76	3	93	0,9	18,6
BA	32-49	5,0	4,1	0,6	0,03	0,1	0,0	1,8	3,96	0,13	1,93	4,09	3	93	0,6	12,3
Bt1	49-83	5,0	4,1	0,2	0,03	0,0	0,0	2,0	3,80	0,03	2,03	3,83	1	99	0,5	9,1
Bt2	83-150+	4,9	4,1	0,2	0,03	0,0	0,0	2,0	3,47	0,03	2,03	3,50	1	99	0,1	6,2
<b>Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico A moderado textura franco argilo arenosa - P6</b>																
A	0-20	5,7	4,4	5,9	0,11	1,8	0,6	0,2	3,47	2,51	2,71	5,98	42	7	0,9	27,2
C	20-40	5,4	4,1	4,9	0,10	0,7	0,3	0,9	3,47	1,10	2,00	4,57	24	45	0,3	19,1
<b>Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura argilosa - P8</b>																
A	0-20	7,1	6,2	1,5	0,51	4,8	0,7	0,0	0,66	6,01	6,01	6,67	90	0	1,5	27,1

## Continuação

Horizonte	Profundidade cm	pH		P mg kg <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC(t)	CTC(T)	V	m	CO dag kg <sup>-1</sup>	P-rem mg L <sup>-1</sup>
		H <sub>2</sub> O	KCl													
<b>Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico típico A moderado textura arenosa - P2</b>																
A	0-30	4,2	3,1	7,9	0,06	0,4	0,2	0,6	4,62	0,66	1,26	5,28	13	48	2,1	55,3
AC	30-40	4,2	3,2	1,7	0,03	0,0	0,1	0,5	2,15	0,13	0,63	2,28	6	79	0,6	55,3
C	80+	5,0	3,9	0,8	0,02	0,1	0,0	0,3	0,00	0,12	0,42	0,12	100	71	0,0	59,8
<b>Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico textura franco argilo arenosa - P9</b>																
A	0-20	5,1	4,0	7,4	0,03	1,9	0,4	0,7	11,22	2,33	3,03	13,55	17	23	9,6	23,3
Máximo		8,1	8,10	7,90	1,10	4,80	1,50	2,00	11,22	6,01	6,01	13,55	100	99	9,6	59,80
Mínimo		4,2	3,10	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,32	0,12	1	0	0,0	1,80
Média		5,1	4,37	1,52	0,10	0,56	0,21	0,74	3,31	0,86	1,60	4,17	21	59	1,0	22,74
Desvio Padrão		0,67	0,81	1,89	0,20	0,91	0,30	0,56	2,34	1,28	1,19	2,75	24,84	28,13	1,70	17,03

Simbologia: pH em água, KCl - relação 1:2,5; Ca, Mg, Al - extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; SB= Soma de bases trocáveis; H+Al - extrator acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; CTC(t)- Capacidade de troca catiônica efetiva; CTC(T) - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= Índice de saturação por bases; m = Índice de saturação por alumínio; CO - Carbono orgânico; P e K- extrator Mehlich 1; P-rem = Fósforo Remanescente.

Os principais minerais presentes na fração argila dos Latossolos Vermelho-Amarelos são, predominantemente, caulinita e gibbsita. As relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$ , de acordo com EMBRAPA (1978), possuem valores baixos ( $<1,5$ ) o que demonstra o alto grau de intemperismo desses solos.

O Latossolo Amarelo coeso possui forte limitação agrícola atribuída à sua baixa fertilidade e baixa reserva de nutrientes conferida pela pobreza dos sedimentos provenientes do desmonte de antigas superfícies de aplainamentos (solos também pobres) que fazem parte da sua constituição.

Os valores de soma de bases trocáveis e CTC para o Argissolo Vermelho-Amarelo são baixos, alcançando seus maiores valores nos horizontes superficiais com significativo decréscimo com o aumento da profundidade acompanhado pela diminuição da concentração do carbono orgânico. A composição da fração coloidal conta com a predominância da fração argila e o  $K_i$  possui valores próximos de 2 (EMBRAPA, 1978). O que se constata que, embora seja um solo intemperizado, ele não se encontra num estágio de intemperismo tão avançado como os Latossolos da Bacia.

Próximos ao litoral são encontrados os Organossolos com diferentes tipos de horizonte subsuperficiais (arenoso e argiloso). Para os Organossolos que apresentam substrato mais argiloso, a tendência é o favorecimento do acúmulo de matéria orgânica e a manutenção dos nutrientes no sistema. Já aqueles com horizonte subsuperficial arenoso, a perda de água é favorecida com maior rapidez, assim como a perda de nutrientes e substâncias húmicas solúveis, como os ácidos fúlvicos livres (Nascimento, 2004).

Os Gleissolos Háplicos (P9) são solos mal drenados, com lençol freático relativamente elevado, baixa oxigenação com formação de ambiente redutor o qual favorece o acúmulo de matéria orgânica. O que pode explicar os altos valores de carbono orgânico encontrado para esse solo ( $9,6 \text{ dag kg}^{-1}$ ). De acordo com EMBRAPA (1978), são solos provenientes de deposições orgânicas e de sedimentos argilo-arenosos datados do Holoceno com relação  $K_i$  em torno de 2. A capacidade de troca catiônica desses solos nos horizontes superficiais é elevada, o que é explicável pelos altos teores de carbono orgânico. A saturação por bases, por sua vez, é baixa (17%).

Os dados de P-rem mostram a baixa capacidade de adsorção de fósforo pelo Neossolo Quartzarênico (P2). O que já era esperado, dado que se trata de um solo muito arenoso. Valores altos de P-rem também podem ser observados para o horizonte C do Cambissolo latossólico conferido, igualmente, pela textura arenosa desse horizonte.

O eutrofismo distingue o Neossolo Litólico (P8) dos demais solos que são todos distróficos. É um solo argiloso, com ausência de  $Al^{3+}$ , com valores significativos de bases trocáveis atribuídos, principalmente, à presença do Ca.

### **5.2.3. Caracterização Mineralógica**

A análise mineralógica dos difratogramas das frações argila, silte e areia demonstra o pouco contraste existente entre os solos amostrados à exceção do Neossolo Quartzarênico, em que há o domínio de quartzo. Verifica-se que a caulinita e gibbsita são os minerais identificados na maioria dos solos, além de indícios de minerais primários nas frações mais grosseiras como o feldspato potássico e a muscovita (Quadro 12). É evidente a presença desses minerais, dado a constituição do material de origem e de alguns solos como os Neossolos Litólicos que ainda tem grande influência do material de origem.

A presença marcante de caulinita e de gibbsita na maioria dos solos denota sua baixa reserva mineral. Foram identificados também os minerais goethita e hematita, em virtude da expressão de coloração amarela e vermelha dos solos. Os minerais são provenientes em grande maioria de gnaisses ácidos, ricos em sílica, com predominância do quartzo, feldspato e alguns traços de muscovita. Mesmo os solos jovens, como os Neossolos Litólicos, apresentam na fração argila o mineral gibbsita. Isso demonstra o alto índice de intemperismo que estão submetidos esses solos ou a possibilidade do material de origem destes serem provenientes de solos erodidos de outras áreas com solos mais intemperizados.

Os picos de gibbsita no Argissolo Vermelho-Amarelo são menos expressivos e os de caulinita (7,18 Å) mais expressivos quando comparado ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Isso indica solo menos intemperizado e caulinita de maior tamanho que pode contribuir para o ajuste face a face.

**Quadro 12. Principais minerais encontrados nas frações argila, silte e areia dos perfis de solos estudados na bacia do rio Benevente, ES**

	Ca	Gb	Ve	Qz	Fd	Mt	Mv	An
<b>Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado textura argilosa - P3</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Latossolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado textura muito argilosa - P5</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico A mod. textura franco arenosa - P1</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico A moderado textura argilo arenosa - P4</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico típico A moderado textura arenosa - P2</b>								
Areia								
<b>Neossolo Flúvico Tb Distrófico típico A moderado textura franco argilo arenosa - P6</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Neossolo Litólico Eutrófico típico A moderado textura argilosa - P8</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Argissolo Vermelho-Amarelo Tb Distrófico típico A moderado textura argilosa - P7</b>								
Argila								
Silte								
Areia								
<b>Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico textura franco argilo arenosa - P9</b>								
Argila								
Silte								
Areia								

Simbologia: Ca: caulinita; Gb: gibbsita; Ve: Vermiculita com hidróxi entre camadas (VHE); Qz: quartzo; Fd: Feldspato; Mt: montmorilonita; Mv: Muscovita; An: Anatócio.

Os solos com maiores teores de  $Fe_2O_3$  e  $Al(OH)_3$  são os mais propensos a desenvolverem estrutura do tipo granular. Esta, em razão do menor contato entre os pedos (forma arredondada), permite maior infiltração da água e conseqüentemente menor erosão. Esses tipos de solos são potenciais para atuar como “caixa d’águas” se forem profundos. Deve-se, no entanto, ter o cuidado

com o “selamento” da superfície, visto que densidades elevadas, em razão do pisoteio do gado ou outra forma de pressão, contribui para a impermeabilização da superfície desses solos impedindo a infiltração da água da chuva, embora na subsuperfície sejam porosos.

A composição mineralógica da fração grosseira é significativamente dominada pelo quartzo. Somente foi identificado o feldspato potássico e a muscovita, ambos como elementos potenciais capazes de liberar potássio para o sistema. Deve-se levar em conta, no entanto, que a muscovita apresenta certa resistência ao intemperismo, portanto a disponibilidade de potássio na solução do solo se efetivará de forma mais lenta no sistema. Supõe-se que haja um suprimento contínuo de potássio nos solos que se localizam nas proximidades dos Afloramentos Rochosos ou dos fragmentos de rochas (matacões), fato que permite um melhor desenvolvimento da vegetação. Além disso, os matacões proporcionam melhor proteção ao solo no que concerne a erosão e também maior disponibilidade hídrica por meio da captação das águas das chuvas e da infiltração da mesma no solo.

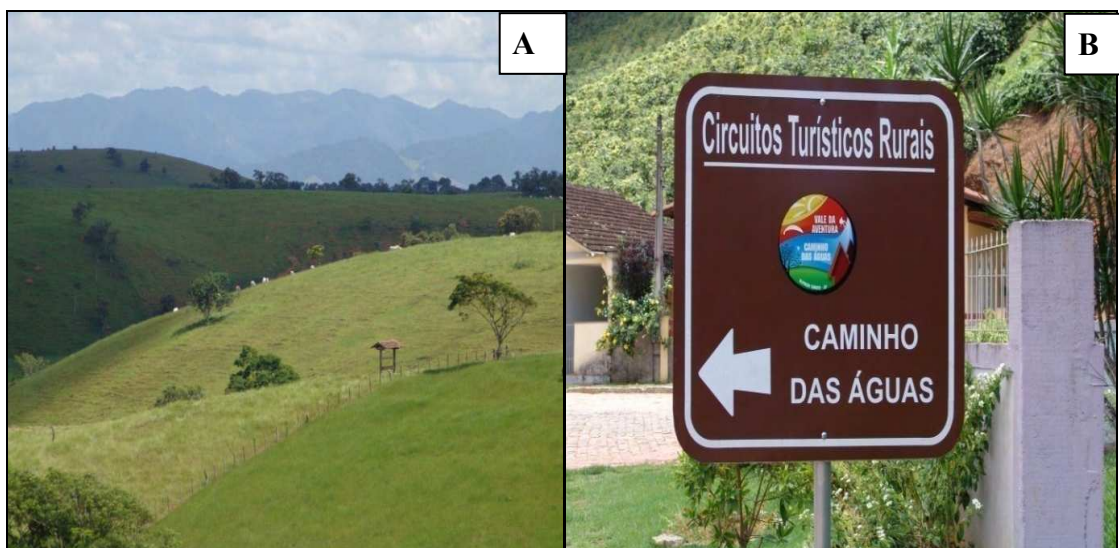
Duarte et al. (2000), em estudo sobre a mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo, demonstraram que os grãos de areia nos perfis amostrados estão distribuídos de maneira aleatória em um plasma caulínico (cerca de 85%) com contribuições de gibbsita (cerca de 5%) e pequenas quantidades desse mineral e mica. Segundo os autores, a goethita, por sua vez, é o óxido de ferro predominante nos horizontes superficiais amarelos. Essas características são bastante representativas dos solos dos geoambientes dos Tabuleiros Dissecados e Planícies Costeiras, levando em consideração que eles também estão inseridos nas áreas de domínio dos Tabuleiros Costeiros.

Em se tratando do geoambiente Serras, constatou-se a dominância da caulinita na fração argila de todos os perfis e na fração areia, predomínio do quartzo seguido de muscovita, feldspato, todos na maior parte intemperizados, porém com alguma reserva de minerais úteis às plantas, em concordância com EMBRAPA (1978).

### 5.3. Uso e Ocupação do Solo

#### 5.3.1. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Benevente

O uso da terra é caracterizado por uma maior ocupação do espaço na parte baixa da Bacia. As principais atividades econômicas desenvolvidas na área são a pecuária (Figura 11A) que assume área expressiva dentro da Bacia (43,94%), a agricultura com 2,54% de área ocupada, em que se destacam as culturas do café arábica na parte superior e conilon (*Coffea canephora*) em cotas menores e da banana (Quadro 13), as atividades industriais, a pesca, o turismo litorâneo e ecológico (Figura 11B).



**Figuras 11A - Uso do solo com pastagem nos morros (braquiária) e B - Turismo rural.**

As planícies litorâneas são ocupadas, predominantemente, por pastagens, plantios agrícolas e vegetação pioneira de capoeiras e mangues. As áreas de floresta natural primária ou secundária e de vegetação natural secundária, localizadas mais a noroeste em direção a parte alta da Bacia (Figura 12), correspondem a um total de 47,19% da área.

**Quadro 13. Uso e ocupação do solo na bacia do rio Benevente, ES**

Uso e Ocupação do Solo	Área	
	(ha)	(%)
Áreas alagadas	3.882	3,56
Áreas urbanas	79	0,07
Afloramento/solo exposto	294	0,27
Agricultura	2.771	2,54
Floresta natural/sombra	359	0,33
Floresta natural primária ou secundária avançada ou média	36.837	33,79
Floresta plantada em crescimento	768	0,70
Manguezais	756	0,69
Pastagem	47.883	43,94
Pastagem/sombra	673	0,62
Floresta plantada recém-cortada	6	0,01
Rios	85	0,08
Vegetação natural secundária	14.707	13,40

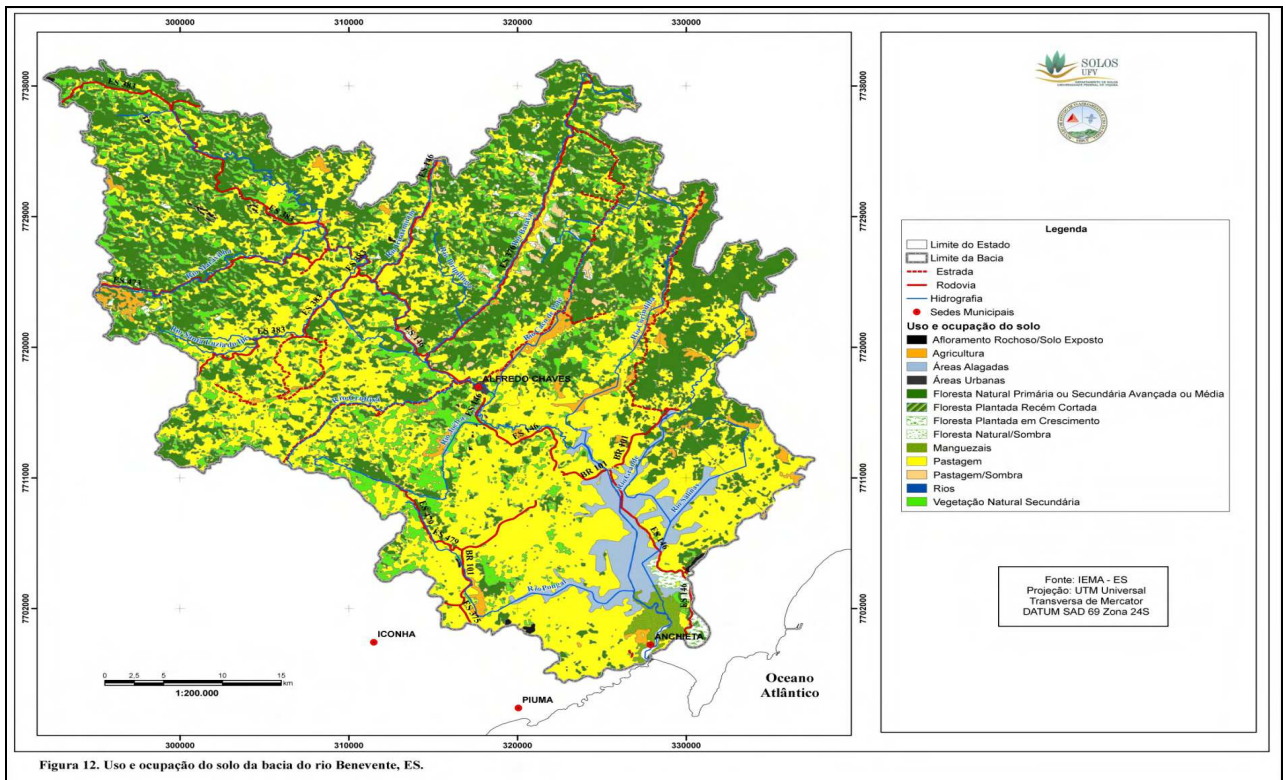
Os municípios mais representativos, por ocupar áreas expressivas da Bacia, são Alfredo Chaves, onde está localizada a nascente do rio Benevente e Anchieta, onde se encontra a foz. O primeiro possui a maior parte da sua população, cerca de 69%, localizada na zona rural (Quadro 14). O município de Anchieta, bem como o de Guarapari tem a maior parte da sua população localizada na zona urbana, assim como Piúma. Iconha e Piúma, todavia, ocupam área pouca significativa da Bacia. A densidade populacional em Alfredo Chaves é baixa (21,28 hab km<sup>-2</sup>), quando comparada aos municípios de Guarapari (127,12 hab km<sup>-2</sup>) e Anchieta (41,55 hab km<sup>-2</sup>).

