

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Matheus da Cruz Armond

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA  
TOPOSSÊQUENCIA NA SUB-BACIA DO CÓRREGO MARIA  
CASIMIRA, SERRA DO GANDARELA-MG

Belo Horizonte  
2018

Matheus da Cruz Armond

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA  
TOPOSSÊQUENCIA NA SUB-BACIA DO CÓRREGO MARIA  
CASIMIRA, SERRA DO GANDARELA-MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Geografia da Universidade Federal  
de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção  
do título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Pedologia

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Monteiro da Costa

Belo Horizonte  
2018

A733c Armond, Matheus da Cruz.  
2018 Caracterização e classificação de solos em uma topossequência na sub-  
bacia do Córrego Maria Casimira, Serra do Gandarela-MG [manuscrito] /  
Matheus da Cruz Armond. – 2018.  
v,105 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Adriana Monteiro da Costa.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,  
Departamento de Geografia, 2018.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Linha de pesquisa: Pedologia.

Inclui bibliografias.

Inclui apêndices.

1. Ciência do solo – Minas Gerais – Teses. 2. Solos – Classificação – Teses.  
3. Solos – Umidade – Teses. 4. Quadrilátero Ferrífero (MG) – Teses. I. Costa,  
Adriana Monteiro da. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento  
de Geografia. III. Título.

CDU: 631.4 (815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA TOPOSSÊQUENCIA NA SUB-BACIA DO CÓRREGO MARIA CASIMIRA, SERRA DO GANDARELA-MG.**

**MATHEUS DA CRUZ ARMOND**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2018, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). ADRIANA MONTEIRO DA COSTA - Orientador  
UFMG

Prof(a). Fábio Soares de Oliveira  
UFMG

Dr. João Herbert Moreira Viana  
Embrapa

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2018.

**“A felicidade pode ser encontrada mesmo nas horas mais difíceis, se você lembrar de acender a luz.”**

*Alvo Dumbledore, personagem das obras de J.K. Rowling*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a minha família, pelo apoio, confiança e carinho.

À Patrícia pelo companheirismo e pela luz em minha vida.

À professora Adriana Monteiro pela orientação, confiança e pela paciência. Por ensinar que a universidade depende de bons profissionais.

Ao pesquisador João Herbert, pelas orientações, pelos ensinamentos e disponibilidade para sempre ajudar.

A toda equipe do Laboratório de Solos e Meio Ambiente da UFMG.

As colegas Brenda e Polyana pela ajuda nos trabalhos de campo e a colega Laís pelo suporte em todas as análises de laboratório.

Ao técnico Fernando do Laboratório de Geomorfologia pelo auxílio nas análises de laboratório.

Aos professores da banca de qualificação Janise Bruno e Carlos Jardim e ao Prof. Fábio Oliveira na defesa de dissertação, pelas críticas, correções e sugestões.

A todos os envolvidos no projeto de pesquisa Avaliação da sustentabilidade socioeconômica e ambiental de propriedades rurais na Serra do Gandarela, MG.

Aos amigos da Universidade, na graduação e na pós-graduação.

À comunidade de André do Mato Dentro, pelo acolhimento e pelo conhecimento compartilhado.

A todo o corpo docente e servidores da pós-graduação da Geografia da UFMG e a todos os funcionários do Instituto de Geociência da UFMG.

À CAPES e a CNPq pelo apoio financeiro da bolsa de pesquisa e do projeto de pesquisa.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para conclusão desta etapa.

## RESUMO GERAL

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Maria Casimira, afluyente da Bacia do Rio Piracicaba, está localizada no Sinclinal Gandarela, no município de Santa Bárbara, MG. Sua área é de 1524 hectares, onde está inserida a comunidade de André do Mato Dentro. Apresenta grande relevância no contexto geográfico da Serra por representar características marcantes da região. Possui um grande patrimônio hídrico, com nascentes e córregos advindos de águas subterrâneas, com solos sobre formações ferruginosas e uma diversidade geológica importante para o registro da dinâmica de formação litológica brasileira. Esta região é conhecida pela sua histórica exploração mineral, principalmente de minério de ferro e ouro, constituindo uma das mais importantes regiões mineradoras do país, que se contrapõe a uma área com grande preservação dos recursos naturais e áreas de grande beleza cênica. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estudar as relações solo-paisagem na sub-bacia do Córrego Maria Casimira, em André do Mato Dentro (MG). Os objetivos específicos foram: (i) realizar a classificação de perfis de solos escolhidos na bacia do córrego Maria Casimira; (ii) analisar e discutir as relações solo-paisagem da área de estudo, a partir de atributos pedológicos, topográficos, litológicos e fitofisionômicos; (iii) caracterizar e discutir a relação físico-hídrica dos solos delimitados na bacia. Foram coletados cinco perfis de solo, escolhidos por caminhamento livre, enfatizando diferenças morfológicas e de litologia. Os solos foram submetidos a análises químicas e físicas, de ataque sulfúrico e fertilidade. Foram classificados, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico, CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico, CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico e dois CAMBISSOLOS HÁPLICO Tb Distroférico típico seguindo uma sequência do ponto mais alto ao mais baixo em uma estrada. Os solos foram relacionados ao ambiente pela unidade do geossistema, com as propriedades de relevo, geologia, declividade, clima e uso e ocupação. As diferentes litologias, no geral, empenharam maior influência nas propriedades dos solos estudados. Em relação à caracterização físico-hídrica, as amostras de solo foram submetidas a análises de textura, de estrutura, de densidade de solo e de partículas, de mineralogia e de matéria orgânica e à medição de umidade em diferentes tensões, na mesa de tensão e no psicrômetro WP4C. Os valores de retenção de água variam

significativamente entre os horizontes dos solos e estão relacionados às diferenças nas características físicas e morfológicas dos solos.

**Palavras-chave:** Serra do Gandarela, solo-paisagem, caracterização físico-hídrica.

## GENERAL ABSTRACT

The Maria Casimira Stream watershed, a tributary of the Piracicaba River watershed, is located at the Gandarela's Sinclinal, in the municipality of Santa Bárbara, MG. Its area is 1524 hectares, where the community of André do Mato Dentro is inserted. It is of great relevance in the geographic context of the Serra because it represents a striking feature of the region with a great water heritage. It presents springs and streams from groundwater, soils over ferruginous formations and an important geological diversity for recording the dynamics of Brazilian's lithology formation. This region is known for its historical mineral exploitation, mainly of iron and gold ores, constituting one of the most important mining regions of the country, in counterpoint to an area with great preservation of the natural resources and to areas of great scenic beauty. In this context, the objective of this work was to study the soil-landscape relations in the Maria Casimira Stream watershed, in André do Mato Dentro (MG). The specific objectives were: (i) to perform the classification of chosen soil profiles in the watershed of the Maria Casimira stream; (ii) to analyze and discuss the soil-landscape relationships of the study area, based on pedological, topographic, lithological and phyto-physiognomic attributes; (iii) characterize and discuss the physical-hydric relationship of the soils in the watershed. Five soil profiles were chosen by free walking based on morphological and lithology differences. The soils were submitted to chemical and physical analyses, sulfuric attack and fertility and classified according to the Brazilian Soil Classification System as "CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico", "CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico", "CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico" and two "CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico", from the highest to the lowest point in a road. Soils were related to the environment by the geosystem unit, with the properties of relief, geology, slope, climate and use and occupation. The different lithologies, in general, had greater influence on the properties of the soils. In relation to the physical-hydric characterization, the soil samples were subjected to analysis of texture, structure, soil and particle density, mineralogy and organic matter, and moisture in the sandbox and WP4C psychrometer. The values of moisture retention varied significantly between the horizons of the soils and are related to the differences in the physical and morphological characteristics of the soils.

**Key-words:** Gandarela's mountain range, soil-landscape, physical-water characterization.

## Sumário

	Página
AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO GERAL.....	ii
GENERAL ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO.....	vi
LISTA DE TABELA.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	v
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	06
CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	18
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<hr/>	
1. INTRODUÇÃO .....	23
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	28
2.1 Caracterização da Área .....	28
2.2 Identificação e caracterização das amostras de solo .....	30
2.3 Análises laboratoriais.....	31
2.3.1 Análises Físicas.....	31
2.3.2 Análises Químicas.....	33
2.4 Base de dados e material cartográfico.....	35
2.5 Análise Solo-Paisagem.....	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
3.1 Características morfológicas e físicas .....	36
3.2 Características químicas.....	42
3.3 Ataque Sulfúrico .....	48
3.4 Classificação dos Solos .....	50
3.5 Uso e relação solo-ambiente .....	51
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

**CAPÍTULO 2**

---

1. INTRODUÇÃO .....	61
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	64
2.1 Caracterização da Área .....	64
2.2 Identificação e caracterização das amostras de solo .....	66
2.3 Análises laboratoriais .....	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	73
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	81
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
6. CONCLUSÃO GERAL .....	86
APÊNDICES .....	87

# Lista de Tabela

Página

## **CAPÍTULO 1**

---

Tabela 1	Identificação, localização e material de origem dos solos estudados.....	31
Tabela 2	Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados.....	40
Tabela 3	Resultados químicos dos perfis dos solos estudados .....	44
Tabela 4	Resultados químicos dos perfis de solo selecionados .....	47
Tabela 5	Teores de Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>i</sub> , K <sub>r</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	48

## **CAPÍTULO 2**

---

Tabela 1	Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados.....	67
Tabela 2	Água disponível nos perfis (pF 4.2 - pF 1).....	79

## Lista de Figuras

	Página
Figura 1 Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	6
Figura 2 Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira .....	7
Figura 3 Mapa litológico da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	8
Figura 4 (a) Filito, (b) dolomito e (c) xisto alterado encontrados na bacia do Córrego Maria Casimira .....	9
Figura 5 Relevo da região e afloramento de quartzito .....	9
Figura 6 Canga encontrada na região .....	10
Figura 7 Modelo de Elevação da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	11
Figura 8 Mapa de Unidades de relevo da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	12
Figura 9 Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	13
Figura 10 Mapa Pedológico da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	14
Figura 11 a) Eucalipto e b) Mata Atlântica .....	16
Figura 12 Mapa de Cobertura e Uso da Terra da Bacia do Córrego Maria Casimira .....	16

### CAPÍTULO 1

---

Figura 1 Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira ...	28
Figura 2 Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira, MG .....	29
Figura 3 Análise de Granulometria .....	32
Figura 4 Análises de a) Fator "f" e b) Densidade de Partículas .....	33
Figura 5 Análise de pH .....	34
Figura 6 Fluxograma dos elementos da relação solo-paisagem na Bacia do Córrego Casimira, MG .....	35
Figura 7 Mapa de localização dos perfis de solo .....	36
Figura 8 Perfil topográfico da sequência de solos .....	38

### CAPÍTULO 2

---

Figura 1 Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira ...	64
Figura 2 Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira .....	65
Figura 3 Saturação das amostras .....	70
Figura 4 Amostras indeformadas na mesa de tensão .....	70
Figura 5 Métodos utilizados para faixas de potencial matricial .....	71
Figura 6 Amostras em cápsulas de aço inoxidável e WP4C .....	72

	Página
Figura 7 Densidade do Solo para os perfis analisados.....	73
Figura 8 Porosidade total para os perfis analisados .....	74
Figura 9 Curva de retenção do perfil CX1 .....	75
Figura 10 Representação esquemática de curvas de retenção para diferentes tipos de solo.....	76
Figura 11 Curva de retenção do perfil CX2 .....	77
Figura 12 Curva de retenção do perfil CX3 .....	78
Figura 13 Curva de retenção do perfil CX5 .....	79

## INTRODUÇÃO GERAL

O Quadrilátero Ferrífero, região localizada no centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, é conhecido pela sua histórica exploração mineral, principalmente de minério de ferro e ouro, constituindo-se numa das mais importantes regiões mineradoras do país. Esse potencial é explorado desde o ciclo do ouro, durante todo século XVIII. Atualmente, grandes empreendimentos de minério de ferro e ouro continuam presente na região, porém também se iniciaram, ao longo do tempo, empreendimentos que exploram outras jazidas de rochas e minerais, como topázio e bauxita (Lamounier, et al., 2011).

Ao mesmo tempo em que apresenta um grande potencial minerário, a região também apresenta um grande patrimônio natural, abrigando ambientes naturais únicos, com espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Sendo assim, constitui-se numa área de grande potencial para preservação, onde existem ambientes com pouca atividade antrópica (Drummond et al., 2005).

Um destes importantes patrimônios naturais é a Serra do Gandarela, que abrange uma área de aproximadamente 467 km<sup>2</sup>, a aproximadamente 65 km da capital, Belo Horizonte. Destaca-se pela grande diversidade geológica que a compõe. Nela, identificam-se carbonatos do Sinclinal Gandarela, importantes sítios geológicos que registram a dinâmica do Proterozóico (Ruchkys, 2007), bem como uma importante bacia sedimentar, onde são encontrados registros fósseis de vegetais (Maizatto, 2011). O registro de cavernas, formadas em rochas ferríferas em sua área, a coloca como de relevância máxima para proteção pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Ainda em relação à dinâmica subterrânea, localiza-se na aba leste do sinclinal um ambiente cárstico com inúmeras dolinas, formadas a partir da dissolução de rochas carbonáticas, que podem ser preenchidas de água formando lagoas naturais (Lamounier, et al., 2011).

Apresenta um extenso capeamento de cangas, formadas por fragmentos de rochas em matriz ferruginosa, que recobrem os topos de morro como uma carapaça, formando uma região que abriga a maior área de canga do Quadrilátero Ferrífero, em torno de 40% (Carmo, 2010).

A extensão das formações ferruginosas se reflete também nos solos da região, onde são encontrados os solos perférricos. Estes são solos com teor de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) superior a 36%, somente identificados em algumas regiões com substrato rochoso rico em material ferruginoso. As regiões onde se encontram estes solos são de grande interesse mineralógico pelo substrato ferruginoso e, ao mesmo tempo, podem apresentar vegetações endêmicas, com grande valor ambiental e são solos importantes para a recarga hídrica, devido a suas grandes porosidade e permeabilidade.

A presença de solos sobre formações ferruginosas na Serra do Gandarela pode determinar uma composição florística específica, conhecida como Campos Rupestres (Giulietti et al, 1997), Campo Rupestre sobre Canga (Viana & Lombardi, 2007), Campos Ferruginos (Vincent et al, 2002) ou Vegetação sobre Canga (Secco & Mesquita, 1983; Silva, 1991). A sua ocorrência está associada às especificidades edafo-climática das comunidades vegetais associadas às formações ferruginosas, tornando-as únicas nestes habitats. As alterações advindas da ação antrópica levam à perda de habitat, levando algumas espécies a serem inseridas nas espécies ameaçadas de extinção, como por exemplo, onças pintadas, pardas e lobos-guará (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2007).

A Serra do Gandarela apresenta-se como um grande patrimônio hídrico, com presença de nascentes e córregos advindos de águas subterrâneas (Lamounier, et al., 2011). É considerada uma das maiores reservas hídricas subterrâneas do Quadrilátero Ferrífero (Davis et al., 2005), com fornecimento de água em quantidade e qualidade para a região. As suas águas são consideradas como Classe Especial ou Classe 1 (CONAMA, 2005) possuindo qualidade diferenciada (Lamounier, et al., 2011).

Neste contexto, a Serra do Gandarela apresenta-se como um ambiente único, com grande relevância ambiental associada à sua grande beleza cênica e que vem sofrendo com o grande impacto das atividades antrópicas, sobretudo minerárias, na região.

