

FERNANDA DE OLIVEIRA COSTA

**DINÂMICA DA PAISAGEM NA REGIÃO DO ALTO RIO
ABAETÉ, BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

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
2008

FERNANDA DE OLIVEIRA COSTA

**DINÂMICA DA PAISAGEM NA REGIÃO DO ALTO RIO
ABAETÉ, BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO**

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: 4 de dezembro de 2008.

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Co-orientador)

Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Co-orientador)

Dr. Manoel Ricardo de A. Filho

Prof. Felipe Nogueira Bello Simas

Prof. Liovando Marciano da Costa
(Orientador)

*“A felicidade aparece para aqueles que choram.
Para aqueles que se machucam... Para aqueles que buscam e tentam
sempre.”*

Clarice Lispector

**A José Vieira da Costa e Elizabete de Oliveira Costa; meus
pais e amigos por todo apoio e incentivo nas horas mais
importantes de minha vida, a vocês meu eterno amor e carinho.**

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre me mostrar os caminhos a serem percorridos e por me proteger em todas as horas.

Aos meus pais, José Vieira da Costa e Elizabete de Oliveira Costa pelo amor e compreensão em todos os momentos, a eles meu amor incondicional, sem eles nada seria...

A minha irmã Ana Paula.

A minha família, tios (as) sempre presentes nesta jornada.

A Universidade Federal de Viçosa pelos anos de acolhimento e oportunidade de estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e pela concessão da bolsa de pesquisa.

Aos Professores Liovando M. da Costa, Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Elpídio Inácio Fernandes Filho pela orientação, amizade e ensinamentos.

Ao Professor Hugo pela alegria e pelos ensinamentos que me acompanharão durante toda vida. Obrigada por sempre acreditar na minha capacidade de trabalho.

Aos Professores João Ker e André Faria pelo incentivo e pelo estímulo nos momentos de dúvidas e dificuldades.

Aos amigos do Departamento de Solos, Fábio Soares, Fernanda Ataíde, Henrique Paye, Victor Pereira, Maurel, Igor Assis, Thiago Torres, Carlos Pacheco, Ivan Carreiro, Paula, Gislane Mendes (Gigi) e Sandro, a vocês meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos que fiz em Viçosa, Roseane Grossi, Maria Gabriela Oliveira, Karol Gatti, Livia Clímaco, Denise Barros, Sustanis Horn, Fernanda Beccarini, Mileny Lacerda, André Quintão, Danilo, Maristela, Thiago Felipe e Douglas.

Aos laboratoristas do DPS, Claudinho, Bené, Fabinho, Carlos Fonseca, Carlinhos, Chico e Geraldo Robésio, obrigada pela contribuição.

Ao João José (JJ) pelo auxílio nas análises laboratoriais e pelos bons momentos que compartilhamos desde a graduação. Ao Bruno Resck pelo apoio no laboratório de geoprocessamento.

Aos funcionários do DPS, Luciana, Sônia, Claudinha, Zélia e Tiãozinho pela prestatividade.

A todos que tornaram a minha vida mais alegre em Viçosa, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

FERNANDA DE OLIVEIRA COSTA, filha de José Vieira da Costa e Elizabete de Oliveira Costa, nasceu na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, no dia 30 de Abril de 1982.

Em 05 de Maio de 2002, ingressou no curso de Geografia na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em 05 de outubro de 2006. Também em outubro de 2006, ingressou no Programa de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, do Departamento de Solos, da mesma IES.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. <i>Geologia</i>	3
2.2. <i>Geomorfologia</i>	6
2.3. <i>Solos</i>	8
2.4. <i>Uso da terra</i>	9
2.5. <i>Hidrografia</i>	10
2.6. <i>Intemperismo geoquímico e evolução das paisagens tropicais</i>	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1. <i>Caracterização da área de estudo</i>	14
3.1.1. <i>Localização</i>	14
3.1.2. <i>Clima e Vegetação</i>	15
3.2. <i>Coleta das amostras de solo e caracterização morfológica</i>	15
3.3. <i>Caracterização física</i>	16
3.4. <i>Caracterização química</i>	18
3.4.1. <i>Ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato</i>	18
3.4.2. <i>Teores Totais</i>	19
3.5. <i>Mineralogia da fração argila</i>	19
3.5.1. <i>Preparo das lâminas</i>	20
3.6. <i>Base cartográfica e hidrografia</i>	20
3.6.1. <i>Área total e perímetro total</i>	22
3.6.2. <i>Fator forma e coeficiente de compacidade</i>	22

3.6.3. Índice de circularidade	23
3.6.4. Padrão de drenagem e ordem dos cursos d'água	23
3.6.5. Declividade e altitude.....	24
3.6.6. Densidade de drenagem	25
3.6.7. Comprimento do curso d'água principal e total dos cursos d'água	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. <i>Investigação de campo</i>	26
4.1.1. Transecto Rio Paranaíba - São Gotardo	29
4.1.2. Transecto Arapuá – Tiros.....	30
4.2. <i>Caracterização morfológica e física</i>	31
4.2.1. Estabilidade de agregados via seca e úmida	33
4.3. <i>Caracterização química</i>	36
4.3.1. Análises de rotina.....	36
4.4. <i>Ferro extraído por ditionito (DCB) e oxalato de amônio (Ox)</i>	40
4.5. <i>Mineralogia da fração argila</i>	41
4.6. <i>Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Abaeté</i>	47
4.7. <i>Geologia, Geomorfologia e Solos do alto e médio rio Abaeté</i>	50
4.7.1. Transectos Rio Paranaíba - São Gotardo/Arapuá - Tiros.....	63
5. RESUMO E CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICE	75

RESUMO

COSTA, Fernanda de Oliveira, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2008. **Dinâmica da Paisagem na Região do Alto Rio Abaeté, Bacia do Rio São Francisco.** Orientador: Liovando Marciano da Costa. Co-Orientadores: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer, Elpídio Inácio Fernandes Filho e Hugo Alberto Ruiz.

A região fisiográfica do Alto Paranaíba, localizada no estado de Minas Gerais, é um importante divisor de águas entre as bacias dos rios São Francisco e Paraná. Além disso, foi também importante palco de diversas atividades geológicas e geomorfológicas ao longo de sua formação e evolução. Estas atividades ocorreram em épocas pretéritas, deixando como testemunho diversas rochas vulcânicas de diversificada composição química e mineralógica. Do ponto de vista geológico, o Alto Paranaíba está inserido em um complexo que compreende o Grupo Bambuí, constituído de rochas pelíticas; Formação Areado, constituída de conglomerados, arenitos, argilitos e folhelhos; Formação Mata da Corda; constituída de diversificado conjunto de rochas vulcânicas (tufos, lavas, conglomerados e rochas epiclásticas) e arenitos, e finalmente por uma superfície detrito-laterítica. Essa grande variedade de material geológico originou diversas classes de solos. O relevo da região se caracteriza por chapadas aplainadas, formas onduladas, e superfícies de erosão. Nos dias atuais, tais superfícies se apresentam soerguidas na paisagem, formando o chamado “Arco do Alto Paranaíba”. As superfícies tabulares encontram-se em avançado estágio erosivo, onde seus remanescentes ainda preservados, distribuem-se em mesas residuais isoladas, delimitadas por bordas escarpadas muito bem definidas, muitas vezes formando cornijas, devido ao bordejamento pelas lateritas. A drenagem é fortemente orientada pela estrutura geológica. Para auxiliar interpretações

relacionadas à área em estudo, foram produzidos mapas temáticos digitais na escala de 1:300.000, a partir de imagem de satélite SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) da Nasa, mapas do RADAMBRASIL, base de dados do IBGE e ANA, utilizando-se do *software* Arq Gis[®] 9.3 do ESRI (Environmental Systems Research Institute). Para o reconhecimento das feições erosivas existentes na porção do alto rio Abaeté, foram selecionados dois transectos, em um dos quais foram amostrados três perfis (Latossolo Amarelo Ácrico típico, Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico) para caracterizações físicas, químicas e mineralógicas. Foram gerados dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Abaeté, para auxiliar na compreensão de seu regime hídrico. De modo geral, os solos amostrados apresentaram fertilidade natural baixa, porem possuem boas propriedades físicas, com baixos valores de argila dispersa em água (ADA) e alta estabilidade de agregados por via seca e úmida. A mineralogia da fração argila indicou a presença predominante de óxidos, evidenciando alto grau de intemperismo desses solos. Nos chapadões, a presença da gibbsita representa papel importante na estabilidade de agregados devido ao desenvolvimento de uma estrutura tipo granular, com maior proporção de macroagregados e maior permeabilidade, permitindo que os solos, mesmo com tratos culturais intensivos, mantenham uma estrutura adequada. A remoção das concreções lateríticas das bordas dos chapadões têm sido prática comum na região, devendo ser bem avaliada, para se evitar o avanço da erosão nos *fronts* das escarpas desta superfície. O preparo inadequado do solo é outro fato comum, sendo realizado sobre solos com horizonte C exposto, o que associado à heterogeneidade do material geológico, acaba por condicionar o desencadeamento e a intensificação de processos erosivos severos nas áreas de relevo ondulado. Após análise dos mapas de solos, geologia, geomorfologia, declividade, e investigações de campo, sugere-se a necessidade da adoção de práticas conservacionistas, especialmente nas áreas associadas a solos mais jovens, derivados de rochas vulcânicas e de saprolitos do Grupo Bambuí. No contexto de tão diversificadas manifestações geológicas e geomorfológicas, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a relação entre solos, geomorfologia e geologia com a dinâmica da paisagem no alto e médio rio Abaeté, sub-bacia do rio São Francisco.

ABSTRACT

COSTA, Fernanda de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2008. **Landscape Dynamics of Upper Abaeté River Watershed, São Francisco River**. Adviser: Liovando Marciano da Costa. Co-Advisers: Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer, Elpídio Inácio Fernandes Filho and Hugo Alberto Ruiz.

The Alto Paranaíba physiographic region, located at western Minas Gerais State, is an important watershed boundary between the São Francisco River and Paraná River. In addition, it was an important scenario of geological and geomorphological activities in the course of its formation and evolution. These activities took place in past geological times, leaving evidences represented by several volcanic rocks of varied chemical and mineralogical composition. These surfaces are uplifted and named the High Paranaíba Arc, which has dendritic drainage controlled by geological structures. This region has the following stratigraphic column: Bambuí Group (pelitic rocks), Areado Group (conglomerates rocks, sandstones, argillite and shales), Mata da Corda Group (extrusive volcanic rocks and sandstones) and the topped detritic laterites. Each rock type has evolved through different ways, developing specific soils. At this context, the present study has the objective of correlating the long term denudational processes that occur on slopes with nowadays landscape morphology at the upper and middle Abaeté River watershed, a São Francisco River sub-watershed, located at this region. This correlation is made by comparing and overlapping thematic maps, at the scale of 1:300.000, which were produced out of NASA SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) 3"- arc resolution altimetry data, RADAMBRASIL maps and IBGE and ANA databases. These data is processed in ArcGis™, a software by ESRI (Environmental Systems Research Institute). For identifying the denudational relief features, two soil transect are selected for sampling three soil profiles from each one:

Latossolo Amarelo Distrófico típico (Oxisol), Plintossolo Pétrico Concrecionário típico (Latheritic Soils), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (Ultisols). For each profile, are presented the analyses of physicochemical and mineralogical features of each horizon. Some morphometric parameters are calculated for the study-area to help understanding its hydrologic regime and identifying some structural features, which are important to quantify the watershed features. The soil analyses demonstrate a natural low fertility, though other physicochemical features have satisfactory values for mechanized agriculture, as low values for water dispersible clay and high aggregates stability, obtained either via wet and dry measurements. The clay fraction mineralogy shows a preeminence of oxides, that indicates an intense weathering for all the sampled soils. At the table surfaces, the gibbsite is the centerpiece for the aggregates stability due to its granular structure, its high permeability and its high portion of macroaggregates. So, even when soils have more intensive usages, they keep their structure. Besides, the removal of the detritic laterites from the table surfaces boundaries for paving roads allows the ravines to deep, causing the long-term retreat of the scarp. The downhill soil preparing is another ordinary practice in the region. When associated to exposed C-horizon and varied lithological material, this technique initiates intense erosive processes. The correlation of the cartographic data to the field observations demonstrate the necessity of conservationist practices, especially for less developed soil derived from volcanic and Bambuí rocks. In the course of such diversified geology and geomorphology, the present work aimed at assessing the relationship between soils, more specifically, their geomorphological and geological features with the landscape of the upper and medium Abaeté River, a sub-watershed of the São Francisco River.

1. INTRODUÇÃO

A região do Alto Paranaíba está inserida em um contexto interessante no que diz respeito a estudos de diversas áreas do conhecimento, como Geologia, Geomorfologia e Solos. Do ponto de vista geológico, a região mostra-se muito diversificada, apresentando desde rochas sedimentares até vulcânicas, sendo as últimas relacionadas a eventos de magmatismo básico e ultra-básico no período Cretáceo.

A seqüência estratigráfica é composta pelas rochas pelíticas do Grupo Bambuí (Pré-Cambriano), pelos arenitos da Formação Areado (Mesozóico), pelos tufos vulcânicos e arenitos da Formação Mata da Corda (Mesozóico), e uma superfície detrito-laterítica (Cenozóico). Do ponto de vista geotectônico o Alto Paranaíba foi soerguido desde o Jurássico Superior ao Cretáceo, dando origem ao chamado “Arco do Alto Paranaíba” (Almeida, 1983) que representa um dos relevos mais importantes como divisores de água do Brasil, entre as bacias dos Rios Paraná, a oeste e São Francisco a leste (Rolim Neto, 2002).

Geomorfologicamente, a região compreende extensos chapadões que variam entre 1000 e 1200 m e amplos vales que cortam camadas de tufos vulcânicos, arenitos do cretáceo e rochas pelíticas do Grupo Bambuí (Carmo, 1977). Diversos ciclos pediplanação e etchplanação ocorreram na paisagem a partir do encerramento das atividades vulcânicas. As formas atuais de relevo representadas por chapadas aplainadas, formas onduladas, e superfícies de erosão que refletem as conseqüências destes ciclos. A drenagem é fortemente influenciada pela estrutura geológica, devido à variada litologia, linhas de falhas e diversas fraturas. A área em estudo, o alto rio Abaeté, ilustra essa influência da estrutura geológica, seus vales foram escavados e

aprofundados sobre uma seqüência estratigráfica composta por rochas resistentes, sendo seu encaixe em formato de “V”.

Os solos são muito diversificados devido à heterogeneidade litológica, apresentando, muito comumente, problemas ligados à fertilidade, predominando o caráter distrófico. As classes predominantes, nas superfícies tabulares, são os Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Os Latossolos Vermelhos, da mesma forma, localizam-se nestas superfícies, mas em menores proporções na paisagem quando comparados aos Latossolos Amarelo e Vermelho – Amarelo. De acordo com Carmo et al.,(1984), os Latossolos Vermelhos são encontrados, também, em áreas íngremes da paisagem. Em maiores proporções, encontram-se Cambissolos, geralmente associados a áreas onduladas. Os Argissolos estão presentes nas áreas mais dissecadas, e os Gleissolos nas áreas hidromórficas.

O Alto Paranaíba, apesar de possuir notável vocação agrícola, pela combinação do relevo plano, solo mecanizável e clima adequado, ainda carece de estudos que associem conhecimentos de solos, geomorfologia e geologia com os fenômenos erosivos, em suas múltiplas formas e processos. Estes estudos podem subsidiar a tomada de decisões futuras para controlar e mitigar, onde for possível e recomendável, o avanço da erosão na paisagem, além de contribuir para o conhecimento mais aprofundado de suas características.

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a relação entre solos, geomorfologia e geologia com a dinâmica da paisagem no alto e médio rio Abaeté, sub-bacia do rio São Francisco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Geologia

A Geologia do Alto Paranaíba é composta por litologias Pré-Cambrianas, como a do Grupo Bambuí (rochas pelíticas), Grupo Áraxa (micaxistos, quartzitos e filitos) e Grupo Canastra (quartzitos e filitos). Com menor expressão, a Formação Areado (arenitos) - (Mesozóico), a Formação Mata da Corda (tufos vulcânicos e arenitos) - (Mesozóico) e as coberturas detrito-lateríticas (Cenozóico) (Rolim Neto, 2002) (Figura 1).

A região revela um dos contextos geológicos mais interessantes do estado de Minas Gerais, tendo sido palco de ciclos geotectônicos ao longo das eras geológicas, com destaque para o período Jurássico - Cretáceo que foi responsável pelo desenvolvimento de uma estrutura positiva (Almeida, 1983; Saadi, 1991), o chamado “Arco do Alto Paranaíba”.

O soerguimento do Alto Paranaíba se deu desde o Jurássico Superior ao Cretáceo (Almeida, 1983), devido a uma nítida inversão de relevo, de origem tectônica, que ocasionou o levantamento do bloco Alto Paranaíba, ao longo da escarpa de falha da Serra da Saudade (Saadi, 1991), acredita-se que deve ter ocorrido um basculamento deste bloco, em direção NW. Os movimentos positivos ocorridos nesta região, que levaram a criação do Arco do Alto Paranaíba, deslocaram o limite da Bacia do Paraná para direção NE, aproximadamente ao longo de uma linha Catalão-Patrocínio-Araxá (Saadi, 1991). Esta zona de arqueamento formou um grande divisor de águas entre as bacias do Cretáceo Superior, São Francisco e Paraná, marcado pelas drásticas mudanças de fácies e direções de sedimentação que distinguem os sedimentos Bauru (Bacia do Paraná) (Saadi, 1991). Após

levantamentos aeromagnéticos feitos pela CPRM, foi constatada a existência de um feixe de fraturas de direção N50W que liga Divinópolis (MG) a Caldas Novas (GO), sendo as falhas preenchidas por rochas básicas (Saadi, 1991).

A região experimentou episódios vulcânicos e termais relacionados ao magmatismo alcalino-ultrabásico no Cretáceo Superior, precedido no Cretáceo Inferior, pela intrusão de diques de diabásio e possivelmente por derrames basálticos (Almeida, 1983). A heterogeneidade de materiais revela a influência de rochas de diversificadas composições químicas. Os espessos depósitos de tufos e cinzas da Formação Mata da Corda e as intrusões sub-vulcânicas, atestam atividade vulcânica explosiva ao longo de um curto período geológico (Braun, 2005).

Entre o final do Cretáceo e o Eoceno sobreveio tempo de calma tectônica em toda a região, o que propiciou o desenvolvimento de extensos pediplanos e etchplanos, sendo os indícios destas superfícies, muito fortes no oeste de Minas Gerais, o que levou a um nivelamento das chaminés Alcalinas (Almeida, 1983). Estas chaminés recobrem uma área de aproximadamente 2170 km², e foram responsáveis pelos tufos caóticos da região de Patos de Minas e Carmo do Paranaíba (Carmo, 1977). As superfícies pediplanadas são quase que literalmente assoalhadas por lateritos que formam uma capa contínua em alguns locais ou constituem concreções que são responsáveis pela preservação dos testemunhos aplainados da superfície (Braun, 1939).

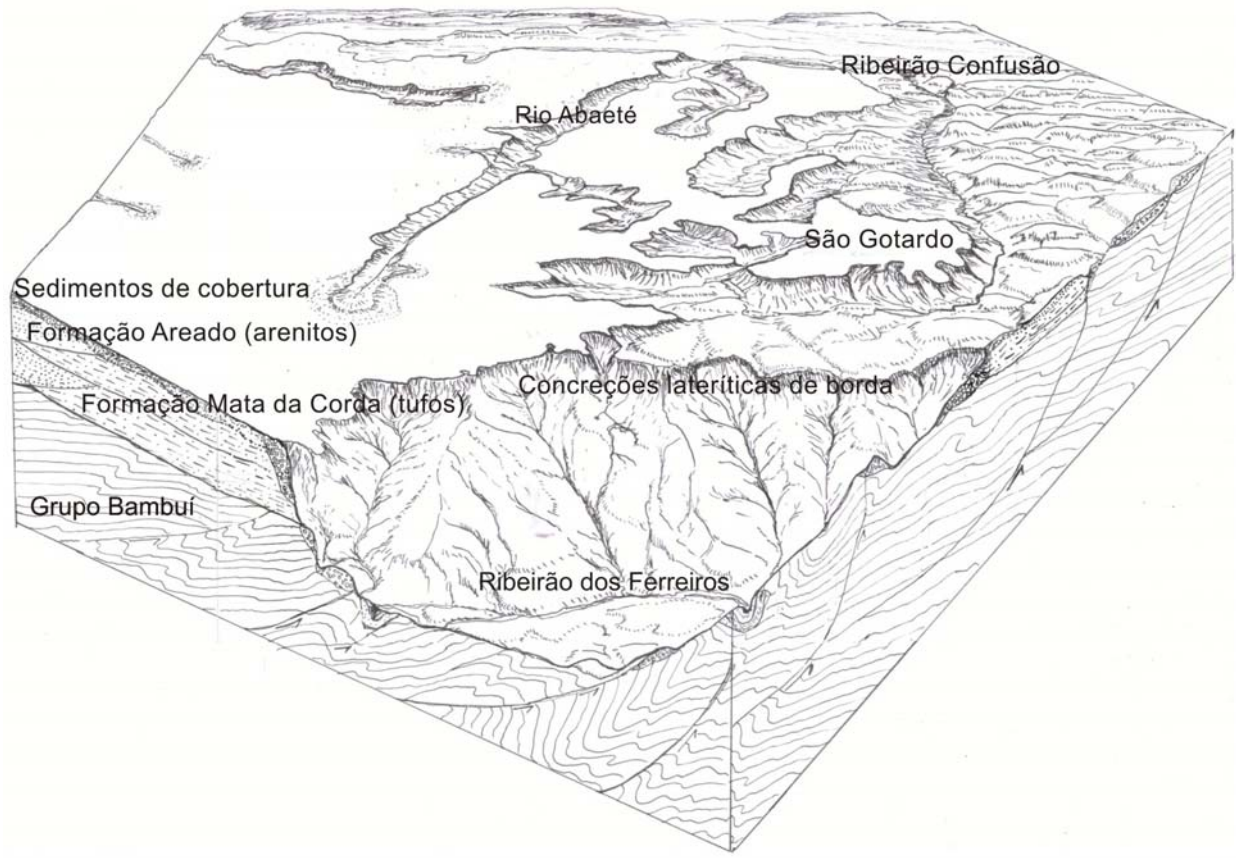


Figura 1 - Perfil geológico esquemático da área em estudo (Alto Paranaíba).

2.2. Geomorfologia

A região do Alto Paranaíba apresenta feições geomorfológicas bastante distintas e na tentativa de explicar seu desenvolvimento e evolução surgiram teorias como as apresentadas por King (1956) e Carmo et al.,(1984).