**Quadro 14. População estimada nos principais municípios que abrangem a bacia do rio Benevente, ES**

Municípios	Área total	Área dentro da Bacia	População			Densidade Populacional
			Urbana	Rural	Total	
			.....km <sup>2</sup> .....	.....hab.....	.....hab km <sup>-2</sup> .....	
Anchieta	417	338	11.169	6.158	17.327	41,55
Alfredo Chaves	615	615	5.338	7.751	13.089	21,28
Iconha	202	1	4.198	6.916	11.114	55,01
Guarapari	580	136	67.712	6.018	73.730	127,12
Piúma	73	*	11.431	796	12.227	167,49
Total	1.887	1.090	99.848	27.639	127.487	67,56

\*Não possui área significativa dentro da bacia do rio Benevente, ES.

**Fonte: Adaptado da ANA, 2009.**



A bacia do rio Benevente está inserida no circuito turístico do governo estadual denominado circuito das águas. O turismo rural é uma atividade em expansão na Bacia, graças as suas inúmeras cachoeiras e beleza cênica (Figura 13) o que a torna um cenário atrativo àqueles cujo objetivo é a contemplação da paisagem, biodiversidade, cultura e estilo de vida rural.



**5.3.2. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Serras com Domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos**  
Figura 13. Cachoeira Engenheiro Reeve, Alfredo Chaves - ES. Apresenta rara beleza cênica e é um dos pontos turísticos mais visitados na região.

A vegetação predominante nesse geoambiente é a Floresta Ombrófila Densa associada a relevo fortemente dissecado. Nas escarpas pluviosas (Cambissolos Háplicos) é comum o uso com plantio de banana (Figura 14) associado aos grandes Afloramentos Rochosos. Constitui-se na atividade agrícola de significativa predominância em toda a Bacia e, como observado em campo, expõe menos o solo aos efeitos da erosão, já que as folhas e o colmo da bananeira formam uma cobertura protetora do terreno que diminui o impacto da chuva e aumenta a viabilidade de infiltração.



**Figura 14. Plantio da banana nas encostas pluviosas da bacia do rio Benevente, ES.**

A pastagem é o tipo de uso que ocupa a maior área dentro desse geoambiente (38,66%), como se observa através do Quadro 15. Nos solos mais profundos como os Latossolos Vermelho-Amarelos, presentes em menor declive, há o predomínio das pastagens do capim gordura (*Melinis minutiflora*) ou, se degradada, de capim Pernambuco (*Paspalum sp.*). Ocorrem também em menor proporção a fruticultura, em sua maioria formada por *citrus* (quintais), a plantação de inhame, café arábica (*Coffea arabica*), seringueira e, mais recentemente, o eucalipto. Em Alfredo Chaves, o cultivo da uva é uma atividade em desenvolvimento, mas ainda sem expressão econômica.

Nas áreas com altitudes mais elevadas é notória a presença do capim-gordura e dominância da população rural com diminuição do tamanho médio das propriedades onde a cultura do café passa a ter mais importância. Nas cotas superiores a 850 m, há um decréscimo nas lavouras de café conferido pelas condições climáticas, em virtude do frio ser mais intenso, o que incrementa a ocorrência de doenças no café, além dos fortes ventos. Nas altitudes acima de 1.200 m não se observam atividades mais intensivas e o contingente

populacional é significativamente baixo, existindo quase um vazio populacional em termos de população rural.

**Quadro 15. Uso e ocupação do solo nos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES**

Uso e Ocupação do Solo	Geoambientes		
	Serras	Tabuleiros Dissecados	Planícies Costeiras
	..... Área (%).....		
Áreas alagadas	0,00	3,57	30,48
Áreas urbanas	0,03	0,27	0,06
Afloramento/solo exposto	0,19	0,36	0,44
Agricultura	2,75	2,34	1,90
Floresta natural/sombra	0,46	0,00	0,00
Floresta natural primária ou secundária avançada ou média	42,03	11,54	6,34
Floresta plantada em crescimento	0,31	0,00	4,77
Manguezais	0,00	0,00	7,30
Pastagem	38,86	73,99	45,60
Pastagem/sombra	0,80	0,03	0,00
Floresta plantada recém-cortada	0,00	0,00	0,08
Rios	0,00	0,00	0,82
Vegetação natural secundária	16,45	7,34	1,26

Os fragmentos de Mata Atlântica ocorrem isolados desde os Latossolos Vermelho-Amarelos até as áreas mais acidentadas onde incidem os Afloramentos Rochosos (Figura 15). Constituem-se, assim, em Áreas de Preservação Permanente e de difícil acesso, dada a declividade do relevo. O acesso a essas áreas de relevo mais íngreme é, de forma geral, realizado por meio de carros próprios denominados localmente de “aranhas” utilizados pelos agricultores.

As iniciativas de reflorestamento para a recuperação das áreas degradadas são muito incipientes, restringindo-se aos programas incentivados pelas indústrias madeireiras com vista à produção de celulose, como a antiga Aracruz Florestal, voltados para o plantio de eucalipto. Outros programas visam o plantio de culturas permanentes como o café, a seringueira e a bananeira (ANA, 2009).



**Figura 15. Vista geral de um vale com alto controle estrutural e uso do solo com diversas atividades como eucalipto, café, entre outros na bacia do rio Benevente, ES. Esse cenário encontra-se abaixo da cachoeira Engenheiro Reeve, próximo a Matilde.**

Os Cambissolos Háplicos, embora não se tenha identificado minerais com grande potencial de liberação de nutrientes, é o preferido pelos agricultores para o plantio de bananeiras e café conilon ou arábica. Abaixo de 400 metros planta-se o *Coffea canephora* e acima disso, com o intuito de evitar grandes altitudes, o *Coffea arábica*.

As áreas côncavas, que compõem esse geoambiente, são as que exibem mais processos de erosão, com muitos pontos onde o solo encontra-se desprotegido. Por serem locais de maior instabilidade, onde os processos erosivos são mais atuantes, em virtude da velocidade do escoamento superficial da água, deveriam ser mais bem monitorados.

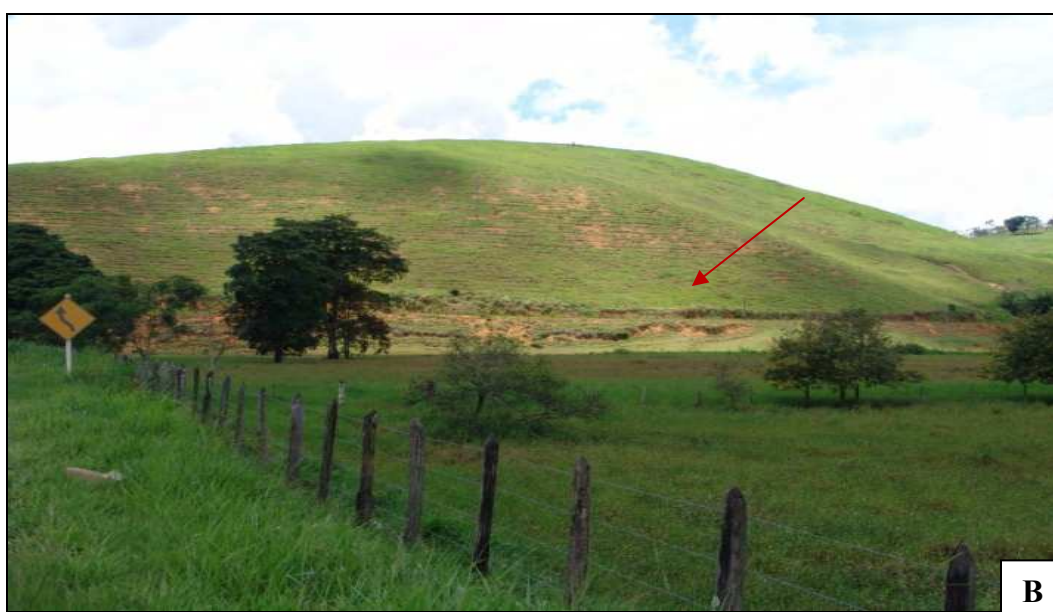
A erosão pelo uso agrícola é pontual, embora grande parte da área da Bacia situe-se em locais de declives acentuados, em razão da própria estrutura do solo, da presença de pedregosidade e devido ao cultivo em glebas. Os taludes e as estradas são as principais fontes de sedimentos para os corpos hídricos no geoambiente Serras. Grande parte dos deslizamentos e fonte de assoreamento é atribuída às estradas que concentram as águas

das chuvas, aumentando a energia erosiva da água que é lançada morro abaixo sem nenhum cuidado, quer pelos agricultores, quer pelos construtores das estradas, mesmo que estas sejam asfaltadas.

Para uma melhor tomada de decisão futura, no que se refere ao melhor gerenciamento do geoambiente Serras, medidas que poderiam ser adotadas seriam o reflorestamento em áreas côncavas que estão mais sujeitas ao processo de erosão, recuperação das matas ciliares e adequação de procedimentos para a drenagem das águas das chuvas, principalmente, aquelas advindas das estradas. Uma alternativa, nesse sentido, seria a construção de pequenas barragens que permitissem melhor infiltração de água, o que seria, ambientalmente, a melhor opção para o controle da erosão.

### **5.3.3. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Tabuleiros Dissecados com Predomínio dos Latossolos Amarelos Coesos**

Os Tabuleiros Dissecados são as áreas que se apresentam mais degradadas, principalmente nas suas bordas, terço inferior da encosta (Figuras 16A e B). Fato que pode ser atribuído a pecuária que ocupa parte expressiva desse geoambiente (73,99%) e exerce pressão significativa no solo, compactando-o. Esses locais estão sujeitos à erosão laminar intensa em decorrência da própria gênese dos solos (Latossolo Amarelo coeso), que associado ao pisoteio excessivo do gado dificultam a infiltração de água no solo. O próprio capim em alguns locais não consegue sobreviver.



**Figuras 16A e B. Áreas sujeitas à erosão laminar intensa, especialmente nas bordas dos Tabuleiros. Em alguns casos todo o horizonte A é erodido e a restauração natural torna-se problemática.**

A pastagem ocupa, principalmente, os fundos de vales com presença dos Neossolos Flúvicos associados aos Gleissolos Háplicos e é destinada, em sua maioria, à pecuária de corte. Observa-se, também, o desenvolvimento de atividades ligadas à plantação de eucalipto e cana-de-açúcar nesse geoambiente. Nas áreas acidentadas é perceptível a presença do capim braquiária (*Brachiaria decumbens*) e a pecuária extensiva.

Em decorrência da elevada densidade dos Latossolos Amarelos coesos, que possuem maior proporção de poros menores e baixa

permeabilidade, esses solos deveriam ter um tratamento diferenciado com relação ao manejo, principalmente no sentido de evitar, excessivamente, sua movimentação com máquinas (aração e gradagem). O conhecimento sobre as características intrínsecas a esse tipo de solo permite a implantação mais racional e o direcionamento de culturas mais apropriadas para as áreas com domínio dos Latossolos Amarelos coesos, haja vista que o maior adensamento do horizonte subsuperficial dificulta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Em se tratando das práticas de conservação, estas deveriam ser mais criteriosas em razão da menor permeabilidade desses solos. É necessário que o manejo, assim como legislação conservacionista sejam distintos para essas áreas. Recomenda-se o uso das partes menos declivosas do topo e também do terço inferior das encostas para o uso agrícola e que as áreas mais íngremes do terço médio sejam destinadas a reserva legal ou outras atividades que protejam melhor o solo.

A presença de mata ciliar assume fundamental importância para a preservação dos solos no geoambiente dos Tabuleiros Dissecados, com efeito no aumento da própria permeabilidade do solo. A alternativa de uso agrícola para a área seria incentivar a agroecologia com o cultivo de plantas em que o agricultor tivesse condições de obter uma resposta positiva, com o objetivo de aumento da capacidade de proteção do solo e que, além disso, lhes conferissem retorno econômico e ecológico.

O tipo de mineralogia pode ser um indicador ambiental nesse geoambiente. Solos caulíníticos, com baixos teores de  $Fe_2O_3$ , com maior propensão a coesão e a compactação, deveriam ter uma maior atenção quanto aos aspectos de conservação de solos e uma limitação maior quanto aos limites de declives para o uso com culturas expostas.

#### **5.3.4. Uso e Ocupação do Solo do Geoambiente Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos Coesos e Solos Hidromórficos (Gleissolos e Organossolos)**

As principais atividades econômicas nas Planícies Costeiras são o turismo litorâneo, a pesca, a exploração de petróleo, pecuária extensiva, cana-de-açúcar e o café conilon. Nas áreas de domínio do Grupo Barreiras, observa-se o desenvolvimento de atividades ligadas à plantação de eucalipto, cana-de-açúcar e pecuária extensiva.

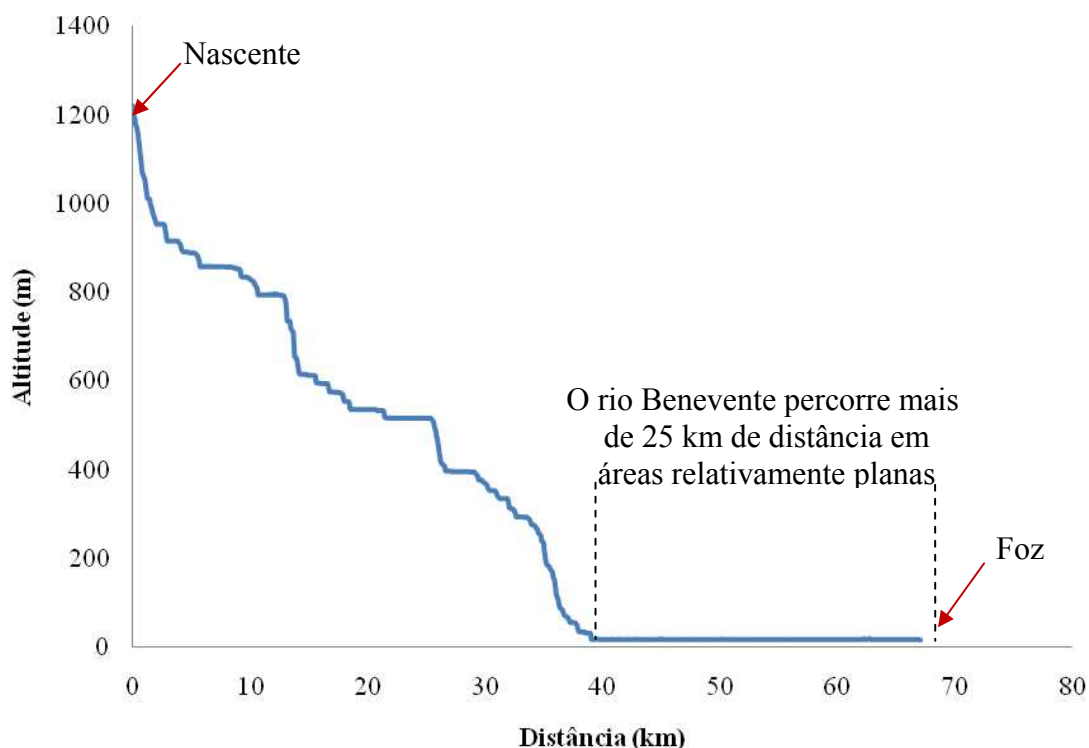
As elevações em formato de meia-laranja são áreas utilizadas para a pastagem que se apresentam bastante degradadas. Na foz do rio Benevente, em Anchieta, ocorre intenso processo de degradação a que estão sujeitas as áreas de mangue. É também a região que sofre a maior pressão urbana, atribuída a sua proximidade ao mar.