Diferentes movimentos sociais e de ONG propuseram em 2009 a criação de Unidade de Conservação para a região. Após vários debates, em outubro de 2014, foi criado o Parque Nacional da Serra do Gandarela (PARNA da Serra do Gandarela), abrangendo uma área de 31.2840 hectares, localizado nos Municípios de Nova Lima, Raposos, Caeté, Santa Bárbara, Mariana, Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima. O PARNA tem por objetivo garantir a preservação de amostras do patrimônio biológico, geológico, espeleológico e hidrológico, associadas às formações de canga do Quadrilátero Ferrífero, incluindo os campos rupestres e os remanescentes de floresta semi-decidual, as áreas de recarga de aquíferos e o conjunto cênico (Brasil, Decreto s/n, 2014).

Apesar do grande avanço com a criação do PARNA, várias são as discussões, principalmente quanto ao limite do parque, que não atendeu às demandas iniciais propostas, não abrangendo grande parte do sistema hidrológico e bens naturais da região de importante relevância ambiental, como áreas de Mata Atlântica primária, cavidades, paleotocas e todo um sistema de cachoeiras únicas, encontradas na região. Também não foi aprovada a criação de uma Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) do Alto Rio São João, demandada pelas comunidades que ali existem a gerações, e dificultando as atividades agrícolas e extrativistas historicamente tradicionais de seus moradores (Rojas et al., 2015).

Neste sentido, o conhecimento da região se mostra importante não somente para o avanço nos estudos científicos em características singulares da Serra, mas como forma de evidenciar a importância de sua preservação de forma eficiente e dos interesses das comunidades locais.

A compreensão do meio físico e seus processos são fundamentais para o planejamento e entendimento do ambiente, ao permitir a análise dos diferentes elementos da paisagem de forma integrada. Sendo assim, a bacia hidrográfica consiste em um recorte territorial de análise adequado para os estudos ambientais (Oliveira, 2016).

A sub-bacia hidrográfica do Córrego Maria Casimira, afluente da Bacia do Rio Piracicaba, abrange uma área de 1524 hectares e está localizada no Sinclinal Gandarela, no município de Santa Bárbara, MG. Apresenta grande relevância no contexto geográfico da Serra, por representar características marcantes da região. Nesta bacia está inserida a comunidade de André do Mato Dentro que representa uma das onze comunidades que estão no limite externo do PARNA. A comunidade, atualmente é formada por 34 famílias e tem como práticas de uso e ocupação do solo a agricultura familiar, o plantio de eucalipto, a apicultura, a piscicultura e a criação de gado leiteiro. O eucalipto é personagem fundamental da história da comunidade e já foi o principal constituinte de sua renda, impulsionado por empresas siderúrgicas que demandavam grande comercialização da madeira (Dias, 2015).

A não criação da RDS do Alto Rio São João coloca as comunidades do entorno do PARNA em uma situação de fragilidade, e estas vem buscando novos caminhos para diversificar as suas atividades. Dentre as alternativas e interesses da comunidade estão o desenvolvimento de turismo ecológico e o cultivo de plantas medicinais.

O entendimento da comunidade quanto a importância da conservação dos recursos naturais encontra no estudo científico dos solos e suas relações com a paisagem um grande aliado para a preservação natural, possibilitando divulgar os costumes e tradições locais de forma sustentável.

O solo é considerado importante elemento integrador da paisagem. Ele reflete os diferentes fatores que atuaram na sua formação (clima, organismos, relevo, material de origem e tempo) e influencia a dinâmica de uso e ocupação onde está inserido. O conhecimento dos diferentes tipos de solos, de suas potencialidades e das fragilidades é de fundamental importância para o conhecimento da dinâmica do sistema local.

A relação solo-paisagem é uma ferramenta importante quando se pretende obter um entendimento integrado dos aspectos físicos, combinando o estudo das feições da superfície terrestres, componentes da subsuperfície e variáveis climáticas (Oliveira, 2016). Ao se trabalhar as relações entre os elementos da paisagem, a compreensão geográfica dos solos é importante subsídio para se caracterizar e entender o comportamento destes, seja para suas potencialidades, seja para suas fragilidades.

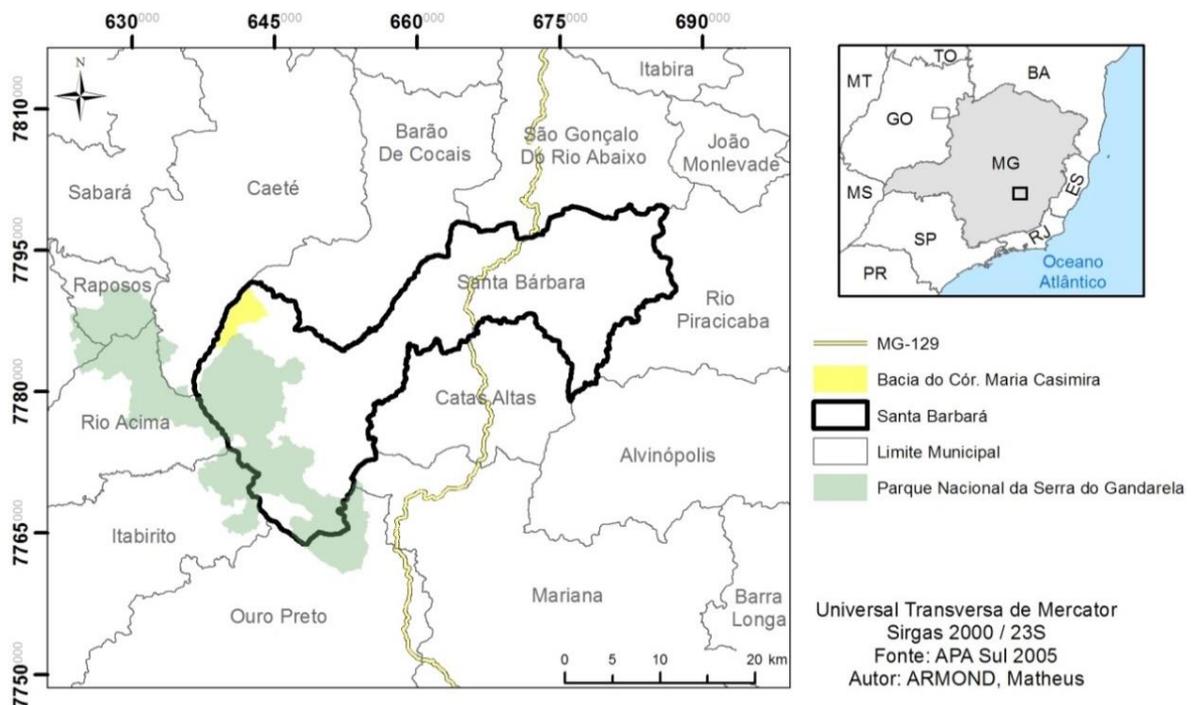
O objetivo deste trabalho foi caracterizar e classificar solos em uma topossequência na sub-bacia do Córrego Maria Casimira, em André do Mato Dentro (MG).

Os objetivos específicos foram: (i) realizar a classificação dos perfis de solos escolhidos na bacia do córrego Maria Casimira; (ii) analisar e discutir as relações solo-paisagem da área de estudo, a partir de atributos pedológicos, topográficos, litológicos e fitofisionômicos; (iii) realizar a caracterização físico-hídrica dos solos classificados na bacia.

Assim, o estudo foi dividido em dois capítulos, em formato de artigo. O primeiro compreende as discussões da caracterização e classificação de solos em uma topossequência de solos e a relação solo-paisagem de forma direta; e o segundo aborda a caracterização físico-hídrica dos solos escolhidos na sequência de solos.

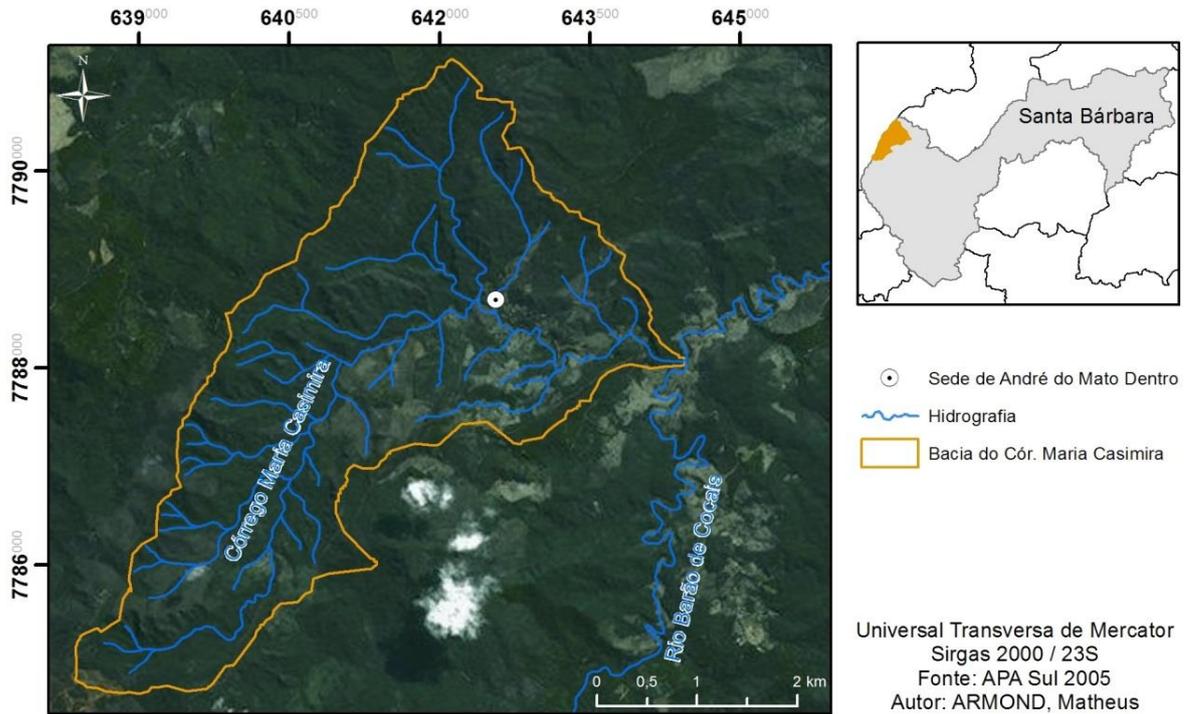
## CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado na bacia do córrego Maria Casimira, no município de Santa Bárbara (MG), próximo à divisa com Caeté. Santa Bárbara encontra-se na região central do Estado, no Colar Metropolitano de Belo Horizonte. Parte de seu município encontra-se dentro do limite estabelecido do Parque Nacional da Serra do Gandarela (Figura 1).



**Figura 1** Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira

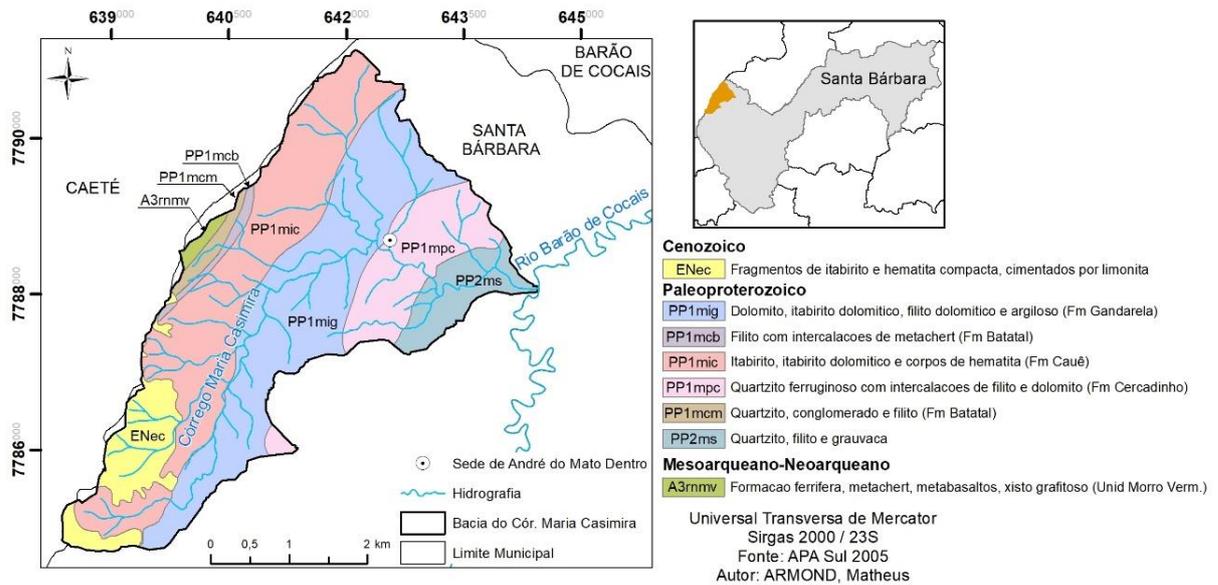
A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na porção noroeste do município, com cerca de 15,2 km<sup>2</sup> e com seu limite sul-sudeste coincidindo com os limites estabelecidos da PARNA da Serra do Gandarela. A bacia não somente estabelece os limites físicos da drenagem local, mas também do distrito de André do Mato Dentro (Silva, 2012), que tem sua sede localizada na porção nordeste da bacia (Figura 2).



**Figura 2** Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira

A sub-bacia do Córrego Maria Casimira se localiza majoritariamente no Supergrupo Minas, que se assenta de forma discordante sobre rochas do Embasamento Cristalino e do Supergrupo Rio das Velhas. Divide-se nos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba, Sabará e Tamanduá (Dorr, 1969). Na bacia não é encontrado o grupo Tamanduá (Figura 3).

O Grupo Caraça, encontrado na porção noroeste da bacia, é descrito como um conjunto de rochas clásticas situadas entre as discordâncias regionais do Supergrupo Rio das Velhas com o Grupo Itabira, que é encontrada também na porção noroeste, com a formação do Morro Vermelho (Dorr et al., 1957). O grupo é dividido em duas formações, a Formação Moeda, formada no Paleoproterozoico (entre 2 bilhões e 500 milhões e 1 bilhão e 600 milhões de anos atrás, aproximadamente), que é composta de quartzitos finos com lentes de conglomerados e filitos arenosos, e a Formação Batatal (Paleoproterozoico) que consiste de filitos sercíticos e filitos grafitosos podendo ocorrer intercalações de metacherts e lentes de hematita (Wallace, 1958).



**Figura 3** Mapa litológico da Bacia do Córrego Maria Casimira

O Grupo Itabira (Paleoproterozoico), encontrado em toda porção central da sub-bacia é descrito como sendo constituído de rochas metassedimentares e é subdividido em Formação Cauê e Formação Gandarela. A Formação Cauê é constituída por itabiritos com lentes de dolomito, hematita compacta e friável, filito e mármore (Dorr et al., 1957). A Formação Cauê, pelos seus depósitos de minério de ferro e ouro, é a unidade mais importante do ponto de vista econômico do Quadrilátero Ferrífero (APA Sul I, 2005). A Formação Gandarela é composta de mármore, dolomitos, filitos e itabiritos dolomíticos com intercalações de hematita e zonas manganésíferas (Dorr et al., 1957) (Figura 4).



**Figura 4** (a) Filito, (b) dolomito e (c) xisto alterado encontrados na bacia do Córrego Maria Casimira

Fonte: Acervo do autor e de Adriana Monteiro.

O Grupo Piracicaba (Paleoproterozoico), aparece na porção centro nordeste da sub-bacia com a Formação Cercadinho. Essa Formação é composta de quartzito ferruginoso, quartzito, filito, dolomitos e conglomerados (Dorr et al., 1957) (Figura 5).



**Figura 5** Relevo da região e afloramento de quartzito

Fonte: Acervo do autor.