O modelo proposto para explicar o desenvolvimento da paisagem é baseado em ciclos de denudação do Brasil Oriental, a chamada superfície Sul Americana, na qual se insere a área de estudo. Em poucas palavras o elemento fundamental do relevo brasileiro, e conseqüentemente do Brasil Central, foi à formação de um vasto pediplano, produzido pela denudação, entre o Cretáceo inferior e o Terciário-médio, sendo mais tarde reduzido a um planalto dissecado pela erosão policíclica que escavou vales em quase toda a superfície (King, 1956) – (Figura 2).

A superfície Sul Americana aparece freqüentemente como chapadas topograficamente mais elevadas em relação às superfícies onduladas. Esses remanescentes, delimitados por feições escarpadas, foram dissecados por processos geoquímicos, e como resultado, apresentam depósitos superficiais de material detrito-laterítico. O contato dessas superfícies de cimeira com os vales é comumente abrupto e determinado por escarpas modeladas nos arenitos Mesozóicos (Valadão, 1998). As chapadas encontram-se em avançado estágio erosivo onde, remanescentes ainda preservados na paisagem, distribuem-se na forma de mesas residuais (Valadão, 1998).

Para explicar a evolução local desta superfície no Alto Paranaíba, Carmo et al.,(1984) propuseram um modelo. Nele, as extensas feições tabulares foram formadas a partir de sedimentação eólica e fluviolacustre de arenitos depositados sobre rochas pelíticas do Grupo Bambuí. Quando da ocorrência de um clima úmido, a dissecação da paisagem se deu como conseqüência do encaixe da rede de drenagem. Posteriormente a sedimentação dos arenitos, ocorreram manifestações vulcânicas, que resultaram em um preenchimento das partes dissecadas, originando tufos vulcânicos que represaram a drenagem, favorecendo um ambiente deposicional e lacustre.

A seqüência estratigráfica da região é composta por diversificados tipos de rochas sedimentares e piroclásticas, evidenciando diferentes patamares de erosão na

paisagem, as couraças lateríticas que se mantêm em saliência na paisagem preservando antigas superfícies de erosão, formam muitas vezes as “cornijas” de material concrecionário ferruginoso (cangas lateríticas), seguida de longas vertentes côncavas, compostas por segmentos convexos (Carmo, 1977). Naquelas áreas onde esse material de cobertura foi removido, a superfície aplainada é substituída por um relevo dissecado, os vales se aprofundam e esta superfície tem sua área reduzida (Valadão, 1998).

Nesta paisagem, pequenos cursos d’água, tributários dos rios Paraná e São Francisco, continuam a dissecar intensamente os patamares que penetram os amplos vales escavados em arenito, com extensos chapadões que estão sendo desgastados intensamente pela erosão química e física (Figura 2) (Carmo, 1977). As vertentes laterais são onduladas, apresentando uma série de voçorocas estabilizadas e outras ainda em plena atuação, resultando em um recuo da frente das chapadas. As áreas mais dissecadas do relevo são formadas, geralmente, sobre rochas vulcânicas e arenitos.

A faixa mais acidentada da região, nas proximidades dos municípios de Rio Paranaíba e São Gotardo, corresponde à zona de transição entre as bacias sedimentares Paleozóicas do São Francisco e Paraná, delimitadas pela borda do alto do Planalto da Mata da Corda (Figura 2). Neste as rochas do Grupo Bambuí estão muito dobradas e bastante dissecadas (Barbosa et al., 1970). A paisagem revela uma rede de drenagem com orientação influenciada pela atuação do clima e estrutura geológica.



Figura 2 - Paisagem da estrada BR 354, com residuais de superfície tabular (chapadão), ilustrando o processo de erosão remontante, formando cornijas protegidas por lateritas.

2.3. Solos

Os solos da região do Alto Paranaíba são bem diversificados, devido à influência de diversos materiais de origem. Ao longo dos divisores de água das bacias do São Francisco e Paraná no Alto Paranaíba, ocorrem chapadas preservadas (relevos tabulares) com maior distribuição entre os municípios de Presidente Olegário e Patos de Minas e entre Carmo do Paranaíba e Rio Paranaíba. Na parte norte entre Presidente Olegário e Patos de Minas há uma boa correspondência entre as superfícies de aplainamento e o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), enquanto, que na parte sul, entre Carmo do Paranaíba e Rio Paranaíba, as chapadas estão associadas com o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) (antigo variação Una) e a Latossolos Vermelho Amarelo (LVAd) Rolim Neto (2002). Na parte sul da região as condições climáticas são mais úmidas (regime údico) do que na parte norte o que contribui para a gênese da goethita e inibição da hematita (Rolim Neto, 2002). Na parte norte com ligeiro aumento do déficit hídrico e altitudes pouco menores, ocorrem solos mais avermelhados, associados aos tufos vulcânicos da Formação Mata da Corda (Rolim Neto, 2002).

Nas áreas tabulares os Latossolos Amarelos distribuem-se em extensos chapadões, que podem apresentar suaves ondulações em algumas partes, representando as cotas mais elevadas da região, com altitudes geralmente superiores a 1.100 m (Carmo et al.,1984).

Nas transições dos chapadões para as áreas mais acidentadas do relevo há o aparecimento de Latossolo Vermelho (LV) (antigo Latossolo Roxo) (Carmo, 1977) e Cambissolos (C) nas partes mais baixas da paisagem. O Latossolo Vermelho está intimamente ligado à Formação Mata da Corda, o Latossolo Amarelo e os Cambissolos aos saprolitos dos arenitos Cretáceos e as rochas pelíticas do Grupo Bambuí (Formação Paraopeba) (Rolim Neto, 2002).

Rolim Neto et al.,(2006) observaram que existe uma elevada ocorrência de solos com problemas relacionados à fertilidade, predominando solos distróficos e álicos na região em questão, devido aos intensos processos intempéricos aos quais estes solos estão expostos.

Algumas classes de solos apresentam influência de rochas vulcânicas em sua formação, o que os confere a característica de serem magnéticos, principalmente

aqueles, derivados de tufito. Estes solos apresentam uma mineralogia bastante variável, com grande riqueza em óxidos de ferro, como magnetita, maghemita (Silva, 2005), hematita e goethita. Esta propriedade magnética tem origem nos espinélios de ferro excepcionalmente ricos em magnésio e titânio (Silva et al.,2005).

Os grãos magnéticos de solos derivados de tufito tendem a preservar proporções variáveis de magnetita (Silva et al.,2005). Ferreira et al.,(1994), em seus estudos mostraram que os valores de magnetização espontânea seguem o grau de influência das rochas máficas, como no caso dos tufitos. No caso dos Latossolos Vermelhos, estes apresentam comumente alta atração magnética, com a hematita compondo 80 % de óxidos (Ferreira et al.,1994). Silva et al.,(2005) em seu trabalho, discutiram a influência da maghemita na magnetização dos solos do Alto Paranaíba, atribuindo a maghemita rica em magnésio a capacidade do solo de ser atraída pelo imã.

2.4. Uso da terra

Devido à expansão da fronteiras agrícolas na região sudeste, o cerrado tornou-se estratégico na ocupação de novas áreas, sendo favoráveis tanto do ponto de vista geográfico como físico-ambiental (Silva, 2000).

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas à ocupação de solos no cerrado relativas à correção dos solos ácidos e pobres em nutrientes, permitiu a introdução de práticas agrícolas nas áreas mais planas, o que tornou a produção menos onerosa, devido à utilização de máquinas agrícolas de grande porte, tanto para o plantio quanto para colheita, e pivôs centrais para irrigação (Carmo, 1977).

Alguns programas foram implantados visando à expansão de práticas agrícolas na região sudeste, e um deles foi o Plano de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP) que visou o desenvolvimento de práticas de cultivo no cerrado, abrangendo 60.000 hectares, onde foram formados quatro núcleos de colonização, principalmente áreas de chapadão (Carmo, 1977; Silva, 2000).

Atualmente os chapadões, que correspondem aos Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, se encontram em sua grande maioria ocupados por agricultura mecanizada, destacando as culturas de soja, café, milho, cenoura e feijão. A

agricultura irrigada, na forma de pivô central, está presente nas áreas de superfícies tabulares mais elevadas, como no caso das chapadas de Rio Paranaíba (Rolim Neto, 2002). O cultivo de eucalipto também tem sido desenvolvido em menor escala, com extração de madeira para fins industriais.

Do ponto de vista da mineração, uma prática que tem sido desenvolvida na região é a extração de areia a partir do saprolito do arenito, nas áreas mais dissecadas a extração de canga laterítica é feita para a pavimentação de estradas dentre outros fins.

A pecuária extensiva e a agricultura em pequena escala são praticadas geralmente nas áreas mais declivosas e dissecadas da paisagem. Nestes locais, comumente são encontrados Latossolo Vermelho, e com maior expressividade, os Cambissolos Distróficos.

Esta região se tornou muito promissora do ponto de vista agroindustrial no estado de Minas Gerais, sendo uma das maiores regiões oleícolas.

2.5. Hidrografia

O Alto Paranaíba é um importante divisor de águas no Brasil, entre as bacias dos rios Paraná, a oeste e São Francisco, a leste.

A bacia do Paraná drena uma área de 1.600.000 km², estendendo-se pelos estados de Mato Grosso Sul, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, bem como em alguns países como: Uruguai, Paraguai, Argentina e Bolívia (Azevedo, 1968). A bacia ocupa extensa área dentro da Região Sudeste, estendendo-se desde o Triângulo Mineiro, no trecho compreendido entre os rios Paranaíba e Grande, até oeste do estado de São Paulo onde recebe outros importantes afluentes (IBGE, 1977).

A bacia do São Francisco é dividida em alto, médio, sub médio e baixo São Francisco. A bacia drena os estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas (ANA, 2008). Dentro do estado de Minas Gerais, a bacia apresenta orientação S-N até desaguar no Oceano Atlântico, entre os estados de Alagoas e Sergipe. Uma das características fundamentais da hidrografia desta bacia no sudeste

é o fato de seus rios serem perenes, garantindo recarga dos aquíferos do planalto o qual esta bacia corta (IBGE, 1977).

O rio São Francisco atravessa regiões de clima bastante seco, nos estados localizados na região nordeste, o que implica em que boa parte de seu deflúvio tenha origem no estado de Minas Gerais, onde está localizada sua nascente, na Serra da Canastra.

Em geral o padrão de drenagem no Alto Paranaíba mineiro e da bacia do rio Abaeté é dendrítico. O rio Paranaíba apresenta um fluxo no sentido SE-NW desde sua nascente, no município de Rio Paranaíba, até a altura de Presidente Olegário quando assume sentido leste-oeste, até sua junção com o rio Santo Inácio, retornando ao controle SE-NW e finalmente SW-NE, até desaguar na represa de Emborcação. As altitudes variam entre 700 m, para o ponto de menor altitude, e 1200 m para o ponto de maior altitude (Rolim Neto, 2002).

2.6. Intemperismo geoquímico e evolução das paisagens tropicais

O intemperismo é um processo geral aplicado indistintamente às alterações físicas e químicas a que as rochas expostas na superfície da Terra estão sujeitas (Bigarella et al., 2007), resultado da interação entre a litosfera, atmosfera, hidrosfera e a biosfera (Summerfield, 1991). O intemperismo pode ser dividido em químico, quando envolve reações químicas e formação de novos minerais, e físico quando envolve somente alterações físicas (Summerfield, 1991). Nas regiões tropicais, embora ambos fossem verificados, o intemperismo químico assume significativa relevância.

Caracterizado por um processo em que os agentes atmosféricos, hidrosféricos e biosféricos reagem com os minerais constituintes das rochas, o intemperismo químico é capaz de produzir novas fases mineralógicas relativamente mais estáveis (Vitte, 2001). O processo se realiza por meio de trocas químicas realizadas na estrutura cristalográfica dos minerais, havendo a remoção de cátions e íons, resultando, assim, na formação de oxihidróxidos de ferro e alumínio como produto final do intemperismo. Nas regiões tropicais, quentes e úmidas, o intemperismo atinge todos os minerais primários simultaneamente e constitui um manto de grande

espessura que apresenta dois níveis correspondentes à camada superficial e ao manto de intemperismo: o solum e o saprolito, sendo que a neoformação de minerais secundários é um processo dominante (Vitte, 2001). A maior rapidez do intemperismo químico irá depender da intensidade de diaclasamento nas rochas (Bigarella et al., 2007), e das espécies minerais contidas nas rochas obedecendo a uma ordem de alteração e dissolução.

Nas regiões tropicais a hidrólise constitui um processo muito importante na transformação dos minerais, podendo ser total ou parcial. A hidrólise sendo total os elementos que constituem um mineral primário tais como Si, Al, Na ou K, são completamente liberados e aparecem no meio de alteração sob forma de hidróxidos (Melfi e Pedro, 1977). A hidrólise sendo parcial, uma parte da sílica é liberada do mineral primário ocorrendo a sialitização (Melfi e Pedro, 1977), e também a monossialitização ou a bissialitização (Vitte, 2001).

O resultado do intemperismo é um manto alterado ou regolito, com diferenciação entre horizontes pedológicos, o que constitui o *front* de intemperismo (Summerfield, 1991). A formação de solos envolve um longo período, sendo oriundo, contudo, da decomposição das rochas, sendo a erosão um fator preponderante no seu desenvolvimento. Se esta for moderada sua espessura permanecerá constante, mas se a remoção for maior que a formação do solo, este não se desenvolverá, sendo rapidamente perdido (Press et al., 2006). Nesse contexto é que se percebe a importância do intemperismo químico na evolução das paisagens tropicais.

Diversas teorias foram desenvolvidas buscando a sistematização dos conhecimentos relacionados às dinâmicas e evolução da superfície terrestre. King (1956, 1962) e Budel (1957, 1963, 1982) citado por Vitte (2001) foram precursores do desenvolvimento de teorias sobre a evolução geomorfológica da paisagem. Tais autores apresentaram teorias de evolução da paisagem relacionadas a condições climáticas tropicais. O trabalho histórico de King intitulado “A Geomorfologia do Brasil Oriental”, publicado em 1956, difundiu o seu modelo de pediplanação, sendo um marco para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à interpretação da evolução do modelo do relevo brasileiro.

Budel citado por Thomas (1974) consolidou o papel do intemperismo químico na análise geomorfológica. Para ele, existe uma ligação entre a alteração geoquímica das rochas e erosão superficial, sendo os processos de lixiviação e lessivagem, precursores da disjunção nas ligações de ferro e argila, instabilizando os horizontes superficiais, preparando-os para os processos erosivos nas encostas (Vitte, 2001). Budel considera o desenvolvimento de etchplains, considerando que eles se desenvolveriam apenas em regiões tectonicamente estáveis (Vitte, 2001), ou seja, regimes cratônicos passivos, o que permite o aprofundamento do *front* de intemperismo.

O mecanismo da etchplanação é iniciado a partir do intemperismo biogeoquímico intenso e profundo das rochas, resultando na formação de saprolito espesso e profundo, e o desenvolvimento de um relevo plano, devido à remoção da superfície. Caso o etchplano seja soerguido e/ou afetado por mudanças climáticas, com tendência a climas áridos, a rede hidrográfica pode iniciar uma incisão sobre a paisagem local (Summerfield, 1991). De acordo com este mesmo autor, a erosão comandada pelo encaixamento da rede fluvial, inicia um trabalho de denudação da rocha pelo encaixe da rede de drenagem, fenômeno este que ocorre de maneira diferenciada em razão da intensidade desigual da erosão e da resistência do material de recobrimento e das rochas. Essa denudação pode ocorrer por meio de retração paralela das encostas, especialmente, onde o saprófito desenvolveu crostas endurecidas (cangas lateríticas).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. Localização

Foi selecionada uma porção da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a sub-bacia do alto rio Abaeté, por representar um contexto de grande variação pedogeomorfológica, geológica onde a expressão dos fenômenos erosivos é destacada. A área do presente estudo situa-se na região ocidental do estado de Minas Gerais, de coordenadas UTM 23K 360.000 e 7.860.000 m, abrangendo os municípios de Rio Paranaíba, São Gotardo, Matutina, Arapuá, Carmo do Paranaíba, Tiros, Lagoa Formosa e Patos de Minas (Figura 3).

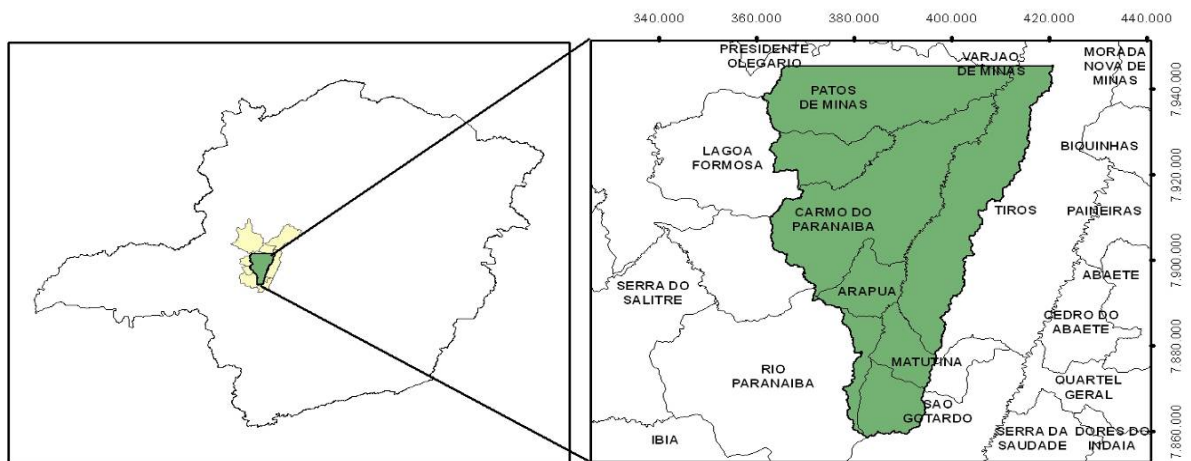


Figura 3 - Localização da porção superior e média da bacia do rio Abaeté.

3.1.2. Clima e Vegetação

O clima do Alto Paranaíba é classificado como Cwa (classificação de Köppen), caracterizado por apresentar temperatura média anual de 22 °C, para o mês mais quente, e de 18 °C, para o mês mais frio. A precipitação anual da região é de aproximadamente 1.700 mm, os períodos mais secos ocorrem entre os meses de julho e setembro (INMET, 2008). Durante o período chuvoso ocorrem, freqüentemente, pequenos períodos de estiagem e intensa insolação, conhecidos por veranicos (Carmo, 1977).

O Cerrado é a fitofisionomia predominante na região em estudo. No passado ele era encontrado principalmente nas áreas de chapadão. Atualmente boa parte dele deu lugar aos cultivos agrícolas, devido à topografia favorável.

Algumas hipóteses têm sido utilizadas para explicar a distribuição espacial do Cerrado no Brasil Central e conseqüentemente no Alto Paranaíba tais como: (a) deficiência severa de nutrientes e água, (b) condições paleoclimáticas (alternância de climas áridos na fase de glaciação, e úmidos, nos interglaciais), (c) solos desenvolvidos a partir de rochas pobres em nutrientes como os quartzitos, arenitos e filitos (Resende, 1976).

As matas têm ocorrência associadas a ambientes de altitudes inferiores aos chapadões, se desenvolvendo geralmente em áreas acidentadas, e em solos mais jovens, e com influência de rochas vulcânicas básicas, como os tufitos, que são geradores de nutrientes assimiláveis pelas plantas, favorecendo ao desenvolvimento de um tipo de vegetação exuberante.

A vegetação, nas áreas que apresentam cangas lateríticas, possui fragmentos preservados, devido à dificuldade de cultivo agrícola.

3.2. Coleta das amostras de solo e caracterização morfológica

Após percorrer-se a área de estudo, selecionaram-se três perfis de solo, os quais foram abertos para descrição morfológica com base no manual de descrição e coleta de solo no campo (Lemos & Santos, 2005) e amostragem dos horizontes para

análises laboratoriais. O material coletado foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm, que foram submetidas às análises descritas nos itens seguintes.

3.3. Caracterização física

A determinação da cor do solo úmido foi feita com o auxílio da caderneta de Munsell (Munsell, 1975). Foram feitas análises físicas que visaram à obtenção da composição granulométrica (Ruiz, 2005), argila dispersa em água (ADA) e estabilidade de agregados por via seca e úmida (Embrapa, 1997).

Para a determinação da composição granulométrica foi realizada a dispersão das amostras de solo com hidróxido de sódio (NaOH 0,5 mol/L) e agitação mecânica por 16 horas a 50 rpm (Ruiz, 2005). Após este procedimento o material foi passado, com o auxílio de um jato de água, por peneira de malha de 0,053 mm e levado à estufa a 100-105 ° C. Posteriormente calcularam-se as proporções de areia grossa e areia fina, argila e silte. As determinações da ADA foram obtidas por meio de análise granulométrica, na qual foi utilizada somente água como dispersante. O procedimento baseou-se na agitação rápida do solo por 15 minutos a 12.000 rpm com água deionizada (Vettori, 1969). Após agitação, as amostras foram mantidas em repouso por um período determinado pela Lei de Stokes. Após o tempo calculado pipetou-se uma alíquota dos primeiros 5 cm da suspensão de cada amostra da composição granulométrica e ADA, esta foi transferida para um béquer e pesada após ficar na estufa de 100-105° C durante 48 horas.

Para as determinações da estabilidade de agregados por via úmida e por via seca (Embrapa, 1997) foram utilizados os agregados menores que 2,0 mm (TFSA). A separação de agregados por via úmida tende a reproduzir a desintegração dos agregados provocada por erosão hídrica sobre a superfície do solo, e a estabilidade por via seca a desintegração dos agregados por erosão eólica.

Na determinação de agregados por via úmida, utilizaram-se amostras de 25 g. Estas foram umedecidas em vidro de relógio, ficando em repouso por duas horas. Foi utilizado para a peneiragem um agitador de Yoder, com jogo de peneiras de seqüência de malhas: 2,0 – 1,0 mm, 1,0 – 0,50 mm, 0,50 – 0,25 mm, 0,25 – 0,105 mm. O tempo de agitação foi de 15 minutos, as amostras foram acondicionadas em

recipiente devidamente pesado, e levadas à estufa por 48 horas, para se obter o peso de cada fração granulométrica.

Para a estabilidade de agregados por via seca, tomou-se uma amostra de 100 g, que foi colocada em agitador vertical de peneiras eletromecânico da marca Bertel por 15 minutos. O jogo de peneiras desta determinação foi na mesma seqüência citada anteriormente. Foi levada a estufa uma pequena porção de solo em recipiente devidamente pesado, para o cálculo da umidade residual, este fator obtido foi incorporado aos cálculos finais da estabilidade de agregados por via úmida e seca.