As alternativas de conservação para esse geoambiente são as mesmas sugeridas para os Tabuleiros Dissecados dada a dominância do mesmo tipo de solo (Latosolo Amarelo coeso), com o diferencial de que deveria ser dispensada maior atenção para as áreas de mangue.

### **5.4. Características Gerais e Morfométricas da Bacia e Sub-bacias do Rio Benevente**

#### **5.4.1. Caracterização Geral e Morfométrica da Bacia do Rio Benevente**

O curso principal da bacia do rio Benevente apresenta ordem de drenagem igual a 7, o que evidencia elevada extensão da sua ramificação. Possui significativa densidade de drenagem ( $2,91 \text{ km km}^{-2}$ ) e seu padrão de drenagem é predominantemente dendrítico, cujos canais estão sujeitos ao controle estrutural geológico caracterizado por falhas e fraturas que resultam em ângulos de convergência retos e traçado retilíneo. Esse controle estrutural incide, principalmente, nas áreas a noroeste, em direção a parte mais alta da Bacia o que permite a identificação de verdadeiros degraus na paisagem (Figura 17), em que é possível distinguir os diversos ambientes encontrados nesses locais.



**Figura 17. Perfil topográfico do rio Benevente da nascente até a foz.**

O sentido principal da drenagem segue de noroeste para sudeste em direção ao litoral. O rio Benevente percorre uma distância de mais de 25 km em áreas relativamente planas, embora existam pequenas elevações nos seus arredores (Afloramentos Rochosos e morros em formato de meia-laranja). As margens direita e esquerda do Rio apresentam sub-bacias com expressiva densidade de drenagem que variam da ordem de 2,15 a 3,69 km km<sup>-2</sup>.

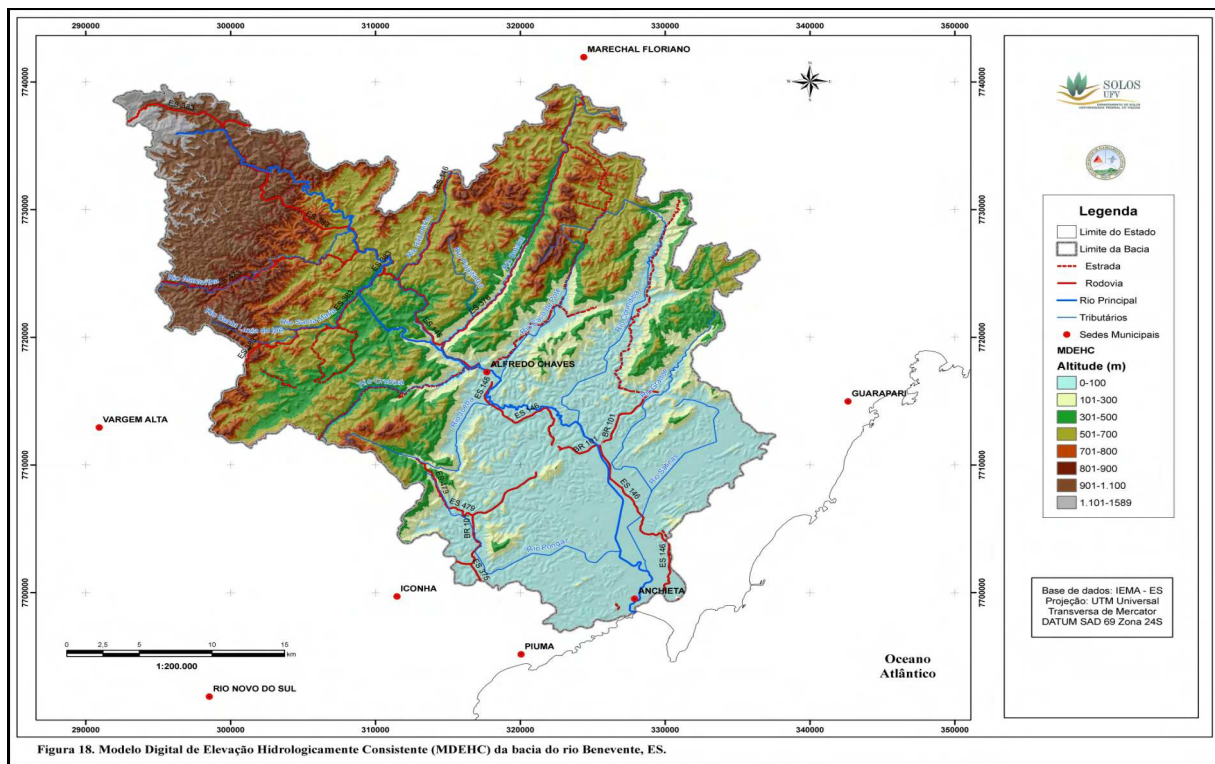
As características do padrão de drenagem refletem o processo morfogenético do terreno, referente à modelação da paisagem (Christofoletti, 2006). Com base nisso, pode se verificar que tal fato permite diferenciar uma maior quantidade de cursos d'água nas partes mais elevadas da Bacia quando comparada as partes mais baixas de relevo menos acidentados que, apesar de apresentar menor rede de drenagem, possui rios e córregos mais caudalosos.

Os resultados do MDEHC (Figura 18) indicam que as áreas mais baixas da Bacia estão localizadas mais a sudeste onde se encontra a foz do rio Benevente, ao passo que as partes mais elevadas estão mais a noroeste.

As áreas de 0 a 100 e 500 a 700 m de altitude correspondem, respectivamente, a 32,30% (35.921 ha) e 22,50% (25.009 ha) da área total da Bacia, enquanto que as com cotas superiores a 900 metros são equivalentes a 11,20% (12.395 ha).

Os terrenos que se enquadram na classe de relevo plano representam 8,65% da área total da Bacia (Quadro 16) e estão localizadas, em sua maioria, em áreas contíguas ao litoral (Figura 19). Encontram-se também em locais menos expressivos, como nas proximidades das planícies fluviais e nos topos planos. A classe de declividade que assume forma expressiva na Bacia é o relevo forte ondulado caracterizado pelo predomínio das formas do tipo côncavo-côncavas e convexo-convexas com vales em formas de V. As formas escarpadas são representativas das áreas correspondentes as sub-bacias dos rios Corindiba e Batatal (Figura 20) em que os processos erosivos tendem a atuar mais intensamente.

No que se diz respeito à orientação da Bacia relacionada à sua exposição à radiação solar (Figura 21), verificou-se que a maior parte de seu relevo se encontra com suas encostas voltadas no sentido sul/leste (47,38%). O que sugere que essas áreas são mais conservadoras de umidade e menos propensas à erosão, pois sua capacidade de recuperação é maior devido à vegetação ser mais abundante. Esses dados são bastante expressivos no que se diz respeito ao melhor uso agrícola da área, pois determinados tipos de cultura são menos tolerantes a um período maior de radiação solar. As encostas voltadas para norte/oeste, por sua vez, são mais dissipadoras de umidade e, portanto, mais propensas a erosão. As áreas planas, isto é, sem orientação e com declividade  $\leq 10\%$  assumiram significativa importância da área total da Bacia (20,62%) e concentram-se nas proximidades do litoral.

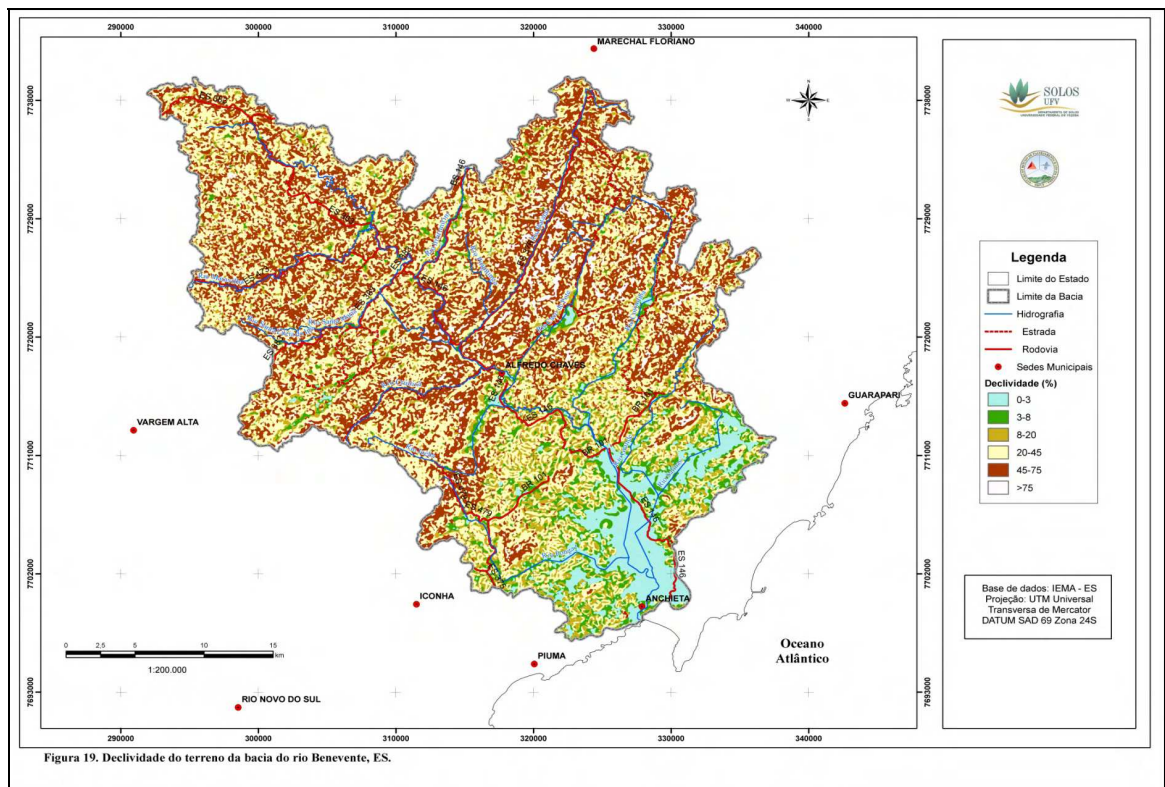


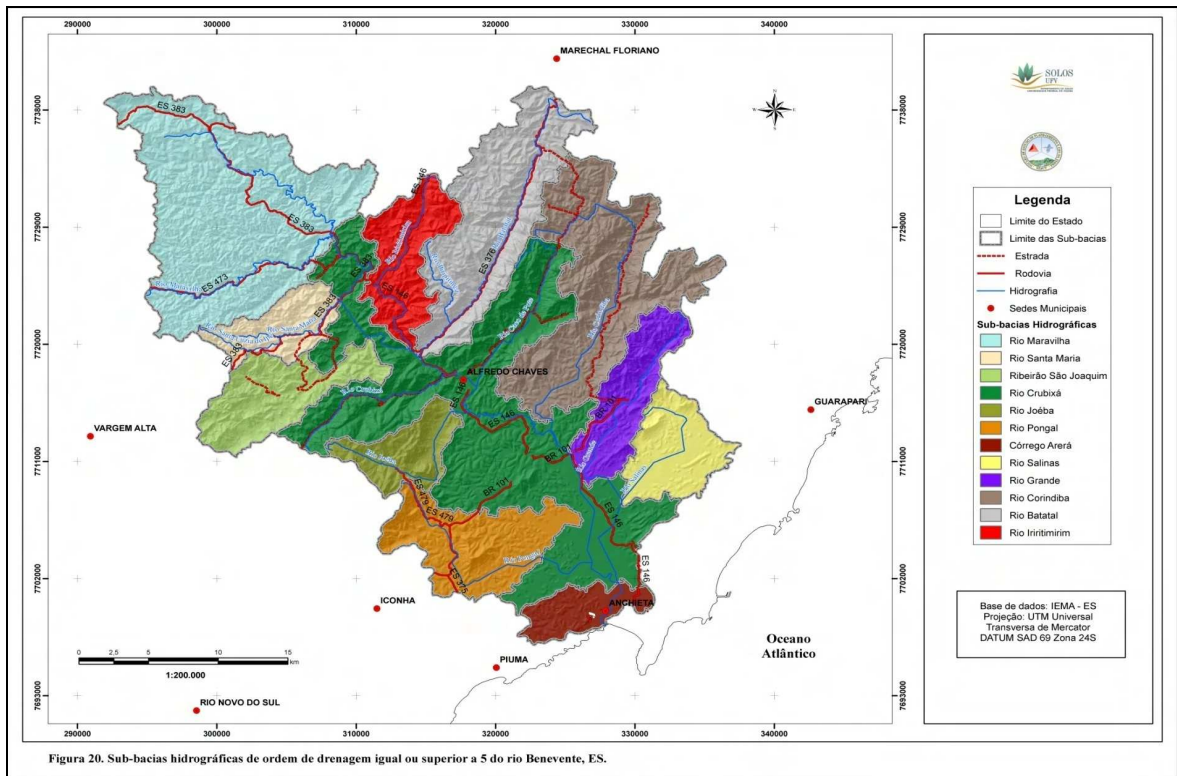
**Quadro 16. Classes de declividade da bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES**

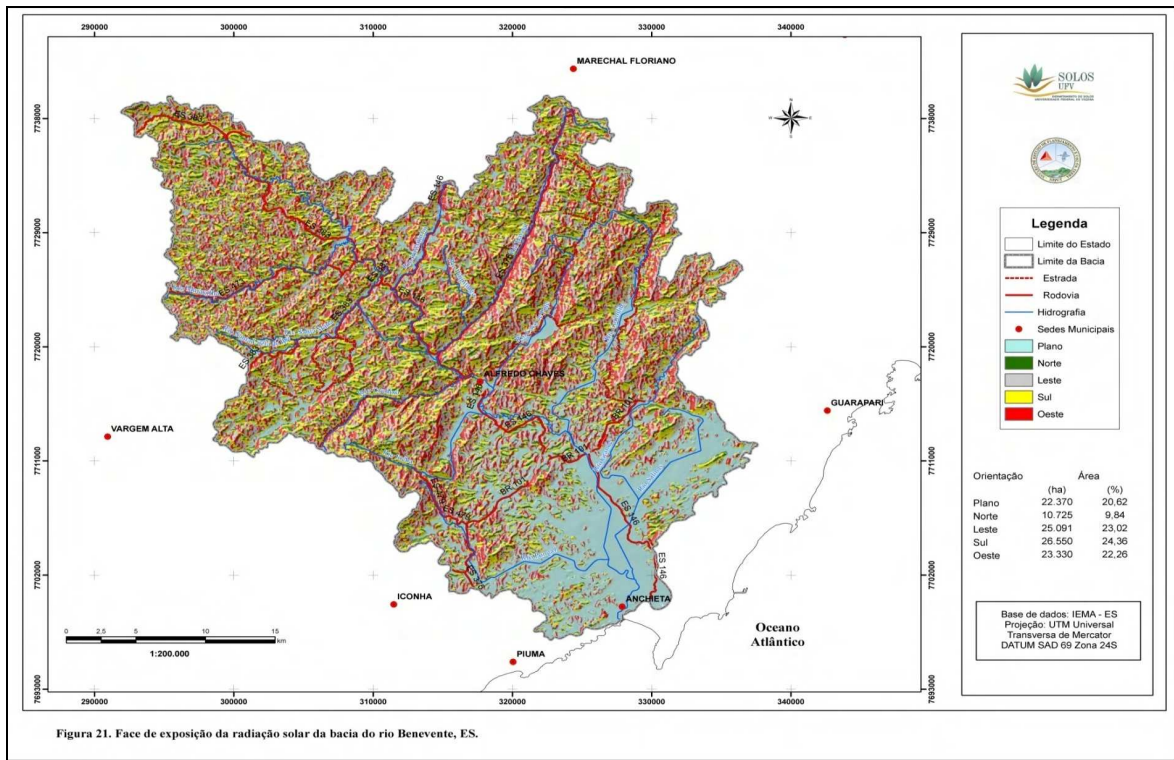
Bacia e Sub-bacias Hidrográficas	Declividade (%)						
	0 - 3	3 - 8	8 - 20	20 - 45	45-75	> 75	
	Área (ha)	Área (%)					
Rio Maravilha	20.016	1,00	4,95	15,34	40,52	33,91	4,29
Rio Santa Maria	3.400	1,21	5,03	14,26	38,29	35,12	6,09
Ribeirão São Joaquim	5.508	2,08	6,47	16,23	40,23	30,33	4,66
Rio Crubixá	27.734	14,57	11,57	17,06	29,93	22,24	4,63
Rio Joéba	3.450	2,03	6,85	13,32	39,15	32,99	5,66
Rio Pongal	6.910	11,14	16,15	23,33	31,16	15,99	2,22
Córrego Arerá	2.616	37,97	21,36	22,24	16,64	1,79	0,00
Rio Salinas	4.600	28,88	22,85	17,63	20,06	8,59	2,00
Rio Grande	4.974	7,61	11,46	17,95	33,19	25,56	4,23
Rio Corindiba	13.680	2,05	6,44	15,42	34,77	32,34	8,98
Rio Batatal	11.078	0,77	3,85	11,83	34,90	38,59	10,07
Rio Iiritimirim	5.134	1,83	6,39	15,14	38,80	32,33	5,51
Rio Benevente	109.100	8,65	9,23	16,23	33,50	27,16	5,30

#### 5.4.2. Caracterização Geral e Morfométrica das Sub-bacias do Rio Benevente

Foi possível dividir a bacia do rio Benevente em 12 sub-bacias, de acordo com os critérios de ordem de drenagem igual ou superior a 5 e com base no MDEHC. As 12 sub-bacias encontram-se distribuídas nos três geoambientes que foram identificados, sendo designados no intuito de agrupar sob a mesma denominação áreas com características pedo-geomorfológicas semelhantes. Das sub-bacias, cerca de 75% possui a maior parte da sua área localizada no geoambiente Serras (Quadro 17). A sub-bacia do rio Pongal abrange 74,68% da área do geoambiente Tabuleiros Dissecados, ao passo que as sub-bacias do rio Salinas e do córrego Arerá têm mais de 50% da sua área localizada no geoambiente das Planícies Costeiras.