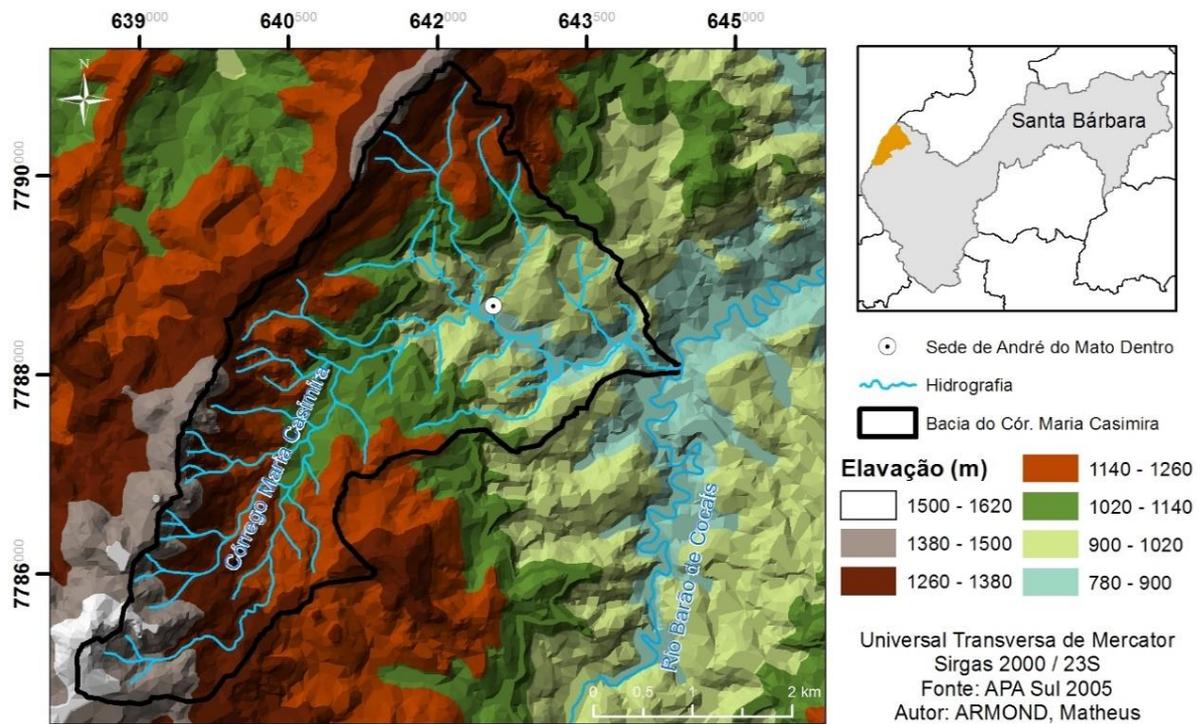
O Grupo Sabará, localizado na porção nordeste da sub-bacia, é constituído de filitos, xistos metavulcânicos, metagrauvacas, quartzitos sericíticos, e quartzito feldspático (Renger et al., 1994). Por fim, são encontrados ao longo da porção oeste-sudoeste da bacia os depósitos elúvio-colúviais do Cenozoico (aproximadamente 65 milhões de anos) e se estende até a atualidade. São os locais onde se encontram as cangas, que são o produto da alteração de fragmentos de itabirito e hematita compacta, cimentados por limonita (APA Sul I, 2005) (Figura 6).



**Figura 6** Canga encontrada na região

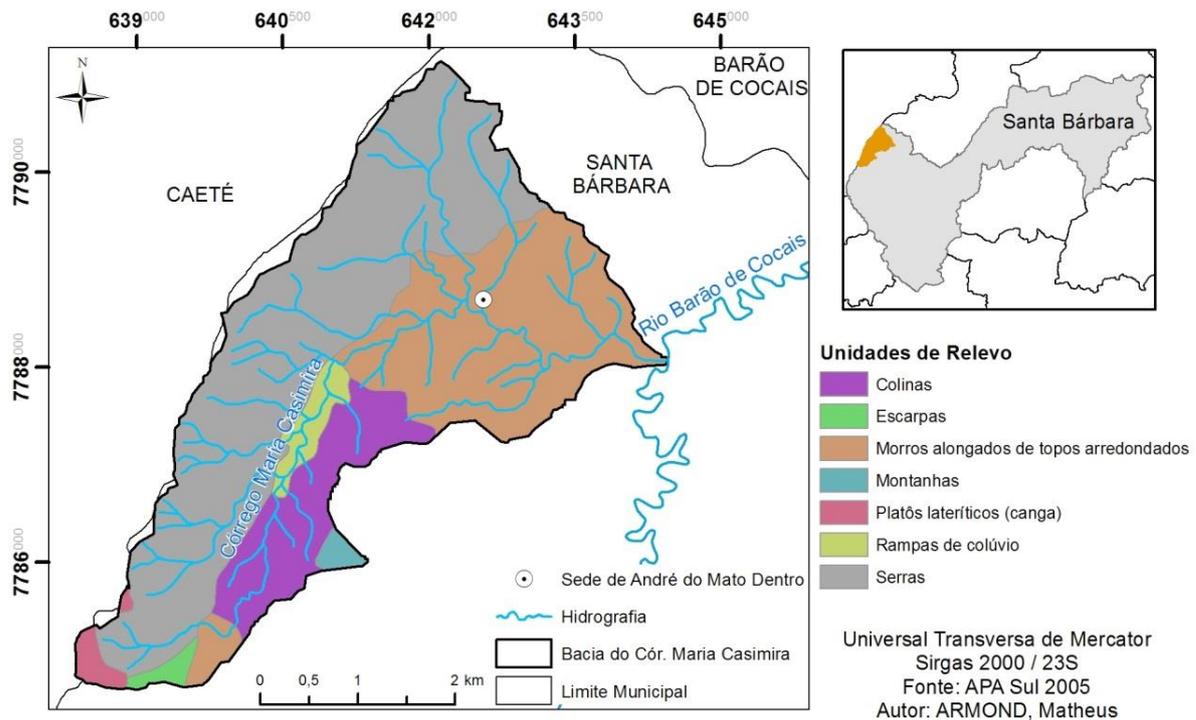
Fonte: Danilo Siqueira (2013).

Geomorfologicamente, a sub-bacia do Córrego Maria Casimira se localiza na Unidade Morfoestrutural da Depressão Suspensa do Sinclinal Gandarela. A depressão suspensa exibe uma morfologia que pode ser subdividida em duas unidades: abas externas e relevo entalhado no interior do sinclinal (APA Sul, 2005). As abas do sinclinal são delimitadas por escarpamentos que podem apresentar desnivelamento expressivo, entre 300 a 400 metros, com vertentes íngremes esculpidas em litologias provenientes da Formação Cauê, os itabiritos, e dissecadas em profundos anfiteatros suspensos (Figura 3 e 7). Demonstra um estágio de entalhamento avançado, advindo do ajuste ao nível de base do vale anticlinal do rio da Conceição pós-Pliocênica (APA Sul, 2005).



**Figura 7** Modelo de Elevação da Bacia do Córrego Maria Casimira

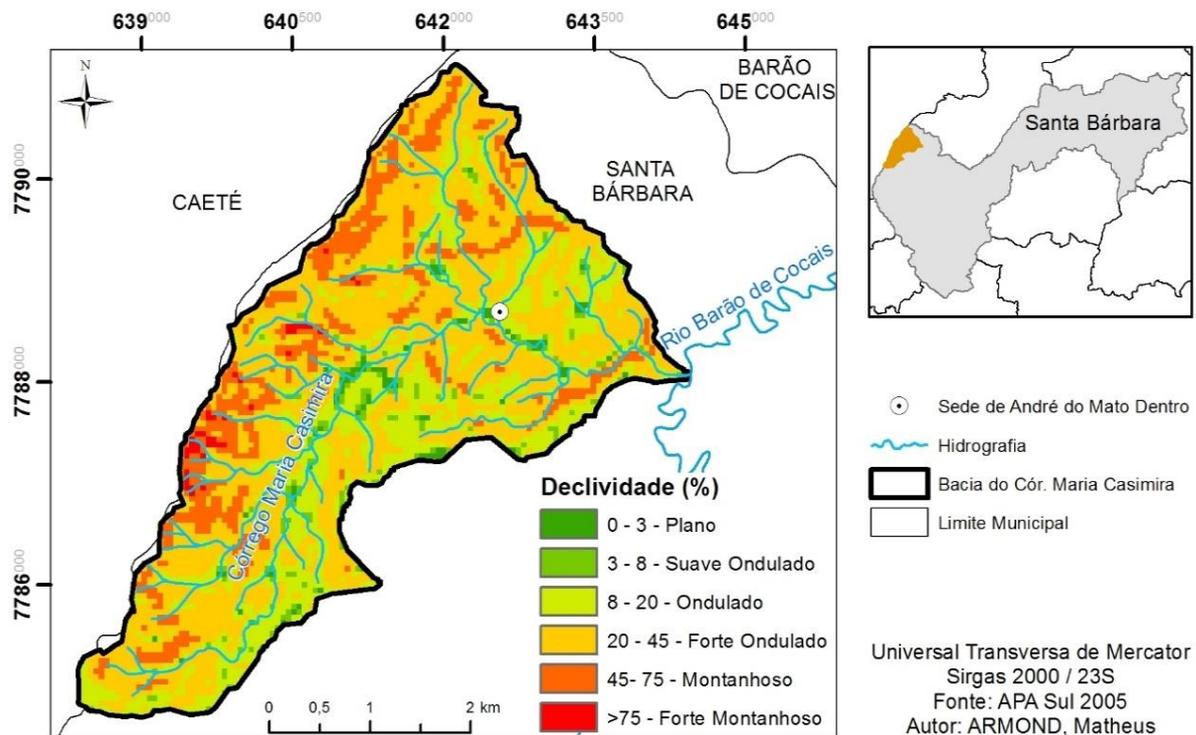
De acordo com Silva & Salgado (2010), no Quadrilátero Ferrífero ocorrem um intemperismo e uma erosão diferencial, onde os quartzitos e itabiritos são as rochas mais resistentes, constituindo o substrato das porções superiores do relevo, com os xisto-filitos e granito-gnaisses de resistência mediana, sendo que os xisto-filitos sustentam as porções intermediárias e os granito-gnaisses as porções mais rebaixadas e, por último, os mármore e dolomitos, como as rochas que apresentam menor resistência. Os processos de erosão diferencial podem ser observados através das distintas formas de relevo encontradas na bacia do Córrego Maria Casimira (Figura 8).



**Figura 8** Mapa de Unidades de relevo da Bacia do Córrego Maria Casimira

As serras, unidade de maior área na bacia, demonstram a influência da litologia no modelado do relevo, onde o cenário resultante são vales com escavação profunda e declividade elevada, indicando a ocorrência de processos denudacionais diferenciais e dissecamento pela drenagem ao longo das diferentes rochas do substrato regional. A resistência de rochas aos processos denudacionais formam morros alongados, de topo arredondado, que acompanham a porção oeste da bacia. Esses processos lentos de denudação criam na área um relevo de baixa declividade, que pode chegar a suave ondulado nas baixas altimetrias. No contato da Formação Cauê e Gandarela na borda da Serra, existem rampas de colúvio, com declividade variando de plano a ondulado sobre a litologia de filito (Figuras 3, 8 e 9).

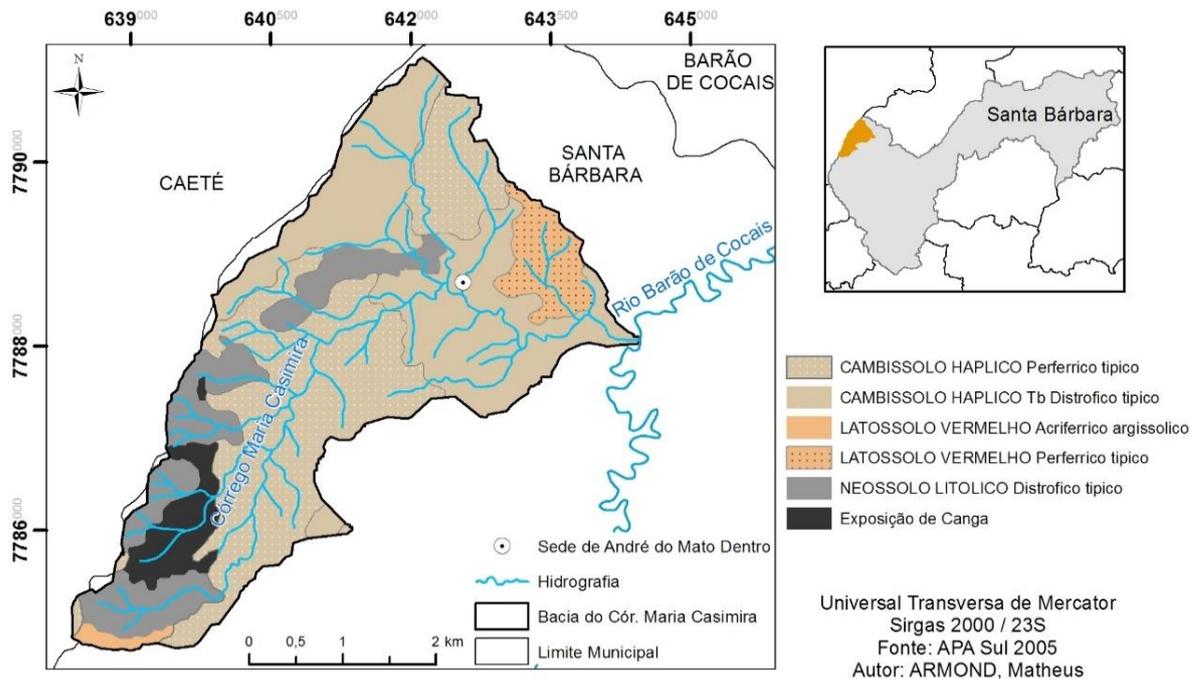
Ao sul das serras, é encontrada uma borda de escarpas de aproximadamente 1400 m de altitude e gradiente elevado, com declividades de forte ondulado a montanhoso, sobre itabirito e hematita do contato Formação Cauê com Gandarela. Ainda ao sul da serra, encontram-se as exposições de canga, que resultam em platôs lateríticos com declividade mais planas, em cota altimétrica de 1600 metros, sendo os mais elevados da bacia (Figura 9).



**Figura 9** Mapa de Declividade da Bacia do Córrego Maria Casimira

Esse relevo, com grande variação de gradiente e declividade (de plano à forte montanhoso), reflete-se na densidade de drenagem encontrada na Serra do Gandarela, e que pode ser observada na grande quantidade de afluentes e subafluentes da forma dendrítica do Córrego Maria Casimira. As intercalações de filito e dolomito, encontradas no Supergrupo Minas e em suas formações, conferem uma morfodinâmica sob rochas silicosas que possuem maior permeabilidade, aumentando as fraturas existentes, ao encontrarem de forma mais rápida o contato solo-rocha, tornando a exercer influência na densidade de drenagem encontrada na região (APA Sul II, 2005) (Figuras 3 e 9).

A litologia e as unidades de relevo exercem forte influência nos processos de formação dos solos na região do Gandarela, onde ocorre uma variedade intimamente ligada à variação destes aspectos da paisagem. Na sub-bacia do Córrego Maria Casimira ocorre as classes dos ambissolos Háplicos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, segundo mapeamento de 2005 em escala de 1:50.000 da APA Sul (Figura 10).