Com os valores das proporções de agregados separados por via úmida e via por seca, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) utilizando-se as seguintes expressões:

$$DMP = \sum .x_i DM_i$$

$$DMG = 10^{\sum .x_i \log (DM_i)}$$

Em que DM_i = diâmetro médio da classe i (mm)

Separação de agregados por via seca:

Para o cálculo da proporção de agregados de cada uma das classes utilizou-se a expressão:

$$X_i = \frac{M_i}{\sum M_i}$$

Em que X_i = proporção de agregados

M_i = massa de agregados da classe i (g)

Separação de agregados por via úmida:

$$\sum M_i = \frac{M_{\text{Agregados}}}{F}$$

Em que $M_{\text{Agregados}}$ = massa de agregados secos ao ar (g)

A proporção de agregados da classe menor que 0,105 mm foi calculada pela expressão:

$$X_{<0,105} = 1 - (X_{2-1} + X_{1-0,5} + X_{0,5-0,25} + X_{0,25-0,105})$$

3.4. Caracterização química

As determinações químicas feitas foram: pH em H₂O e KCl a 1 mol L⁻¹, determinados potenciométricamente, na relação solo:solução de 1:2,5; fósforo, sódio e potássio disponíveis, extraídos por HCl 0,5 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (Mehlich-1) na relação solo:solução de 1:10, sendo o fósforo determinado por leitura em espectrofotômetro de absorção molecular, e o sódio e potássio em leitura no espectrofotômetro de chama. O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹ na relação solo:solução 1:10, o cálcio e magnésio foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica e o alumínio por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ na presença de azul de bromotimol como indicador; determinação da acidez potencial (H + Al) com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 na relação solo:solução 1:10, por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹ usando fenolftaleína como indicador; ferro e manganês foram extraídos por Mehlich-1 na relação solo:solução 1:10 e determinados em espectrofotômetro de absorção atômica. Todas estas determinações seguiram as indicações de Defelipo & Ribeiro (1981). O carbono orgânico foi determinado pelo método Walkley Black modificado por Defelipo & Ribeiro (1981).

A soma de bases (SB), t (CTC efetiva), T (CTC total), e V (saturação de bases) foram calculadas de acordo com a Embrapa (1997).

3.4.1. Ferro extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato

Para a determinação do DCB a TFSA foi triturada em almofariz de ágata e passada por peneira 0,250 mm, utilizou-se 0,3 g de solo. Foram realizadas extrações com três repetições com: citrato de sódio a 0,2 mol L⁻¹ e mais ou menos 500 mg de ditionito. As amostras permaneceram em “banho-maria” por 30 minutos entre 75 °C e 80 °C, com agitações sucessivas (Mehra & Jackson, 1960). As mesmas foram centrifugadas a 2000 rpm por 10 minutos. A diluição foi na proporção foi 0,1:20 mL de extrato e água deionizada para leitura do ferro no espectrofotômetro de absorção atômica.

A extração de oxalato de amônio foi feita com a fração argila, utilizando 0,3 g de argila. Foi utilizado 10 mL de “Reagente de Tamm” (oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ mais ácido oxálico 0,2 mol L⁻¹) a pH 3,0, com agitação por 2 horas, ausência de luz e centrifugação de 2000 rpm por 10 minutos (Schwertmann, 1973). A diluição foi feita na proporção de 1:10 mL de extrato e água deionizada para leitura de ferro no espectrofotômetro de absorção atômica.

3.4.2. Teores Totais

Para a determinação dos teores totais de Fe foi adotado ataque triácido, com digestão em forno microondas, marca MILESTONE, modelo ETHOS PLUS (Microwave Digestion Labstation), de acordo com o método SW-846 EPA 3052 (1996). Foram pesadas sub-amostras de 0,250 g para Plintossolo Pétrico, 0,100 g para o Latossolo Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo, adicionados 8 mL de ácido nítrico 65 % v v⁻¹, 3 mL de ácido fluorídrico 36 % v v⁻¹ e 3 mL de ácido clorídrico (Merck, Darmstadt, Alemanha). A mistura foi introduzida em tubos fechados de Teflon[®] sob alta pressão, aquecidos por radiação microondas por 15 minutos a uma potência de 1000 W a 185°C. Este programa foi aplicado para um rotor com seis frascos reacionais. Após resfriar, o extrato foi vertido para balões volumétricos de 50 mL, completando-se o volume com solução de ácido bórico a 5 % v v⁻¹ preparadas com água destilada e desmineralizada em sistema Milli-Q (Water System, Millipore, Bedford, EUA). O extrato foi transferido para tubos de centrifuga de 50 mL e armazenados em recipientes de polietileno em geladeira. As análises foram feitas em triplicatas, com uma prova em branco.

Os teores dos elementos no extrato foram dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido ICP-OES, marca PERKIN ELMER, modelo Optima 3300 DV.

3.5. Mineralogia da fração argila

As análises mineralógicas foram realizadas, a partir da TFSA, extraído-se areia, por tamisação utilizando peneira de 0,210 mm. O silte e argila foram extraídos por sedimentação através de sifonamento (Embrapa, 1997).

Foi feita a remoção de matéria orgânica dos horizontes A dos solos estudados com hipoclorito de sódio (NaClO) a 10% e pH 9,5, na relação solo:solução 1:2,5. Agitou-se bem e colocou-se em “banho-maria” entre 75 °C e 80 °C por 15 minutos (Mehra & Jackson, 1960).

Foi feita também a remoção dos óxidos de ferro utilizando-se ditionito-citrato-bicarbonato seguindo recomendações de Mehra & Jackson (1960) e logo em seguida a saturação com KCl e MgCl₂, ambas a 1 mol L⁻¹.

3.5.1. Preparo das lâminas

O preparo das lâminas de vidro orientadas da fração argila foi feito através da técnica do esfregaço. Foram preparadas lâminas da fração argila sem tratamento. Nas amostras de argila saturada com MgCl₂, foi feita a solvatação com glicerol. Para as lâminas saturadas com KCl foram feitas leituras a temperatura ambiente, e a 550 °C em mufla, onde permaneceram durante 4 horas.

A leitura das lâminas de argila foram feitas por difratometria de raios-X em Difratômetro Rigaku com radiação de Co-K α na faixa entre 2 a 45°, 2 θ , com tensão de 40 kV e corrente de 30 m.A.

3.6. Base cartográfica e hidrografia

Com o intuito de compreender e relacionar diversas características da área estudada foram gerados os seguintes mapas temáticos: modelo digital de elevação (MDE), geologia, declividade e hidrografia, geomorfologia e solos na escala de 1:300.000. Para o mapa de geomorfologia e solos foram extraídos padrões da imagem de satélite SRTM, através de digitalização. Para geração dos demais mapas foram utilizadas imagens SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) da Nasa (Jarvis et al., 2008) e base de dados de hidrografia da ANA (Agência Nacional de Águas) e municípios do Geominas.

Na obtenção de dados e formação de banco de dados foi utilizado o Arq Gis[®], versão 9.3 do ESRI (Environmental Systems Research Institute). Na etapa de

digitalização dos mapas foi utilizada uma mesa digitalizadora em tamanho A0. Todos os mapas foram confeccionados em papel A3.

As observações de campo foram fundamentais para a identificação das diversas feições do relevo e para o georreferenciamento da área pesquisada. Este foi feito através do uso de GPS de navegação (Garmim Plus Etrex). Os mapas foram gerados sobre a base do MDE, o que permitiu que fosse extraída a base altimétrica da área, composta de curvas de nível distanciadas de 20 e 20 m, possibilitando a identificação e interpretação de geformas presentes na área delimitada para estudo.

A rede de drenagem foi extraída da base hidrográfica da ANA, sendo gerado um mapa com a rede hidrográfica da bacia do rio Abaeté, permitindo a interpretação do padrão de drenagem e das ordens dos rios da bacia (classificação de Strahler).

Buscando-se conhecer as características da bacia em estudo, geraram-se índices através da utilização do *software* ArcGis[®] 9.3 do ESRI, resultando então, nas características morfométricas da bacia do Rio Abaeté. Os índices estão apresentados no quadro 1.

Quadro 1. Características morfométricas da bacia do rio Abaeté

Características geométricas	
Área total	Coefficiente de compactidade (Kc)
Perímetro total	Índice de circularidade (IC)
Fator de forma (F)	Padrão de drenagem
Características do relevo	
Orientação	Altitude mínima
Declividade mínima	Altitude média
Declividade média	Altitude máxima
Declividade máxima	Amplitude altimétrica
Características da rede de drenagem	
Densidade de drenagem (Dd)	Comprimento do curso d'água principal
Ordem dos cursos d'água	Comprimento total dos cursos d'água

Fonte: Adaptado de Tonello (2005).

3.6.1. Área total e perímetro total

A área total da bacia é expressa em km² e compreende a área drenada por um conjunto de sistemas fluviais, projetado no plano horizontal. O perímetro total é expresso em km, constituindo o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas da bacia (Silva et al.,2004; Tonello, 2005).

3.6.2. Fator forma e coeficiente de compacidade

O fator forma relaciona a forma da bacia com um retângulo, resultando na razão entre a largura média e ao comprimento axial da bacia (Tonello, 2005). Este fator é muito utilizado para se ter uma estimativa a respeito do tempo de concentração das águas da chuva dentro de uma bacia, e o que se leva para a água chegar á uma saída comum (Villela & Mattos, 1975), ou seja, o exutório da bacia.

Determinado por:

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

Em que: F = fator forma

A = Área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

L = comprimento do eixo da bacia (km)

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo. Desta forma constitui a relação entre perímetro da bacia e a circunferência de um círculo igual à da bacia (Tonello et al.,2006). Este valor tende a unidade. Um coeficiente próximo à unidade corresponderia a uma bacia circular (Villela & Mattos, 1975).

Este índice é utilizado para ter-se uma idéia a respeito da irregularidade da bacia. Tanto maior for o índice, maior será a irregularidade da mesma.

Foi calculado por:

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

Em que: K_c = Coeficiente de compacidade

P = Perímetro da bacia ou sub-bacia (km)

A = Área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

3.6.3. Índice de circularidade

O índice de circularidade tende a se aproximar do formato circular da bacia. Este valor assim como o K_c tende a unidade. É utilizado para aproximar-se a bacia a uma figura geométrica, visando cobrir da melhor maneira possível à mesma, a fim de conhecer seu formato (Christofolletti, 1980).

Foi calculado por:

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

Em que: IC = Índice de circularidade

A = Área de drenagem da bacia ou sub-bacia (km²)

P = Perímetro da bacia ou sub-bacia (km)

Christofolletti (1980), com base nos métodos de Lee & Salle (1970), a fim de eliminar a subjetividade na caracterização da forma da bacia, apresenta os limites para a classificação de uma bacia em circular, retangular e triangular. Para que uma bacia seja classificada como circular seu IC deverá estar próximo de 0,313, retangular 0,367, e triangular 0,222.

3.6.4. Padrão de drenagem e ordem dos cursos d'água

O padrão de drenagem corresponde a classificação da fisionomia dos cursos d'água ao longo de um perfil longitudinal sendo classificados como: Drenagem dendrítica, treliça, retangular, paralela, radial e anelar (Christofolletti, 1980).

A ordem dos cursos d'água de acordo com Christofolletti (1980) foi proposta primeiramente por Horton (1945) e modificado por Strahler (1957), alguns anos depois. Para estes autores os canais são classificados como: primeira ordem, segunda ordem, terceira ordem, quarta ordem, e assim por diante. A união de dois canais de mesma ordem resulta em um de ordem superior, e a união de dois canais de ordens diferentes, o de ordem maior prevalece. A ordenação dos canais fluviais é o primeiro passo para a realização da análise morfométrica das bacias hidrográficas (Cunha, 2001).

3.6.5. Declividade e altitude

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa (Tonello, 2005). Para o cálculo da declividade mínima, média e máxima utilizou-se a classificação de declividade (Quadro 2) de acordo com a Embrapa (2006).

Quadro 2. Classes de declividade

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: Embrapa (2006).

A altitude é um índice muito importante, pois influencia diretamente na precipitação no que diz respeito às perdas de água por transpiração e evapotranspiração. Variações significativas na altitude de uma bacia têm

conseqüências na variação da temperatura média, o que causa variações na evapotranspiração da mesma. Um outro aspecto relacionado à altitude, é a possibilidade de conhecer melhor as formas do relevo, que por sua vez influencia na erosão provocada pelo escoamento das águas pluviais pela bacia. Através desse índice pode-se interpretar e conhecer melhor o padrão de dissecação do relevo.

3.6.6. Densidade de drenagem

A densidade de drenagem consiste na razão do comprimento total dos rios para com a área em km², numa bacia hidrográfica (Freitas, 1952; Christofolletti, 1980). O calculo da densidade de drenagem é importante, pois indica o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem, variando inversamente com a extensão do escoamento superficial, indicando, por tanto, a eficiência da drenagem da bacia (Villela & Mattos, 1975).

Foi calculada por:

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

Em que: Dd = Densidade de drenagem

L_t = Comprimento total dos canais da bacia ou sub-bacia

A = Área da bacia da bacia ou sub-bacia

3.6.7. Comprimento do curso d'água principal e total dos cursos d'água

O comprimento do curso d'água principal é a distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até a nascente (Christofolletti, 1980). O comprimento total dos cursos d'água é a soma de todas as distâncias dos cursos da água da bacia hidrográfica, ou seja, o curso principal e seus afluentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Investigação de campo

A investigação de campo se mostrou importante na medida em que possibilitou o reconhecimento e identificação das feições do relevo, que contribuíram na busca do entendimento da evolução erosiva da paisagem em estudo. A área em estudo foi percorrida a fim de se identificar os traços que evidenciariam a evolução das feições.

O ponto de partida das observações no campo se deu a partir do município de Rio Paranaíba, compreendendo uma área que abrange os municípios de São Gotardo, Matutina, Arapuá e Tiros. Dois transectos foram observados (Quadros 3, 5 e 6), em um dos quais foram amostrados três perfis de solo (Quadro 4) para caracterizações químicas, físicas e mineralógicas.

A classe dos Latossolos Vermelho Amarelo e Amarelo distribui-se em áreas que correspondem aos extensos chapadões, que possuem topografia praticamente plana, representando as cotas mais elevadas que variam entre 1000 e 1.200 m.




Os Plintossolos, Latossolos Vermelhos e Argissolos são comumente encontrados nas ombreiras e partes convexas das encostas, sendo que, no terço inferior da encosta e nas partes convexas encontram-se solos pouco desenvolvidos, onde nota-se a influência dos tufos vulcânicos (tufitos) e nas partes mais dissecadas dos arenitos.

Quadro 3. Descrição dos transectos observados

Transecto	(I) Rio Paranaíba - São Gotardo	(II) Arapuá - Tiros
Profundidade do vale (m)	110	235
Geologia	Cobertura detrito-laterítica Formação Mata da Corda (Arenitos)	Cobertura detrito-laterítica Formação Mata da Corda (Rochas vulcânicas básicas, Arenitos) e Grupo Bambuí (pelíticas)
Altitude mínima (m)	1010	800
Altitude máxima (m)	1120	1035
Solos	LVA, LA, FF, PVA ⁽¹⁾	LV, CX ⁽¹⁾
Erosão	Laminar, voçorocas	Laminar, sulcos e voçorocas
Vegetação	Cerrado	Floresta estacional semi-decídua





⁽¹⁾ LVA= Latossolo Vermelho Amarelo, LA= Latossolo Amarelo, FF= Plintossolo Pétrico, PVA = Argissolo Vermelho Amarelo, LV= Latossolo Vermelho, CX= Cambissolo Háplico.

Quadro 4. Perfis coletados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo

Pontos de coleta	Coordenadas UTM	Solo	Relevo	Geologia	Uso e cobertura vegetal	Perfil
1	23K 380856 - 7875470 m	Latossolo Amarelo	Tabular	Cobertura detrítico-laterítica	Agricultura, Cerrado	
2	23K 383137 - 7875560 m	Plintossolo Pétrico	Suave ondulado	Cobertura detrítico-laterítica, Mata da Corda (arenito)	Pastagem, Cerrado	
3	23K 383797 - 7876209 m	Argissolo Vermelho Amarelo	Suave ondulado	Mata da Corda (arenito)	Pastagem, Mata galeria	

4.1.1. Transecto Rio Paranaíba - São Gotardo








Quadro 5. Características gerais do transecto Rio Paranaíba – São Gotardo (MG)

Coordenadas UTM	Altitude	Geologia	Solos	Uso da terra	Figura	observações
23 K 382489 - 7875619 m	1003 m	Cobertura detrito-laterítica Arenitos	LVA/ LA ⁽¹⁾	Agricultura		Vertentes suave inclinadas. Vegetação predominante: Cerrado
23 K 382489 - 7875619 m	1103 m	Cobertura detrito-laterítica Arenitos	FFc ⁽¹⁾	Pastagem		Quebra do relevo, afloramento de canga laterítica. Vegetação predominante: Cerrado
23 K 383137 - 7875560 m	1047 m	Cobertura detrito-laterítica Arenitos	FFc / PVA ⁽¹⁾	Extrativismo		Extração de areia a partir de Arenito as margens do rio Abaeté. Vegetação predominante: Cerrado
23 K 383973 - 7876179 m	1074 m					

⁽¹⁾ LVA= Latossolo Vermelho Amarelo, LA = Latossolo Amarelo, FFc = Plintossolo Pétrico Concrecionário, PVA – Argissolo Vermelho Amarelo.

4.1.2. Transecto Arapuá – Tiros

Quadro 6. Características gerais do transecto Arapuá – Tiros (MG)

Coordenadas	Altitude	Geologia	Solos	Uso da terra	Figura	Observações
23 k 378934 - 7884265 m	1114 m	Cobertura detrito-laterítica + Formação Mata da Corda	LA, LVA, FFc, CXbd ⁽¹⁾	Pastagem		Superfícies tabulares, formação de cornijas
23 k 378696 - 7884503 m	1079 m	Formação Mata da Corda	FFc, CXbd ⁽¹⁾	Pastagem		Geoformas côncavas. Padrão de drenagem com forte controle estrutural, por linhas de fratura e falhas. Vegetação predominante: Floresta semi-decídua
23 k 383490 - 7891268 m	1031 m	Formação Mata da Corda	CXbd ⁽¹⁾	Agricultura e pastagem	 	Talude com solo heterogêneo, apresentando fragmentos arredondados, com forte atração magnética.
23 k 383617 - 7875548 m	1027 m	Formação Mata da Corda	CXbd ⁽¹⁾	Agricultura e pastagem		Solos com composição heterogênea, derivados de diversificada mistura de substratos rochosos.
23 k 383785 - 7892721 m	1008 m	Formação Mata da Corda	CXbd ⁽¹⁾	Agricultura e pastagem		Drenagem encaixada em “V”, padrão de drenagem dendrítico.
23 k 394505 - 7901023 m	1019 m	Formação Mata da Corda	CXbd ⁽¹⁾	Agricultura e pastagem		Formas côncavas e convexas, relevo com formas mais suavizadas.

⁽¹⁾ LVA= Latossolo Vermelho Amarelo, LA= Latossolo Amarelo, FFc = Plintossolo Pétrico Concrecionário, CXbd = Cambissolo Háplico Tb distrófico.

4.2. Caracterização morfológica e física

Dentre os solos estudados, as amostras de Latossolo Amarelo e Plintossolo Pétrico apresentaram textura argilosa, e o Argissolo Vermelho Amarelo textura que varia de areia franca a argila arenosa (Quadro 7).

O Latossolo Amarelo apresentou proporções de argila que variaram, em profundidade, entre 0,61 kg kg⁻¹ e 0,83 kg kg⁻¹. Carmo et al.,(1984) relataram que a fração argila é predominante nos Latossolos de modo geral, sendo os valores de ADA muito baixos, o que segundo eles é bastante comum para estes solos. Estes autores encontraram proporções de argila, para um Latossolo Amarelo, próximas as encontradas na presente pesquisa, variando em profundidade entre 0,82 kg kg⁻¹ a 0,84 kg kg⁻¹.

O Argissolo Vermelho Amarelo apresentou um comportamento textural diferente das duas outras classes de solos estudadas. As proporções de areia grossa e fina são superiores aos de argila nos horizontes mais superficiais o que pode ser explicado devido a um processo de perda de partículas mais finas *in situ* devido à erosão física e química. Este processo é favorecido devido a localização desta classe de solo no sopé da vertente, sendo assim, os processos de fluxos d'água superficiais e laterais pelo perfil do solo, contribuem para essa retirada de partículas finas e permanência daquelas mais grosseiras. Nos horizontes Bt/C, C e Cr a fração argila é dominante.

A argila dispersa em água apresentou valores não detectados para todos os horizontes analisados, exceto o Bc2 e Bc/F do Plintossolo Pétrico, e A/B do Latossolo Amarelo, apresentaram valores variando entre 0,17 e 0,26 kg kg⁻¹ (Quadro 7). Estes baixos valores encontrados contribuem para a estabilidade dos agregados. Observando-se as análises mineralógicas do presente trabalho (Quadro 12), constatou-se a presença de picos de gibbsita na maioria dos horizontes. Ferreira et al., (1999) relatam que este óxido contribui para a estabilidade de agregados, fato este, intrinsecamente relacionado ao comportamento da ADA.

O Latossolo Amarelo apresentou predominantemente matiz 7,5 YR. Este está localizado em uma área que apresenta restrições de drenagem, favorecendo a formação da goethita, responsável por sua coloração.

O Plintossolo Pétrico apresentou em todos os horizontes matiz 2,5 YR. Tal fato está relacionado à ocorrência de hematita, cujos picos foram detectados em análise mineralógica. Apenas 1 % deste óxido é suficiente para dar coloração vermelha ao solo (Resende, 1976).

O Argissolo Vermelho Amarelo apresenta matizes variando entre 5 e 7,5 YR. Esta classe está localizada em uma rampa de colúvio bastante próximo às margens do Rio Abaeté, o que pode estar favorecendo o predomínio destes matizes devido à umidade natural do ambiente, favorecendo o campo de estabilidade da goethita.