**Quadro 17. Distribuição das sub-bacias de acordo com os respectivos geoambientes da bacia do rio Benevente, ES**

Sub-bacias	Geoambientes		
	Serras	Tabuleiros Dissecados	Planícies Costeiras
	.....Área (%)......		
Rio Maravilha	100,00	0,00	0,00
Rio Santa Maria	100,00	0,00	0,00
Ribeirão São Joaquim	100,00	0,00	0,00
Rio Crubixá	55,86	25,63	18,51
Rio Joéba	90,51	9,49	0,00
Rio Pongal	17,20	74,68	8,12
Córrego Arerá	0,00	43,32	56,68
Rio Salinas	12,65	24,40	62,96
Rio Grande	50,36	41,56	8,08
Rio Corindiba	91,08	8,92	0,00
Rio Batatal	100,00	0,00	0,00
Rio Iiritimirim	100,00	0,00	0,00

A classe de solos com maior expressão nas sub-bacias do ribeirão São Joaquim e dos rios Joéba e Salinas são os Latossolos Vermelho-Amarelos que correspondem, respectivamente, a 50,99%; 33,64% e 51,67% do total dessas sub-bacias (Quadro 18). Os Latossolos Amarelos coesos ocupam, aproximadamente, 70% da área da sub-bacia do rio Pongal. Os Cambissolos Háplicos em associação com os Afloramentos Rochosos, por sua vez, abarcam 80% do total da área da sub-bacia do rio Maravilha. Os Argissolos Vermelho-Amarelos são os mais representativos nas sub-bacias dos rios Salinas e Batatal e do córrego Arerá. A associação dos Neossolos Flúvicos assume certa representatividade nas sub-bacias dos rios Crubixá, Pongal e Grande.

Em relação ao uso e ocupação dentro das sub-bacias (Quadro 19) nota-se que a pastagem ocupa a maior parte da área das sub-bacias do rio Santa Maria (60,64%), ribeirão São Joaquim (59,60%), rio Crubixá (54,26%), rio Pongal (72,51%), córrego Arerá (76,86%) e rio Salinas (62,46%). A agricultura assume maior proporção na sub-bacia do rio Corindiba e nenhuma expressividade na sub-bacia do rio Santa Maria. As áreas com florestas plantadas em crescimento ocupam 9,16% da sub-bacia do córrego Arerá. A floresta natural primária ou secundária ou média abrange a maior parte da área das sub-bacias do rio Maravilha (51,09%), rio

Corindiba (50,35%) e rio Batatal (51,44%). Ao passo que, a vegetação natural secundária é mais significativa, em questão de área, na sub-bacia do rio Joéba (36,14%). As áreas alagadas ocupam 9,65% das sub-bacias do rio Crubixá, rio Salinas (7,79%) e rio Grande (9,26%). As áreas urbanas, por sua vez, concentram-se nas sub-bacias do rio Crubixá (0,25%), córrego Arerá (0,30%) e rio Iiritimirim (0,05%). Pode-se dizer que, as sub-bacias do rio Pongal e córrego Arerá são as mais antropizadas, em razão da pequena área florestada e maior extensão dos espaços ocupados por pastagem.

**Quadro 18. Distribuição das classes de solos modais por sub-bacias do rio Benevente, ES**

Sub-bacias	Solos					
	LVAd	LAdx	CXbd1 <sup>1</sup>	CXbd2 <sup>2</sup>	PVAd	RYbd <sup>3</sup>
	Área (%).....					
Rio Maravilha	8,14	0,00	11,12	80,22	0,52	0,00
Rio Santa Maria	38,31	0,00	17,34	44,35	0,00	0,00
Ribeirão São Joaquim	50,99	0,00	11,01	38,00	0,00	0,00
Rio Crubixá	11,42	37,42	9,92	24,37	0,18	16,69
Rio Joéba	33,64	29,92	8,17	22,25	0,00	6,02
Rio Pongal	0,79	69,46	3,36	8,26	0,00	18,14
Córrego Arerá	0,00	56,90	0,00	4,45	38,65	0,00
Rio Salinas	51,67	2,89	19,34	0,00	26,10	0,00
Rio Grande	0,00	44,74	5,64	34,65	0,00	14,96
Rio Corindiba	4,37	30,97	4,83	47,61	7,83	4,39
Rio Batatal	5,41	0,37	3,06	74,32	16,80	0,05
Rio Iiritimirim	5,71	0,00	28,66	61,36	4,27	0,00

1: CXbd1 + LVAd; 2: CXbd2 + AR; RYbd + GXbd + GJ + OX + OJ.

Quanto ao tempo de concentração da água da chuva, a sub-bacia do rio Crubixá é a que representa maior tempo de concentração (Quadro 20). Esse fato se relaciona aos valores quantitativos encontrados para o coeficiente de compacidade (3,66), que se encontra mais afastado da unidade e ao baixo valor do fator de forma (0,24). O índice de circularidade também apresenta baixo valor (0,07). Dessa forma, os valores analisados demonstram que se trata de uma bacia irregular com menor probabilidade de enchentes em condições normais de precipitação, tendo em vista a menor possibilidade de ocorrência de chuvas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão.

**Quadro 19. Uso e ocupação do solo das sub-bacias do rio Benevente, ES**

Uso e ocupação do Solo	Sub-bacias											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Área (%).....											
Afloramento/solo exposto	0,59	0,09	0,00	0,37	0,10	0,36	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,19
Agricultura	2,07	0,00	1,17	2,10	3,33	2,18	3,94	3,90	2,44	4,76	2,08	3,16
Áreas alagadas	0,00	0,00	0,00	9,65	1,05	4,65	0,00	7,79	9,26	0,07	0,00	0,00
Áreas urbanas	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Floresta natural primária ou secundária avançada ou média	51,09	26,73	25,02	18,55	17,81	6,73	8,00	24,54	41,18	50,35	51,44	39,19
Floresta natural/sombra	0,03	0,00	0,07	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2,25	0,94
Floresta plantada em crescimento	0,71	0,09	0,00	1,15	0,00	0,00	9,16	0,00	0,00	0,00	0,49	0,70
Floresta plantada recém-cortada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Manguezais	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastagem	26,50	60,64	59,60	54,26	41,50	72,51	76,86	62,46	45,67	32,68	23,66	40,56
Pastagem / Sombra	0,15	0,17	0,18	0,66	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,38	2,56	1,55
Rios	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação natural secundária	18,90	12,44	13,88	11,53	36,14	13,53	0,40	1,28	1,45	11,77	17,52	13,65

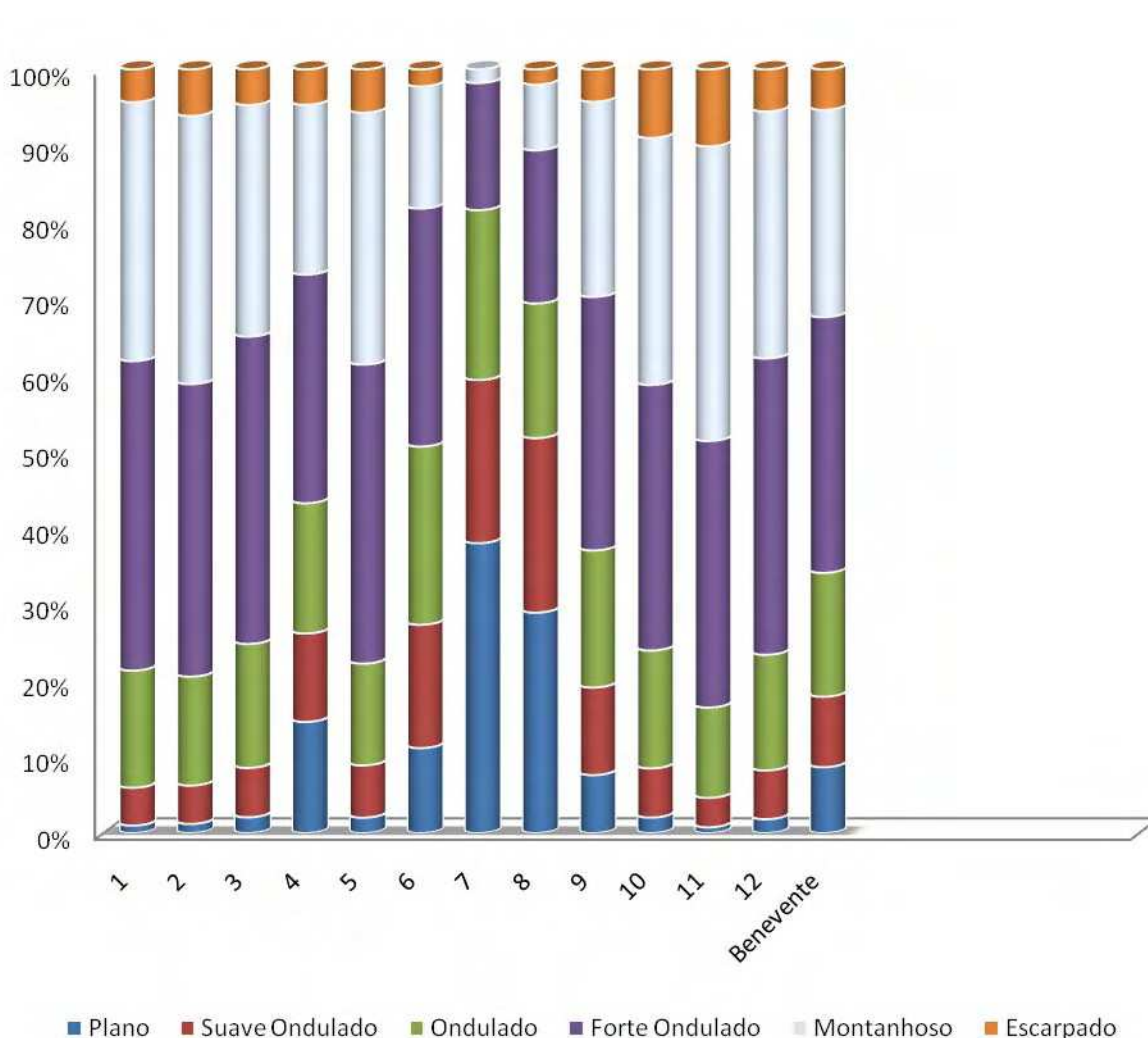
Simbologia: Sub-bacias 1: Rio Maravilha, 2: Rio Santa Maria, 3: Ribeirão São Joaquim, 4: Rio Crubixá, 5: Rio Joêba, 6: Rio Pongal, 7: Córrego Arerá, 8: Rio Salinas, 9: Rio Grande, 10: Rio Corindiba, 11: Rio Batatal, 12: Rio Iritimirim.

**Quadro 20. Características morfométricas da bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES**

Características Morfométricas	Bacia e Sub-bacias													
	Ud	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Benevente
Área de drenagem	km <sup>2</sup>	200	34	55	277	34	69	26	46	50	137	111	51	1.091
Perímetro	km	82	34	47	217	33	53	31	38	44	96	73	47	242
Comprimento total dos canais	km	739	106	136	742	74	184	57	116	149	455	272	141	3.171
Comprimento do eixo principal	km	19	10	14	34	9	11	8	9	13	20	22	13	53
Coefficiente de compacidade (Kc)		1,63	1,63	1,78	3,66	1,56	1,77	1,71	1,59	1,73	2,30	1,94	1,83	2,05
Fator de forma(F)		0,54	0,33	0,26	0,24	0,37	0,51	0,40	0,46	0,25	0,32	0,22	0,28	0,42
Índice de circularidade (IC)		0,37	0,37	0,31	0,07	0,40	0,31	0,34	0,39	0,33	0,19	0,26	0,30	0,23
Densidade de drenagem	km km <sup>-2</sup>	3,69	3,12	2,46	2,68	2,15	2,68	2,16	2,53	3,00	3,31	2,45	2,75	2,91
Altitude mínima	m	537	396	295	18	19	17	18	18	18	19	41	76	0,00
Altitude média	m	922	665	570	234	373	83	30	51	170	352	600	595	429
Altitude máxima	m	1.589	1.067	942	972	928	605	149	465	616	913	972	849	1.589
Declividade mínima	%	0,03	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00
Declividade média	%	38,81	40,44	37,20	29,75	39,17	24,97	10,33	16,80	32,22	40,87	45,05	38,64	34,06
Declividade máxima	%	180	165	176	218	180	173	80	144	170	221	192	176	221

Simbologia: Sub-bacias 1: Rio Maravilha, 2: Rio Santa Maria, 3: Ribeirão São Joaquim, 4: Rio Crubixá, 5: Rio Joéba, 6: Rio Pongal, 7: Córrego Arerá, 8: Rio Salinas, 9: Rio Grande, 10: Rio Corindiba, 11: Rio Batatal, 12: Rio Iritimirim.

A sub-bacia do rio Maravilha possui maior densidade de drenagem, o que segundo Villela & Mattos (1975) a enquadra como uma bacia excepcionalmente bem drenada. O fator relevo não se apresenta tão consistente para explicar a diferença de densidade de drenagem quando comparada às sub-bacias dos rios Santa Maria e Corindiba, apesar dessas duas sub-bacias apresentarem declividade média maior do que a primeira. A sub-bacia do rio Maravilha está sujeita a um processo erosivo mais intenso, já que se encontra nas partes mais altas da Bacia e em áreas de declive acentuado (Figura 22). É também a que possui maior grau de entalhamento da paisagem, com diferença entre a altitude máxima e mínima de 1.052 m de altitude.



Simbologia: Sub-bacias 1: rio Maravilha, 2: rio Santa Maria, 3: ribeirão São Joaquim, 4: rio Crubixá, 5: rio Joéba, 6: rio Pongal, 7: córrego Arerá, 8: rio Salinas, 9: rio Grande, 10: rio Corindiba, 11: rio Batatal, 12: rio Iiritimirim.

**Figura 22. Distribuição por área (%) das classes de declividades na bacia e sub-bacias do rio Benevente, ES.**

Os dados de declividade média revelam que as sub-bacias se encontram em áreas de relevo forte ondulado a montanhoso, à exceção das sub-bacias do córrego Arerá e rio Salinas. A sub-bacia do rio Batatal apresenta maior valor de declividade média. Em contrapartida não é a que possui maior densidade de drenagem (2,45 km km<sup>-2</sup>).