**Figura 10** Mapa Pedológico da Bacia do Córrego Maria Casimira

Na unidade das serras, áreas de maior declive, encontram-se os Neossolos Litólicos, solos minerais pouco desenvolvidos, que são caracterizados pela ausência de horizonte B diagnóstico. Os Neossolos Litólicos, encontrados na sub-bacia, apresentam-se com horizonte A sobre rocha ou sobre um horizonte C ou B pouco espesso, com contato lítico dentro de 50 cm da superfície. Por serem distróficos, possuem a saturação por base inferior a 50%. Estes solos ocorrem sob rochas resistentes, como o itabirito da Serra, onde as declividades fortes dificultam a formação do manto de intemperismo e o desenvolvimento pedogenético (APA Sul, 2005) (Figuras 3 e 10).

Os Cambissolos são encontrados em toda a bacia e, representam a classe de maior ocorrência na região da Serra. São solos minerais não hidromórficos que apresentam horizonte B incipiente, subjacente ao horizonte A de qualquer tipo ou hístico com menos de 40 cm de espessura. Têm baixo grau de desenvolvimento pedogenético, o que pode condicionar uma forte influência dos materiais de origem em suas características. Os teores de ferro, a saturação por base e a atividade da argila e sua profundidade fazem a separação em terceiro nível categórico (APA Sul, 2005). Na bacia, ocorrem os tipos Perférico e Distrófico. Os solos perféricos,

característicos da região, são solos de alto teor de óxidos de ferro, sendo superiores ou iguais a  $360 \text{ g kg}^{-1}$ , intimamente ligados ao material de origem, neste caso o Itabirito (APA Sul, 2005). Os Cambissolos Háplicos Distróficos são predominantes em relevo forte ondulado e montanhoso, sendo bastante erodíveis pela baixa velocidade da infiltração, o que ocasiona um maior escoamento superficial da água. Ocorrem normalmente associados aos Latossolos Vermelhos, não chegando à espessura mínima de 50 cm no horizonte B, ou pela quantidade elevada de silte, para serem classificados como Latossolos (APA Sul, 2005).

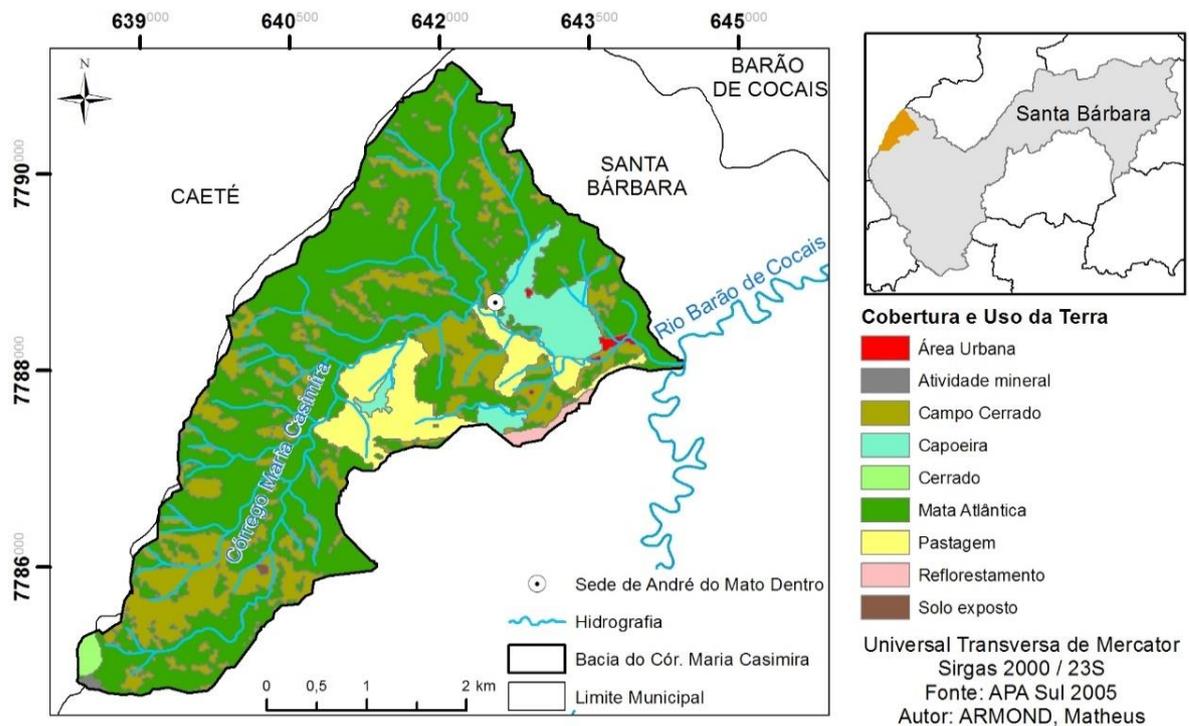
Os Latossolos são solos minerais encontrados na unidade dos morros alongados. São solos não hidromórficos, com horizonte B latossólico subjacente a qualquer tipo de horizonte A. São solos normalmente profundos com avançado estágio de intemperização (APA Sul, 2005). Apresentam elevada porosidade, o que influencia a alta permeabilidade, sendo comumente bem drenados, o que garante uma maior resistência aos processos erosivos. Na sub-bacia, são encontrados os Latossolos Vermelhos Perféricos e Latossolos Vermelhos Acriféricos. Para serem perféricos, devem ter baixa saturação por bases e teor de óxidos de ferro superiores ou iguais a  $360 \text{ g kg}^{-1}$  na maior parte dos 100 primeiros centímetros do horizonte B. Para os Acriféricos, as características são semelhantes ao anterior, porém apresentam caráter ácrico, na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B e teor de óxidos de ferro entre 18% e 36% (APA Sul, 2005).

A cobertura vegetal da bacia é predominantemente de Mata Atlântica, podendo ser mais ou menos preservada, de acordo com o uso e ocupação da região, onde são encontradas algumas manchas de plantação de eucaliptos e campo-pastagem (Figuras 11 e 12). Algumas manchas de campos cerrados acompanham o desenvolvimento da unidade de relevo da Serra. Na sede de André do Mato Dentro existem edificações e solo exposto.



**Figura 11** a) Eucalipto e b) Mata Atlântica

Fonte: Acervo do Autor e Adriana Monteiro



**Figura 12** Mapa de Cobertura e Uso da Terra da Bacia do Córrego Maria Casimira

A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na faixa de clima tropical úmido, com chuvas concentradas no verão. A temperatura média do ar é de 21,1 °C e o total de chuva é de 1491,3 mm/ano (podendo chegar a 2000 mm em alguns trechos, devido às influências da altitude no efeito orográfico) segundo os dados das Normais Climatológicas 1961-1990, da estação meteorológica oficial mais próxima à Serra, em Belo Horizonte (Silva et al., 2012). Contudo, os efeitos orográficos, a presença de cristas e vales fortemente entalhados, os elevados valores de declividade em alguns

locais, atuando de forma a se ter superfícies com diferentes exposições solares e o próprio uso diferenciado da terra exercem sobre as unidades climáticas grandes variações locais com trechos, segundo fontes não oficiais, onde as chuvas atingem 2000 mm/ano e as temperaturas podem ter variações momentâneas de 5,0 °C, entre os topos e os fundos de vale (Silva et al., 2012).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, W. J. Manejo de trilhas para o ecoturismo. In: NEIMAN, Z.; MENDONÇA, R. Ecoturismo no Brasil. São Paulo: Manole, 2005

BARCELLOS, M. M.; MAIA, S; MEIRELES, C; PIMENTEL, D. S. Elaboração da Trilha Interpretativa no Morro das Andorinhas: Uma Proposta de Educação Ambiental no Parque Estadual da Serra da Tiririca, RJ. Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, n. 1, v. 1, 2013. Niterói – RJ.

BRASIL. DECRETO Nº s/n, DE 13 DE OUTUBRO DE 2014. Cria o Parque Nacional da Serra do Gandarela, localizado nos Municípios de Nova Lima, Raposos, Caeté, Santa Bárbara, Mariana, Ouro Preto, Itabirito e Rio Acima, Estado de Minas Gerais, out 2014. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/\\_Ato2011-2014/2014/Dsn/Dsn14013.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2014/Dsn/Dsn14013.htm) >. Acesso em: 23 fev. 2018.

CARMO, F. F. Importância Ambiental e Estado de Conservação dos Ecossistemas de Cangas no Quadrilátero Ferrífero e Proposta de Áreas-Alvo para a Investigação e Proteção da Biodiversidade em Minas Gerais. 2010, 90 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA – Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de afluentes, e dá outras providências. Brasília, 18 de março de 2005.

CURI, N. 1983. Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University. 158p. (Tese Ph.D.)

DIAS, Janise Bruno; PENA, Lucas Luiz Senhorine. As práticas/saberes agrícolas, contribuição à conservação da biodiversidade local? O caso de André do Mato Dentro, Santa Bárbara, Minas Gerais. GEOSABERES: REVISTA DE ESTUDOS GEOEDUCACIONAIS, Fortaleza, v. 6, n. 2, p. 90 - 102, jul. 2015

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2014. 141 p.

DOOR II, J. VAN N. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS Professional Paper 614-A, 1969. 110p.

DOOR II, J. VAN N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J.; REYNAERSON, G. A. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM, 1957. P. 7-58. (DFPM, avulso, 81). Trad. A. L. M. Barbosa.

DRUMMOND, G.M., MARTINS, C.S., MACHADO, A.B.M., SEBAIO, F.A. & ANTONINI, Y. 2005. Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua conservação. 2 ed. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte.

FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. Revisão das Listas das Espécies da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Minas Gerais: relatório final, volume 2 e 3. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2007.

GIULIETTI, A.M., PIRANI, J.R.; HARLEY, R.M. 1997. Espinhaço Range region. In: Davis S.D., Heywood V.H., Herrera-MacBryde O., Villa-Lobos J. (eds) Centers of plant diversity. A guide and strategy for their conservation Vol.3. The Americas. National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. Washington, p. 397-404.

ICMBio, 2010. Proposta de Criação do Parque Nacional da Serra do Gandarela. Brasília, Distrito Federal. 103p.

LAMOUNIER, W. L.; CARVALHO, V. L. M.; SALGADO, A. A. R. Serra do Gandarela: Possibilidade de ampliação das Unidades de Conservação no Quadrilátero Ferrífero-MG. Revista do Departamento de Geografia, v. 22, p. 171-192, 2011.

MAFRA, G. A. & CARMO, L. P. 2010. Diagnóstico do potencial turístico da região da Serra da Gandarela como Parque Nacional. Relatório (Belo Horizonte), 10 p.

MAIZATTO, J. R. Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares. 2001, 333 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

OLIVEIRA, A. R. Relações solo-paisagem e modelo de predição de solos da bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas (MG) [manuscrito] / Amanda Ribeiro de Oliveira. – 2016 (Dissertação de Mestrado).

Projeto APA Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Antônio I. Medina, Allaoua Saadi. - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 54p.

Projeto APA Sul RMBH: geologia, mapa geológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Sérgio L. da Silva (Org.) Eduardo A. Monteiro, Orivaldo F. Baltazar, Márcia Zucchetti – Belo Horizonte. SEMA/CPRM, 2005. 64p.

RENGER, F.S.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar dos Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonomos, Belo Horizonte, v.2, n.1, p.1-11, 1994.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P.; REZENDE, S.B. 1988. Susceptibilidade magnética em Latossolos do sudeste e sul do Brasil. In: Reunião de classificação, correlação de

solos e interpretação da aptidão agrícola, 3, Rio de Janeiro, 1988. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA – SNLCS/SBCS. p. 233-258.

ROJAS, C.M.; PEREIRA, D.B.; DIAS, J.B. Tensões e conflitos no espaço metropolitano de Belo Horizonte-MG/Brasil: Parque Nacional da Serra do Gandarela, como estão as comunidades metropolitanas após o decreto? IV COLLOQUE BIODIVERCITIES 2015, UPA – Marseille, França 10p.

RUCHKYS, U. A. Patrimônio Geológico e Geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: Potencial para a Criação de um Geoparque da UNESCO. 2007b, 211 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SANTOS, H. G. dos; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C. dos; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

RANGEL, L.de A.; GUERRA, A. J. T. Degradação de trilhas na Reserva Ecológica da Juatinga em Paraty – Rio de Janeiro. Rev. Ambient. Água vol. 9 n. 4 Taubaté - Oct. / Dec. 2014

SECCO, R.S.; MESQUITA, A.I. 1983. Notas sobre a vegetação de canga na Serra Norte – Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Botânica 59: 1-13.

SILVA, M.F.F. 1991. Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás – Pará (Brasil). Boletim do Museu paraense.

SILVA, C. L.; AGUIAR, B. F.; DIAS, J. B.; CARMO, V. A.; COSTA, A. M.; JARDIM, C. Análise da paisagem a partir da estratificação ambiental: estudo da Bacia do Corrego Maria Casimira André do Mato Dentro/MG. Revista Geonorte. Manaus, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 518-529, 2012

SILVA, J.R.; SALGADO, A.A.R. Mapeamento das unidades de relevo da Serra do Gandarela – Quadrilátero Ferrífero/MG. Geografias, v. 5, p. 107-125, 2009.

VIANA, P.L.; LOMBARDI, J.A. 2007. Florística e caracterização dos campos rupestres sobre canga na Serra da Calçada, Minas Gerais, Brasil. Rodriguésia 58: 159-177.

VINCENT, R.C. et al. 2002. Diversidade na adversidade. Ciência hoje, 31 (185): 64-67.

WALLACE, H.M. The Moeda formation. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v.7, n.2, p. 59-60, 1958.

## CAPÍTULO 1

# RELAÇÃO SOLO-PAISAGEM EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA BACIA DO CÓRREGO MARIA CASIMIRA - MG

### RESUMO

O estudo das relações entre os solos e os elementos que constituem uma paisagem apresenta-se como uma importante ferramenta analítica, capaz de auxiliar no entendimento de uma área. Desta forma, a bacia do Córrego Maria Casimira, localizada na Serra do Gandarela em Santa Bárbara (MG), apresenta uma região singular, pela grande diversidade do substrato geológico e de solos formados sobre rochas ricas em ferro. Além de características subsuperficiais únicas, é possível encontrar grandes áreas de Mata Atlântica em estado primário ou bem conservadas e uma intrincada rede hidrográfica, com muitas nascentes e quedas d'água singulares. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar e discutir as relações solo-paisagem da bacia do Córrego Maria Casimira, a partir da observação em campo, da análise e da classificação de solos, integrada ao contexto topográfico, litológico e geomorfológico. Os perfis estudados tiveram a sua classificação seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), todos sendo classificados como Cambissolos, porém, com grande variabilidade das propriedades dos solos. A região tem grande potencial para o avanço nos estudos pedológicos e ambientais. As diferentes litologias, no geral, tiveram maior influência nas propriedades dos solos estudados. Destaca-se o conjunto de solos com constituição ferrífera e cores escurecidas.

**Palavras-chave:** classificação de solos, solos ferríferos, quadrilátero ferrífero

## CHAPTER 1

# SOIL-LANDSCAPE RELATIONSHIP IN A TOPOGRAPHIC SEQUENCE OF SOILS IN THE MARIA CASIMIRA STREAM WATERSHED

## ABSTRACT

The study of the relationships between the soils and the elements that constitute the landscape is an important analytical tool to the understanding of an area. Thus, the Maria Casimira stream watershed, located in the Serra do in Santa Bárbara (MG), presents a special region due to the diversity of the geological substrate and soils formed on iron rich rocks. In addition to unique subsurface characteristics, it is possible to find large areas of tropical rain Forest in a primary state or well conserved and an intricate hydrographic network, with many unique springs and waterfalls. In this context, this work aimed to analyze and to discuss the soil-landscape relations of the Maria Casimira stream watershed, from field observation, analysis and classification of soils, integrated to the topographic, lithological and geomorphological context. The soil profiles had their classification according to the Brazilian System of Classification of Soils (SiBCS), all being classified as “Cambisolos”, however, with great variability of the soil properties. The region has a great potential for advancement in pedological and environmental studies. The different lithologies, in general, had a greater influence on the properties of the soils. The set of soils with ferrous constitution and darkened colors is highlighted.