Quadro 7. Caracterização física dos solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo, considerando os horizontes de amostragem

Horizonte	Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA	Cor úmida	
		kg kg ⁻¹						
Latossolo Amarelo Ácrico típico								
Ap	0-18	0,05	0,06	0,28	0,61	nd*	5YR 4/6	
A/B	18-39	0,04	0,05	0,15	0,76	0,26	7,5 YR 4/6	
Bw1	39-108	0,03	0,04	0,13	0,80	nd*	7,5YR 4/6	
Bw2	108-160+	0,02	0,03	0,12	0,83	nd*	7,5 YR 5/8	
Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico								
Ap	0-25	0,10	0,15	0,11	0,64	nd*	2,5YR 4/6	
A/Bc	25-58	0,09	0,11	0,17	0,63	nd*	2,5YR 4/6	
Bc1	58-109	0,09	0,10	0,19	0,62	nd*	2,5 YR 4/6	
Bc2	109-163	0,12	0,12	0,13	0,63	0,17	2,5 YR 4/8	
Bc/F	163-210+	0,13	0,12	0,15	0,60	0,18	2,5 YR 4/8	
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico								
Ap	0-11	0,37	0,34	0,13	0,16	nd*	5 YR 4/6	
Bt1	11-28	0,29	0,24	0,19	0,28	nd*	5 YR 4/6	
Bt2	28-35/43	0,33	0,18	0,18	0,31	nd*	5YR 4/6	
Bt/C	35/43-47/52	0,22	0,14	0,25	0,39	nd*	7,5 YR 5/5	
C	47/52-77	0,13	0,10	0,35	0,42	nd*	5 YR 7/4	
Cr	77-130	0,15	0,06	0,41	0,38	nd*	5YR 6/4	

*nd = Não detectado.

4.2.1. Estabilidade de agregados via seca e úmida

Os resultados de estabilidade de agregados via seca (Quadro 8) mostram, que para todos os solos, as maiores proporções de agregados se distribuem entre os diâmetros de 1,0 - 0,5 mm, mostrando que os macro-agregados são predominantes em relação aos microagregados. Tisdall & Oades (1980) delimitam em 0,25 mm a fronteira entre macroagregados e microagregados.

Os resultados de estabilidade de agregado via úmida (Quadro 9) mostram que as maiores proporções de agregados se concentram entre 0,5 - 0,25 mm para o Latossolo Amarelo e o Plintossolo Pétrico, e menores que 0,105 mm para o Argissolo Vermelho Amarelo. Os macroagregados predominam no Latossolo Amarelo e Plintossolo Pétrico, fato importante, pois reflete a resistência do solo à erosão (Castro Filho et al., 1998) e no DMP. No Argissolo Vermelho Amarelo os microagregados são predominantes.

O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de macroagregados retidos nas peneiras com malha maiores. Quanto maiores os valores de DMP, maiores serão os espaços porosos entre os agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. Quando se observam os valores do DMP no PVA por via úmida, nota-se que seus diâmetros decrescem em profundidade.

O DMG indica o tamanho dos agregados dos solos analisados (Castro Filho et al., 1998). Para as classes de solos estudadas no presente trabalho, quando comparadas entre si, tanto na estabilidade via úmida, enquanto que via seca, estas não apresentaram diferenciação entre os DMG, o que evidencia uma homogeneidade no comportamento deste índice.

Ferreira et al., (1999), em estudos feitos com Latossolos da região do Alto Paranaíba, constataram após avaliar a influência da mineralogia na estabilidade de agregados, que a maior estabilidade dos agregados desses Latossolos é mais ligada aos óxidos de alumínio (gibbsita), o que implica também, no desenvolvimento de uma estrutura do tipo granular. Este fato corrobora para os dados obtidos para o Latossolo Amarelo, que apresentou maior concentração de macroagregados na estabilidade por via úmida, o que permite uma melhor agregação, que somada à presença de gibbsita, resultam em menores perdas de solo por erosão. Ainda, os teores de matéria orgânica (Quadro 10) se mostraram importantes para a agregação dos horizontes mais superficiais.

A predominância de macroagregados, tanto por via seca quanto por via úmida, no Plintossolo Pétrico, somando-se a seus altos teores de matéria orgânica e mineralogia predominantemente gibbsítica (Quadro 12), ilustram, assim como no Latossolo Amarelo, uma contribuição deste hidróxido na agregação do solo.

O Argissolo, assim como o Latossolo Amarelo e o Plintossolo, apresentou uma distribuição de agregados nas classes de maiores diâmetros para a estabilidade via seca, evidenciando boa estabilidade. Quando analisados as proporções de agregados via úmida, predominaram os agregados abaixo de 0,105 mm, diferentemente dos demais solos analisados.

Quadro 8. Agregados separados via seca, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos três solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo, considerando a profundidade de amostragem

Horizonte	Classe de Agregados (mm)					DMP	DMG
	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	< 0,105		
	kg kg^{-1}						mm
Latossolo Amarelo Ácrico típico							
Ap	0,106	<u>0,776</u>	0,082	0,020	0,009	0,776	0,725
A/B	0,106	0,153	<u>0,491</u>	0,200	0,044	0,496	0,384
Bw ₁	0,113	<u>0,716</u>	0,122	0,039	0,010	0,757	0,686
Bw ₂	0,169	<u>0,673</u>	0,104	0,040	0,009	0,804	0,724
Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico							
Ap	0,196	<u>0,499</u>	0,269	0,026	0,007	0,771	0,677
A/Bc	0,078	0,108	<u>0,509</u>	0,257	0,045	0,434	0,343
Bc ₁	0,129	0,237	<u>0,509</u>	0,096	0,029	0,575	0,479
Bc ₂	0,259	<u>0,628</u>	0,078	0,028	0,007	0,886	0,815
Bc/F	0,259	<u>0,579</u>	0,089	0,049	0,024	0,865	0,775
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico							
Ap	0,094	<u>0,637</u>	0,157	0,088	0,020	0,694	0,600
Bt ₁	0,025	<u>0,612</u>	0,090	0,062	0,021	0,813	0,704
Bt ₂	0,369	<u>0,448</u>	0,091	0,061	0,030	0,936	0,768
Bt/C	0,317	<u>0,450</u>	0,164	0,047	0,018	0,884	0,743
C	0,233	<u>0,537</u>	0,180	0,031	0,012	0,825	0,721
Cr	0,216	<u>0,575</u>	0,128	0,059	0,014	0,815	0,707

Estudos feitos por Castro Filho et al.,(1998) mostram que para agregados menores que 0,25 mm os teores de matéria orgânica são importantes para a agregação. Quando observados os teores de matéria orgânica encontrados para o Argissolo Vermelho Amarelo, verifica-se que para os horizontes Bt1, Bt2 e Bt/C estes variam entre 1,29 e 2,20 %, valores considerados relativamente altos. Mesmo este solo apresentando uma distribuição de agregados por via úmida predominantemente na classe menor que 0,105 mm, o que poderia facilitar perdas por erosão, a matéria orgânica pode estar auxiliando na estabilização destes microagregados.

Quadro 9. Agregados separados via úmida, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos três solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo, considerando a profundidade de amostragem

Horizonte	Classe de Agregados (mm)					DMP	DMG
	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,105	< 0,105		
	kg kg ⁻¹						mm
Latossolo Amarelo Ácrico típico							
Ap	0,097	0,160	<u>0,382</u>	0,160	<u>0,200</u>	0,448	0,288
A/B	0,088	<u>0,253</u>	<u>0,326</u>	0,276	0,057	0,496	0,368
Bw1	0,115	0,135	<u>0,342</u>	0,174	<u>0,234</u>	0,445	0,268
Bw2	0,136	<u>0,247</u>	<u>0,246</u>	0,151	<u>0,219</u>	0,521	0,313
Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico							
Ap	0,091	0,142	<u>0,313</u>	<u>0,237</u>	<u>0,217</u>	0,414	0,257
A/Bc	0,086	0,164	<u>0,370</u>	<u>0,236</u>	0,145	0,440	0,299
Bc1	0,098	<u>0,213</u>	<u>0,335</u>	0,197	0,157	0,475	0,316
Bc2	0,178	<u>0,284</u>	<u>0,256</u>	0,137	0,146	0,607	0,397
Bc/F	0,192	<u>0,245</u>	<u>0,215</u>	0,150	0,198	0,589	0,352
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico							
Ap	0,090	0,199	<u>0,276</u>	<u>0,249</u>	0,186	0,442	0,282
Bt1	0,190	<u>0,230</u>	<u>0,212</u>	0,182	0,184	0,580	0,348
Bt2	0,295	<u>0,220</u>	<u>0,201</u>	0,121	0,163	0,713	0,436
Bt/C	0,254	<u>0,256</u>	0,154	0,130	<u>0,216</u>	0,658	0,376
C	0,111	0,141	0,052	0,049	<u>0,647</u>	0,335	0,131
Cr	0,119	0,143	0,106	0,080	<u>0,552</u>	0,369	0,156

4.3. Caracterização química

4.3.1. Análises de rotina

A baixa saturação de bases (SB) e os baixos valores de fósforo disponível indicam que todos os solos analisados são bastante lixiviados e intemperizados. O Al^{3+} trocável conforme esperado, apresenta valores não detectados para a quase totalidade dos horizontes (Quadro 10), devido ao fato de terem sido intensamente lixiviados e intemperizados, o que é confirmado pelas análises mineralógicas, com a grande ocorrência de gibbsita.

Corroborando para os valores encontrados nesta pesquisa para a SB, P e Al^{3+} , Curi & Franzmeier (1984), trabalhando com Latossolos do Brasil Central, também encontraram baixos valores para estas determinações. Estes mesmos autores encontraram valores de Al^{3+} não detectados, para todos os Latossolos analisados. Foi relatado por estes autores que existe uma generalização de que nos Latossolo, o Al^{3+} é um elemento muitas vezes responsável pela causa de estresse em plantas do Cerrado devido a sua toxicidade, o que segundo ele não pode ser generalizado para horizontes B.

Analisando os valores de pH em água (Quadro 10) observa-se que todos os perfis apresentam reação moderadamente ácida, exceto nos horizontes Bt_2 e Cr do Argissolo Vermelho-Amarelo (Embrapa, 2006). Os horizontes Bc_1 , Bc_2 , Bc/F do Plintossolo Pétrico, apresentaram eletropositividade, indicando a influência dos óxidos (hematita, goethita e gibbsita), devido a sua prevalência em comparação com os minerais silicatados, na fração argila dos solos. Nos horizontes Ap do Latossolo Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo, a eletronegatividade pode ser explicada, dentre outros fatores, pela contribuição de cargas negativas advindas da matéria orgânica presente no horizonte superficial.

No Latossolo Amarelo, com exceção do Bw_2 , os demais horizontes são eletronegativos. Apesar de este solo ser eletronegativo no Bw_1 , no Bw_2 ele apresenta-se eletropositivo e associado a uma soma de bases inferior a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, caracterizado, portanto, como um solo ácido de acordo com Embrapa (2006). A eletronegatividade dos horizontes mais superficiais do Latossolo Amarelo pode estar associada a um período de ciclagem, com a incorporação de matéria orgânica ao solo, devido aos cultivos agrícolas.

No Argissolo todos os horizontes são eletronegativos, o que poderia ser atribuído ao fato deste solo estar localizado em uma posição da paisagem que recebe constante renovação de sedimentos. Estes horizontes apresentam minerais de argila silicatados, que devido as suas substituições isomórficas, possuem cargas negativas, exercendo influência nesta característica.

Analisando-se os valores de saturação de bases (V %), observa-se que a maioria dos horizontes apresenta V % inferior a 50 %, exceto o horizonte Ap do Latossolo Amarelo que apresentou 61,3 % de saturação por bases. Esse alto valor pode ser explicado pelo fato de tal horizonte estar localizado em uma área de cultivo agrícola que recebeu adubação e calagem.

O fósforo disponível, extraído, por Mehlich 1, apresenta baixos valores, com exceção do horizonte Ap do Latossolo Amarelo com 15 mg dm^{-3} . Este valor elevado de fósforo deve estar associado a adição de adubação fosfatada.

Com base na análise dos cátions trocáveis, de modo geral, estes apresentam baixos valores para todos os solos. Não foram detectados teores de magnésio e cálcio trocáveis, na maioria dos horizontes do Latossolo Amarelo, Plintossolo Pétrico e Argissolo Vermelho-Amarelo. Para o Latossolo, os teores encontrados para o magnésio, estão em consonância com os resultados obtidos por Carmo (1977), Curi (1983), Curi & Franzmeier (1984), e Rolim Neto (2002).

O cálcio, de acordo com os limites sugeridos por Alvarez V. et al.,(1999) pode ser enquadrado como muito baixo, exceto no horizonte Ap do Latossolo Amarelo, que apresentou um valor de $3,89 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, atribuído ao histórico do cultivo, o que de acordo com a classificação proposta, está enquadrado como um bom valor. Estes baixos valores de Ca^{2+} são devido ao solo ter sido desenvolvido a partir de sedimentos pré-intemperizados, pertencentes a uma superfície que sofreu intensa lixiviação.

A soma de bases na maioria dos horizontes é tida como muito baixa, exceto no horizonte Ap do Latossolo, devido à adubação e calagem recebida, evidenciando que estes solos passaram por intenso processo de lixiviação de bases.

A CTC efetiva (t) no Plintossolo e no Argissolo é classificada como muito baixa. No Latossolo Amarelo os horizontes Ap e A/B se diferenciaram por apresentar, com base em Alvarez V. et al.,(1999), valores de médio a bom,

A CTC total (T) do Plintossolo e do Argissolo varia entre médio e baixo. Os valores para Latossolo variam de baixo a muito bom.

Os valores de Mn e de Fe extraídos por Mehlich 1 estão acima dos limites estabelecidos como altos por Alvarez V. et al.,(1999). O Mn apresentou altos valores para a maioria dos horizontes do Argissolo, com destaque para o Ap com 58,00 mg dm⁻³. O Fe, de modo geral, apresentou altos valores para todos os horizontes das classes de solos analisadas, especialmente no horizonte Cr, do Argissolo, com 126,40 mg dm⁻³. Estes altos valores extraídos podem estar associados ao material de origem vulcânico geralmente rico em elementos ferromagnesianos, onde os teores de Fe²⁺ devem ser maiores.

Quadro 10. Atributos químicos dos solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo

Hor	Prof. cm	pH		P mg dm ⁻³	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	SB	t	T	V	MO	Fe	Mn
		H ₂ O	KCl														
Latossolo Amarelo Ácrico típico																	
Ap	0-18	6,63	6,03	15	0,02	0,06	3,89	1,11	nd*	3,2	5,06	5,06	8,26	61,3	5,17	17,10	24,50
A/B	18-39	6,13	6,08	0,2	0,01	0,01	1,92	0,53	nd*	3,3	2,48	2,48	5,78	42,9	3,49	16,70	5,10
Bw1	39-108	6,01	5,83	nd*	0,02	0,00	0,81	0,11	nd*	3,2	0,95	0,95	4,15	22,9	2,58	8,80	3,00
Bw2	108-160 ⁺	5,66	6,34	nd*	0,02	0,00	0,22	nd*	nd*	2,1	0,25	0,25	2,35	10,6	1,94	9,60	1,60
Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico																	
Ap	0-25	5,48	4,74	0,7	nd*	0,07	0,12	nd*	nd*	5,9	0,16	0,16	6,06	2,6	8,07	28,30	6,80
A/Bc	25-58	5,60	5,26	0,2	0,04	0,03	0,12	nd*	nd*	4,0	0,22	0,22	4,22	5,2	2,33	28,10	3,80
Bc1	58-109	5,88	6,34	0,2	0,03	0,02	0,07	nd*	nd*	1,9	0,15	0,15	2,05	7,3	1,42	22,70	1,90
Bc2	109-163	6,29	6,90	0,1	0,02	nd*	0,04	nd*	nd*	0,8	0,08	0,08	0,88	9,1	0,65	21,90	1,40
Bc/F	163-210 ⁺	6,45	6,83	nd*	0,02	nd*	0,03	nd*	nd*	0,5	0,07	0,07	0,57	12,3	0,52	23,80	1,90
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico																	
Ap	0-11	5,28	4,52	0,2	0,00	0,06	0,15	nd*	nd*	2,4	0,18	0,18	2,58	7,0	1,29	36,40	58,00
Bt1	11-28	5,52	4,32	0,5	0,00	0,11	0,12	nd*	0,29	4,0	0,19	0,48	4,19	4,5	2,20	38,00	28,80
Bt2	28-35/43	5,30	4,24	0,5	0,02	0,17	0,10	nd*	0,48	4,3	0,25	0,73	4,55	5,5	2,20	44,80	41,50
Bt/C	35/43-47/52	5,80	5,07	0,1	0,01	0,08	0,06	nd*	nd*	2,4	0,13	0,13	2,53	5,1	1,81	29,50	14,30
C	47/52-77	5,40	4,18	nd*	0,01	0,03	0,06	nd*	0,87	2,2	0,10	0,97	2,30	4,3	0,13	12,60	0,40
Cr	77-130	5,33	4,23	0,2	0,02	0,12	0,08	0,28	0,48	4,0	0,48	0,96	4,48	10,7	0,13	126,40	39,50

SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC total; V = saturação de bases; MO = matéria orgânica; nd* = não-detectado.

4.4. Ferro extraído por ditionito (DCB) e oxalato de amônio (Ox)

Após três extrações sucessivas das amostras de solo com o ditionito, e uma para as amostras de oxalato, verificaram-se baixas relações de Fe_{Ox}/Fe_{DCB} nos solos estudados, indicando um predomínio de formas cristalinas sobre as amorfas (Quadro 11), evidenciando um alto grau de intemperismo desses solos.

Os valores de Fe_{DCB} encontrados para o Latossolo Amarelo foram altos, variando entre $10,41 \text{ dag kg}^{-1}$, para o horizonte mais superficial (Ap), a $11,44 \text{ dag kg}^{-1}$ para o horizonte mais subsuperficial (Bw₂).

Quadro 11. Teores de ferro (Fe) cristalino e amorfo extraídos por ditionito-citrato bicarbonato (DCB) e oxalato de amônio (Ox) e teores totais dos solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo

Horizonte	Profundidade	Teor de Fe		Relação	Ataque total (Fe_2O_3)
		Fe_{DCB}	Fe_{Ox}	Fe_{Ox}/Fe_{DCB}	
	cm	dag/kg-1			
Latossolo Amarelo Ácrico típico					
Ap	0-18	10,41	0,15	0,014	32,44
A/B	18-39	11,20	0,13	0,011	30,30
Bw ₁	39-108	8,29	0,10	0,012	30,57
Bw ₂	108-160 ⁺	11,44	0,09	0,008	31,80
Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico					
Ap	0-25	21,75	0,29	0,013	55,81
A/B _c	25-58	19,27	0,23	0,010	50,04
Bc ₁	58-109	17,82	0,17	0,009	50,40
Bc ₂	109-163	19,93	0,16	0,008	54,62
Bc/F	163-210 ⁺	23,11	0,14	0,006	58,32
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico					
Ap	0-11	8,99	0,09	0,010	30,86
Bt ₁	11-28	12,50	0,19	0,015	26,01
Bt ₂	28-35/43	12,79	0,12	0,009	23,29
Bt/C	35/43-47/52	11,26	0,12	0,010	16,29
C	47/52-77	3,61	0,11	0,030	7,05
Cr	77-130 ⁺	6,79	0,06	0,009	9,14

Curi & Franzmeier (1984), estudando Latossolos na região do Brasil Central encontraram para Latossolos Amarelos, valores de Fe_{DCB} variando entre 9,50 dag kg^{-1} para a primeira extração, e de 14,30 dag kg^{-1} para a quarta extração, estando próximos aos valores encontrados nesta pesquisa após três extrações sucessivas. As relações Fe_{OX}/Fe_{DCB} para o Latossolo Amarelo são todas menores que 0,03. Este limite foi proposto por Kampf et al.,(1986), para a identificação do horizonte diagnóstico Bw dos Latossolos.

Os valores encontrados para o Plintossolo Pétrico foram altos, variando entre 17,82 dag kg^{-1} a 21,75 dag kg^{-1} o que era esperado devido ao fato deste solo pertencer a superfície detrito-laterítica, confirmando seu alto grau de intemperismo.

O Argissolo Vermelho-Amarelo quando comparado aos demais solos analisados, apresentou as valores mais baixos de Fe_{DCB} . Este solo está localizado em uma posição da paisagem correspondente ao vale do rio Abaeté, sofrendo renovação constante.

O ataque triácido revelou altos valores de Fe_2O_3 para todos os solos estudados. O Plintossolo Pétrico apresentou os maiores valores, seguido pelo Latossolo Amarelo e pelo Argissolo Vermelho-Amarelo. Os teores de ferro detectados aproximam-se dos teores encontrados por meio de ataque total (triácido) por Ferreira et al., (1994) e Rolim Neto (2002) em solos do Alto Paranaíba. De acordo com Ker (1995), solos derivados de rochas com natureza mais básica, tais como tufitos e basaltos, em geral apresentam teores totais de Fe_2O_3 compreendidos entre 18 e 40 %, destacando os altos teores obtidos para o Plintossolo Pétrico que foram superiores a 40 %, teores esperados, devido à presença das petroplintitas.

4.5. Mineralogia da fração argila

A região pesquisada apresenta extensos chapadões, que são resultantes da sedimentação eólica e fluviolacustre de arenitos que possuem matriz argilosa do Grupo Bauru (Barbosa et al., 1970).

Esta superfície de sedimentos pré-intemperizados foi cenário de diversos ciclos de erosão e sedimentação que atuaram durante um longo período, permitindo que superfícies anteriores fossem aplainadas, resultando em superfícies suaves que foram entalhadas através da abertura de vales em ciclos posteriores (King, 1956). A combinação destes fatores foi responsável por um ambiente de intensa

intemperização e lixiviação, o que favoreceu a formação de óxidos de ferro (hematita e goethita), óxidos de alumínio (gibbsita), óxidos de titânio (anatásio), e minerais 1:1 (caulinita). De acordo com Schwertmann & Cornell (1991), a goethita e a hematita variam grandemente com as condições locais, sendo, portanto, bons indicadores ambientais.

A composição mineralógica da fração argila (Quadro 12), indica que estes solos são compostos basicamente por caulinita, gibbsita, anatásio, goethita e hematita (Figuras 4 a 6).

Quadro 12. Composição mineralógica da fração argila por difratometria de raios X dos horizontes dos solos estudados no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo

Solo	Horizonte	Minerais da fração argila
Latossolo Amarelo	Ap	Gb, Ct, An, Im
	A/B	Gb, Ct, It, An, Gt
	Bw ₁	Gb, Gt, Ct, An, Qz
	Bw ₂	Gb, Ct, An, It
Plintossolo Pétrico	Ap	Gb, Ct, Gt, An, Im, It
	A/B _c	Gb, Gt, It, Ct, Im, An
	Bc ₁	Ct, Gt, An, It, Im, Gb
	Bc ₂	Ct, Gb, An, Im
Argissolo V/A	Bc/F	Gb, Gt, It, An, Im
	Ap	Gt, An, Bt, Ct, Gb, It, Hm
	Bt ₁	It, Ct, Bt, An, Gt, Gb, Hm
	Bt ₂	Ct, Gb, Ct, Gt, An, Bt, Mm, Hm
	Bt/C	Mu, Gt, An, Ct, Gb, Qz, Bt, Mn
	C	Mu, Ct, Fd, Qz, Hm
Cr	Mu, Ct, Fd, Qz, Gt,	

Ct – caulinita, Gb – gibbsita, An – anatásio, It – ilita, Im – ilmenita, Hm – hematita, Bt – biotita, Mu – muscovita, Mm – maghemita, Mt – magnetita, Gt- goethita, Qz – quartzo, Fd – feldspato.