Em termos de faces de exposição do terreno a radiação solar (Quadro 21), as sub-bacias apresentam a maior parte de suas áreas com faces voltadas no sentido leste/sul, à exceção das sub-bacias do córrego Arerá e do rio Batatal. Desse modo, são sub-bacias em que se espera que a taxa de evapotranspiração seja consideravelmente maior, devido à maior incidência da radiação solar diária.

**Quadro 21. Exposição do terreno à radiação solar das sub-bacias do rio Benevente, ES**

Sub-bacias	Orientação			
	Norte	Leste	Sul	Oeste
	.....Área (%).....			
Rio Maravilha	24,50	27,79	27,83	19,88
Rio Santa Maria	26,85	27,76	29,15	16,24
Ribeirão São Joaquim	28,88	24,81	26,73	19,57
Rio Crubixá	24,51	26,72	25,71	23,06
Rio Joéba	21,36	39,83	23,51	15,30
Rio Pongal	24,94	28,31	24,81	21,94
Córrego Arerá	24,60	24,11	25,21	26,09
Rio Salinas	24,79	26,13	25,56	23,52
Rio Grande	18,14	27,50	27,50	26,86
Rio Corindiba	21,64	26,13	25,30	26,94
Rio Batatal	24,29	25,11	24,69	25,91
Rio Iiritimirim	21,06	24,84	27,04	27,06

No hemisfério sul, os raios solares incidem de forma mais direta sobre faces voltadas para o norte, o que proporciona maior quantidade de energia transmitida para essa exposição do que para as outras. A face oeste é a segunda a receber maior incidência de radiação solar acompanhada pela face leste. A sul é a que menos recebe energia. A orientação do terreno, por conseguinte, constitui em um condicionante dos elementos climatológicos e fisiológicos relacionados à produtividade agrícola. Pode-se, por exemplo, para as mesmas condições de solo direcionar quais seriam as partes da paisagem mais propícias aos plantios de café e eucalipto.

## 6. RESUMO E CONCLUSÕES

Esse estudo foi desenvolvido com os objetivos de determinar as características morfométricas da bacia do rio Benevente localizada no sul do estado do Espírito Santo; identificar as principais unidades paisagísticas com base nas classes de solos; caracterizar os principais tipos de solos em seus aspectos físicos, químicos e mineralógicos e como eles se inter-relacionam na paisagem; avaliar quais tipos de uso do solo está degradando mais o ambiente e sugerir alternativas de uso e ocupação do solo que visem a sua conservação.

A estratificação de geoambientes constituiu-se como uma importante ferramenta, no que diz respeito ao melhor conhecimento sobre as particularidades da região em estudo, tendo em vista que possibilitou o agrupamento das características físicas semelhantes da bacia do rio Benevente sob uma mesma denominação. O conhecimento das características que definiram tais agrupamentos permite direcionar medidas corretivas e/ou preventivas específicas para esses locais.

Os solos dos geoambientes estudados apresentam baixa fertilidade natural, sendo, em sua maioria, distróficos ou álicos. A composição mineralógica dos solos é constituída, principalmente, por caulinita e gibbsita, o que denota a baixa reserva natural desses solos. A pecuária é o tipo de uso da terra que ocupa a maior área da Bacia (43,94%) e se constitui como uma das atividades mais degradante dos solos. As alternativas de uso e ocupação da Bacia variam de acordo com as especificidades dos ambientes estudados. A Bacia foi dividida em três principais geoambientes, de acordo com a homogeneidade dos atributos avaliados:

1. Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos caracterizados pelo forte grau de dissecação da paisagem. Quanto ao uso, os Cambissolos Háplicos são os solos preferidos pelos agricultores para o plantio, especialmente, de bananeiras e café conilon ou arábica;
2. Tabuleiros Dissecados com predomínio dos Latossolos Amarelos coesos de baixa fertilidade natural e altamente adensados com presença marcante do Grupo Barreiras que se mostra mais dissecado. As áreas de domínio do Grupo Barreiras são, em geral, as que se apresentam mais degradadas em razão da pastagem, que ocupa porção expressiva desse geoambiente e exerce pressão significativa no solo compactando-o, o que favorece erosão laminar intensa.
3. Planícies Costeiras com Latossolos Amarelos coesos e solos hidromórficos (Gleissolos e Organossolos) com conformação mais suave do relevo, paisagem menos dissecada, conferida pelo Grupo Barreiras o que permite distingui-lo do geoambiente Tabuleiros Dissecados. A pastagem também ocupa porção significativa desse geoambiente e contribui para a degradação dos solos. Os solos hidromórficos ocorrem nos fundos de vales, com associação de Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos e, nas áreas próximas ao litoral, verifica-se a associação dos Neossolos Flúvicos com solos tiomórficos (Gleissolos e Organossolos). São as áreas de maior pressão urbana.

Pela análise dos dados morfométricos da Bacia, pôde se concluir que:

1. A divisão da bacia do rio Benevente por sub-bacias possibilitou o maior conhecimento sobre as peculiaridades relativas a cada uma dessas áreas (uso e ocupação, relevo, morfometria) em uma escala maior.
2. A maior parte das sub-bacias encontra-se no geoambiente Serras com domínio dos Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e Latossolos Vermelho-Amarelos;

3. O padrão de drenagem é predominantemente dendrítico, com elevada extensão de sua ramificação (ordem de drenagem 7) e as margens direita e esquerda do rio Benevente apresentam sub-bacias com expressiva densidade de drenagem;
4. A maior parte das sub-bacias tem menos probabilidade de enchentes em condições normais de precipitação, em virtude de sua forma ser mais irregular;
5. A parte mais alta da Bacia é mais bem servida por água, isto é, possui maior densidade de drenagem do que a parte baixa e está sujeita a um maior controle estrutural onde o rio corre encaixado. Na parte baixa o rio corre sobre sedimentos e segue a direção sudeste acompanhando uma inclinação natural do Grupo Barreiras;
6. O relevo forte ondulado é a classe de declividade predominante na Bacia;
7. A maior parte do relevo tem suas encostas voltadas no sentido sul/leste que se constituem como áreas mais conservadoras de umidade e menos propensas à erosão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, V.H.V.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Soc. Bras. de Ci. Solo*, 25:27-33, 2000. (Boletim Informativo)
- ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. LOPES, A.S. Interpretação das Análises de Solos. In: *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 1999. p.25-32.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br/cd4/ES.doc>>. Acesso em: 20 jan. 2009.
- ANDERSON, J.V. An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. *Clays and Clay Minerals*. 10:380-388, 1963.
- ARAI, M. A grande elevação Eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. *Geol. USP Sér. Cient.* 2: 1-6, 2006.
- ARRUDA, P.R.R. Uma contribuição ao estudo ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu. Viçosa, UFV, 1997. 108p. (Tese de Mestrado)
- ATTANASIO, C.R.; LIMA, W. P.; GANSOLFI, S. ZAKIA, M.J.B.; VENEZIANI JUNIOR, J.C.T. Método para a identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). *Scientia Florestalis*, 71:131-40, 2006.
- BAENA, L.G.N.; SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L. Regionalização de vazões com base em Modelo Digital de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 3:612-624, 2004.
- BARUQUI, F.M. Inter-relações solo-pastagens nas regiões da Mata e rio Doce do Estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1982. 119p. (Tese de Mestrado)

- BERTRAND, G. *Écologie d'un Espace Géographique: les Geosystème Du Valle de Prioro*. Espace Géographique, 1972.
- BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. *Geologia, Tectônica, e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2003.
- BÔAS, G.S.V; SAMPAIO, F.J.; FERREIRA, A.M.S. The Barreiras Group in the Northeastern coast of the State of Bahia, Brazil: depositional mechanisms and processes. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 73:417-427, 2001.
- BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soils*. New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 1976. 482p.
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification*. London: Mineralogical Society, 1980. 495p.
- BUI, E.N.; MORAN, C.J. A strategy to fill gaps in soil survey over large spatial extents: an example from the Murray–Darling basin of Australia. *Geoderma* 111:21-44, 2003.
- CASTRO, P.S.E. *Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, Minas Gerais*. Viçosa, UFV, 1980. 107p. (Tese Mestrado)
- CASTRO, P.S; ROMANOVSKI, Z; GOMES M.A. Aumento da produção de água por meio do manejo da vegetação freatófita. *Notas de Aula*, Viçosa, UFV, 1998.
- CHAPPEL, A. Modeling the spatial variation of processes in the redistribution of soil: digital terrain models and <sup>137</sup>Cs in southwest Niger. *Geomorphology* 17:249-26, 1996.
- CHEN. P-Y. *Table of key lines in x-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks*. Indiana: Bloomington, 1977. 65p. (Department of Natural Resources Geological Survey Occasional Paper 21)
- CHIKHAOUI, M.; BONN, F. BOKOYE, A.I.; MERSOUK, A. A spectral index for land degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7:140-153, 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial*. v.1, 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. 313p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 188p.

- CORRÊA, M.M. Óxidos de ferro e tipificação de caulinita na gênese de solos coesos do ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Viçosa, UFV, 2005. 194p. (Tese Doutorado)
- COSTA, L.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; OSLZEVSKI, N. O solo e a água. R. Ação ambiental, 20:17-19, 2001.
- COSTA, O. V.; COSTA, L.M.; FONTES, L.E.F.; ARAUJO, Q.R.; KER, J. C.; NACIF, P. G. S. Cobertura do solo e degradação de pastagens em área de domínio de Chernossolos no sul da Bahia. R. Bras. de Ci. Solo, 24:843-856, 2000.
- DEFELIPPO, B. V & RIBEIRO, A. C. Análise química do solo. 2. Ed. Viçosa, MG: UFV, 1997. 26 p. (Boletim de extensão, 29)
- DEMATTÊ, J.A.M. & DEMÉTRIO, V.A. Fotointerpretação de Padrões de Drenagem de Bacias Hidrográficas na Caracterização de Solos Desenvolvidos de Rochas Eruptivas Básicas do Estado do Paraná. Sci. Agric., 52:569-577, 1995.
- DIAS, H.C.T.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, L.E.F.; VENTORIM, L.B. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte, MG. R. Árvore, 26:777-786, 2002.
- DUARTE, M.N.; CURI, N.; PÉREZ, D.V.; KAMPF, N.; CLAESSEN, M.E.C. Mineralogia, química e micromorfologia de solos de uma microbacia nos Tabuleiros Costeiros do Espírito Santo. Pesq. Agropec. Bras. 35:1237-1250, 2000.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro. 1978. 461p. (Boletim Técnico)
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.
- ERNESTO SOBRINHO, F.; RESENDE, M.; MOURA, A.R.B.; SHAUN, N.; REZENDE, S.B. Sistema do pequeno agricultor do Seridó-Norte-Riograndense : A terra, o homem e o uso. Mossoró, Fundação Guimarães Duque, 1983. 200p. (Coleção Mossoroense, 276)

- ES. GOVERNO DO ESTADO DO ESPIRITO SANTO. Governo do Estado sanciona o Fundágua e cria Pagamento por Serviços Ambientais no Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.es.gov.br/site/noticias/show.aspx?noticiald=99683742>>. Acesso em: 31 jul. 2008.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. R. Bras. de Ci. Solo, 23:515-524, 1999a.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudeste do Brasil. R. Bras. de Ci. Solo, 23:507-514, 1999b.
- FIORIO, P.R. & DEMATTE, J.A.M. Orbital and Laboratory Spectral Data to Optimize Soil Analysis. Sci. Agric., 66:250-257, 2009.
- FONTES, M.P.F. Análise mineralógica por difração de raios – X. Viçosa, MG: UFV, 1998. 14p. (Roteiro de Aulas práticas da disciplina Mineralogia do Solo)
- FRANÇA, G.V. & DEMATTÊ, J.A.M. Parâmetros da Rede de Drenagem de Solos da Região de Iracemópolis (SP). ESALQ, Piracicaba, 47:541-555, 1990.
- IEMA. INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. As águas do Rio Benevente. Disponível em: <<http://www.iema.es.gov.br>>. Acesso em: 31 jul. 2008.
- IPPOLITI, R.G.A.; COSTA, L.M. da; SCHAEFER, C.E.G.R; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedofomas em microbacia na região de "Mar de Morros" (MG). R. Bras. de Ci. Solo, 29:269-276, 2005.
- JACKSON, M.L. Soil chemical analysis – advanced course. Dept. Soils. Un. Wisconsin, Madison, W.I. 1956.
- JENNY, H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. de Ci. Solo, 26:857-867, 2002.
- LANI, J.L. Estratificação de ambientes na bacia do rio Itapemirim, no sul do Estado do Espírito Santo. 1987. Viçosa, UFV, 114p. (Tese Mestrado)

- LANI, J.L.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Estratificação de Ambientes com base nas classes de solos e outros atributos na Bacia do Rio Itapemirim, ES. *Ceres*, 48:239-261, 2001.
- LANI, J.L.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; FEITOSA, L.R. Atlas do Ecossistemas do Espírito Santo. Viçosa: UFV, 2008.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação, 2ª impressão revisada. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- LIMA, W.P. Princípios de hidrologia florestal. Piracicaba: ESALQ, 1976. 143p.
- LIMA, W.P. Princípios de manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ, 1986. 246p.
- LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B.. Hidrologia de Matas Ciliares. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp> >. Acesso em: 20 jan. 2009.
- LIMA, H.V. Identificação e caracterização do comportamento físico de solos coesos no estado do Ceará. Piracicaba, ESALQ, 2004. 85p. (Tese Doutorado)
- MANCIO, D.; FREITAS, H.R.; MENDONÇA, E.S.; CARDOSO, I.M.; JUCKSCH, I. Solos e estratificação ambiental participativa: construindo o conhecimento local, no assentamento Olga Benário. *Rev. Bras. de Agro.* 2:768:772, 2007.
- MARTINS, A.K.E.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SILVA, E.; SOARES, V.P.; CORRÊA, G.R.; MENDONÇAS, B.A.F. Relações solo-ambiente em áreas de ocorrência de ipucas na Planície do Médio – Estado de Tocantins. *R. Árvore*, 30:297-310, 2006.
- MATOS, L.V. Conhecimentos na análise de ambientes: a Pedologia e o saber local em comunidade quilombola no Norte de Minas Gerais, 2008. Viçosa, UFV, 167p. (Tese Mestrado)
- McBRATNEY, A.B.; HART, G.A.; McGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geostatistically mapped soil attributes. *J. Soil Sci*, 3:513-533, 1991.
- McBRATNEY, A.B.; M.L.; MINASNYA; ROSSEL, V.R. Spectral soil analysis and inference systems: A powerful combination for solving the soil data crisis. *Geoderma*, 136:272-278, 2006.
- McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aid in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* 46:13-22, 1966.