**Key-words:** soil classification, ferrite soils, quadrilátero ferrífero (QF)

## 1. INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero, região localizada no centro-sudeste do Estado de Minas Gerais, é conhecido pela sua histórica exploração mineral, principalmente de minério de ferro e ouro, constituindo uma das mais importantes regiões mineradoras do país. Essa exploração muitas vezes se contrapõe ao grande potencial de conservação ambiental da região (Lamounier, et al., 2011).

Neste contexto, a Serra do Gandarela, localizada a aproximadamente 65 km de Belo Horizonte, é uma área de aproximadamente 467 km<sup>2</sup> com alto grau de conservação. A Serra se destaca pela grande diversidade do substrato geológico, que é importante para o registro geológico da dinâmica de formação da litologia brasileira. É possível identificar carbonatos do Sinclinal Gandarela, que são importantes sítios geológicos que registram a dinâmica do Proterozóico (Ruchkys, 2007), uma importante Bacia Sedimentar (Maizatto, 2011) e cavernas formadas em rochas ferríferas, que podem possuir características para serem classificadas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) como de relevância máxima. Os solos da região são diversificados ao longo de toda a Serra, em sua grande maioria são solos álicos ou distróficos e que se dividem, principalmente, em Cambissolos, Latossolos e Neossolos Litólicos. Dentre esses, os solos desenvolvidos a partir do itabirito se destacam pela peculiaridade da sua riqueza em ferro, onde a hematita, a magnetita e a maghemita são responsáveis pelo caráter periférico e magnético dos solos (Costa, 2003; Resende et al., 1988; Curi, 1983). Ao se destacar essa natureza, as variações físico-químicas das rochas itabiríticas comprometem algumas relações pedológicas que são utilizadas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, ao não se enquadrarem nas categorias ou nas metodologias abrangentes utilizadas nas rotinas laboratoriais de análise de solo (Costa, 2003). Além de características subsuperficiais únicas, é possível encontrar grandes áreas de Mata Atlântica em estado primário ou bem conservadas, e uma intrincada rede hidrográfica com muitas nascentes e quedas d'água singulares (APA Sul 2005; Dias, 2015; Lamounier, et al., 2011).

O maior entendimento da dinâmica dos solos em relação aos diferentes atributos da paisagem se faz a partir compreensão do meio físico e de seus processos, e como estes se relacionam. Assim, o solo é definido pela Embrapa (2013) como uma coleção de corpos naturais que são constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos e são formados por materiais minerais e orgânicos. Este material ocupa a maior parte do manto superficial continental de nosso planeta, contendo matéria viva, podendo ser vegetado na natureza ou tendo sido modificado antropicamente. As rochas constituem o principal material de origem dos solos que, ao entrarem em contato com a atmosfera ao longo do tempo, são transformadas através de processos químicos, físicos e biológicos, sendo desestabilizados a ponto de se desintegrar, decompor e se recombinar de maneiras diversas em um novo material, com características próprias. O solo, se examinado a partir da superfície, é constituído de seções aproximadamente paralelas que são organizadas em camadas e/ou horizontes. Os horizontes refletem os processos de formação pelos quais o substrato rochoso foi influenciado pelo clima, pelos organismos e pelo relevo. O entendimento dessas características é fundamental para a compreensão do papel do solo na paisagem.

O conceito de paisagem, de acordo com Guerra (2006), foi construído de maneira diferenciada pelas diversas bases teórico-metodológicas das escolas de Geografia, sendo a sua análise apoiada em horizontes epistemológicos diversos, gerando uma diversidade de abordagens, a depender do enfoque principal da escola. A escola germânica apresentou conceitos sobre paisagem trabalhando uma visão geográfica, a partir de um método de trabalho baseado na cartografia geomorfológica, compreendendo a paisagem como um conjunto de fatores naturais e humanos. Chirstofoletti (1999) destaca que, na França, La Blache considerou a paisagem tendo como elementos básicos as características de uma região, como seus elementos naturais e originários das atividades humanas. A União Soviética traz, com Dokoutchaev (1912), a definição do Completo Natural Territorial, onde os processos físicos, químicos e bióticos são expressos pela vegetação, sendo está o agente sobre as tipologias das unidades de paisagem e o solo como o produtor da relação entre o relevo, clima e a própria vegetação. Para a escola Anglo-americana, a paisagem era analisada sob a perspectiva da evolução do relevo, por cientistas como William Morris Davis (1899) e Grove Karl (1980). A tendência, então, das diversas escolas, é para a

descrição dos elementos físicos, valorizando então a paisagem morfológica e da cobertura vegetal (Maciel, 2011). Neste trabalho, a paisagem é analisada como uma porção do espaço que é resultado da combinação dinâmica e complexa dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, sendo estes um conjunto que está em perpétua evolução (Silva, 2012). Um sistema estabelecido pela relação entre os diversos elementos que o compõem e que pode ser classificado taxonomicamente em função da escala, situando a paisagem em uma dupla perspectiva do tempo e do espaço (Bertrand, 1972).

Cada fenômeno é determinado em uma combinação geográfica que depende da escala temporo-espacial, existindo, portanto, um início das manifestações e a extinção, podendo desta forma se hierarquizar as unidades. Portanto, a definição de uma paisagem é feita em função de uma escala. A paisagem, enquanto sistema natural, é complexa e integrada, sendo hierarquizada em níveis temporo-espacial: a zona, o domínio, região, geossistema, o geofácies e geotopo (Bertrand, 1972).

Estes níveis se dividem em duas classes, as unidades superiores e as inferiores. A unidade superior comporta a zona, sendo primeiramente definida pelo seu clima e seus "biomas", sendo um conjunto de primeira grandeza e tendo uma zonalidade planetária. O domínio, sendo de segunda grandeza, corresponde às paisagens vigorosamente individualizadas, definidas pela combinação de relevos e climas oceânicos. A região natural situa-se entre a 3ª e 4ª grandezas inserida dentro dos domínios, onde certas características a tornam individual e destacada. A unidade inferior é composta pelo geossistema, que resulta da combinação local e única dos fatores geológicos, dos solos, do relevo, da vegetação, do clima e da dinâmica comum entre eles. E, por último, o geofácies e o geotopo, no interior do mesmo geossistema. O geofácies corresponde a um setor fisionomicamente homogêneo, onde o sistema evolui em uma mesma fase. O geotopo é a unidade geográfica que apresenta uma homogeneidade diretamente discernível no terreno (Bertrand, 1972). Neste trabalho se avaliou a paisagem no nível do geossistema, onde a estrutura, as inter-relações e a dinâmica que existem entre os diversos elementos, sendo naturais ou antrópicos, constituem a paisagem (Silva, 2012).

O solo aqui recebe papel importante nas análises do ambiente, com isso temos a relação solo-paisagem. Foram estabelecidos, ao longo do tempo, estudos com foco nas interações solo-paisagem, sendo os mais difundidos a catena (Milne, 1935), a superfície geomórfica (Daniels et al., 1971; Ruhe, 1956), as unidades de vertente (Dalrymple et al., 1968) e a curvatura do terreno (Troeh, 1965). A relação solo-paisagem é uma ferramenta importante quando se pretende obter um entendimento integrado dos aspectos físico, combinando o estudo das feições da superfície terrestres, componentes da subsuperfície e variáveis climáticas (Oliveira, 2016). Ao se trabalhar as relações entre os elementos da paisagem, a compreensão geográfica dos solos é importante subsídio para se caracterizar e entender o comportamento destes seja para suas potencialidades, seja suas fragilidades. Em casos como na Serra do Gandarela, onde são encontrados solos de rara ocorrência, a relação solo-paisagem aplicada a uma trilha é grande aliado, ao fornecer informações aos moradores da importância do conhecimento destes solos para sua preservação e possível utilização.

Como unidade de análise espacial, foi definida a bacia hidrográfica, que permite analisar de forma integrada os diferentes elementos da paisagem (Oliveira, 2016). Assim, foi escolhida a sub-bacia hidrográfica do Córrego Maria Casimira, importante contribuinte da Bacia do Rio Piracicaba, localizada no município de Santa Bárbara, em Minas Gerais. Ela apresenta grande relevância no contexto geográfico da Serra, pois representa as características marcantes da região. A sub-bacia corresponde a uma área de 1524 hectares. E em seu interior se localiza a comunidade de André do Mato Dentro, em meio ao ambiente natural nos limites do Parque Nacional da Serra do Gandarela, próximo a projetos pretendidos de mineradoras (DNPM, 2014).

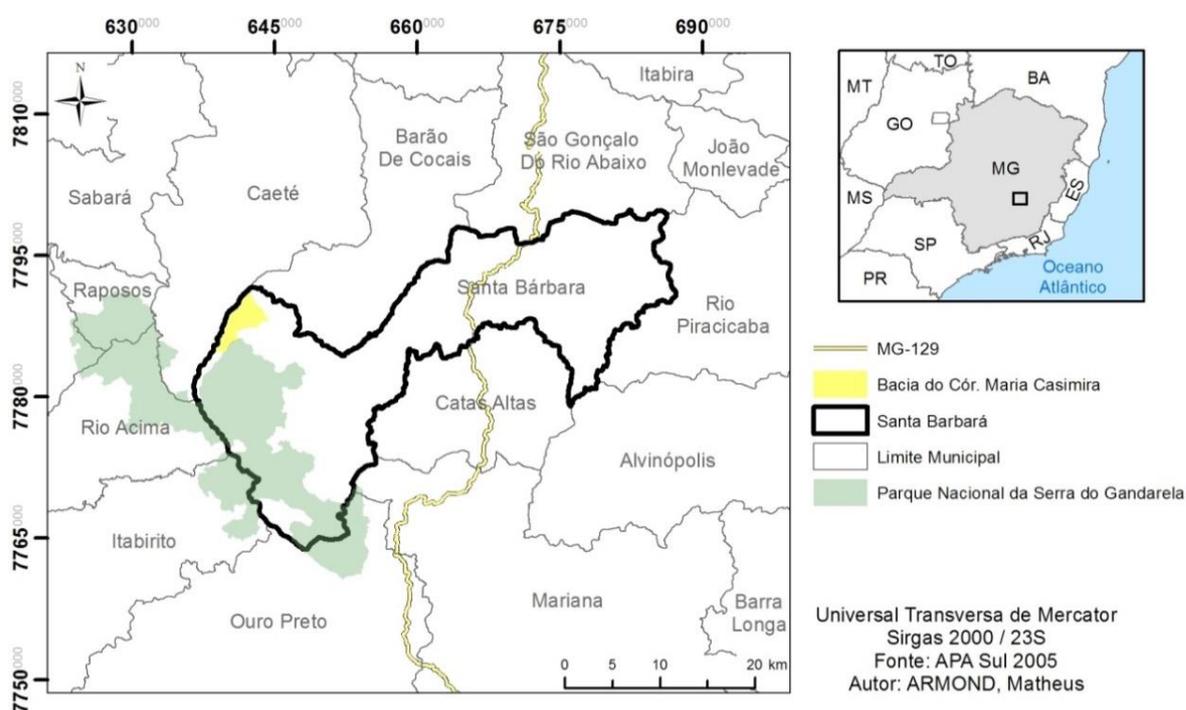
Ao ser incluída no contexto da PARNA da Serra do Gandarela, a comunidade de André do Mato Dentro se vê inserida em uma nova realidade regulamentada por Lei, onde as atividades que antes eram desenvolvidas na Serra devem ser integradas às funções primordiais de preservação dos recursos naturais que ali existem. Desta forma, a visitação turística é grande aliado não somente para as comunidades, mas também para o ecossistema da Serra. Assim, o entendimento das dinâmicas da bacia é feito através da análise da relação solo-paisagem, tendo como orientador a espacialização de perfis de solo ao longo de uma sequência topográfica de solos (Barcellos, 2013; Siqueira, 2004).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar e discutir as relações solo-paisagem da bacia do Córrego Maria Casimira, a partir da observação em campo, análise e classificação de solos, integrada ao contexto topográfico, litológico e geomorfológico em uma topossequência.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

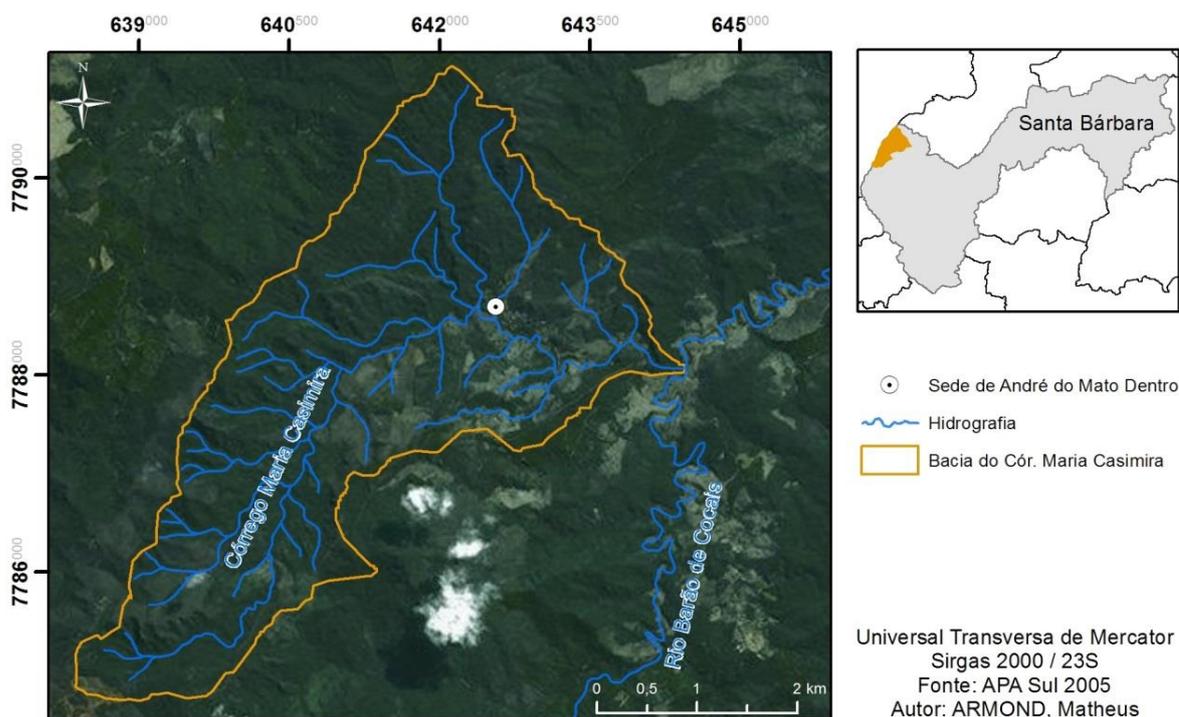
### 2.1 Caracterização da Área

A área de estudos está inserida na bacia do córrego Maria Casimira, no município de Santa Barbara (MG) que, por sua vez, tem parte da área do município dentro do limite estabelecido do Parque Nacional da Serra do Gandarela (Figura 1).



**Figura 1** Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira

A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na porção noroeste do município, com cerca de 15,2 km<sup>2</sup> e com seu limite sul-sudeste coincidindo com os limites estabelecidos da PARNA da Serra do Gandarela. A bacia não somente estabelece os limites físicos da drenagem local, mas também do distrito de André do Mato Dentro (Silva, 2012), que tem sua sede localizada na porção nordeste da bacia (Figura 2).