A presença de picos de minerais 2:1 é pouco expressiva nos difratogramas quando comparados aos minerais 1:1 e óxidos. Caulinita e gibbsita foram detectados na quase totalidade dos difratogramas, confirmando que os solos analisados possuem um avançado estágio de intemperismo, o que é corroborado por solos da região, reportados por Carmo (1977), Curi & Franzmeier (1984), Ferreira et al., (1994) e Rolim Neto (2002) e pelos resultados das análises físicas e químicas. Foram realizados tratamentos com saturação de potássio e magnésio mais glicerol para a

fração argila dos horizontes diagnósticos de cada perfil. As amostras desferrificadas com ditionito, quando aquecidas na mufla a 550 °C confirmaram a presença da caulinita através do desaparecimento de seus picos, devido ao colapso de sua estrutura cristalina.

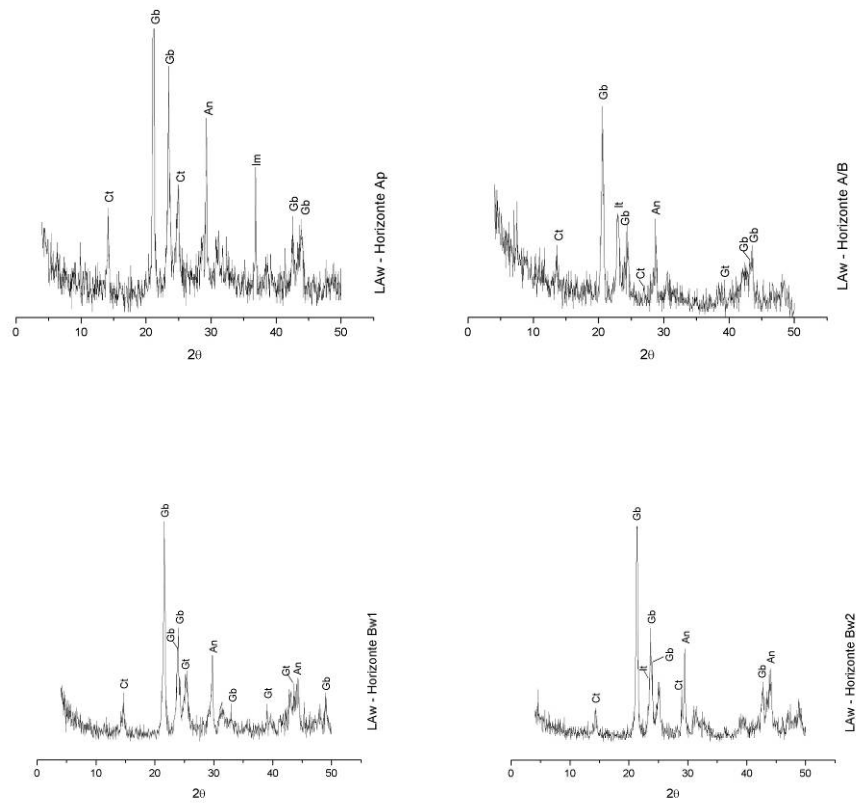
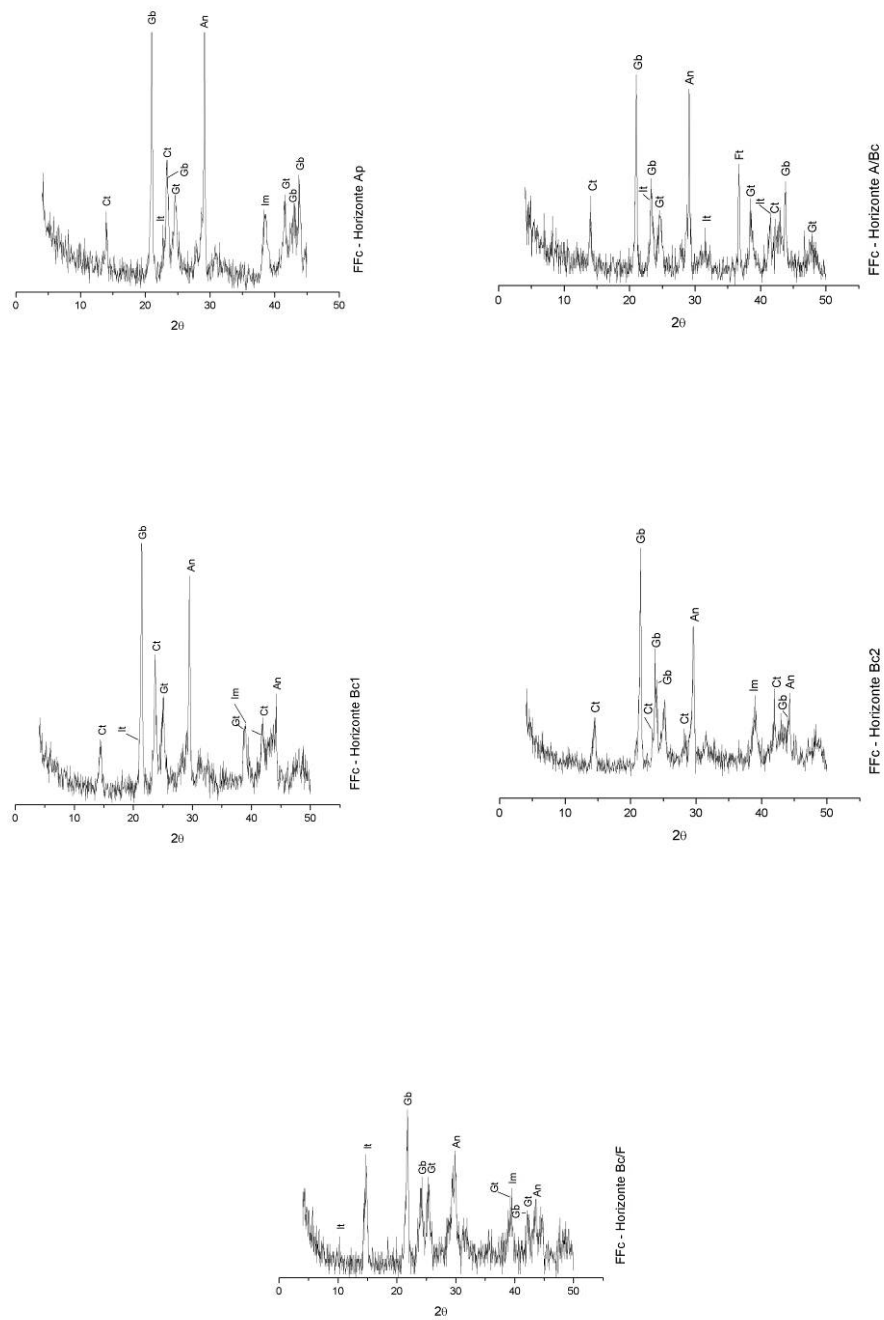


Figura 4 - Difratoigramas de raios X da fração argila sem tratamento do horizonte Ap, A/B, Bw1 e Bw2, do Latossolo Amarelo Ácrico típico (LAW); (Ct – caulinita, Gb - gibbsita, Gt – goethita, It – ilita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.



Figuras 5 - Difractogramas de raios X da fração argila sem tratamento do horizonte Ap, A/Bc, Bc1, Bc2, Bc/F do Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico (FFc); (Ct – caulinita, Gb – gibbsita, It – ilita, Im - ilmenita, Gt – goethita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

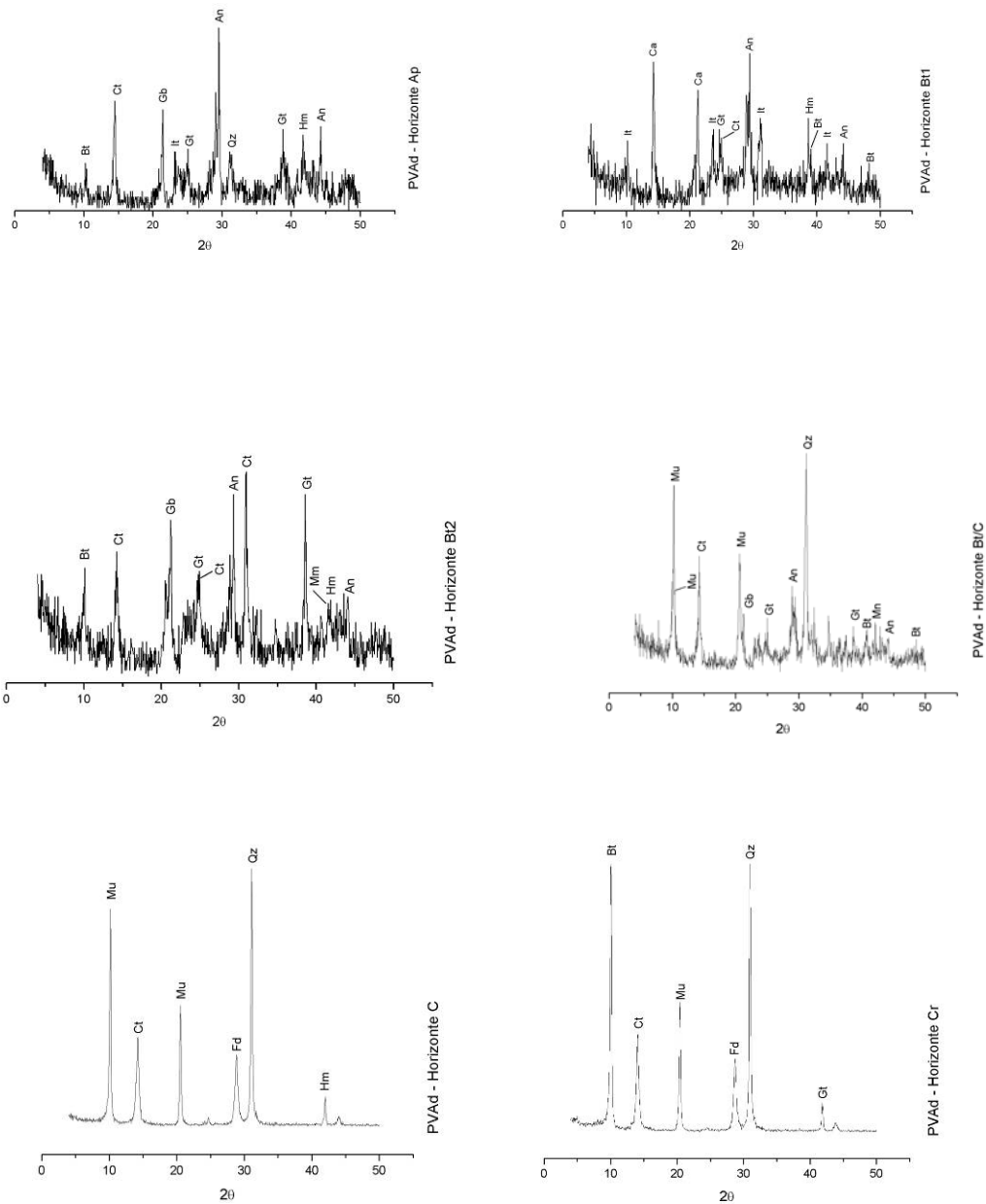


Figura 6 - Difratogramas de raios X da fração argila sem tratamento do horizonte Ap, Bt2, Bt/C do Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (PVAd); (Bt – biotita, Ct – Caulinita, Mu – muscovita, Gt – goethita, It – ilita, Gb - gibbsita, An – anatásio, Hm – hematita, Fd – feldspato, Mm - maghemita, Qz – quartzo). Radiação $K\alpha Co$.

4.6. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Abaeté

A bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade geomorfológica fundamental, porque suas características governam, no seu interior, todos os fluxos subsuperficiais e superficiais da água (Pissarra et al., 2004). Para isso têm sido gerados índices que auxiliam na compreensão da paisagem do ponto de vista geomorfológico, através da interpretação de dados morfométricos, trazendo informações relevantes dos processos ambientais atuantes na área pesquisada.

A área pesquisada no presente trabalho corresponde à bacia do alto e médio rio Abaeté, afluente do rio São Francisco, localizada na região fisiográfica do Alto Paranaíba. A região representa um dos divisores d'água mais importantes do Brasil, entre as bacias do rio São Francisco a leste e do rio Paraná a oeste. Foram gerados índices morfométricos para a bacia do rio Abaeté como um todo, mas a análise dos dados se ateve à porção média e superior da bacia.

Para buscar compreender os processos ambientais que atuaram na área pesquisada, bem como a dinâmica da bacia hidrográfica do rio Abaeté, foram gerados índices morfométricos ilustrados no quadro 13.

Quadro 13. Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Abaeté

Características Morfométricas	Valores
Área de drenagem (A)	428,23 km ²
Perímetro (P)	419,06 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,79
Fator de forma (F)	0,237
Índice de circularidade (IC)	0,365
Densidade de drenagem (Dd)	1,159 km/km ²
Padrão de drenagem	Dendrítico
Orientação	SO/NE
Declividade mínima	0,0 %
Declividade média	12,27 %
Declividade máxima	58,3 %
Altitude mínima	630 m
Altitude média	887 m
Altitude máxima	1200 m
Comprimento total dos canais (Lt)	4964,69 km
Comprimento do canal principal (Lp)	222,98 km
Ordem da bacia	7

Analisando-se os índices acima, verificou-se que a bacia do rio Abaeté drena uma área de 428,23 km², compreendendo os municípios São Gotardo, Matutina, Rio Paranaíba, Arapuá, Tiros, Carmo do Paranaíba, Varjão de Minas, São Gonçalo do Abaeté, até sua foz no rio São Francisco, no município de Três Marias. Seu perímetro é de 419,06 km (Quadro 13).

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que a bacia contribua para a saída das águas após a precipitação (Tonello, 2005). Para se avaliar a forma da bacia utiliza-se o fator forma (F), coeficiente de compacidade (Kc), e o IC (índice de circularidade) como índices para tal avaliação.

O Kc encontrado para a bacia do Abaeté foi de 1,79, indicando que a bacia apresenta uma forma não circular, pois, quando mais distante da unidade, mais a bacia se distancia de uma bacia circular. O fator forma encontrado foi de 0,2373, indicando, que a bacia é pouco susceptível a enchentes, isso mostra que seus cursos

d'água conseguem escoar as águas que chegam a bacia até sua foz com eficiência. O índice de circularidade (IC) da bacia foi de 0,365. Este índice caracteriza esta bacia como sendo mais alongada.

A densidade de drenagem encontrada foi de 1,159 km/km². De acordo com Villela & Mattos (1975) este índice pode variar entre 0,5 km/km² para bacias mal drenadas, até 3,5 km/km² para bacias bem drenadas. O valor encontrado mostra que a bacia do rio Abaeté, apresenta uma capacidade média de drenagem. À medida que aumenta o valor numérico da densidade, há diminuição quase proporcional do tamanho dos componentes fluviais das bacias de drenagem (Christofolletti, 1980) aumentando a intensidade da dissecação.

Em um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas e solos, repercute, na densidade de drenagem, em locais onde a infiltração é mais dificultada, ocorre maior escoamento superficial sendo possível a maior esculturação da rede hidrográfica (Pissara et al.,2004).

O ordenamento dos canais de acordo com a hierarquia de Strahler apresenta um grau de ramificação de 7ª ordem. Quanto mais ramificado o sistema mais eficiente será o escoamento das águas drenadas pela bacia. A orientação de escoamento da bacia do Abaeté, de sua nascente no município de São Gotardo, até sua foz no rio São Francisco no município de Três Marias, se dá de sudoeste para nordeste com forte adaptação estrutural devido a feixes de falhas geológicas localizadas nas bordas e no interior da bacia (Saadi, 1991).

O padrão de drenagem da bacia do rio Abaeté é dendrítico. Esse padrão é desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme ou estruturas sedimentares horizontais (Christofolletti, 1980).

As altitudes na área da bacia variam entre 630 e 1200 m. A altitude média é de 887 m. A altitude média influencia a quantidade de radiação que a bacia recebe, e conseqüentemente, na evapotranspiração, temperatura e precipitação. Quanto maior a altitude da bacia, maior será a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, mais energia estará disponível para este fenômeno (Tonello, 2005). A temperatura varia com a altitude, o que diretamente, influencia na evapotranspiração.

As declividades da bacia variam entre 12,27 %, e 58,30 % . A declividade média de uma bacia hidrográfica tem importante papel na distribuição da água, entre escoamento superficial e subterrâneo. A declividade associada a fatores como a classe de solo, ausência de cobertura vegetal, precipitação, selamento da superfície,

podem determinar a velocidade do escoamento, podendo ser mais rápido, carreando sedimentos com maior energia até os cursos d'água mais próximos, provocando, além de processos erosivos na paisagem, o assoreamento dos mananciais, conduzindo a degradação da bacia.

A avaliação dos dados morfométricos da bacia do rio Abaeté, juntamente com as características geológicas, geomorfológicas e solos, possibilitam destacar a importância de um zoneamento, que visem práticas conservacionistas na bacia em questão.

4.7. Geologia, Geomorfologia e Solos do alto e médio rio Abaeté

A Geologia (Figura 7) da área em estudo está representada por litologias Pré-Cambrianas, Mesozóicas, e Cenozóicas. A seqüência estratigráfica é composta pelo Grupo Bambuí (Pré-cambriano), Formação Areado (Mesozóico), Formação Mata da Corda (Mesozóico), e Coberturas detrito-lateríticas (Cenozóico) no topo da seqüência.

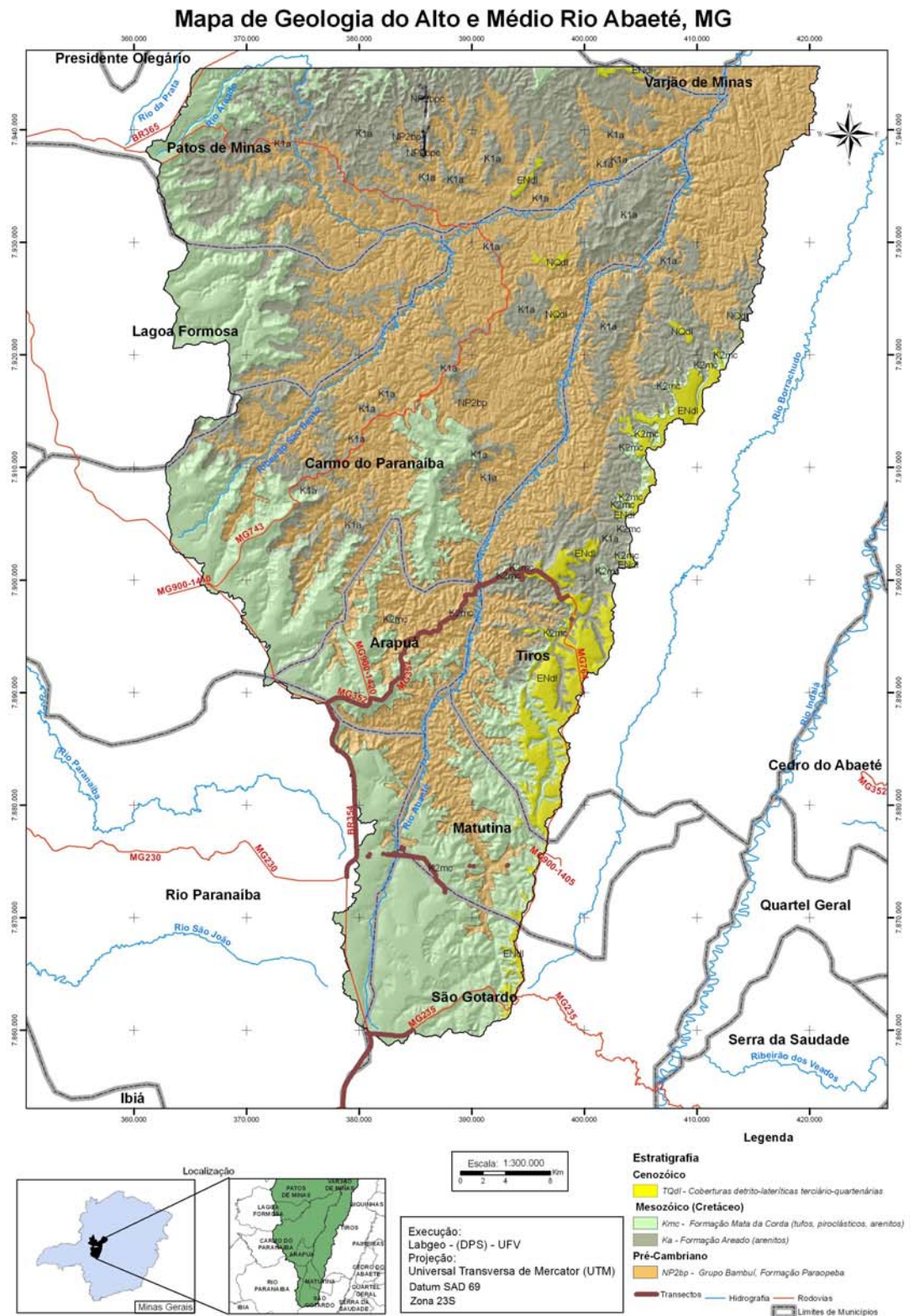


Figura 7 - Mapa de Geologia do Alto e Médio Rio Abaeté

Do ponto de vista geomorfológico os tipos de modelados identificados na bacia do alto e médio rio Abaeté são basicamente (Figura 8): chapadões e superfícies fracamente dissecadas, encostas ravinadas de chapadão, planaltos rebaixados e dissecados, e vales encaixados.

A área de estudo compreende extensos chapadões na altura dos municípios de São Gotardo e Rio Paranaíba, assim como superfícies tabulares e amplos vales na altura do município de Patos de Minas, que truncam camadas sub-horizontais de arenitos e de tufos vulcânicos da Formação Mata da Corda. Atualmente, os principais rios da região como os rios Abaeté, Areado, e ribeirão São Bento correm encaixados sobre falhas e também sobre rochas pelíticas do Grupo Bambuí (Formação Paraopeba). O Embasamento Cristalino, na base da seqüência estratigráfica, ainda não foi alcançado pelos processos erosivos que atuaram na morfogênese e dissecação da paisagem, devido ao grande pacote de rochas sedimentares encontradas acima dele.