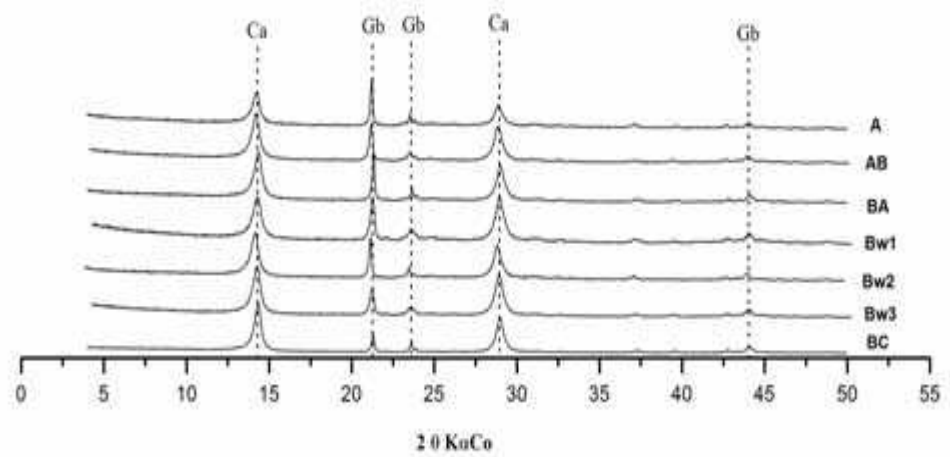
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite – citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL CONFERENCE ON CLAYS AND CLAYS MINERALS, 7, 1960, S. 1. Anais ... New York: Pergamon Press, 1960. p.317- 327.
- MELO, V.F.; NOVAIS, R.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FONTES, M.P.F.; SINGH, B. Mineralogia das frações areia, silte e argila dos sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. R. Bras. de Ci. Solo, 26:29-41, 2002.
- MORAES, J.F.L. de; LOMBARDI NETO, F.; DONZELI, P.L.; PRADO, H. Avaliação do meio físico da microbacia do córrego da fortuna, Presidente Venceslau, para fins de planejamento ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. Resumos expandidos.... Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD ROM.
- MOREIRA, M.A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação. 2ª ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.
- MOTA, S. Preservação de recursos hídricos. Rio de Janeiro: ABES, 1988. 222p.
- NASCIMENTO, P.C. Gênese dos solos hidromórficos com ênfase na matéria orgânica e no enxofre. Viçosa, UFV. 2004. 165p. (Tese de Doutorado)
- ODEH, I.O.A; TRIANTAFILIS, J.; McBRATNEY, A.B. Are quantitative methods useful for regional soil inventories? Geospatial Information & Agriculture, 2001.
- PAVANELLI, G.C. Estudos ambientais da planície de inundação do rio Paraná no trecho compreendido entre a foz do rio Paranapanema e o reservatório de Itaipu. In: Workshop do projeto Piracena, 1996. Nazaré Paulista SP. Anais...Piracicaba: CENA, 1996. p.69-72.
- PAZ, J.M.; SÁNCHEZ, J.; VISCONTI, F. Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region. J. Env. Man. 79:150-162, 2006.
- PETERSON, R.F. & DEMATTÊ, J.A.M. Orbital and laboratory spectral data to optimize soil analysis. Sci. Agric., 66:250-257, 2009.
- PENG, W.; WHEELER, D.B; BELL, J.C.; DRUSEMARK, M.G. Delineating patterns of soil drainage class on bare soils using remote sensing analyses. Geoderma 115:261-279, 2003.

- PISSARRA, T. C. T.; BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; RODRIGUES, F. M.; POLITANO, W. Análise Morfométrica da Microbacia Hidrográfica do Córrego Rico, Região Nordeste do Estado de São Paulo. *Científica*, 34:170-177, 2006.
- PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de Características Morfométricas na Relação Solo-Superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). *R. Bras. de Ci. Solo*, 28:297-305, 2004.
- RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra / Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1983. 775p.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. Sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras. Rio de Janeiro: EMBRAPA/MAARA, 1995. 65p.
- RESENDE, M. & REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. *Informe agropecuário*, 9:3-25, 1983.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 3ª ed. Viçosa: NEPUT, 2002a. 367p.
- RESENDE, M.; LANI, J.L.; REZENDE, S.B. Pedossistema da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade R. *Árvore*, 26:261-269, 2002b.
- RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações. Lavras: UFLA, 2005. 192p.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- ROCHA, J.S.M. Manual de Projetos Ambientais. Santa Maria: UFSM, 1997. 446p.
- ROCHA, J.S.M.. Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas. 2ª ed. Santa Maria: UFSM, 1991. 181p.
- ROJAS, E.H.M. Síntese genética de redes neurais artificiais ART2 na classificação de imagens ASTER para mapeamento de uso e cobertura da terra na região norte do Mato Grosso. São José dos Campos, INPE, 2004. 124p. (Tese de Mestrado)

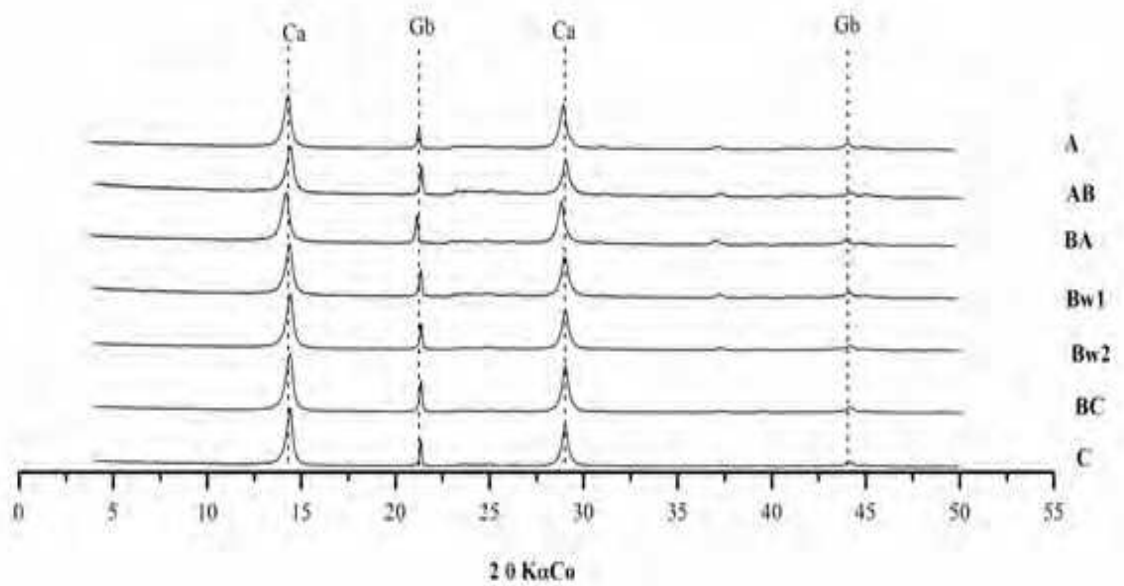
- ROMANOVSKI, Z. Morfologia e aspectos hidrológicos da microbacia Rua Nova, Viçosa, Minas Gerais para fins de manejo. Viçosa, UFV, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)
- ROSS, J.L.S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1997. 84p.
- RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife - PE. CDROM. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). Rev. Bras. de Ci. Solo, 29:297-300, 2005b.
- SANTANA, R.M. Mapeamento de geounidades do meio físico e biótico da Antártida Marítima. Viçosa, UFV, 2006.174p. (Tese de Doutorado)
- SANTOS, A.R. Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da Bacia do Rio Turvo Sujo, Micro-Região de Viçosa, Minas Gerais, 2001. Viçosa, UFV, 2001. 125p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92 p.
- SCHNEIDER, M.O. Proposta para a hierarquização da paisagem no domínio dos Planaltos Aplainados do Brasil Central. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Boletim de Geografia Teorética 15:104-111, 1985.
- SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. São Paulo: EDUSP, 2001. p.35-51.
- SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. Soil Sci. Soc. Am.. J., 61:877-883, 1997.
- SILVA, F.B. & CARVALHO, W.A. Discriminação de Solos por Interpretação Fotográfica da Rede de Drenagem. Holos Env., 2:65-86, 2002.
- SIMÕES, M.; FUCKS, S.; Alvarenga, R. O sistema de informações georreferenciadas de solos da EMBRAPA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. Resumos expandidos, Viçosa: SBCS/UFV. 3:1613-1615, 1995.
- SINOWSKI, W.; AUESWALD, K. Using relief parameters in a discriminate analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. Geoderma 89:113-128, 1999.

- SMITH, M.P.; ZHU, A-XING; BURT, J.E; STILES, C. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. *Geoderma* 137:58-69, 2006.
- SOTCHAVA, V.B. Définition de Quelques Notion et Termes de Géographie Phisique. Dokl. Institute de Géographie de la Sibérie et Extrême Oriente, 1962.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Movimento de água e resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *R. Bras. Eng. Agr. e Amb.*, 7:18-23, 2003.
- TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.D.; SOUZA, A.L. de; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. *R. Árvore*, 30:849-857, 2006.
- VALENTE, O.F.; CASTRO, P. S. Manejo de bacias hidrográficas. Informe agropecuário, 7:40-45, 1981.
- VALENTE, O.F.; CASTRO, P. S.; GOMES, M. A. Conservação de nascentes. Viçosa, CMCN, 2001. 41p. (Mimiografado)
- VALENTE, O.F.; DIAS, H. C. T. Bacia hidrográfica como unidade de produção de água. *Ação ambiental*, 20:8-9, 2001.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VILLELA, S.M. & MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1975. 245p.
- VISSMAN Jr. W.; HARBAUGH, T. E.; KNAPP, J. W. Introduction to hydrology. New York, Int. Educational. 1972.
- WISLER, C.O.; BRATER, E.F. Hidrologia. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 1964. 484 p.
- ZAIDAN, R.T.; SILVA, J.X.. Geoprocessamento e Análise Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363p.
- ZHAO, Z.; CHOW, T.L.; REES, H.W.; YANG, Q.; XING, Z.; MENG, F. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Comp. Elec. Agr.*, 65:36-48, 2008.

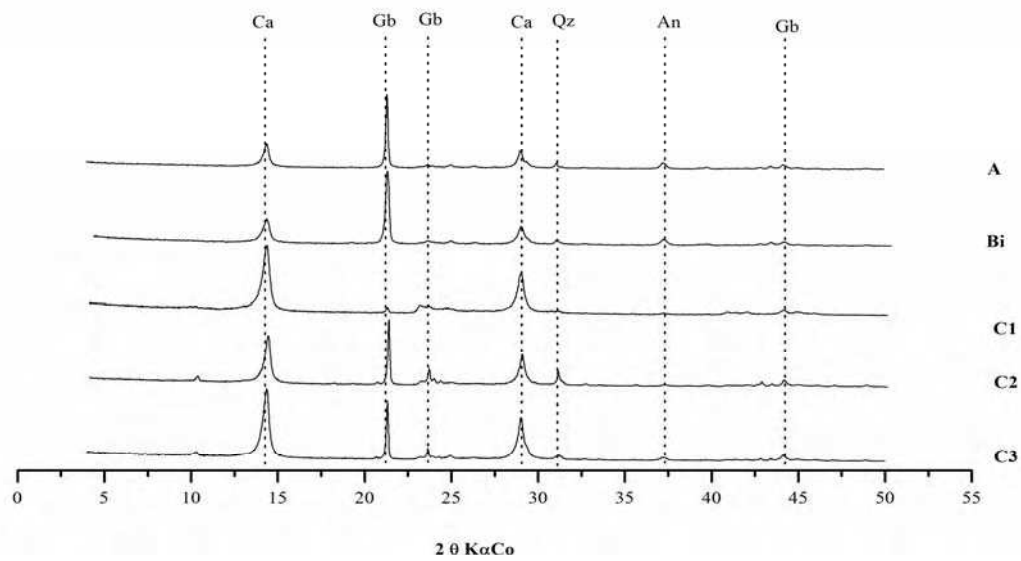
## **APÊNDICE**



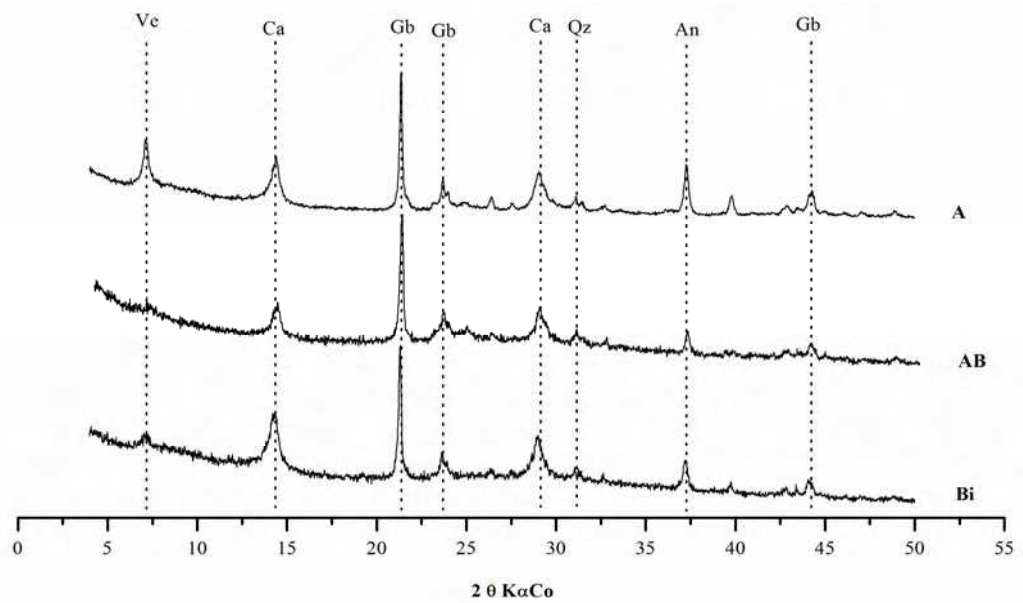
**Figura 1. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo (P3).**



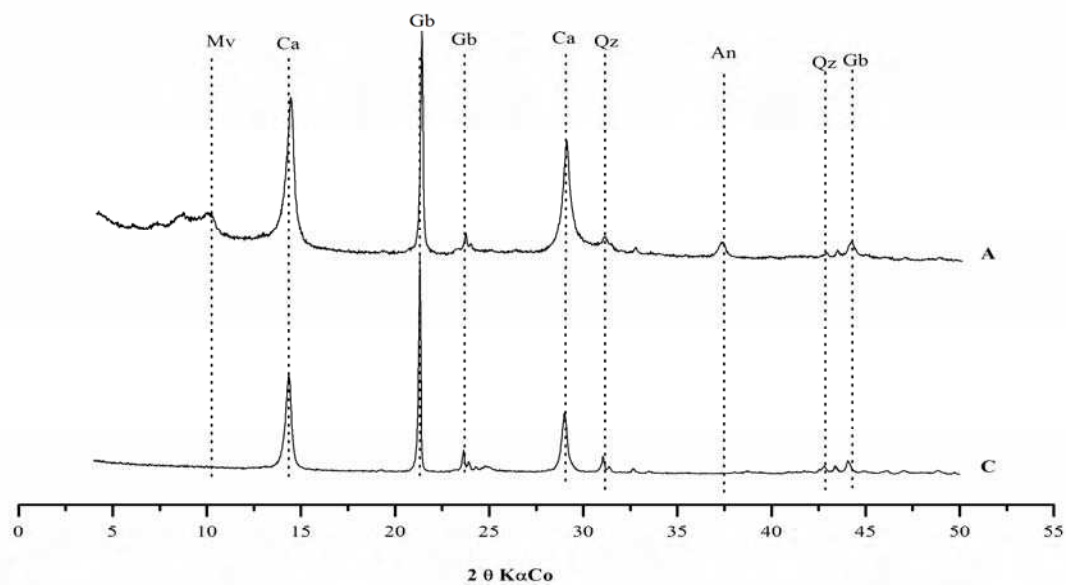
**Figura 2. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Latossolo Amarelo coeso (P5).**



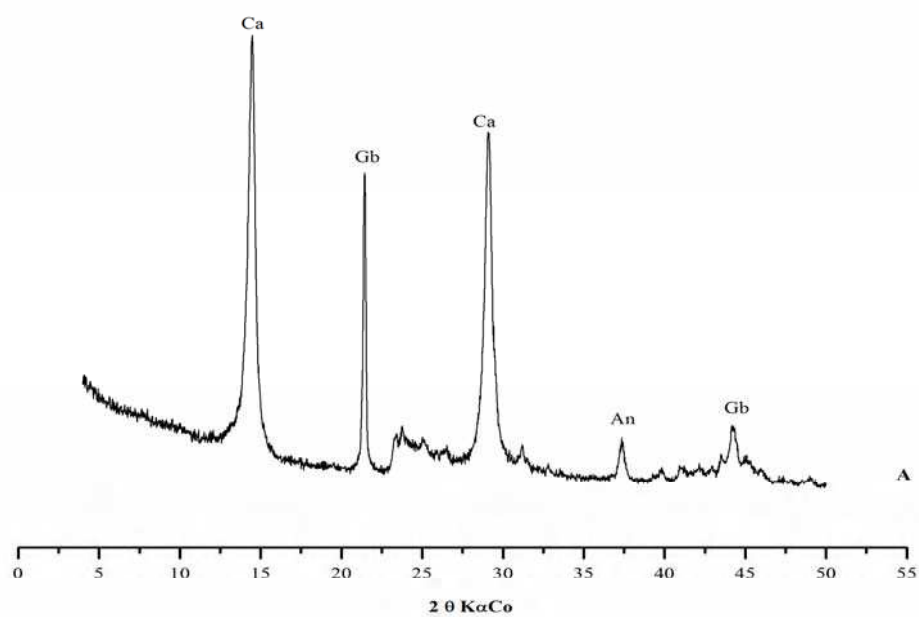
**Figura 3. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Cambissolo latossólico (P1).**