**Figura 2** Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira, MG

Localiza-se majoritariamente no Supergrupo Minas, Supergrupo que se assenta de forma discordante sobre rochas do Embasamento Cristalino e do Supergrupo Rio da Velhas. Divide-se nos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba, Sabará e Tamanduá (Dorr, 1969). Na bacia não é encontrado o grupo Tamanduá. Os perfis estudados localizam-se entre os Grupos Itabira, na Formação Gandarela, que é composta de mármore, dolomitos, filitos e itabiritos dolomíticos com intercalações de hematita e zonas manganésíferas, e o Grupo Piracicaba, na Formação Cercadinho. Essa formação é composta de quartzito ferruginoso, quartzito, filito, dolomitos e conglomerados (Dorr et al., 1957).

Geomorfologicamente, a sub-bacia localiza-se na Unidade Morfoestrutural da Depressão Suspensa do Sinclinal Gandarela. A altitude na bacia varia entre 900 m e 1620 m, com declividades variando de plano a forte montanhoso, refletindo-se na densidade de drenagem encontrada na Serra do Gandarela, e que pode ser observada na grande quantidade de afluentes e subafluentes da forma dendrítica do Córrego Maria Casimira. A litologia e as unidades de relevo exercem forte influência nos processos de formação dos solos na região do Gandarela.

Os solos da região são classificados como Neossolos Litólicos, Cambissolos Háplicos e Latossolos Vermelhos (APA Sul, 2005) com destaque para a o de solos com caráter perférico. Estes apresentam alto teor de óxidos de ferro, superiores ou iguais a  $360 \text{ g kg}^{-1}$ , intimamente ligados ao material de origem, neste caso o Itabirito.

A cobertura vegetal da bacia é predominantemente de Mata Atlântica, podendo ser mais ou menos preservada de acordo com o uso e ocupação da região, onde são também encontradas algumas manchas de plantação de eucaliptos e campo-pastagem (APA Sul, 2005).

A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na faixa de clima tropical úmido, com chuvas concentradas no verão. A temperatura média do ar é de  $21,1^{\circ}\text{C}$  e o total de chuva é de  $1491,3 \text{ mm/ano}$  (podendo chegar a  $2000 \text{ mm}$  em alguns trechos devido às influências da altitude no efeito orográfico) segundo os dados das Normais Climatológicas 1961-1990, da estação meteorológica oficial mais próxima à Serra em Belo Horizonte (Silva et al., 2012).

## **2.2 Identificação e caracterização das amostras de solo**

Para a realização deste trabalho foram realizadas duas campanhas de campo. A primeira, de reconhecimento da área e escolha de possíveis pontos com solos representativos das características da área e que seguissem o desenvolvimento de vertente em níveis topográficos. Na segunda foram descritos cinco perfis de solos, selecionados através do caminhamento livre e observação das características morfológicas visíveis em encosta, buscando-se identificar a maior variabilidade visível dos solos na área, orientadas principalmente pela compartimentação do relevo, mudança litológica e cor dos solos. A descrição dos solos em campo foi realizada conforme Manual de descrição e coleta de solo no campo (Silva et al., 2013) e a classificação conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). A localização dos perfis analisados encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1** Identificação, localização e material de origem dos solos estudados

Perfil	Altitude (m)	Coordenadas (UTM X, Y)	Formação e Material de Origem
P01	1156	642000 7787487	Formação Gandarela: Itabirito dolomítico
P02	1115	642050 7787518	Formação Cercadinho com Formação Gandarela: Itabirito dolomítico
P03	1097	641802 7787337	Formação Cercadinho com Formação Gandarela: Itabirito dolomítico
P04	1090	641978 7787516	Formação Cercadinho: Quartzito ferruginoso com intercalações de filito e dolomito
P05	1080	642309 7787429	Formação Cercadinho: Quartzito ferruginoso com intercalações de filito e dolomito

## 2.3 Análises laboratoriais

Após a coleta, as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As análises físicas do solo foram realizadas conforme Manual de Métodos de Análise de Solos (Donagemma et al., 2011).

### 2.3.1 Análises Físicas

As análises físicas foram realizadas conforme proposto por Donagemma et al. (2011).

Para as correções futuras dos resultados de análises de solo, foi estabelecido o Fator "f". Para tal, colocou-se aproximadamente 20 g de solo em Erlenmeyer de massa conhecida, que foi pesado e levado a estufa a 105 °C, por aproximadamente 16 horas e, posteriormente, as amostras foram pesadas e os resultados tabulados.

Para a análise granulométrica, foi adicionado a 20 g de TFSA, 25 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e 100 mL de água deionizada, e transferido para frascos plásticos, que foram agitados em agitador rotatório tipo Wagner durante 16 horas, a 50 rpm. O material foi passado por peneira de malha de 0,053 mm, separando as frações areia

fina e grossa (retidas em peneira) do silte e argila, que foram depositados em proveta de 1000 mL, após lavadas com água deionizada. O material suspenso em proveta foi agitado e coletado por pipetador automático de 50 mL a 5 cm da superfície e colocado em cápsula de porcelana de massa conhecida, para obtenção da massa de argila e silte. Após a agitação, o material teve sua temperatura medida e a amostra teve o tempo de sedimentação estabelecido conforme a Lei de Stokes, utilizando-se a densidade de partículas. Calculado o tempo, introduziu-se uma pipeta de 50 mL, colocada em pipetador automático, até a profundidade de 5 cm. Coletou-se a suspensão e transferiu-se para cápsula de porcelana de massa conhecida, para obtenção da massa de argila. As cápsulas foram colocadas em estufa a 105 °C por 24 horas, e após resfriamento, pesadas e tabuladas. As areias foram transferidas para lata de alumínio com massa conhecida e secas em estufa a 105 °C por 24 horas. Após o resfriamento, as frações areia grossa e areia fina foram separadas em peneira de 0,210 mm e (Figura 3).

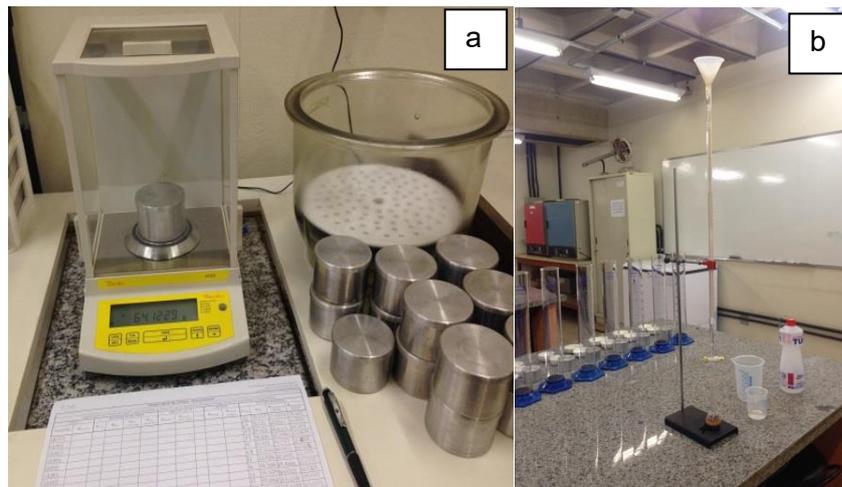


**Figura 3** Análise de Granulometria

Fonte: Acervo do Autor

A análise da argila dispersa em água foi realizada de forma semelhante à análise de granulometria, porém utilizando-se somente a quantidade de água deionizada de 100 mL, seguindo o procedimento de pipetamento após sedimentação. O grau de floculação e a relação silte/argila foram calculados a partir dos dados resultantes das análises anteriores.

A densidade do solo foi analisada pelo método do anel volumétrico. Para tal, foram coletadas amostras indeformadas de solo com auxílio de um anel de volume conhecido. As amostras foram transferidas para lata de alumínio de massa conhecida e secas em estufa a 105 °C por 24 horas. Após o resfriamento, foram pesadas e os dados tabulados. A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (Figura 4).

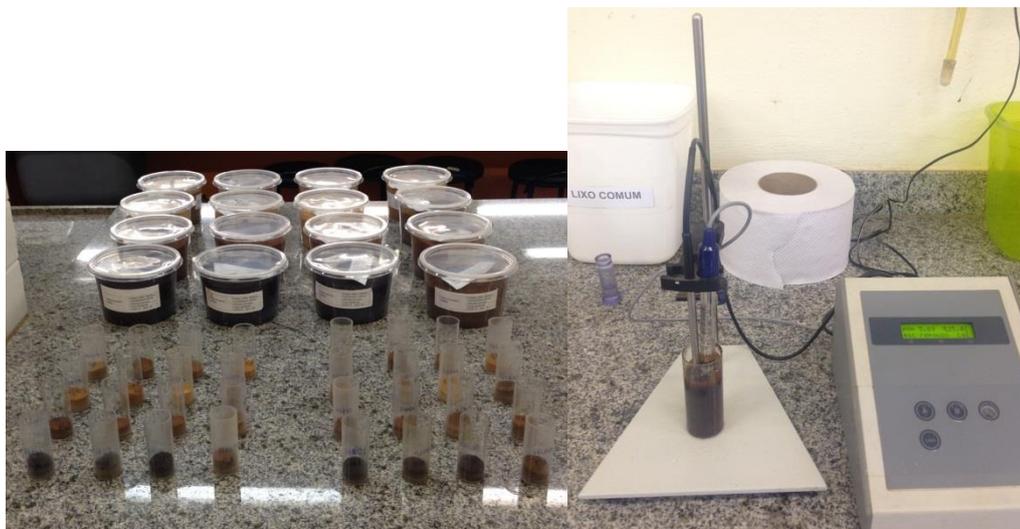


**Figura 4** Análises de a) Fator "f" e b) Densidade de Partículas

Fonte: Acervo do Autor

### 2.3.2 Análises Químicas

O pH (relação 1:2,5) das amostras foi realizado por medição do potencial com eletrodo combinado imerso em suspensão. Para o pH em água, foram colocados em copo plástico 10 g de TFSA e 25 mL de água, e para o pH em KCl, 10 g de TFSA e 25 mL de KCl mol L<sup>-1</sup>, posteriormente agitados e deixados em repouso por uma hora. O valor de delta pH foi obtido pela diferença entre o pH KCl e pH H<sub>2</sub>O (Donagemma et al., 2011) (Figura 5).



**Figura 5** Análise de pH

Fonte: Acervo do Autor

A determinação das concentrações de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  foi realizada após a digestão da TFSA em ácido sulfúrico (Vettori, 1969; Embrapa, 2011). A concentração de  $\text{SiO}_2$  foi determinada por gravimetria,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por titulometria e o  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  por colorimetria.

A matéria orgânica do solo foi determinada após a digestão com solução  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0.167 \text{ mol L}^{-1}$  em meio ácido ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pelo método colorimétrico (Reid, Copeland, 1966). Para determinação dos cátions trocáveis,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , a amostra de solo (10 g) foi submetida a 100 ml da solução  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  agitada por 15 minutos e deixada em repouso por 16 horas para filtrado.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica com módulo em chama e o  $\text{Al}^{3+}$  por titulação com solução  $\text{NaOH}$   $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . P, Cu, Fe, Mn e Zn foram submetidos à extração em solução Mehlich-1. Após a extração, P foi quantificado pelo método colorimétrico em solução ácida de molibdato de amônio. Cu, Fe, Mn, Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica com módulo chama. Para determinação de S, a amostra foi extraída em solução de fosfato de cálcio, em ácido acético (Hoeft, Walsh e Keeney, 1973). B foi determinado pelo método de água quente (Ageu et al., 1994; Wolf, 1971).  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  foi determinado pelo pH SMP (Quaggio; Raij, 2001).

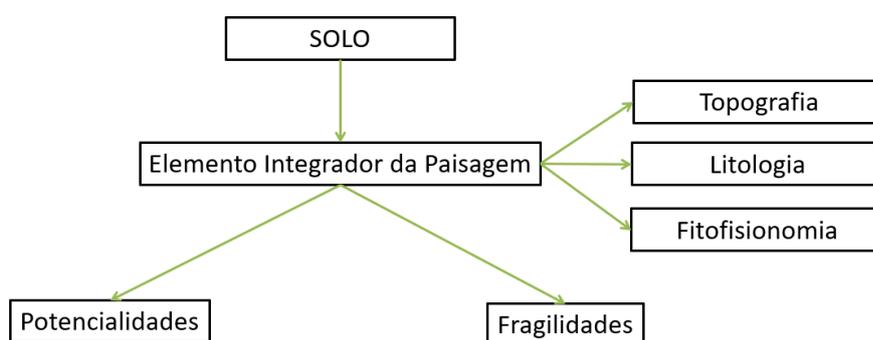
Nos horizontes diagnósticos de cada perfil, foi realizada análise de ataque sulfúrico para determinação dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  e a relação  $\text{K}_i$ ,  $\text{K}_r$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## 2.4 Base de dados e material cartográfico

A estruturação da base de dados cartográfica foi realizada com material vetorial secundário, resultante dos relatórios do estudo do meio físico do Projeto APA Sul RMBH, de 2005. O Modelo Digital de Elevação foi elaborado com base no material topográfico do IBGE de 2013. O software utilizado para criação dos mapas e processamento da base de dados foi o ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014). Os mapas gerados serviram para auxiliar na caracterização da área de estudo e na espacialização cartográfica dos perfis de solo, em relação à geologia, pedologia, relevo, clima e cobertura vegetal.

## 2.5 Análise Solo-Paisagem

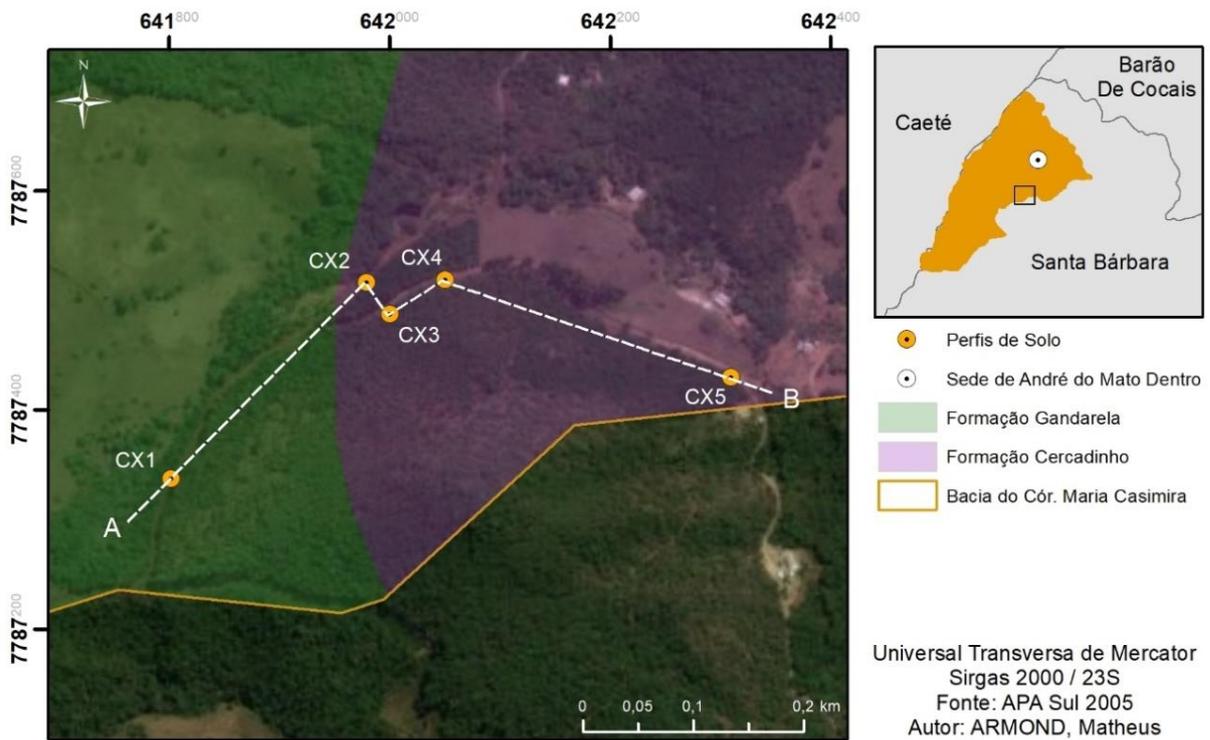
A análise solo-paisagem foi feita por estratificação do ambiente em elementos que compõem a paisagem enquanto sistema natural, complexo e integrado, através da unidade de um geossistema com a geologia, relevo, vegetação e clima para a formação e caracterização dos solos como um elemento integrador da paisagem (Troppmair & Galina, 2006) (Figura 6).