O retrabalhamento pela rede hidrográfica das diferentes litologias, possibilitou que o vale do rio Abaeté fosse erodido e aprofundado devido aos seus níveis de base, resultando em vales encaixados em formato de “V” na altura dos municípios de Rio Paranaíba e Arapuá. Em Tiros os vales começam a se alargar, os rios, devido sua energia erosiva, conseguiram alcançar as rochas do Grupo Bambuí, menos permeáveis (Figura 8).

Quando comparou-se, para cada classe litológica, a densidade de drenagem dos canais (Quadro 14), constatou-se uma diferenciação considerável entre o Grupo Bambuí, constituído por rochas mais resistentes, e as Formações Areado e Mata da Corda, sendo a última composta por um conjunto de rochas heterogêneas (tufos, piroclásticas e arenitos).

A rede de drenagem relacionada as rochas pelíticas apresenta um comprimento de cursos d’água em maior proporção quando relacionada a Formação Mata da Corda (Quadro 14), devido a resistência imposta pelas rochas a penetração da água que atinge a superfície ser maior do que a imposta pelas rochas tufáceas e piroclásticas que são mais friáveis. Este fato resultou em dois geoambientes bastante distintos, compostos por rochas com resistências diferenciadas à erosão, o que originou classes de solos, como os Latossolos (superfícies tabulares) e os

Cambissolos (planaltos dissecados), com dinâmicas erosivas diversificadas, compondo a paisagem do médio e alto rio Abaeté.

Quadro 14. Área total das litologias em função do comprimento total de canais do alto e médio rio Abaeté

	Área (km ²)	Comprimento total de canais (km)	Densidade de drenagem (km/km ²)
Litologia			
K1a ⁽¹⁾	676.188	405.233	0,60
K2mc ⁽¹⁾	886.299	494.328	0,56
NP2bp ⁽¹⁾	1342.306	1979.157	1,47

(1) K1a – Formação Areado; K2mc – Formação Mata da Corda; NP2bp – Grupo Bambuí.

Analisando-se o modelo digital de elevação, constatou-se que as superfícies tabulares (chapadões) possuem altitudes que variam entre 1.000 e 1.200 m (Figura 9). Em suas bordas encontram-se, freqüentemente, concreções lateríticas que recobrem as superfícies tabulares, promovendo, principalmente em suas bordas, uma contenção do avanço da erosão e da dissecação.

Ao longo dos divisores de água entre as bacias do Paraná e São Francisco ocorrem vastos chapadões preservados, sua maior distribuição, na área de estudo, está entre os municípios de Rio Paranaíba, São Gotardo, Carmo do Paranaíba, e no médio rio Abaeté em Lagoa Formosa e Patos de Minas. As concreções lateríticas promovem a manutenção destas antigas superfícies de erosão, impedindo o avanço das incisões de drenagem nos *fronts* escarpados destas chapadas. Naquelas áreas onde este material de cobertura foi removido, o que é muito comum na região, as incisões se aprofundaram e a superfície aplainada de cimeira pode ter sua área reduzida.

Mapa de Geomorfologia do Alto e Médio Rio Abaeté, MG

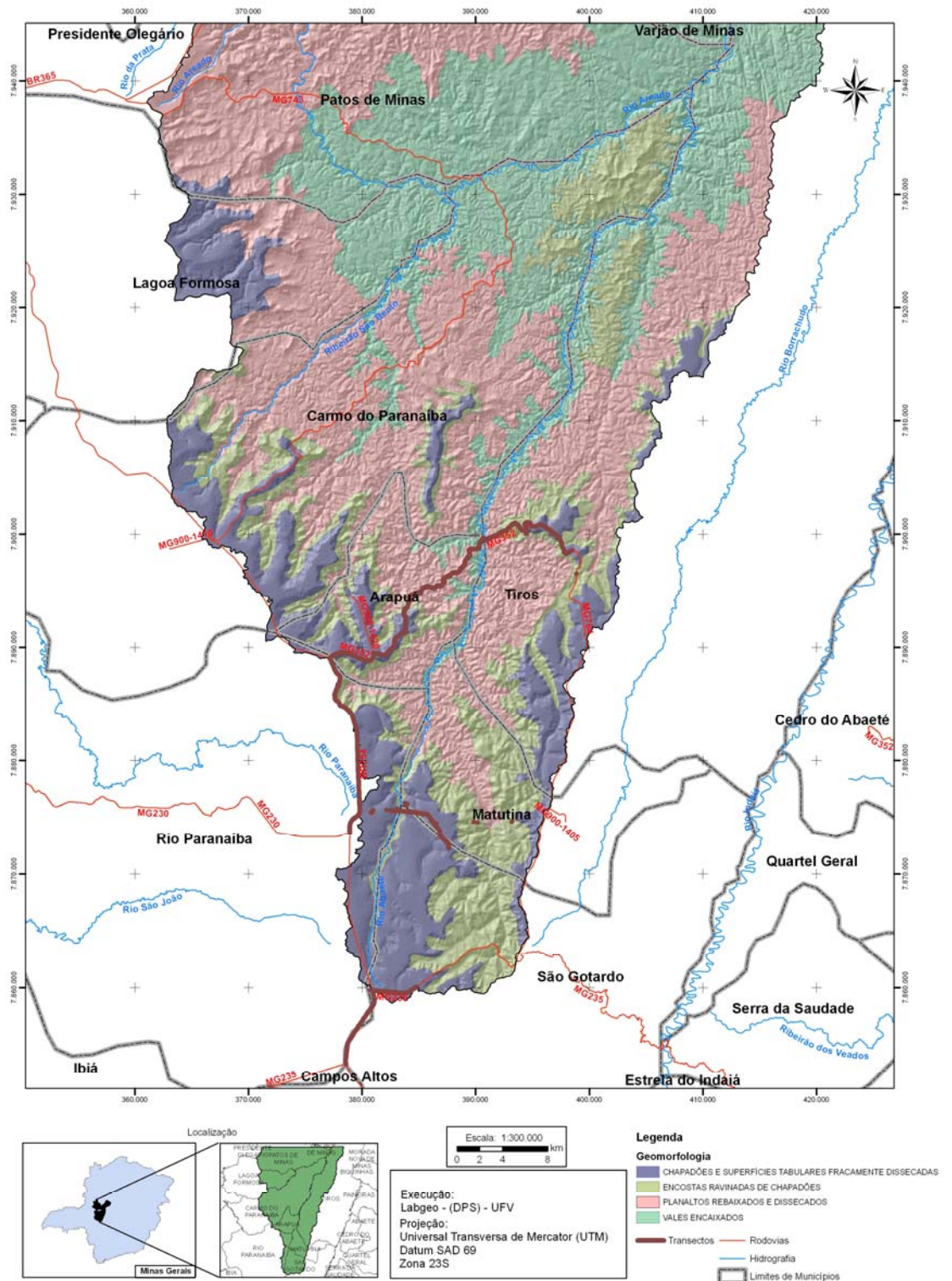


Figura 8 - Mapa de Geomorfologia do Alto e Médio Rio Abaeté.

De acordo com os mapas de geomorfologia e solos (Figuras 8 e 10), na faixa correspondente, entre os municípios de Lagoa Formosa e Patos de Minas, as chapadas se encontram menos preservadas quando comparadas com as demais ocorrências (Figura 8). As áreas de superfícies tabulares fracamente dissecadas estão associadas ao Latossolo Vermelho e uma pequena faixa de Latossolo Vermelho-Amarelo nas áreas mais elevadas. Os planaltos rebaixados e dissecados estão grandemente associados aos Cambissolos Háplicos.

O Latossolo Vermelho (Figura 10) exhibe maior dissecção, em relação ao Latossolo Vermelho Amarelo e Amarelo, evidenciando uma maior erodibilidade deste solo derivado de tufos vulcânicos. Como o soerguimento do Alto Paranaíba é relativamente recente, o processo erosivo instalado ainda não foi suficiente para evadir as coberturas tufáceas da Formação Mata da Corda, que se encontram relativamente preservadas pela extensa latossolização que sofreram (Rolim Neto, 2002).

O Latossolo Vermelho está relacionado a um regime údico, de altitudes variando entre 960 a 1200 m. Esta cor avermelhada está relacionada à presença de hematita, que em decorrência de menor umidade, quando comparado à associação de Latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo dos chapadões próximos a Rio Paranaíba, tem sua gênese facilitada.

Os Latossolos localizados nas superfícies tabulares, muito intemperizados e com características físicas bem desenvolvidas, como estrutura e porosidade, permitem que a água percole com certa habilidade por um espesso manto de intemperismo, havendo então, a dominância de processos de erosão geoquímica em relação à erosão mecânica.

A ampla faixa de Cambissolos (Figura 10) formada a partir das rochas pelíticas, como citado anteriormente, são geralmente resistentes à infiltração da água, devido a sua elevada coesão. A erosão mecânica, dessa forma, prevalece em relação ao intemperismo geoquímico, estes solos estão localizados em um compartimento da paisagem em que os processos morfodinâmicos são maiores, associados a amplitudes altimétricas e declividades elevadas (Quadros 15 e 16), originando um ambiente mais dissecado, com solos jovens, devido a constante renovação pedogenética.

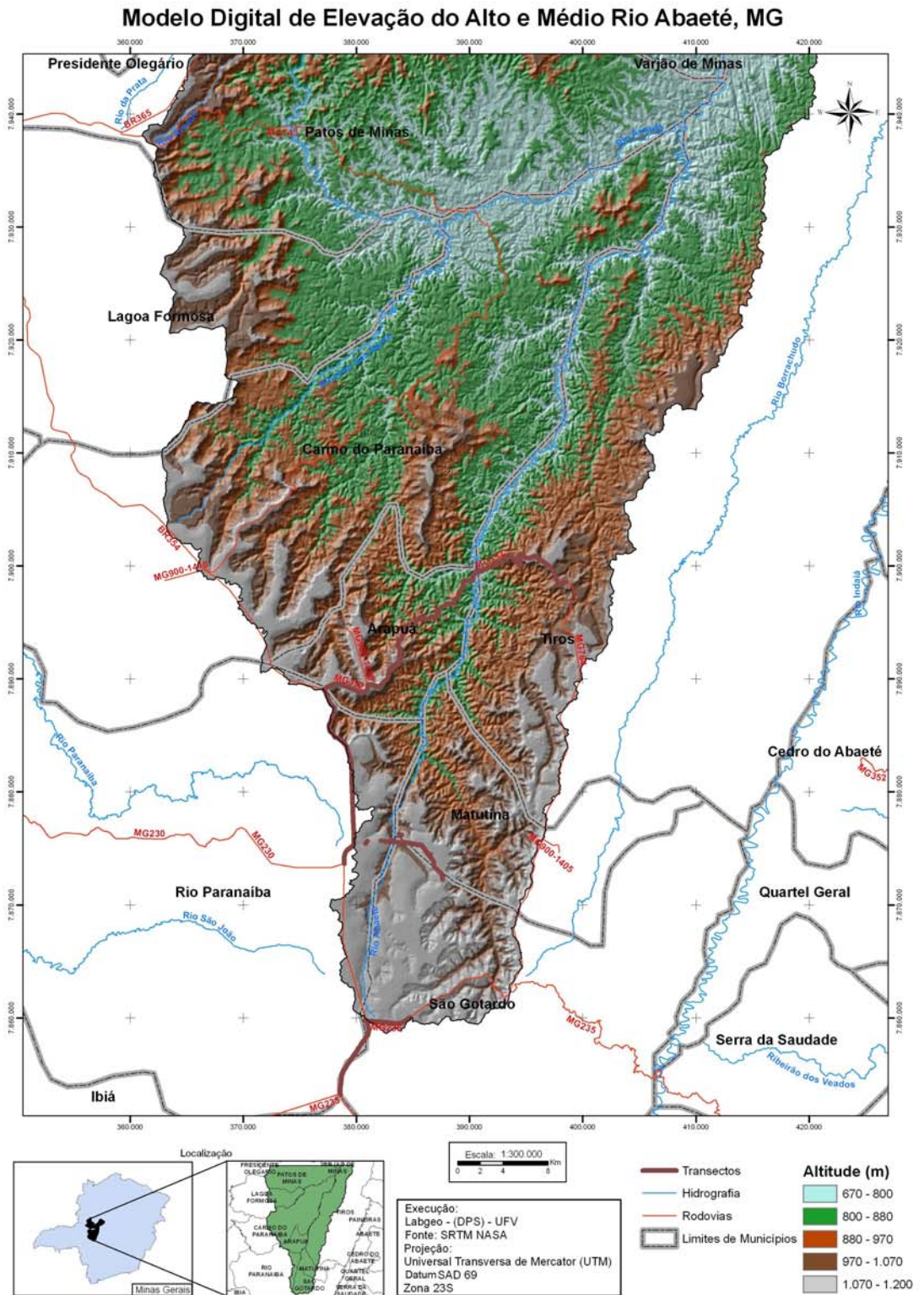


Figura 9 - Modelo Digital de Elevação do Alto e Médio Rio Abaeté (MDE).

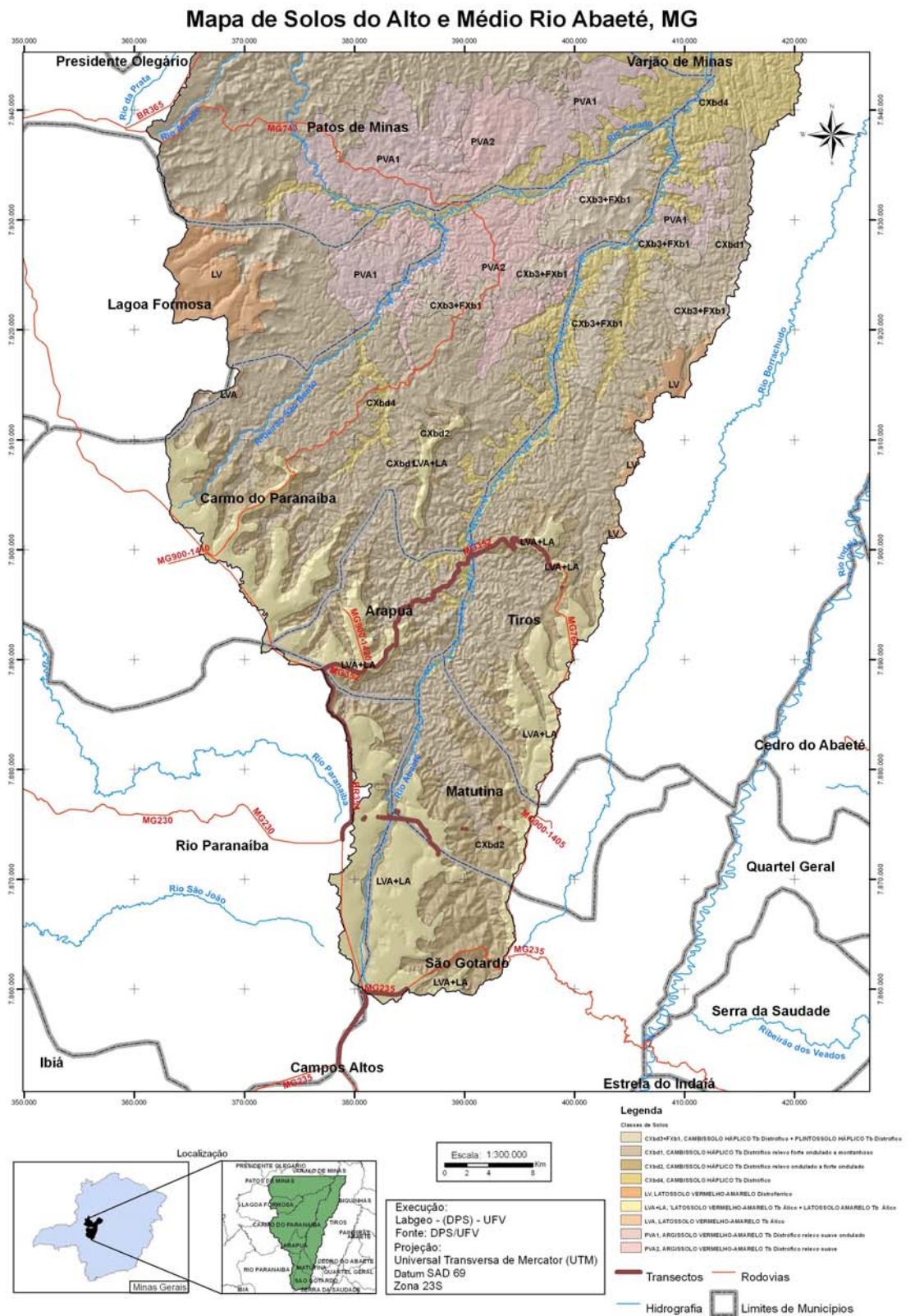


Figura 10 - Mapa de Solos do Alto e Médio Rio Abaeté.

Analisando-se os dados referentes as unidades de mapeamento de solos e suas declividades máxima, média e mínima (Quadro 15) constatou-se que as classes de Latossolos assim como a dos Cambissolos, estão localizados em altitudes elevadas, geralmente acima de 1000 m.

Nas proximidades dos municípios Varjão de Minas e São Gonçalo do Abaeté, o rio Abaeté abre um amplo anfiteatro erosivo, com relevo suave a suave ondulado de vales encaixados, associado a Argissolos, sendo que, predominantemente, nas áreas de baixas e médias declividades (3 a 8 % e 8 a 20%) – (Figuras 10 e 11) (Quadro 17), as feições de relevos residuais, apresentam Cambissolos (CXbd3) associados aos Plintossolos (Figura 10).

Quadro 15. Classes de solos em função das altitudes máxima, média e mínima do alto e médio rio Abaeté

Solos ⁽¹⁾	Área	Altitude			
	ha	m			
		Máxima	Média	Mínima	Amplitude
CXbd1	115.88	1104	893	778	326
CXbd2	38.641	1188	1013	833	355
CXbd3+FXb1	15.954	1017	871	731	286
CXbd4	37.620	930	795	671	259
PVA1	28.516	910	822	749	161
PVA2	18.040	880	803	740	140
LVA	338	1103	1017	906	197
LV	8.897	1118	1036	917	201
LVA+LA	38.646	1199	1098	922	277

(1) CXbd1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo forte ondulado a montanhoso; CXbd2 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo ondulado a forte ondulado; CXbd3 + FXb1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico + Plintossolo Háplico distrófico; CXbd4 = Cambissolo Háplico Tb distrófico; LV = Latossolo Vermelho; LVA + LA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico + Latossolo Amarelo Tb álico; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico; PVA1 = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave ondulado; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave.

A classe dos Latossolos apresenta amplitudes altimétricas geralmente menores do que quando comparadas aos Cambissolos com amplitudes superiores (Quadro 15). Este fato é explicado devido as diferenças altimétricas dos topos até o fundos dos vales nas áreas mais dissecadas, associadas a declividades mais elevadas e maiores densidades de drenagem, evidenciando uma paisagem com morfodinâmica elevada, originando solos jovens e rasos. Este processo favorece a instalação de feições erosivas nas áreas mais íngremes devido as características do manto pedológico e a maiores energias potenciais das partículas, da cota máxima (topo) a cota mínima (fundo do vale) influenciando no desencadeamento dos processos erosivos (Quadro 16).

Quadro 16. Classes de solos em função das declividades máxima, média e mínima do alto e médio rio Abaeté

Solos ⁽¹⁾	Área	Declividade		
	ha	%		
		Máxima	Média	Mínima
CXbd1	115.88	58.28	14.06	0.01
CXbd2	38.641	51.22	16.61	0.01
CXbd3+FXb1	15.954	57.45	12.03	0.01
CXbd4	37.620	56.65	14.33	0.03
PVA1	28.516	45.10	10.32	0.01
PVA2	18.040	45.92	11.66	0.01
LVA	338	46.13	22.36	0.54
LV	8.897	50.50	11.25	0.01
LVA+LA	38.646	46.51	9.73	0.01

(1) CXbd1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo forte ondulado a montanhoso; CXbd2 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo ondulado a forte ondulado; CXbd3 + FXb1= Cambissolo Háplico Tb distrófico + Plintossolo Háplico distrófico; CXbd4 = Cambissolo Háplico Tb distrófico; LV = Latossolo Vermelho; LVA + LA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico + Latossolo Amarelo Tb álico; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico; PVA1 = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave ondulado; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave.

Mapa de Declividade do Alto e Médio Rio Abaeté, MG

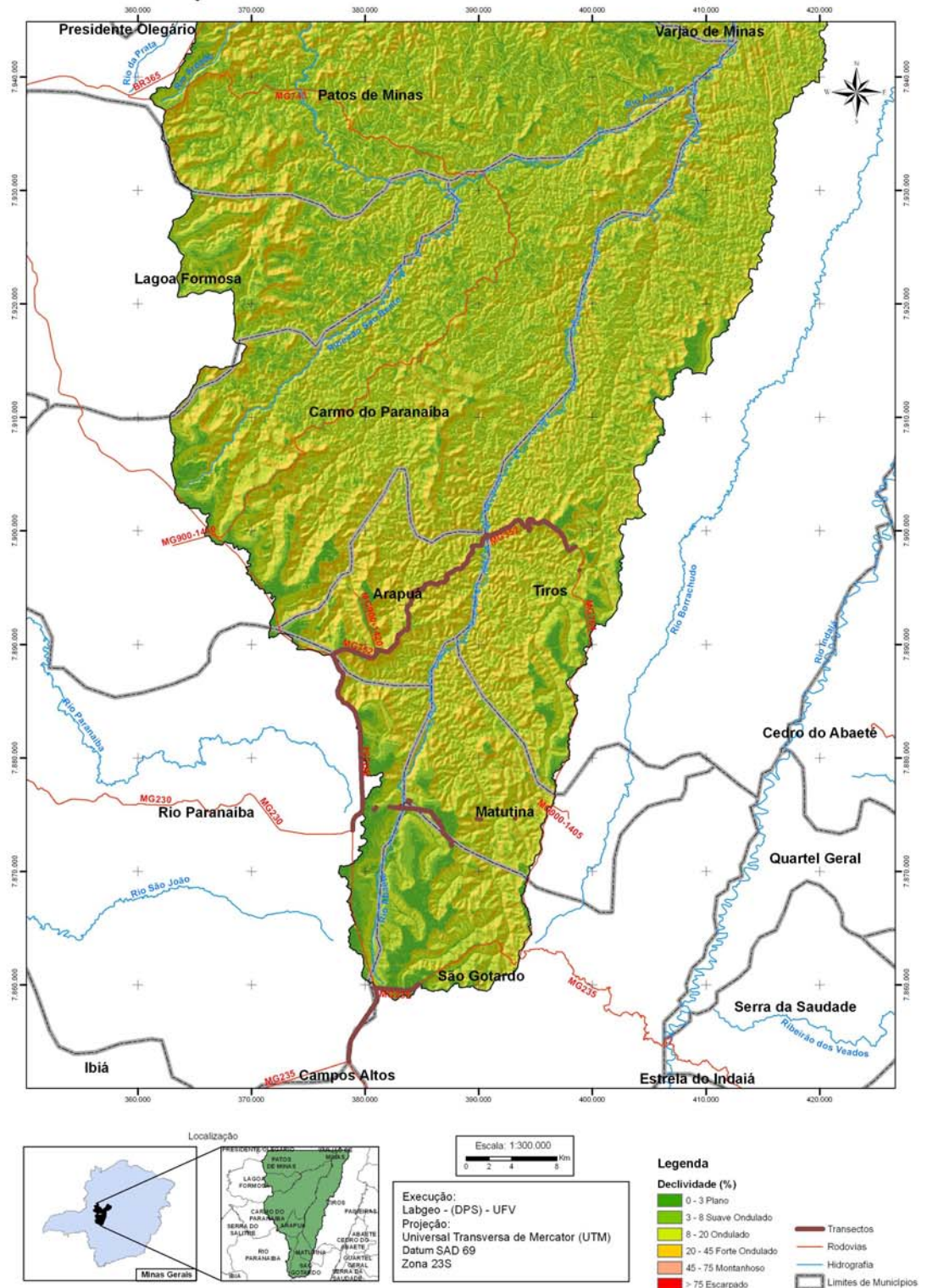


Figura 11 - Mapa de Declividade do Alto Rio Abaeté.