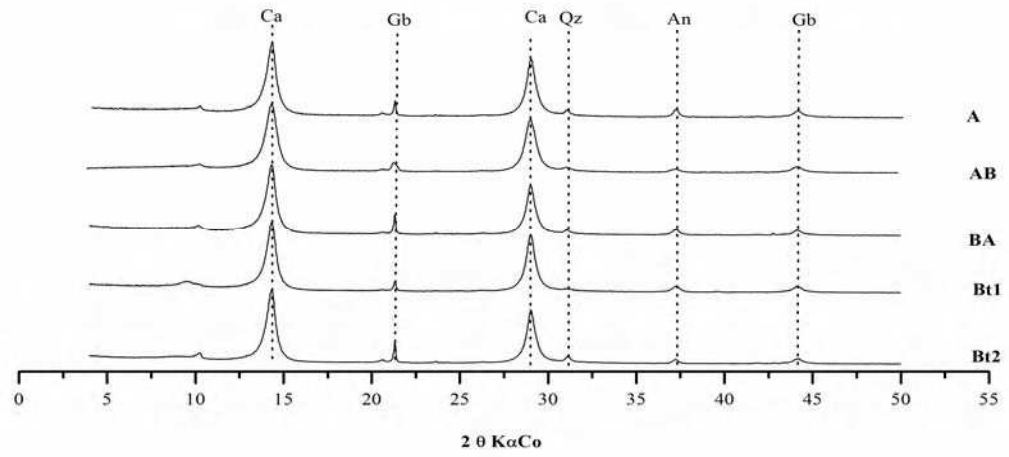
**Figura 4. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Cambissolo Háplico (P4).**



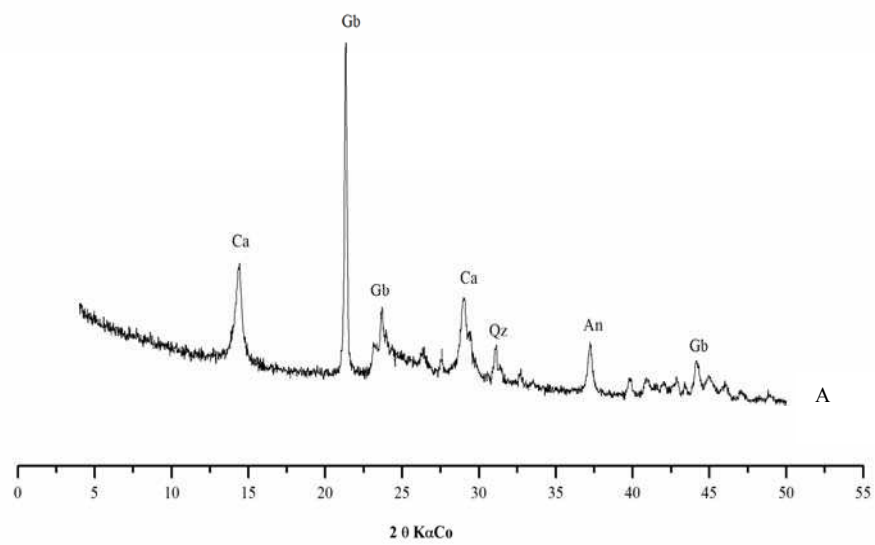
**Figura 5. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Neosolo Flúvico (P6).**



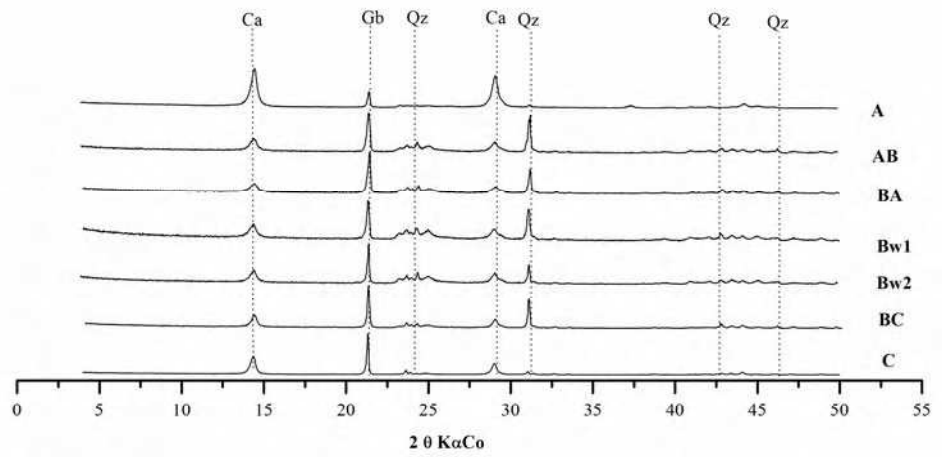
**Figura 6. Difratoograma da fração argila do horizonte A do Neosolo Litólico (P8).**



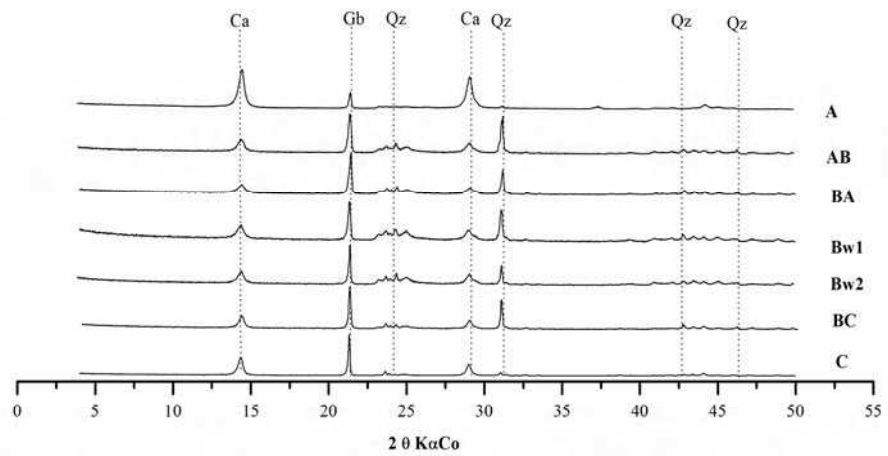
**Figura 7. Difratoograma da fração argila dos diferentes horizontes do Argissolo Vermelho-Amarelo (P7).**



**Figura 8. Difratoograma da fração argila do horizonte A do Gleissolo Háplico (P9).**



**Figura 9. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo (P3).**



**Figura 10. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Latossolo Amarelo coeso (P5).**

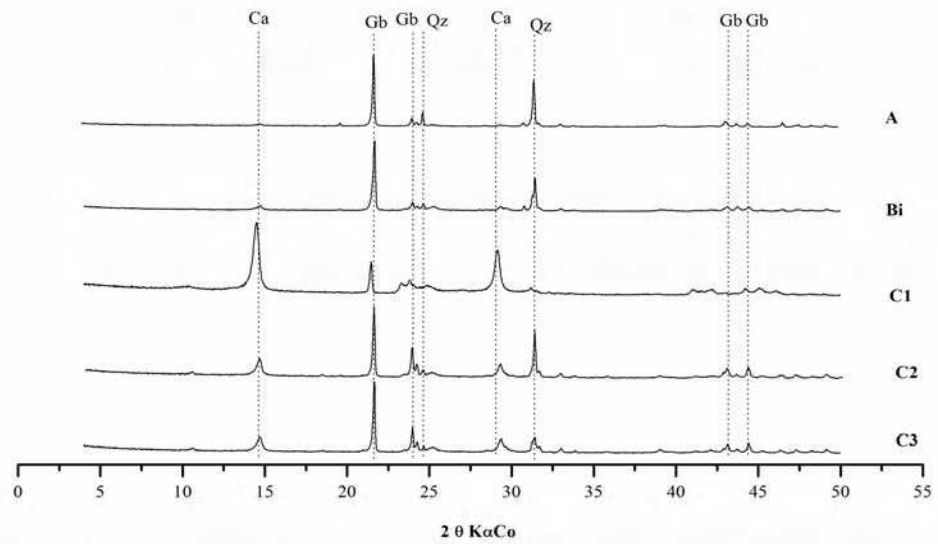


Figura 11. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Cambissolo latossólico (P1).

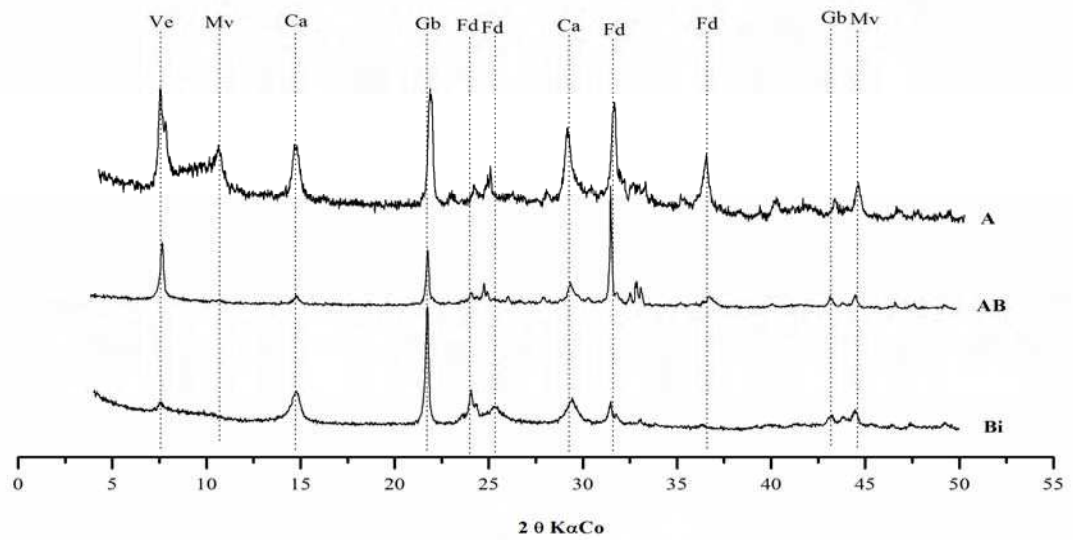
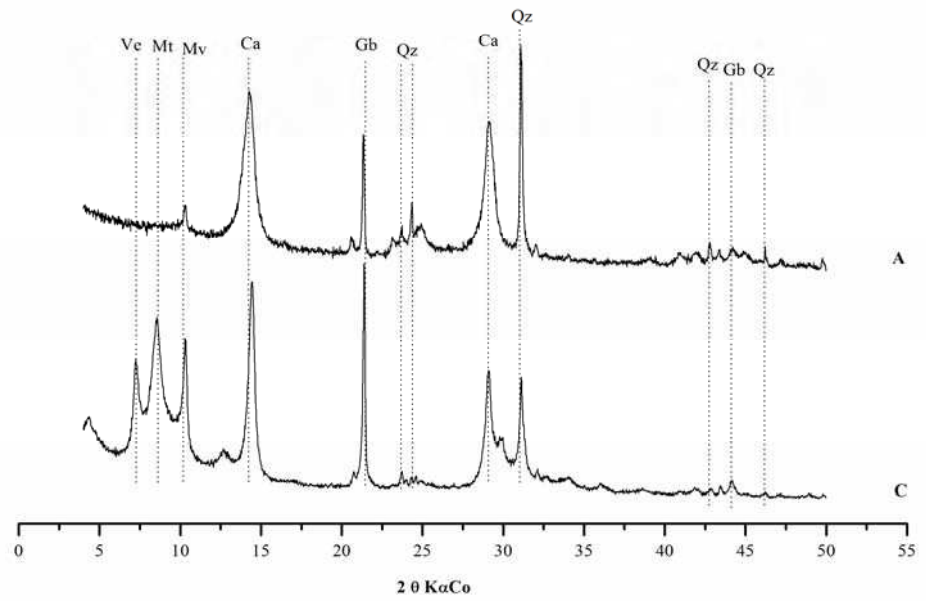
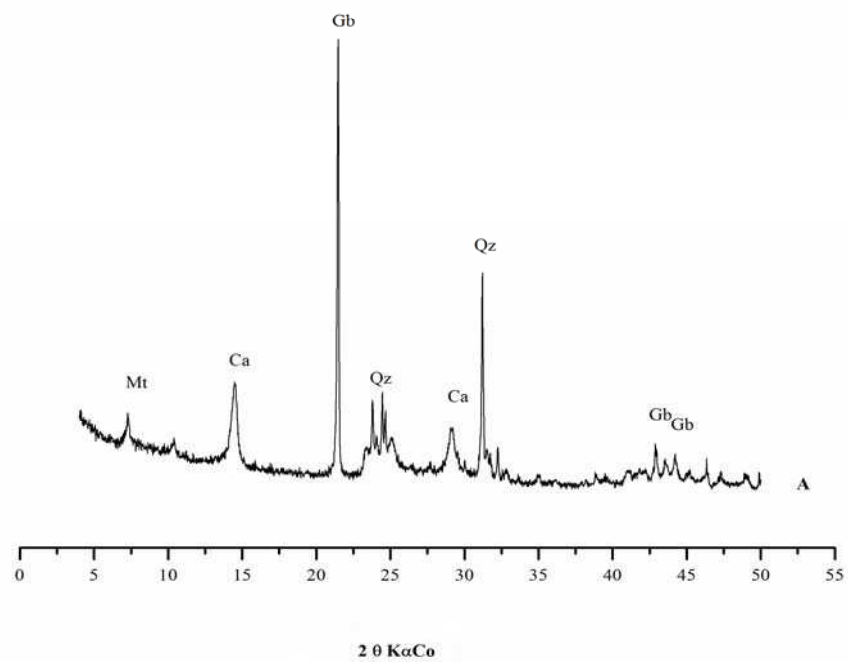


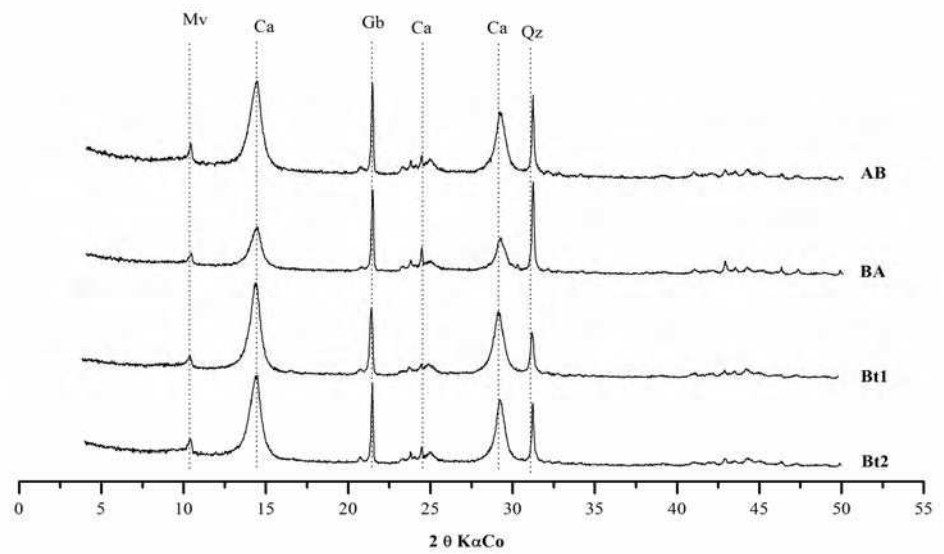
Figura 12. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Cambissolo Háplico (P4).