**Figura 6** Fluxograma dos elementos da relação solo-paisagem na Bacia do Córrego Casimira, MG

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os perfis de solo selecionados ao longo da vertente variaram aproximadamente 120 metros de altitude, ao longo de aproximadamente um quilometro de trilha (Figuras 7 e 8).



**Figura 7** Mapa de localização dos perfis de solo

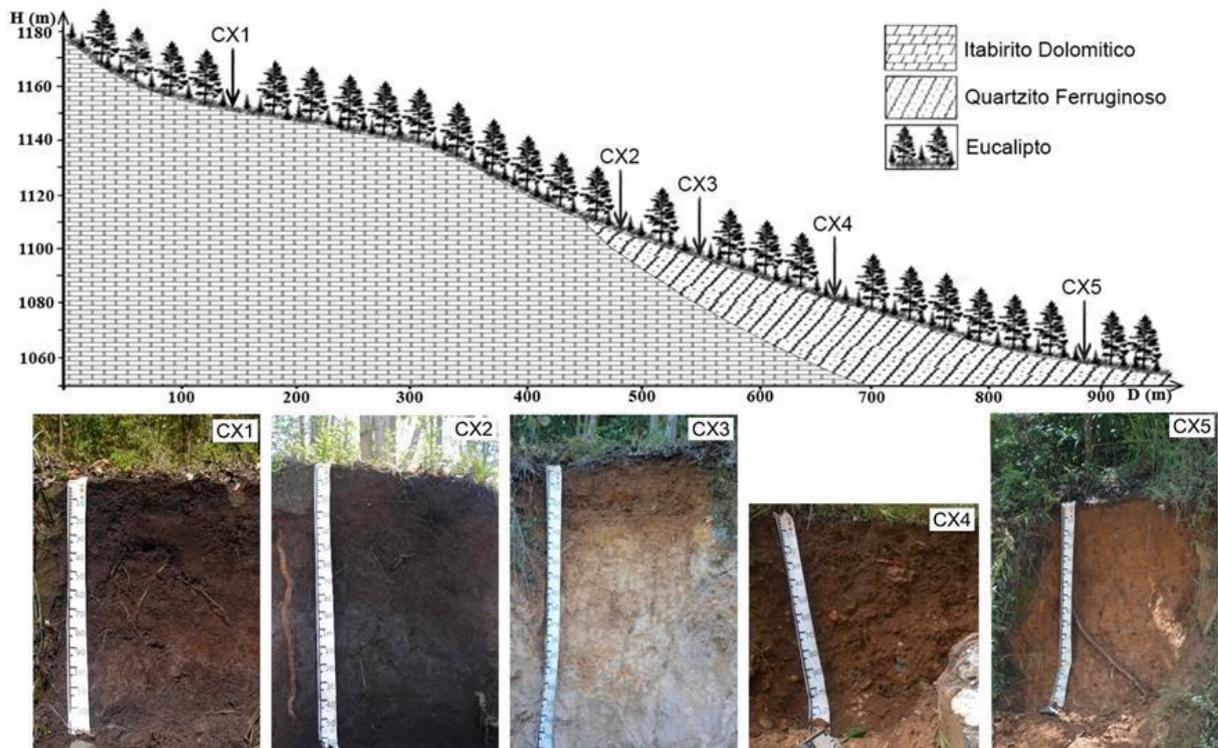
Foram identificadas 5 classes de solos ao longo da sequência analisada. Observa-se que, embora todos se apresentem morfologicamente bem desenvolvidos, com maior profundidade efetiva e desenvolvimento de estrutura, as análises realizadas em laboratório apontaram a presença de solos quimicamente pouco evoluídos (Tabela 2).

#### 3.1 Características morfológicas e físicas

Os solos estudados apresentaram estrutura variando de moderada a forte e pequena a muito pequena granular, principalmente nos horizontes superficiais. Os perfis CX1 e CX4 apresentaram estrutura forte muito pequena e granular. Esta característica é peculiar dos solos desenvolvidos de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero (Costa, 2003; Ker et al., 1995; EMBRAPA, 1988; Oliveira et al., 1983; Curi, 1983) (Tabela 2 e Figura 8).

A densidade de partícula ( $D_p$ ) evidencia a variabilidade dos Cambissolos do Quadrilátero, com valores variando de 2,34 a 3,34  $\text{g/cm}^3$  (Tabela 2). Essa variabilidade condiz com a expressiva participação de hematita nas frações argila, silte e areia de alguns horizontes (Carvalho Filho, 2008; Costa, 2003). Os valores mais elevados de  $D_p$  em CX1 podem se relacionar às densidades aproximadas dos óxidos de ferro, hematita (5,2  $\text{g/cm}^3$ ), goethita (4,3  $\text{g/cm}^3$ ), maghemita (4,8  $\text{g/cm}^3$ ) e magnetita (5,2  $\text{g/cm}^3$ ). Os solos com densidade menor que 2,85  $\text{g/cm}^3$  possivelmente estão relacionados à mistura de filitos e dolomitos.

Os valores de densidade de partícula podem explicar o maior percentual de silte em CX1, por não terem sido capazes de romper microagregados do tamanho silte, onde a resistência a tratamento de dispersão é significativa, em especial em solos de constituição oxidica, apesar da dispersão dos agregados do tamanho areia ter sido mais eficiente (Carvalho Filho, 2008; Costa, 2003; Donagemma et al., 2003; Lima et al., 1990) (Tabela 2). Desta forma, indica que os valores elevados de  $D_p$  são condizentes com a natureza ferrífera do material de origem. As partículas sedimentam-se mais rapidamente e, mesmo ao se aplicar a Lei de Stokes, o cálculo do tempo de sedimentação pode superestimar os valores de silte. Assim, os valores da relação silte/argila de alguns solos que tem características latossólicas os fazem ser classificados, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como não sendo Latossolos (Costa, 2003). Contudo, o mesmo solo é formado de rochas de intercalações de filitos e dolomitos, que apresentam granulometria média, podendo gerar solos, ou influenciar em sua formação, com características morfológicas siltosas, como encontrado no perfil em questão (Tabela 2 e Figura 8).



\* A escala litológica não é real

\* CX1: CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico; CX2: CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico; CX3: CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico; CX4: CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico; CX5: CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico.

**Figura 8** Perfil topográfico da sequência de solos

Podemos observar, então, que foram obtidos valores de médios a elevados para silte, variando entre 255 e 746 g kg<sup>-1</sup>. Em CX1, os valores de silte se elevam, conforme a proximidade com o material de origem, com valores de 702 g/kg, 707 g/kg e 746 g/kg em Ap, Bi e BC respectivamente. Em CX5, os valores de silte também são elevados, variando entre 432 g kg<sup>-1</sup>, 482 g kg<sup>-1</sup>, 552 g kg<sup>-1</sup> e 665 g kg<sup>-1</sup> em Ap, Bi, 2Bi e 3BC e 3BC respectivamente. É possível observar uma grande variação de Bi para 2Bi, o que pode ser explicado pela presença de descontinuidade entre os horizontes, com mudança morfológicas e de material, uma possível evidência de retrabalhamento de material ao longo do perfil. O mesmo pode ser dito dos teores de argila, que variaram de 301 g kg<sup>-1</sup> e 260 g kg<sup>-1</sup> em Ap e Bi para 205 g kg<sup>-1</sup> e 159 g kg<sup>-1</sup> em 2Bi e 3BC (Tabela 2).

Os resultados de argila dispersa em água variaram de 10 a 47 g kg<sup>-1</sup> (exceto em CX1, que teve valores mais baixos, possivelmente pelo baixo teor de argila encontrado no material) (Tabela 2). Para CX2 e CX3, os valores de argila dispersa em água apresentam valores maiores nos horizontes superficiais, o que pode ser explicado pela maior concentração de matéria orgânica nestes horizontes (Costa, 2003; Carvalho Filho, 2008) (Tabela 2). O grau de flocculação acompanhou os resultados, que seriam condizentes com Cambissolos mais desenvolvidos, com características latossólicas e o efeito da mineralogia oxídica, variando de 90 a 100% (Tabela 2).

**Tabela 2** Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados

Horiz.	Espess. (cm)	Estrutura	Classe Textural	Areia		Silte	Argila	Silte/Argila	Densidade de Partículas (g/cm-3)	Densidade do Solo (g/cm-3)	Argila Dispersa em Água (g/kg-1)	Grau de Flocculação (%)
				Grossa	Fina							
				-----g/kg-----								
<b>CX1 (CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico)</b>												
Ap	0-41	Forte muito pequena granular	Franco Siltoso	163	119	702	15	45,37	3,086	0,633	0,048	100
Bi	41-107	Fraca pequena e blocos que se desfazem em forte muito pequena granular	Franco Siltoso	154	96	707	43	16,56	3,343	0,825	1,538	96
BC	107-159+	Moderada pequena e muito pequena prismas	Franco Siltoso	138	107	746	9	82,55	3,112	1,175	0,784	91
<b>CX2 (CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico )</b>												
Ap	0-12	Moderada pequena e muito pequena grumos que se desfaz em forte muito pequena granular	Franco Argiloso	190	154	349	307	1,14	2,617	0,913	4,628	98,5
BA	12-29	Fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular	Franco Argiloso	179	153	356	312	1,14	2,555	1,188	4,542	98,5
Bi1	29-55	Fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular	Franco Argiloso	165	145	333	358	0,93	2,487	1,348	0,030	100
Bi2	55-144+	Forte muito pequena e granular	Franco Argiloso	186	153	300	361	0,83	2,677	1,101	0,030	100
<b>CX3 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)</b>												
A1	0-5	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	172	151	393	285	1,38	2,376	0,689	4,176	99
A2	5-25	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	217	176	302	305	0,99	2,508	1,040	4,730	98
Bi	25-152+	Moderada média pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	144	153	352	352	1,00	2,680	1,504	0,004	100

(...continua...)

**Tabela 2** Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados

(...continuação...)

Horiz.	Espess. (cm)	Estrutura	Classe Textural	Areia		Silte	Argila	Silte/Argila	Densidade de Partículas (g/cm-3)	Densidade do Solo (g/cm-3)	Argila Dispersa em Água (g/kg-1)	Grau de Flocculação (%)
				Grossa	Fina							
				-----g/kg-----								
<b>CX4 (CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico)</b>												
Ap	0-57	Forte muito pequena granular	Franco Arenoso	313	243	255	189	1,34	2,501	x	3,442	98
Bi	57-110	Forte muito pequena granular	Franco Arenoso	328	255	248	169	1,47	2,692	x	3,284	98
BC	110-120+	Forte muito pequena granular	Franco Arenoso	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CX5 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférrico típico)</b>												
Ap	0-16	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	99	167	432	301	1,44	2,340	0,891	4,382	99
Bi	16-34	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco	93	165	482	260	1,86	2,418	0,835	4,270	98
2Bi	34-48	Moderado muito pequeno blocos subangulares e muito cascalho	Franco Siltoso	90	153	552	205	2,69	2,512	x	4,332	98
3BC	48-200+	Fraca pequena e muito pequena blocos com estrutura da rocha	Franco Siltoso	77	99	665	159	4,19	2,541	1,302	1,180	99

### 3.2 Características químicas

Observa-se que os valores de pH em água para todos os solos foram superiores ao do pH em KCl (Tabela 3). Assim, o  $\Delta\text{pH}$ , expresso pela relação  $\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ , apresentou valores negativos. Isto indica domínio de carga líquida negativa em todos os perfis e horizontes avaliados. Estes valores, segundo Costa (2003), são comuns em Latossolos e Cambissolos de mesma natureza no Quadrilátero Ferrífero. Os perfis CX1, CX3 e CX4 apresentaram valores de pH em água maiores que 7, porém chegando ao máximo de 7,6, em CX3. Estes solos se aproximam do caráter neutro de pH, tendendo à alcalinidade, sendo classificados como de alcalinidade fraca (CFSEMG, 1999). Os perfis CX2 e CX5 apresentaram os valores de pH em água variando de 5,37 a 6,6, variando entre a acidez média e acidez fraca (CFSEMG, 1999).

Os valores de potássio disponível (K) nos perfis CX1 e CX4 são considerados muito baixos ( $< 15 \text{ mg/dm}^3$ ). Em CX5, foi considerado como médio (entre 41 e 70  $\text{mg/dm}^3$ ) e nos perfis CX2 e CX3, com valores maiores que 70  $\text{mg/dm}^3$ , são considerados como bons para a fertilidade, porém somente nos horizontes A (CFSEMG, 1999). Os valores considerados como baixos e muito baixos, sendo menores que 40  $\text{mg/dm}^3$ , refletem a composição do itabirito (Bigarella, 1994; Oliveira et al., 1983).

Os teores de fósforo disponível (P) nos perfis analisados são caracterizados como baixos, menores que 2,7  $\text{mg/dm}^3$  (CFSEMG, 1999). Baixos valores deste nutriente no solo podem promover restrições ao crescimento das plantas nessa região, como observado por Amaral (2000).

Os teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) foram classificados como de médio a muito bom em todos os horizontes A, com valores variando de 1,87  $\text{cmolc/dm}^3$  a 4,31  $\text{cmolc/dm}^3$ . O valor de 4,31  $\text{cmolc/dm}^3$  encontrado no perfil CX2 é o único valor caracterizado como muito bom (CFSEMG, 1999). Porém, os valores tendem a decrescer nos horizontes B em todos os perfis, com valores variando nas classes muito baixo a médio. Os teores de Ca elevados sugerem que foram originados de itabiritos carbonáticos (DNPM, 1986).

Os valores de magnésio ( $Mg^{2+}$ ) são classificados como muito bom ( $> 1,50$   $cmolc/dm^3$ ) nos horizontes superficiais dos perfis CX1, CX2, CX3 e CX5 e como bom (entre 0,91 e 1,50  $cmolc/dm^3$ ) no perfil CX4 (CFSEMG, 1999). É possível inferir que a origem do magnésio pode estar relacionada às rochas carbonáticas encontradas na área (DNPM, 1986).

A acidez trocável ( $Al^{3+}$ ) foi baixa em todos os perfis nas camadas superficiais, com valores menores que 0,20  $cmolc/dm^3$ . Porém, no perfil CX3, o horizonte Bi apresentou valor de 0,45  $cmolc/dm^3$ , sendo baixo e em CX5 os valores variaram para médio no horizonte Bi e para bom nos horizontes 2Bi e 3BC.

A CTC efetiva variou de médio a bom nos horizontes superficiais de todos os solos, com valores entre 3,73  $cmolc/dm^3$  e 7,72  $cmolc/dm^3$ , porém foi considerada baixa para os outros horizontes. Destaca-se novamente o perfil CX2, onde os resultados foram de médio a bom em todos os horizontes (CFSEMG, 1999). Contudo, para a CTC total (T), os valores foram baixos em todos os perfis, sendo menores que 10,86  $cmolc/dm^3$  (CFSEMG, 1999). Estes valores de CTC total estão condizentes com a descrição feita por Costa (2003) e Oliveira et al. (1992). É possível ressaltar que para os valores de soma de bases, CTC efetiva e CTC total, os maiores valores são encontrados nos horizontes superficiais, o que indica uma participação substancial da matéria orgânica nessas características (Castro, 2003).