Os Cambissolos (CXbd1, CXbd2, CXbd3 e CXbd4), de modo geral, ocupam uma vasta área da bacia (208.095 hectares) do alto e médio rio Abaeté, estando muito associados a declividades que variam entre 8 a 45 % (Figura 11)-(Quadro 17). Quando observadas as altitudes (Quadro 18) verifica-se uma grande variabilidade na ocorrência desta classe. O CXbd1 e CXbd3 predominam em altitudes entre 850 a 900 m, com declividades variando de 8 a 45 %, associados geomorfologicamente às encostas ravinadas de chapadões e planaltos rebaixados e dissecados, respectivamente (Figura 8).

Quadro 17. Classes de solo em função das classes de declividade do alto e médio rio Abaeté

Solos ⁽¹⁾	Declividade				
	0-3	3-8	8-20	20-45	45-75
	%				
CXbd1	3,89	<u>19,18</u>	<u>56,00</u>	<u>20,91</u>	0,02
CXbd2	3,04	<u>11,32</u>	<u>52,53</u>	<u>33,09</u>	0,02
CXbd3+FXb1	3,39	<u>21,61</u>	<u>63,39</u>	<u>11,53</u>	0,09
CXbd4	3,75	<u>17,98</u>	<u>56,73</u>	<u>21,45</u>	0,09
PVA1	7,58	<u>31,67</u>	<u>54,08</u>	6,67	0,00
PVA2	5,22	<u>25,24</u>	<u>59,99</u>	9,54	0,00
LVA	1,09	4,88	<u>32,46</u>	<u>61,35</u>	0,22
LV	<u>12,01</u>	<u>31,21</u>	<u>40,72</u>	<u>16,03</u>	0,03
LVA+LA	<u>24,04</u>	<u>27,52</u>	<u>35,50</u>	<u>12,93</u>	0,00

(1) CXbd1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo forte ondulado a montanhoso; CXbd2 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo ondulado a forte ondulado; CXbd3 + FXb1= Cambissolo Háplico Tb distrófico + Plintossolo Háplico distrófico; CXbd4 = Cambissolo Háplico Tb distrófico; LV = Latossolo Vermelho; LVA + LA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico + Latossolo Amarelo Tb álico; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico; PVA1 = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave ondulado; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave.

Quadro 18. Classes de solo em relação às faixas de altitude da bacia do alto e médio rio Abaeté

Solos ⁽¹⁾	Altitude (m)					
	670-800	800-850	850-900	900-950	950-1000	1000-1200
	%					
CXbd1	0,24	<u>16,04</u>	<u>44,13</u>	<u>28,40</u>	8,09	3,10
CXbd2	0,00	0,03	0,83	<u>10,15</u>	<u>35,16</u>	<u>53,83</u>
CXbd3+FXb1	0,75	<u>30,55</u>	<u>52,02</u>	<u>14,59</u>	2,03	0,06
CXbd4	<u>50,38</u>	<u>40,02</u>	<u>9,49</u>	0,11	0,00	0,00
PVA1	<u>12,56</u>	<u>79,71</u>	<u>7,67</u>	0,07	0,00	0,00
PVA2	<u>45,80</u>	<u>49,78</u>	4,42	0,00	0,00	0,00
LVA	0,00	0,00	0,00	5,42	<u>30,54</u>	<u>64,05</u>
LV	0,00	0,00	0,00	0,92	<u>14,54</u>	<u>84,54</u>
LVA+LA	0,00	0,00	0,00	0,05	2,21	<u>97,75</u>

⁽¹⁾ CXbd1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo forte ondulado a montanhoso; CXbd2 = Cambissolo Háplico Tb distrófico, relevo ondulado a forte ondulado; CXbd3 + FXb1 = Cambissolo Háplico Tb distrófico + Plintossolo Háplico distrófico; CXbd4 = Cambissolo Háplico Tb distrófico; LV = Latossolo Vermelho; LVA + LA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico + Latossolo Amarelo Tb álico; LVA = Latossolo Vermelho Amarelo Tb álico; PVA1 = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave ondulado; PVA = Argissolo Vermelho Amarelo Tb distrófico, relevo suave.

Analisando-se as classes de solos em função das faixas de declividade apresentadas no quadro 18, constata-se que o CXbd2, associado aos relevos residuais na paisagem, e a altitudes que variam entre 1000 e 1200 m, apresentando declividades variando de 8 a 45 % (Quadro 17). O CXbd4 assim como o PVA2, ocorre em altitudes que variam entre 670 a 800 m, com declividades variando também entre 8 a 45 %, correspondentes, aos vales encaixados do alto e médio rio Abaeté.

Grande parte desses Cambissolos é cultivada por agricultura de pequeno porte e não mecanizada, quando comparado aos chapadões. Muitas vezes estes são preparados com aração “morro abaixo”, o que combinado com solos jovens derivados de materiais de origem friáveis e heterogêneos, propiciam o

desencadeamento de processos erosivos intensos, esta condição foi verificada principalmente na transecto Arapuá - Tiros. Alguns produtores adotam práticas de manejo, como o plantio em curva de nível, que minimizam as perdas de solo por erosão, revelando uma preocupação com práticas conservacionistas.

4.7.1. Transectos Rio Paranaíba - São Gotardo/Arapuá - Tiros

De acordo com o modelo proposto por Carmo et al.,(1984), a evolução da paisagem na área em estudo, em feições tabulares, se deu a partir de sedimentação eólica e fluviolacustre de arenitos que foram depositados na era Mesozóica sobre rochas pelíticas do Grupo Bambuí, sendo dissecadas na ocorrência de clima úmido, devido à retomada da rede de drenagem na bacia, e como consequência, houve o encaixe dos cursos d'água. Posteriormente a sedimentação do arenito, ocorreu manifestações vulcânicas que resultaram no preenchimento das partes que foram dissecadas da paisagem, originando paleovales. Este preenchimento se deu por tufos vulcânicos que impediram a drenagem, favorecendo um ambiente deposicional e lacustre. A nova dissecção deu lugar ao estabelecimento de uma nova rede de drenagem que corresponde as sub-bacias do rio São Francisco e Paraná no Alto Paranaíba.

Nas investigações feitas em campo constatou-se que na transecto Rio Paranaíba – São Gotardo (Figura 12), o rio Abaeté tem seu leito correndo sobre os arenitos, sendo sua altitude máxima de 1120 m e mínima de 1010 m, o rio conseguiu aprofundar seu talvegue em 221 m ou 0.5° de declividade do transecto Rio Paranaíba – São Gotardo ao Arapuá – Tiros em uma distância de 40 km (Figura 14), tomando por base um ponto localizado as margens do rio Abaeté com 1021 m e outro no segundo transecto a 800 m de altitude (23 k - 383.322 e 7.875.547 m; 23 k - 390.563 e 7.899.516 m, respectivamente). O vale apresenta vertentes simétricas devido à resistência ao aprofundamento do canal principal, imposta pelos arenitos pertencentes à Formação Mata da Corda, a medida que o vale se aprofunda o rio, devido sua força erosiva, aprofunda seu canal bruscamente, como observado na figura 14, mantendo uma uniformidade de aprofundamento ao encontrar as rochas do Grupo Bambuí, muito resistentes e consequentemente com densidade de drenagem maior, quando comparada as rochas da Formação Mata da Corda.

Os cursos d'água tributários do rio São Francisco, como o rio Abaeté, continuam dissecando intensamente os patamares que penetram no amplo vale escavado em arenitos. Estas áreas estão associadas a solos pouco desenvolvidos originados dos arenitos, nas cotas inferiores das vertentes.

No transecto Arapuá – Tiros (Figura 13) a altitude máxima registrada em campo foi de 1035 m e a mínima, correspondente ao leito do rio Abaeté, de 800 m. O rio conseguiu aprofundar seu talvegue em 235 m, revelando vertentes assimétricas devido à heterogeneidade de materiais deste local que corresponde aos paleovales formados pela sedimentação de material lacustre nas incisões da rede de drenagem. O rio neste ponto ultrapassou as coberturas detrito-lateríticas, a camada de tufos e arenitos, correndo atualmente sobre rochas do Grupo Bambuí fato este que evidencia sua capacidade erosiva.

Atualmente extensas encostas estão sendo desgastadas pela ação da erosão, os rios e deflúvios continuam a dissecar intensamente a paisagem, formando vales profundos em forma de “V”. Estes vales estão associados a solos mais jovens, Cambissolos, principalmente, derivados rochas vulcânicas básicas ou pelíticas do Grupo Bambuí, que ilustram uma grande erodibilidade principalmente quando desprovidos de cobertura vegetal.

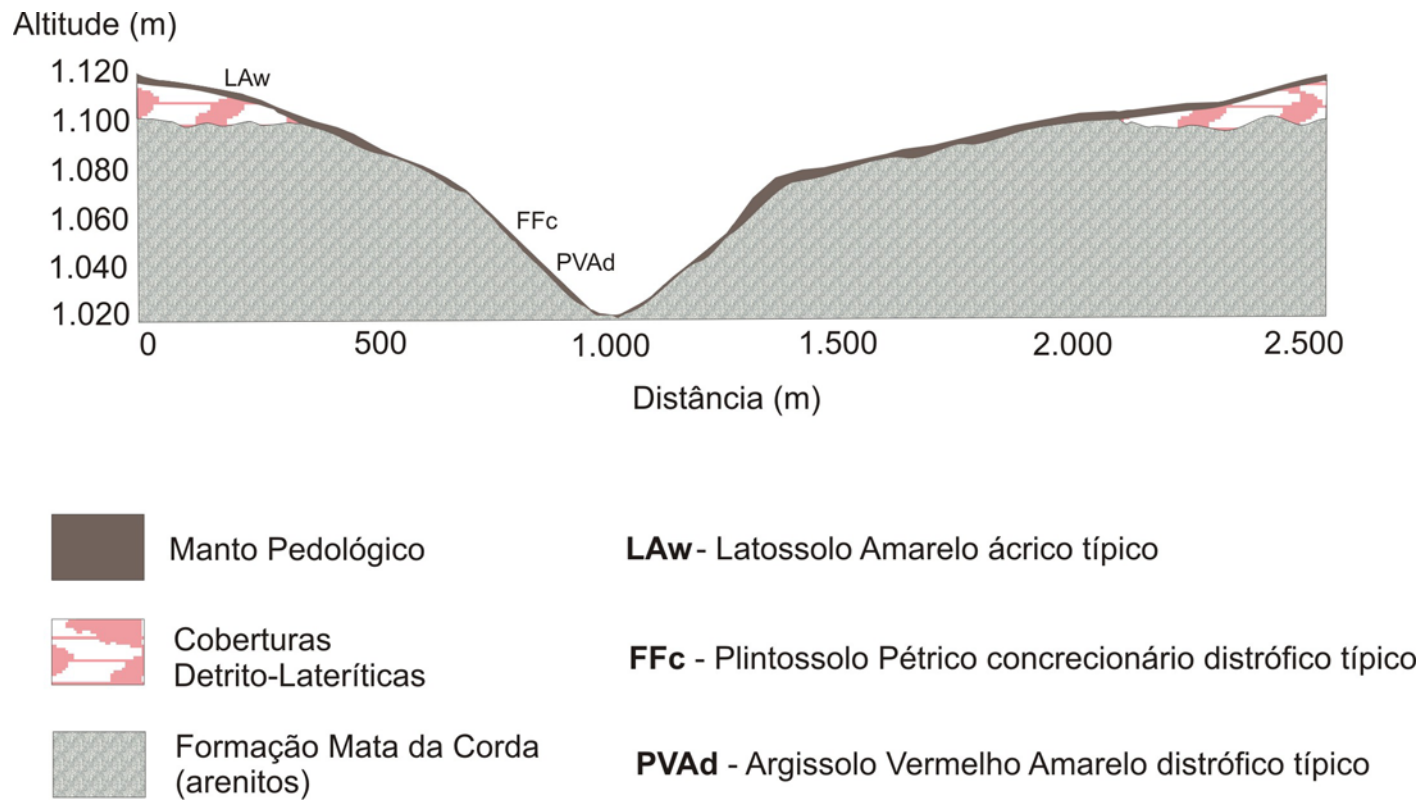


Figura 12 – Transecto Rio Paranaíba – São Gotardo – vale em “V” simétrico.

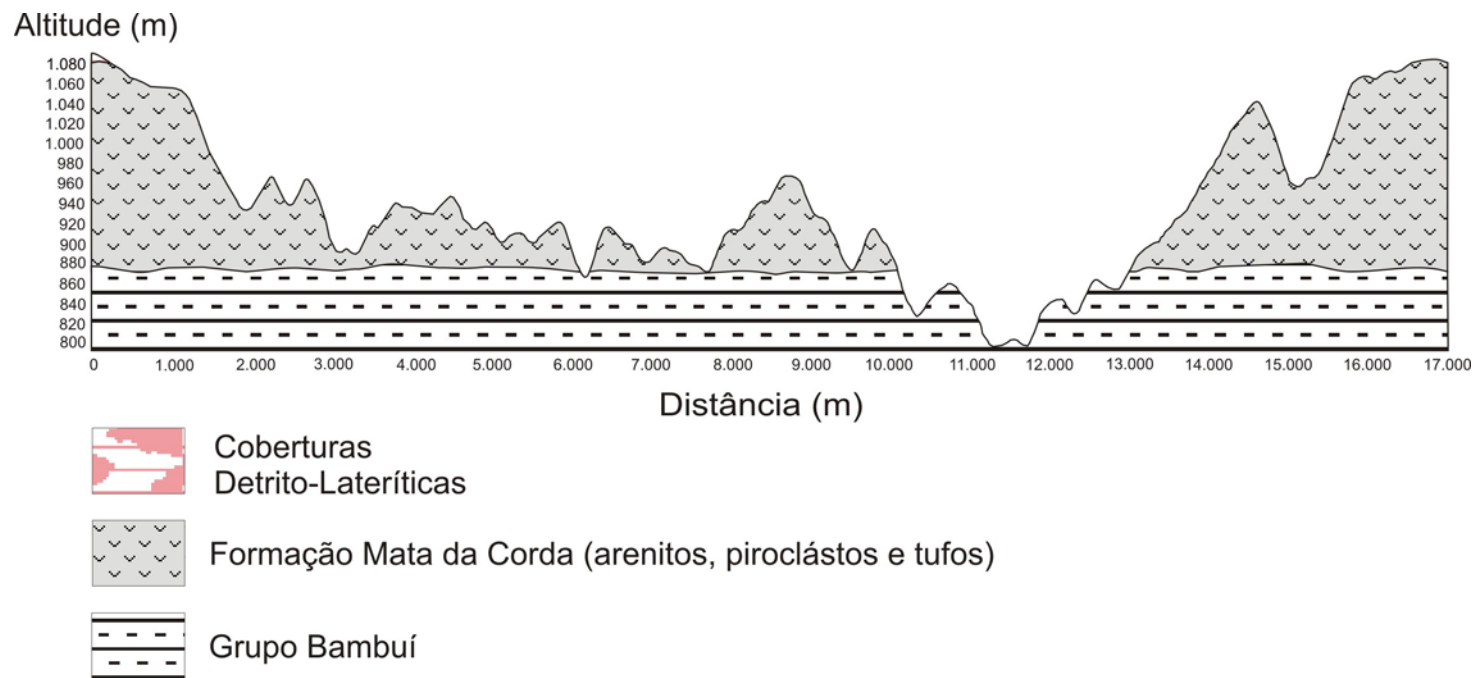


Figura 13 – Transecto Arapuá – Tiros – vale em “V” assimétrico.

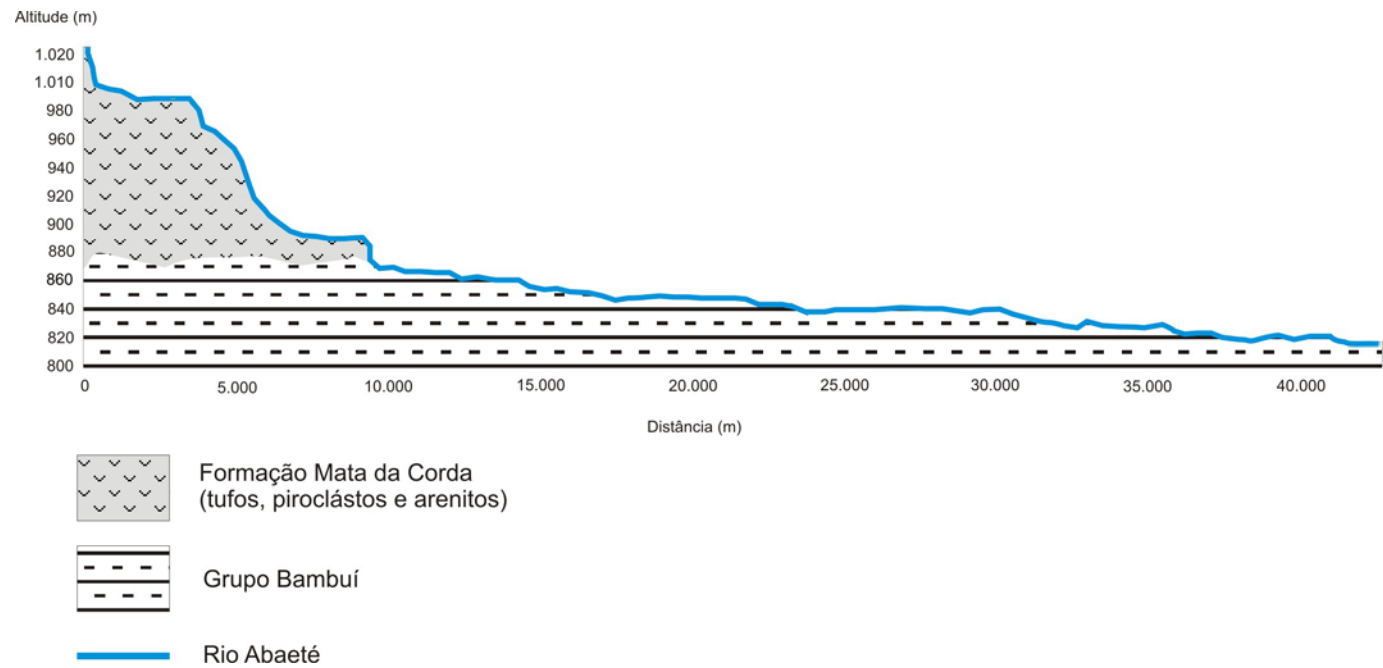


Figura 14 – Declividade do leito do rio Abaeté entre os transectos Rio Paranaíba – São Gotardo e Arapuá – Tiros.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O cenário geológico da área investigada corresponde a uma seqüência de rochas vulcano-sedimentares, depositadas em diferentes períodos geológicos, composta por rochas resistentes, em uma região soerguida durante a era Mesozóica. Após o soerguimento sobrevieram períodos de calma tectônica, condição necessária para que haja a formação de superfícies de aplainamento como os pediplanos e etchplanos, o que possibilitou dessa forma, a formação de extensas superfícies aplainadas no Brasil Central, em destaque neste trabalho, para o Alto Paranaíba mineiro, sendo submetidas a intenso intemperismo físico e químico.

A geomorfologia da área em estudo exhibe feições compostas por chapadas aplainadas, formas onduladas, e superfícies de erosão. Os remanescentes tabulares ainda preservados na paisagem distribuem-se em forma de mesas recobertas por uma superfície detrítica, formando muitas vezes cornijas, quando da presença de material laterítico nas bordas destes remanescentes.

É atribuída, as lateritas, a capacidade de conter o avanço da erosão sobre as encostas das chapadas. Elas têm sido removidas para diversos fins econômicos, intensificando o restabelecimento de feições erosivas nas encostas.

A rede de drenagem, dos compartimentos da paisagem estudados, pertencente à bacia do rio Abaeté, é influenciada pela litoestrutura, com orientação até sua foz, no rio São Francisco, ditada por um feixe de falhas e fraturas localizadas na direção SO/NE.

Os cursos d'água pertencentes a bacia do rio Abaeté aprofundaram vales escavado em arenitos, de vertentes simétricas devido a resistência uniforme da rocha no transecto Rio Paranaíba – São Gotardo, e vertentes assimétricas, no transecto Arapuá – Tiros, devido ao material heterogêneo que compõe paleovales formados nos

períodos de sedimentação lacustre, por deposição de materiais piroclásticos, e também pela presença das rochas pelíticas pertencentes ao Grupo Bambuí.

Do ponto de vista da dinâmica da paisagem tem-se dois geoambientes distintos, as chapadas, com seus Latossolos bem desenvolvidos fisicamente, derivados de tufos e arenitos da Formação Mata da Corda, e os planaltos rebaixados e dissecados, com seus Cambissolos, jovens, derivados de rochas pelíticas do Grupo Bambuí, geralmente mais impermeáveis quando comparadas aos tufos e arenitos.

As chapadas apresentam solos que foram intensamente lixiviados, em que a morfogênese química predominou em comparação aos processos erosivos mecânicos, enquanto que nos planaltos rebaixados a erosão mecânica é predominante, resultando numa maior dinâmica erosiva e pedogênese.