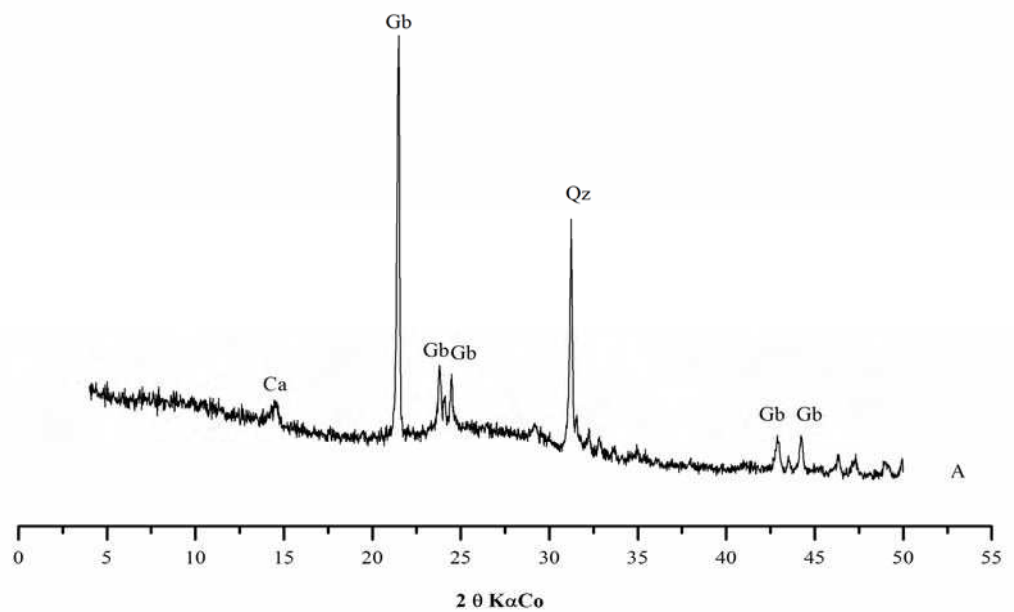
**Figura 13. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Neossolo Flúvico (P6).**



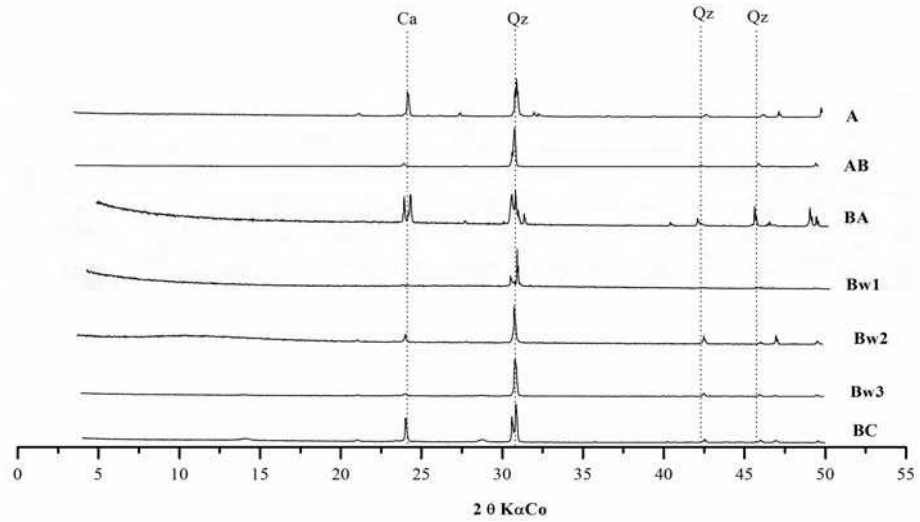
**Figura 14. Difratoograma da fração silte do horizonte A do Neossolo Litólico (P8).**



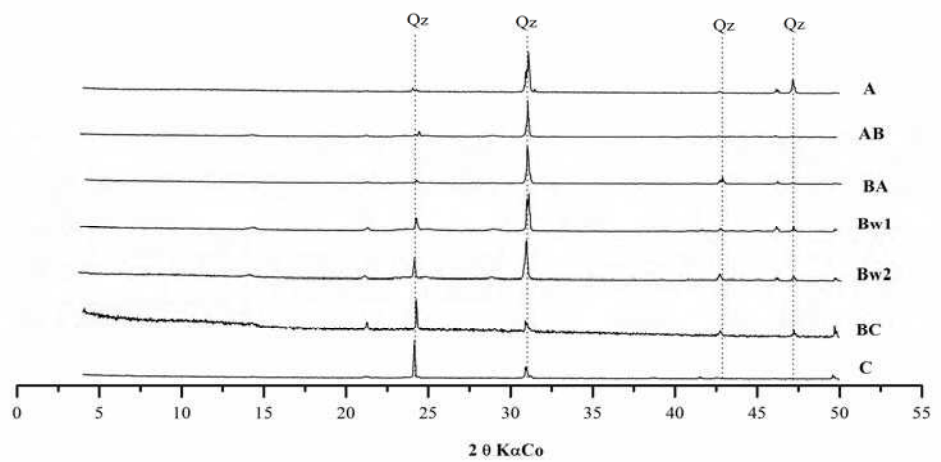
**Figura 15. Difratoograma da fração silte dos diferentes horizontes do Argissolo Vermelho-Amarelo (P7).**



**Figura 16. Difratoograma da fração silte do horizonte A do Gleissolo Háplico (P9).**



**Figura 17. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo (P3).**



**Figura 18. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Latossolo Amarelo coeso (P5).**

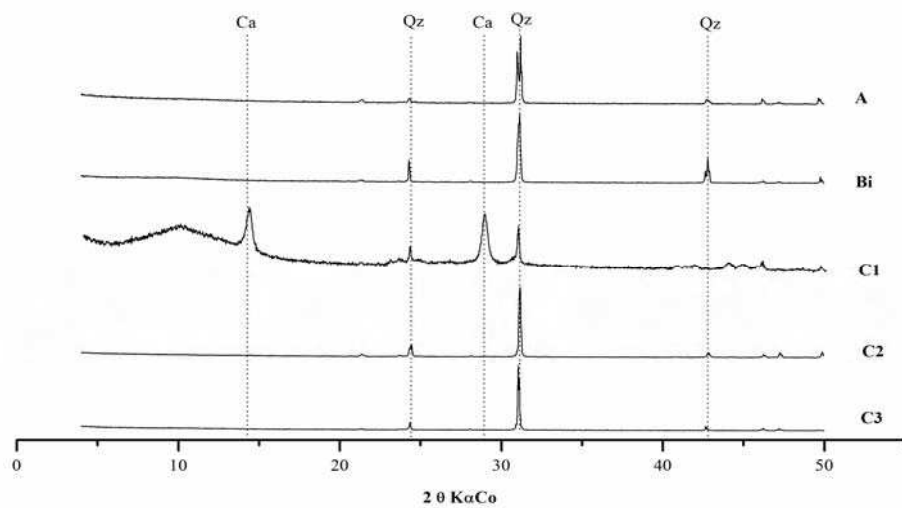


Figura 19. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Cambissolo latossólico (P1).

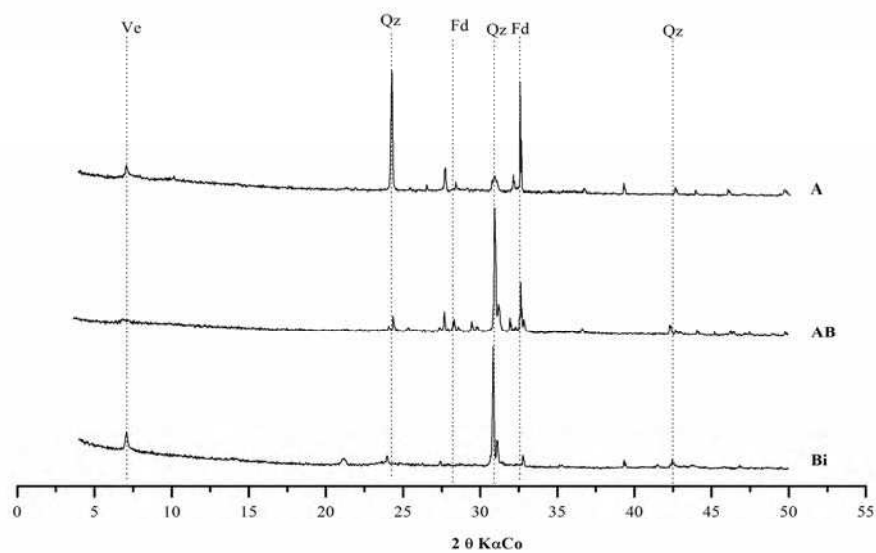
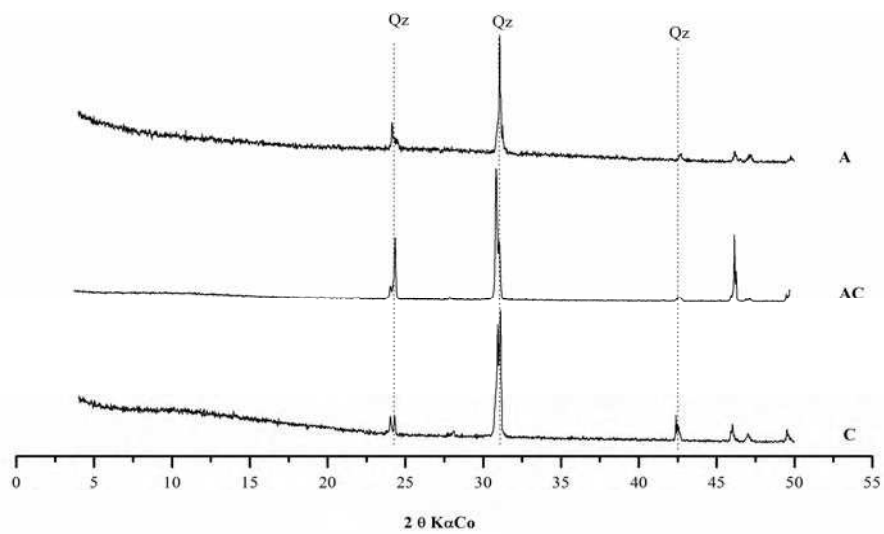
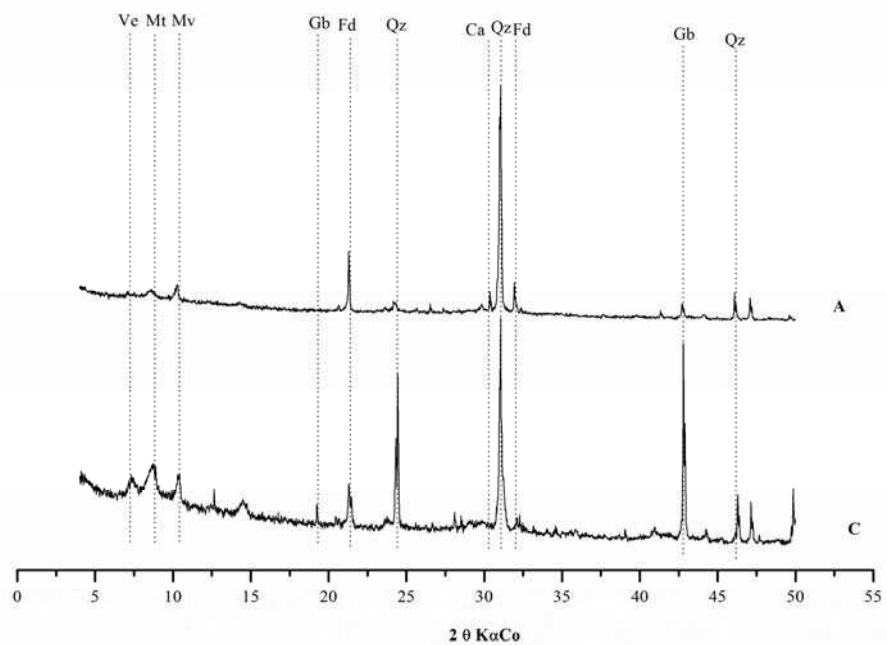


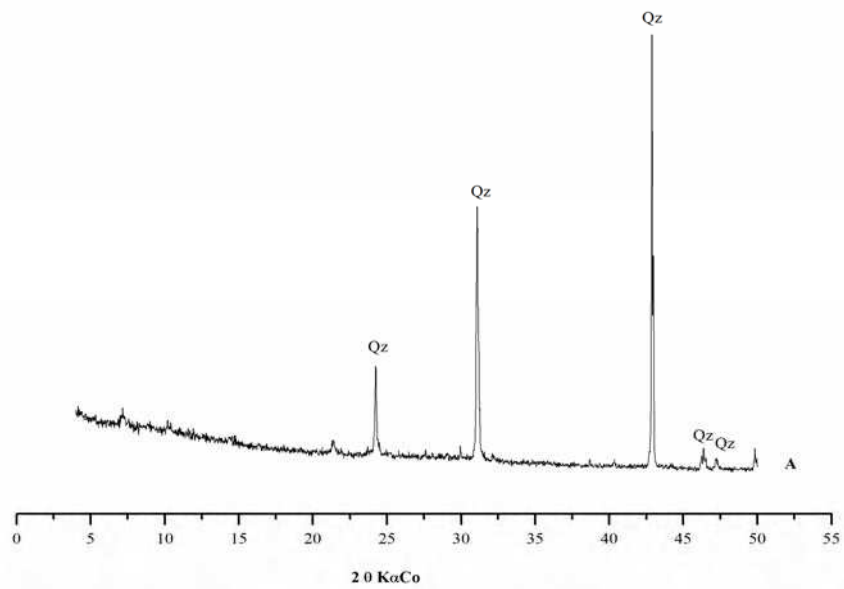
Figura 20. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Cambissolo Háplico (P4).



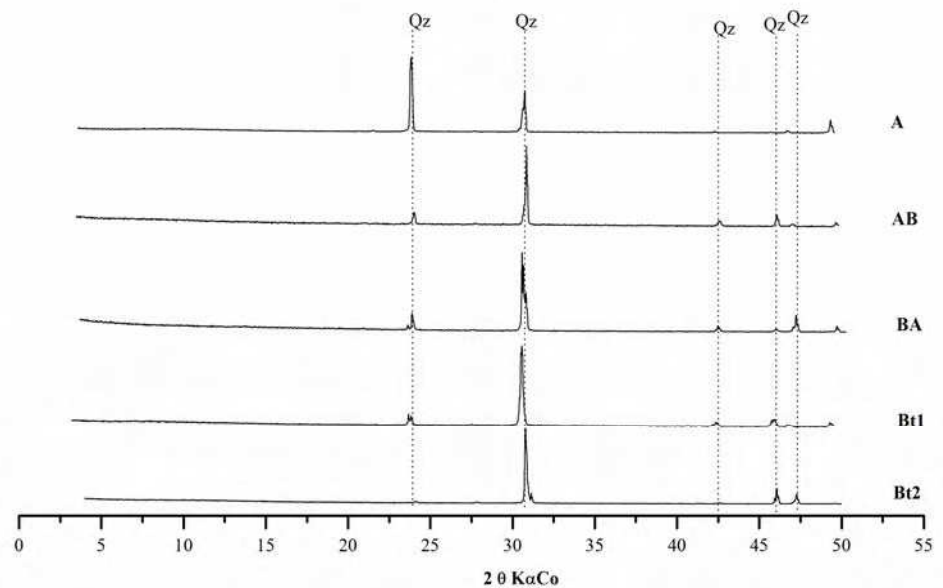
**Figura 21. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Neossolo Quartzarênico (P2).**



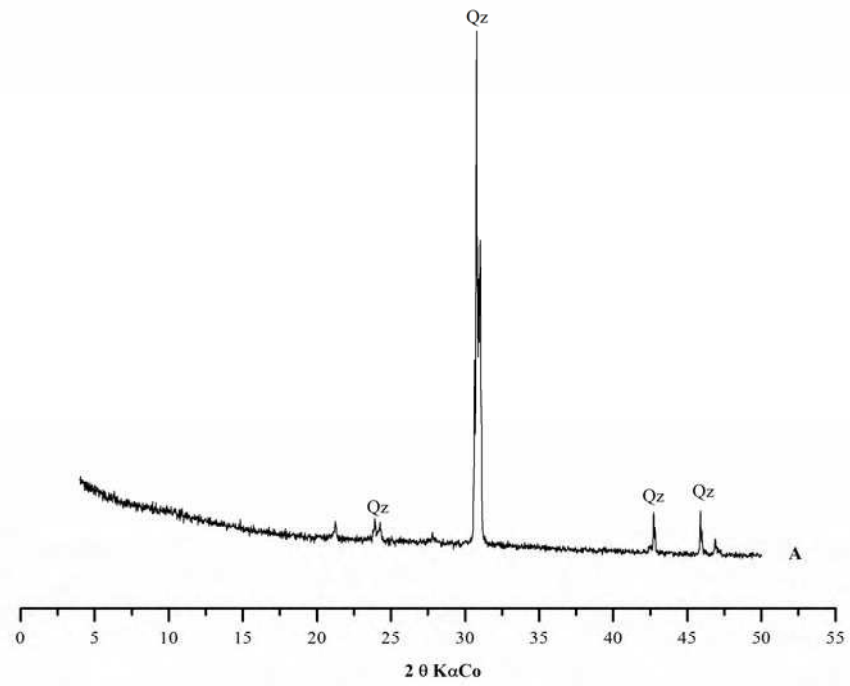
**Figura 22. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Neossolo Flúvico (P6).**



**Figura 23. Difratoograma da fração areia do horizonte A do Neossolo Litólico (P8).**



**Figura 24. Difratoograma da fração areia dos diferentes horizontes do Argissolo Vermelho-Amarelo (P7).**



**Figura 25. Difratoograma da fração areia do horizonte A do Gleissolo Háplico (P9).**