Nas áreas tabulares a densidade de drenagem é menor, as declividades são menores e altitudes maiores, os planaltos rebaixados possuem densidade de drenagem maior, maiores declividades porém altitudes inferiores. Esta última unidade de mapeamento geomorfológico apresenta formas mais dissecadas e os processos erosivos mecânicos encontram-se em plena evolução.

Na área investigada nesse estudo, os Latossolos Vermelho-Amarelo e Amarelo estão associados a uma ampla faixa de chapadões nos municípios de Rio Paranaíba e São Gotardo. Estes são intensamente cultivados, devido suas propriedades físicas adequadas e sua topografia plana, que favorece a utilização de máquinas agrícolas e pivôs centrais.

O Latossolo Amarelo, do transecto Rio Paranaíba - São Gotardo, apresentou boas características físicas, como baixos valores de argila dispersa em água e alta estabilidade de agregados.

O Argissolo Vermelho Amarelo e o Plintossolo Pétrico apresentam baixos valores de ADA, alta estabilidade de agregados por via seca e úmida.

Os Cambissolos, localizados nas áreas dissecadas da bacia associam-se ao relevo forte ondulado a montanhoso. Estes solos exibem uma maior erodibilidade, apresentando voçorocamento, acelerado pelas atividades antrópicas.

No transecto Arapuá - Tiros é comum a prática do preparo de solo para cultivo agrícola “morro abaixo”, realizado sobre solos com horizonte C exposto, em áreas de relevo forte ondulado a montanhoso derivados de rochas vulcânicas e rochas do Grupo Bambuí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.**

Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaG.asp>>. Acesso em: 22 out. 2008.

ALMEIDA, F.F.M. **Relações tectônicas das rochas alcalinas Mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana.** Revista Brasileira de Geociências, 13 (3): 139-158, 1983.

ALVAREZ V.V.H et al., Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T. & ALVAREZ V.V.H. (Ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. 5ª aproximação, 1999. 359p.

AZEVEDO, A (Org). **Brasil: a Terra e o homem.** vol. 1. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1968. 607p.

BARBOSA, O; BRAUN, O.P.G. & DYER, R.C. **Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro,** Departamento Nacional de Produção Mineral, 1970. 140p. (Boletim, 136)

BIGARELLA, J.J; BECKER, R.D. & SANTOS, G.F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. vol. 1 – Fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas, relevo cárstico e dômico.** Editora, UFSC. Florianópolis, 2007.

BRAUN, O.P.G. Contribuição à Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia.** n.1, p. 3-35, Jan. 1939.

BRAUN, O.P.G. Algumas considerações geotectônicas sobre eventos vulcânicos Mesozóico-Cenozóicos no Brasil. **Anais do III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Cabo Frio, 2005.** Disponível em: <http://www.simpvulc2005.ggf.br/nukleo/pdfs/0065_algumas_cons.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2007.

- CARMO, D.N. **Caracterização, gênese e uso de Latossolos sob cerrado no município de Rio Paranaíba – MG.** Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1977. 84p. (Dissertação de Mestrado).
- CARMO, D.N.; CURI, N. & RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 8:235-240, 1984.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1980. p. 103-127.
- CUNHA, S.B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, BCD-União de editoras S.A, 2001. p. 211-246.
- CURI, N. **Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais states**, Brazil. Purdue University. Doctor of Philosophy, 1983. 158p.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.F. Toposequence of oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, 48:341-346, 1984.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa: **Universidade Federal de Viçosa**, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997. 247p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ), Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro, 2006. 412p.
- EPA, Test Method 3052, **Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils**, 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3052.pdf.htm>. acesso em 23 ago. 2008.
- FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, 11:53-57, 1952.
- FERREIRA, S.D.; SANTANA, D.P.; FABRIS, J.D.; CURI, N.; NUNES FILHO, E. & COEY, J.M.D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 18:167-174, 1994.

- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:507-514,1999a.
- HORTON, R.E.; Erosion development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**. 56(3): 275-370, 1945.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Região Sudeste**. v.3. Rio de Janeiro, 1977. 667p.
- INMET - **INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em: 30 out 2008.
- JARVIS, A.H.I.; REUTER, A. N.; GUEVARA, E. **Hole-filled seamless SRTM data V3. International Centre For Tropical Agriculture (CIAT)**, Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org>> Acesso em: 15 maio 2008.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M. & CURI, N. Iron oxides in brasilian oxisols. In: **Proceedings of the eight International Soil Classification and utilization of oxisols**. EMBRAPA- SNLCS; University of Puerto Rico, SCA-USDA, 1986. p.71-77.
- KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1995.181p. (Tese de doutorado).
- KING, L.C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**. 18 (2):147-265, 1956.
- KING, L.C. **The Morphology of the Earth**. Edinbrough: Oliver & Boyd, 1962.
- LEE, D.R. & SALLE, G.T. A method of measuring shape. **Geographical Geography**. 60 (4): 555-563, 1970.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de coleta de solo no campo**. 5ª ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 83p.
- MEHRA, J.P.; JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. **Clays Clay Miner**, 7:317-327, 1960.
- MELFI, A.J. PEDRO, G. Estudos geoquímicos dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeológica. **Revista Brasileira de Geociências**. 7: 271-286. 1977.
- MUNSELL COLOR, **Munsell soil color charts**. Baltimore, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975. Não paginado.

- OLIVEIRA, M.A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. GUERRA, A.J. SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G.M. Ed. Bertrand Brasil, 1999. p.57-99.
- PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1-9, 2003.
- PRESS, F.; SIEVER R.; GORTZINGER J.; JORDAN, T.; **Para entender a Terra**. 5ª. ed. Porto Alegre, ARTMED, 2006. 665 p.
- 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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:297-305, 2004.
- RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils on The Central Plateau of Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado).
- ROLIM NETO, F.C. **Gênese, química, mineralogia de topolitossequência de solos do Alto Paranaíba, MG**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 143p. (Tese de Doutorado).
- ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C. E.; CALDAS, A. M., PARAHYBA, R.B.V.; ORLANDO, R.C.; MONTEIRO, L. S. Mapeamento e relações pedológicas do Alto Paranaíba Mineiro. **Anais do III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, Aracajú, 2006. Disponível em: <http://www.cpatc.Embrapa.br/labgeo/srgsr3/artigos_pdf/091_t.pdf> Acesso em: 5 de out. 2007.
- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:297-300, 2005.
- SAADI, A. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 1991. 285 p. (Tese para provimento de cargo de professor efetivo).
- SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E. & CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Paulo, RIMA, 2004. 138p.
- SILVA, F.D.S.; COUCEIRO, P.R.C.; FABRIS, J.D.; GOULART, A.T. & KER, J.C. Magnesioferrita e caminho pedogenético de transformação de óxidos de ferro magnéticos em dois perfis de solo derivados de tufito da região do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:763-775, 2005.

- SILVA, L.L. O papel do estado na ocupação das áreas de cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**. 2:24-36, 2000.
- SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology**. London: **Pearson Education Limited**. 1991. 537 p.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal of Soil Science**, 53:244-246,1973.
- SCHWERTMANN, U.; CORNELL,R.M. **Iron oxides in the laboratory: Preparation and characterization**. New York, VCH Publishers, 1991. 137p.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **America Geoph. Union Trans**. 38: 913-920, 1957.
- TISDALL, J.M & OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of red-brow earth. **Australian Journal of Soil Reasearch**, 18:415-422, 1980.
- TONELLO, K.C. ; DIAS, H.C.T. ; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, 30:849-857, 2006.
- TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães**, MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 69 p. (Dissertação de Mestrado).
- THOMAS, M.F. **Tropical Geomorphology**. New York: The MacMillan Press LTD. 1974. 332 p.
- VALADÃO, R.C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental**. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1998. 241 p. (Tese de Doutorado).
- VETTORI, L. **Método de análise de solo**. Rio de janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VILLELA, S.M.; MATTOS.A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.
- VITTE, A. C. Considerações sobre a teoria da etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Terra Livre**. 16: 11-24, 2001.

APÊNDICE

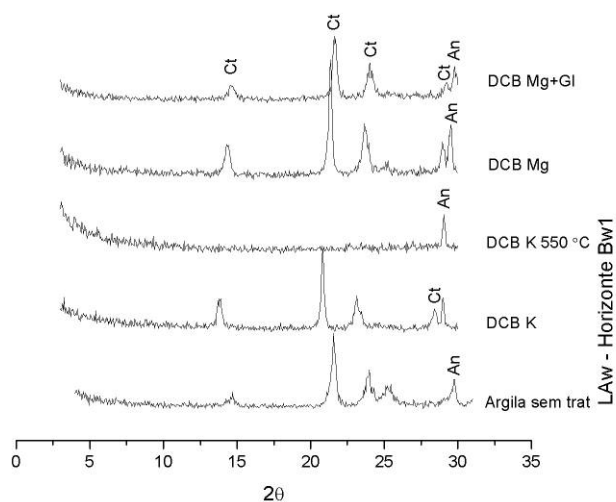


Figura 1 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio, do horizonte Bw1 do Latosolo Amarelo Ácrico típico (LAW); (Ct – caulinita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

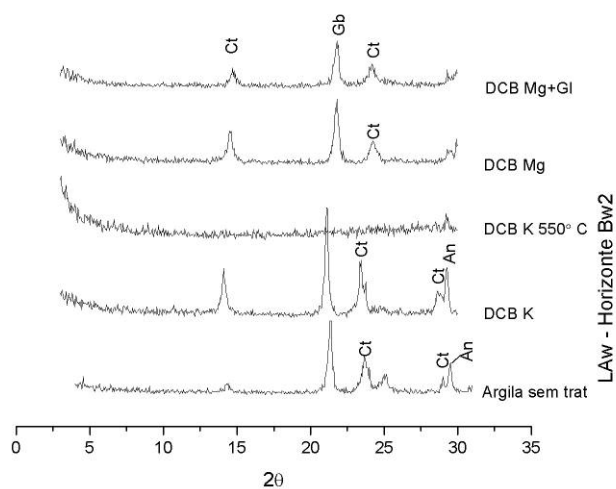
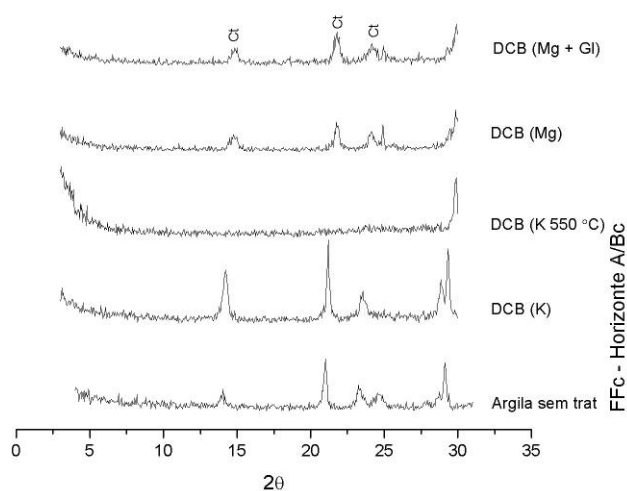
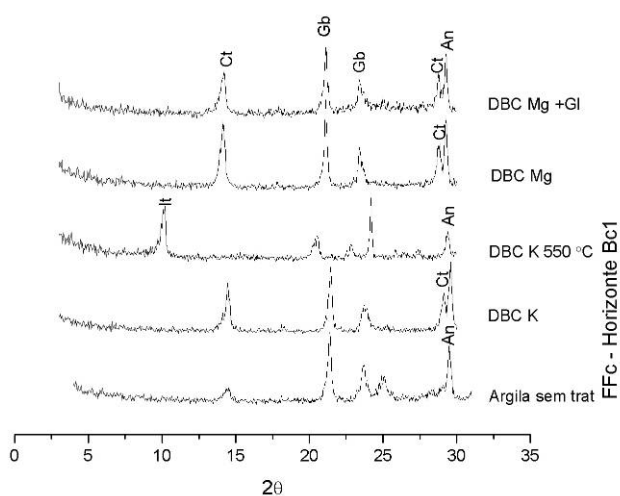


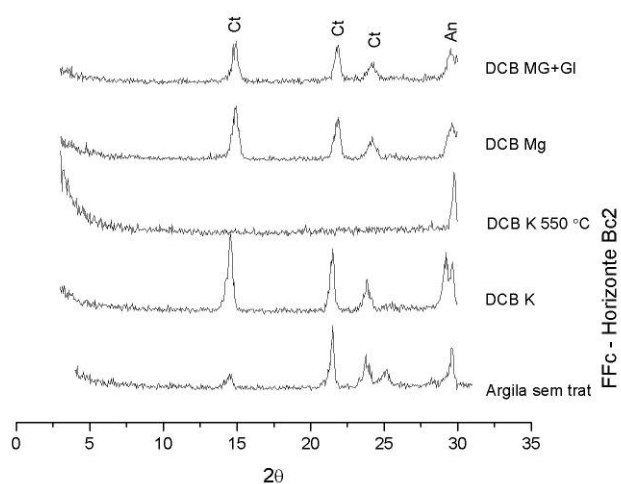
Figura 2 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio, do horizonte Bw2 do Latosolo Amarelo Ácrico típico (LAW); (Ct – caulinita, Gb – gibbsita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.



Figuras 3 - Difratoograma de raios-X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio, do horizonte do horizonte A/Bc do Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico (FFc); (Ct – caulinita). Radiação $K\alpha Co$.



Figuras 4 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio, do horizonte do horizonte A/Bc do Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico (FFc); (Ct – caulinita, It – ilita, Gb – gibbsita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.



Figuras 5 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio, do horizonte do horizonte Bc2 do Plintossolo Pétrico Concrecionário Distrófico típico (FFc); (Ct – caulinita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

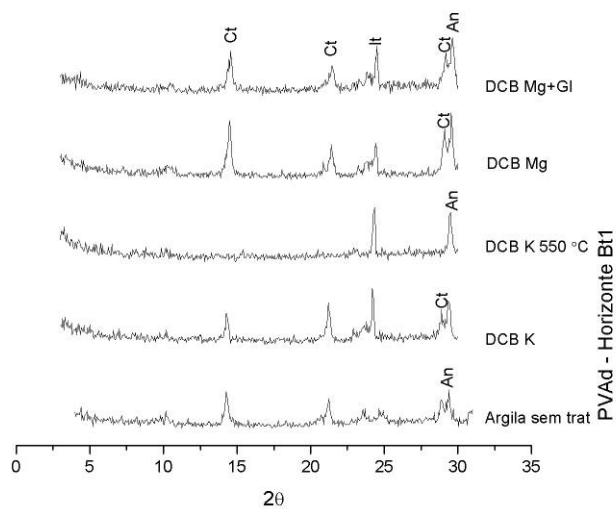


Figura 6 - Difratoograma de raios X da fração argila tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio do horizonte Bt1 do Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (PVAd); (Ct – caulinita, It – ilita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

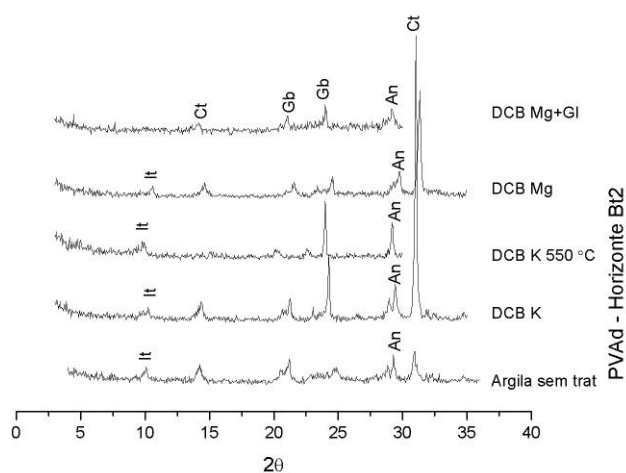


Figura 7 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio do horizonte Bt2 do Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (PVAd); (Ct – caulinita, It – ilita, Gb – gibbsita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

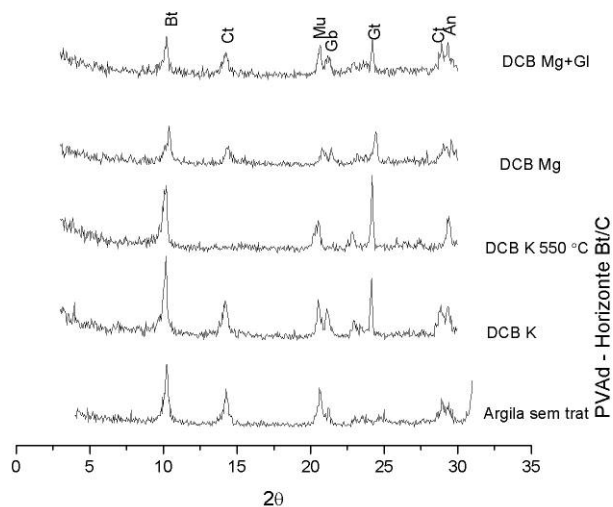


Figura 8 - Difratoograma de raios X da fração argila sem tratamento e desferrificada tratada com potássio e magnésio do horizonte Bt/C do Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (PVAd); (Ct – caulinita, Bt – biotita, Gb – gibbsita, Mu – muscovita, An – anatásio). Radiação $K\alpha Co$.

Descrição dos perfis dos solos estudados na bacia do alto rio Abaeté

Perfil 1

Classificação: LATOSSOLO AMARELO Ácrico típico

Localização: Município de Rio Paranaíba MG (Campus da UFV)

Coordenadas (UTM): 23K 380856; 7875447 m

Altitude: 1133 m

Formação geológica: TQ (Cobertura Terciária) sobre a Formação Mata da Corda (arenitos Cretáceos)

Litologia: rocha sedimentar

Situação e declive: terço superior da encosta com 3-8% de declividade

Relevo: Plano

Erosão: ligeira

Drenagem: bem drenado

Vegetação: Cerrado

Uso atual: pastagem

Descrição Morfológica

Ap – 00- 18 cm; 5YR 4/6, úmido; muito argiloso, granular, blocos subangulares, pequena a média, moderada, plástico, pegajoso, raízes abundantes.

AB – 18 – 39 cm; 7,5 YR 4/6, úmido; muito argiloso, granular, blocos subangulares, pequena a média, moderada a forte, raízes comuns.

Bw₁ – 39 – 108 cm; 7,5 YR 4/6, úmido; muito argiloso, granular, blocos subangulares, pequena, moderada a forte, plástico, pegajoso, raízes comuns.

Bw₂ – 108 – 160 cm⁺; 7,5 YR 4/6, úmido; muito argiloso, mosqueados; comum, pequena, distinto, granular, subangulares, pequeno, moderada, muito friável, plástico, pegajoso, nódulos; nódulos; pouco, irregular, pequeno, macio, raízes poucas.

Descrito e coletado por Guilherme Resende Corrêa, Ítalo Moraes Rocha Guedes e Fernanda de Oliveira Costa.

Perfil 2

Classificação: PLINTOSSOLO PÉTRICO Concrecionário Distrófico típico

Localização: Município de Rio Paranaíba MG (próximo ao Campus da UFV)

Coordenadas (UTM): 23K 383137; 7875560 m

Altitude: 1047 m

Formação geológica: TQ (Cobertura Terciária) sobre a Formação Mata da Corda (arenitos Cretáceos)

Litologia: rocha sedimentar

Situação e declive: terço superior da encosta com 8-20% de declividade

Relevo: ondulado

Erosão: ligeira

Drenagem: bem drenado

Vegetação: Cerrado

Uso atual: pastagem

Descrição Morfológica

Ap – 00 - 25 cm; 2,5 YR 4/6, úmido; muito argilosa, cascalhenta, granular, pequena, forte, muito friável, plástico, pegajoso, nódulos; pouca, esférico, pequena; raízes muitas.

A/B_c – 25 - 58 cm; 2,5 YR 4/6 úmido; muito argilosa, muito cascalhenta, granular, pequena, forte, friável, plástico, pegajoso, nódulos; dominante, esférico a irregular, pequeno a grande, raízes muitas.

B_{c1} – 58 – 109 cm; 2,5 YR 4/6 úmido; muito argilosa, muito cascalhenta, granular, pequena, forte, friável, plástico, pegajoso, nódulos; dominante, esférica a irregular, pequeno, raízes raras.

B_{c2} - 109 – 163 cm; 2,5 YR 4/8 úmido; muito argilosa, muito cascalhenta, granular, blocos angulares e subangulares, média, fraca, friável, plástica, pegajosa, nódulos; dominante, angulares, pequena, raízes raras.

B_{c/F} – 163 – 210 cm; 2,5 YR 4/8 úmido; muito argilosa, muito cascalhenta, granular, blocos subangulares, pequena a médio, moderada, friável, plástica, pegajosa, nódulos; dominantes, angular, dura, pequena a grande, raízes raras.

Descrito e coletado por Guilherme Resende Corrêa, Ítalo Moraes Rocha Guedes e Fernanda de Oliveira Costa.

Perfil 3

Classificação: ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico

Localização: Município de Rio Paranaíba MG (próximo ao Campus da UFV)

Coordenadas (UTM): 23K 383797; 7876209 m

Altitude: 1046 m

Formação geológica: Formação Mata da Corda (arenitos Cretáceos)

Litologia: sedimentos coluviais com provável mistura de produtos da decomposição dos arenitos com as rochas vulcânicas da Formação Mata da Corda

Situação e declive: terço inferior da encosta com 8-20 % de declividade

Relevo: suave ondulado

Erosão: ligeira

Drenagem: bem drenado

Vegetação: Cerrado

Uso atual: pastagem degradada

Descrição Morfológica

Ap – 00 – 11 cm; 5 YR 4/6, blocos subangulares, média, fraca, muito friável, não plástica, não pegajosa, raízes muitas.

Bt₁ – 11- 28 cm; 5 YR 4/6, argila arenosa, granular, blocos subangulares, média, fraca a moderada, friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa, nódulos; dominante, esférico, irregular, angular, dura, raízes muitas.

Bt₂ - 28 – 35/43 cm; 5 YR 4/6, granular, pequena, moderada, friável, ligeiramente plástica, pegajosa, nódulos; pouca, angular, pequena, dura, raízes comuns.

Bt_C 35/43- 47/52 cm ; 7,5 YR 5/8, blocos subangulares, pequena a média, moderada, friável, plástica, pegajosa, nódulos; pequena, dura, raízes comuns.

C – 47/52 – 77 cm⁺; 5YR 7/4

Cr – 77 – 130 cm⁺; 5 YR 6/4

Descrito e coletado por Guilherme Resende Corrêa, Ítalo Moraes Rocha Guedes e Fernanda de Oliveira Costa.