**Tabela 3** Resultados químicos dos perfis dos solos estudados

CX1 (CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico)															
Hz.	pH		$\Delta$ pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O
	Água	KCl													
Ap	7,3	6,3	-0,99	25,31	0,33	1,87	1,81	0,05	1,9	3,74	3,79	5,64	66,4	1,32	1,52
Bi	6,3	5,7	-0,61	16,78	0,36	0,1	0,1	0,04	4,13	0,24	0,28	4,37	45,56	14,29	0,55
BC	6,4	5,7	-0,72	33,84	0,25	0,38	0,12	0,06	3,5	0,59	0,65	4,09	14,35	9,23	0,64
CX2 (CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico )															
Hz.	pH		$\Delta$ pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O
	Água	KCl													
Ap	6,6	5,6	-1,05	82,88	1,14	4,31	2,25	0,05	1,82	6,77	6,82	8,59	78,84	0,73	3,28
BA	6,3	5,1	-1,27	18,91	0,64	1,99	0,95	0,05	2,29	2,99	3,04	5,28	56,6	1,64	1,17
Bi1	6,2	5,3	-0,95	10,38	1,37	1,16	0,38	0,03	2,12	4,5	4,55	5,88	76,46	1,1	1,82
Bi2	6,1	5,6	-0,51	8,25	2,19	0,75	0,24	0,05	1,5	1,01	1,06	2,51	40,29	4,72	0,4
CX3 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)															
Hz.	pH		$\Delta$ pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O
	Água	KCl													
A1	7,6	6,8	-0,82	74,36	3,84	4,94	2,51	0,08	1,16	7,64	7,72	8,8	86,83	1,04	6
A2	7,6	5,9	-1,69	29,58	1	2,64	1,78	0,05	1,38	4,5	4,55	5,88	76,46	1,1	1,82
Bi	5,9	4,1	-1,77	6,12	0,69	0,12	0,1	0,45	3,35	0,24	0,69	3,59	6,57	65,22	0,57
CX4 (CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico)															
Hz.	pH		$\Delta$ pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O
	Água	KCl													
Ap	7,0	5,8	-1,16	21,05	1,01	2,26	1,39	0,03	1,09	3,7	3,73	4,79	77,33	0,8	1,32
Bi	7,1	5,3	-1,83	8,25	1,96	0,82	0,56	0,06	1,56	1,4	1,46	2,96	47,34	4,11	0,56

(...continua...)

**Tabela 3** Resultados químicos dos perfis dos solos estudados

(...continuação...)

CX5 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)															
Hz.	pH		$\Delta$ pH	K	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O
	Água	KCl													
Ap	6,53	5,34	-1,19	46,63	1,9	3,29	2,04	0,08	1,96	5,45	5,53	7,41	73,54	1,45	3,95
Bi	5,82	4,08	-1,74	23,18	1,23	0,56	0,79	0,39	4,42	1,41	1,8	5,83	24,18	21,67	1,45
2Bi	5,47	4,00	-1,47	16,78	1,26	0,27	0,4	1,11	4,04	0,71	1,82	4,75	15,01	60,99	1,41
3BC	5,37	4,14	-1,23	6,12	0,66	0,1	0,1	1,11	2,32	0,22	1,33	2,54	8,49	83,46	0,25

Os valores de saturação por  $Al^{3+}$  foram baixos em todos os perfis, com valores menores que 15%. Contudo, nos perfis CX3 e CX5 foram encontrados valores considerados altos. Em CX3, o horizonte Bi teve 65,22% de saturação por  $Al^{3+}$  e em CX5 os horizontes 2Bi e 3BC com valores de 60,99 e 83,46%, além de 21,67% em Bi (CFSEMG, 1999). Os valores encontrados em CX5 reforçam a teoria de ser um solo retrabalhado, onde o material superficial é diferente do encontrado no horizonte 2Bi. Os valores elevados de saturação por  $Al^{3+}$  expressam a toxidez do alumínio, indicando a percentagem de cargas negativas do solo que está sendo ocupada pelo  $Al^3$  trocável, próximo ao pH de cada solo (Tabela 3).

Os valores de matéria orgânica (MO) são considerados baixos nos perfis CX1 e CX4 e bons nos perfis CX2, CX3 e CX5. O perfil CX3 superficial apresentou, no horizonte A1, o maior teor de MO, com 6 dag  $kg^{-1}$ .

Os dados de micronutrientes para o solo são apresentados na Tabela 4. Observa-se que os valores de Zinco disponíveis foram baixos em quase todos os perfis. Somente os perfis CX2 e CX3 alcançaram valores considerados bons e altos, com 1,85  $mg/dm^3$  e 2,27  $mg/dm^3$  respectivamente, em seus horizontes superficiais (Tabela 4). Os valores de Boro disponível foram considerados na sua maioria, muito baixos e baixos. Somente o perfil CX2 obteve valores altos, com 1,28  $mg/dm^3$ . Os valores de manganês, ferro e cobre disponíveis foram considerados alto em todos os horizontes, com valores superiores a 12  $mg\ dm^{-3}$  (manganês), 45  $mg\ dm^{-3}$  (ferro) e 1,8  $mg\ dm^{-3}$  (cobre). Os resultados apresentados podem ser comparados ao encontrados em outros trabalhos (Castro, 2003 e Oliveira et al. 1983), evidenciando que o conteúdo de elementos traços em solos com influência do itabirito e de rochas ferruginosas varia, de forma a dificultar a generalização quanto ao conteúdo (Tabela 4).

**Tabela 4** Resultados químicos dos perfis de solo selecionados

CX1 (CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico)							
Hz.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	mg/L			mg/dm3			
Ap	1,75	0,92	35,64	457,09	2,57	0,19	51,49
Bi	1,05	0,68	38,24	439,44	1,53	0,21	70,79
BC	0,96	0,91	39,34	630,2	1,44	0,12	35,9
CX2 (CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico )							
Hz.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	mg/L			mg/dm3			
Ap	21,9	1,85	51,48	561,01	1,82	1,28	9,98
BA	18,36	0,72	48,09	184,42	2,17	0,21	12,05
Bi1	26,78	0,9	62,65	99,04	2,06	0,27	7,81
Bi2	8,48	0,29	59,61	99,68	1,93	0,15	9,77
CX3 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)							
Hz.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	mg/L			mg/dm3			
A1	30,4	2,27	21,09	411,16	0,99	0,21	12,89
A2	26,78	0,9	62,65	99,04	2,06	0,27	7,81
Bi	7,9	0,65	59,79	19,9	1,69	0,08	15,28
CX4 (CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico)							
Hz.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	mg/L			mg/dm3			
Ap	35,23	0,69	103,39	92,2	1,38	0,02	7,91
Bi	29,01	0,34	142,08	27,89	2	0,1	8,17
CX5 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)							
Hz.	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	mg/L			mg/dm3			
Ap	35,8	0,9	63,32	205,82	1,7	0,08	13,35
Bi	23,32	0,71	317,1	47,57	1,57	0,11	10,25
2Bi	35	0,58	335,96	26,39	1,61	0,23	10,41
3BC	24,3	0,47	24,37	5,01	1,2	0,06	10,3

### 3.3 Ataque Sulfúrico

Na tabela 5 são apresentados os resultados da análise dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  e a relação  $K_i$ ,  $K_r$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Tabela 5** Teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $K_i$ ,  $K_r$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$

Horiz.	ATAQUE SULFÚRICO %					$K_i$	$K_r$	RELAÇÃO
	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{\%P}_2\text{O}_5$			$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$
<b>CX1 (CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico)</b>								
Ap	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	46,400	0,753	7,140	1,000	0,014	0,238	0,046	0,242
BC	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CX2 (CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico)</b>								
Ap	-	-	-	-	-	-	-	-
BA	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi1	22,600	2,852	15,045	13,400	0,314	1,514	0,772	1,045
Bi2	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CX3 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico)</b>								
A1	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	22,501	2,812	15,507	16,419	0,406	1,800	0,933	1,082
<b>CX4 (CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico)</b>								
Ap	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	11,000	0,612	7,905	6,600	0,055	1,419	0,751	1,128
<b>CX5 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico)</b>								
Ap	-	-	-	-	-	-	-	-
Bi	21,800	1,021	13,770	15,600	0,608	1,926	0,957	0,992
2Bi	-	-	-	-	-	-	-	-
3BC	-	-	-	-	-	-	-	-

$$K_i = 1,7x (\% \text{SiO}_2 / \% \text{Al}_2\text{O}_3) \quad K_r = 1,7x (\% \text{SiO}_2 / (\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,6375x \% \text{Fe}_2\text{O}_3))$$

$$\text{Relação } \text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = [(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3) \times 1,57]$$

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foram classificados em três classes. O perfil CX4 apresentou 11% (110 g  $\text{kg}^{-1}$ ), caindo na faixa de médio teor de óxido de ferro (80 g  $\text{kg}^{-1}$  a < 180 g  $\text{kg}^{-1}$ ), sendo mesoférico. Os perfis CX2, CX3, CX5 obtiveram 226 g  $\text{kg}^{-1}$ , 225 g  $\text{kg}^{-1}$  e 218 g  $\text{kg}^{-1}$  respectivamente sendo classificados como de alto teor de óxido de ferro (180 g  $\text{kg}^{-1}$  a < 360 g  $\text{kg}^{-1}$ ). O perfil CX1 apresentou valor de 464 g  $\text{kg}^{-1}$ , sendo um solo com alto teor de óxido de ferro, sendo classificado como perférico ( $\geq 360$  g  $\text{kg}^{-1}$ ) (EMBRAPA, 2013). O valor de óxido de ferro do perfil CX1 demonstra a composição

férrica dos dolomitos da Formação Gandarela. Porém os valores não são elevados como os encontrados nos estudos de Carvalho Filho (2008); Costa (2003) e Oliveira et al. (1992), com valores superiores a  $700 \text{ g kg}^{-1}$  em solos formados sobre itabiritos do Quadrilátero Ferrífero. A possível explicação seria a influência dos filitos na formação dos solos estudados, sendo uma área marginal com interferência de diferentes grupos e podendo ser um material pré-intemperizado (Costa, 2003).

Os teores de  $\text{TiO}_2$  (Tabela 5) variaram de 0,61% a 2,85% ( $6,1 \text{ g kg}^{-1}$  a  $28,5 \text{ g kg}^{-1}$ ), como observados em outros trabalhos. Os valores de titânio tendem a ser variados por todo Quadrilátero Ferrífero, podendo indicar a diferenciação da composição química do material de origem, ao não ser possível indicar uma interferência da formação dos solos nos valores de  $\text{TiO}_2$  (Castro, 2003).

Os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tabela 5) variaram entre 71,4 a  $155,1 \text{ g kg}^{-1}$ . Estes valores foram observados em outros trabalhos (Castro, 2003; Carvalho Filho, 2008) e foram obtidos valores menores por Amaral (2000), Curi et al.; (1987) e Ker (1995). É possível indicar o filito como sendo responsável pelos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  encontrados nos solos estudados.

Os valores de  $\text{SiO}_2$  (Tabela 5) foram de  $10 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $134 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $164,2 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $66,0 \text{ g kg}^{-1}$  e  $150 \text{ g kg}^{-1}$  em CX1, CX2, CX3, CX4 e CX5 respectivamente. Estes valores foram muito superiores ao encontrados por Castro (2003), Fontes et al. (2000) e Ker (1995), com valores de  $6 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $9 \text{ g kg}^{-1}$  e  $9 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente. Porém Donagemma (2000) encontrou valores de  $124,3 \text{ g kg}^{-1}$ , indicando que o material de origem é rico em sílica e para o perfil CX1 é possível inferir, conforme Melfi et al. (1976), que o menor valor de  $\text{SiO}_2$  está relacionado a uma dissolução seletiva de quartzo em ambientes ricos em ferro. Os teores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  variaram entre 0,1 a  $6 \text{ g kg}^{-1}$ . Este elemento demonstra pouca diferença entre solos derivados de diferentes materiais de origem (Costa 2003).

As relações de coeficiente de intemperismo  $K_i$  e  $K_r$  (Tabela 5) permitem caracterizar a fração argila quanto à predominância mineral,  $K_i > 0,75$  e  $K_r > 0,75$  como caulínítico,  $K_i > 0,75$  e  $K_r \leq 0,75$  como caulínítico – oxídico e  $K_i \leq 0,75$  e  $K_r \leq 0,75$  como gibbsítico – oxídico (EMBRAPA, 2013). Solos com  $K_i \geq 2,2$  são indicados como solos pouco intemperizados e com  $K_i < 2,2$  mais intemperizados, seguindo os estágios de intemperismo do solo. Desta forma, quando menor o valor de  $K_i$ , mais

desenvolvido é o solo. Os perfis tiveram valores de  $K_i$  variando de 0,238 a 1,926, com o menor valor para o perfil CX1, sendo considerado gibbsíticos – oxidicos. Porém, esta definição está intimamente ligada à natureza geológica do material de origem. Para os solos estudados, o material de origem é naturalmente empobrecido, não sendo então possível utilizar o valor de  $K_i$  para determinar o desenvolvimento dos Cambissolos estudados.

### 3.4 Classificação dos Solos

Os cinco perfis selecionados para os estudos foram classificados como sendo Cambissolos Háplicos, mesmo todos possuindo estruturas bem desenvolvidas,  $K_i < 2,2$  e espessura suficiente para serem classificados como Latossolos. A concentração de silte faz com que a relação silte/argila seja maior que 0,7 ( $< 350$  g/kg de argila) ou maior que 0,6 ( $\geq 350$  g/kg de argila). Desta forma, os horizontes B são classificados como incipientes (EMBRAPA, 2013).

O perfil CX1 foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico (CXj). O terceiro nível categórico foi classificado como perférico ao apresentar atividade de argila baixa ( $< 27$  cmolc/kg) e teor de  $Fe_2O_3$  maior que  $360$  g  $kg^{-1}$ . Foi considerado como latossólico no quarto nível categórico por possuir o horizonte B incipiente com características morfológicas similares às do B latossólico (EMBRAPA, 2013).

O perfil CX2 foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico (CXbef). O terceiro nível categórico foi classificado como Tb Eutroférico ao apresentar argila de atividade baixa ( $> 27$  cmolc/kg), saturação por base alta ( $V > 50\%$ ) e teores de  $Fe_2O_3$  de  $226$  g  $kg^{-1}$ . Foi considerado como latossólico por possuir o horizonte Bi com características morfológicas similares às do B latossólico (EMBRAPA, 2013).

Os perfis CX3 e CX5 foram classificados como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico. Foi classificado no terceiro nível categórico como Tb Distroférico ao apresentar atividade baixa da argila ( $< 27$  cmolc/kg) a saturação por base baixa ( $V < 50\%$ ) e teores de  $Fe_2O_3$  de  $225$  g  $kg^{-1}$ . Foi considerado como típico ao não apresentar contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície ou outra característica diferencial (EMBRAPA, 2013).

O perfil CX4 foi classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico. Apresentou argila de atividade baixa ( $< 27$  cmolc/kg) e saturação por base baixa ( $V > 50\%$ ). Com  $110 \text{ g kg}^{-1}$  de teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , não foi classificado como distroférico. Foi considerado como típico ao não apresentar contato lítico entre 50 e 100 cm da superfície ou outra característica diferencial (EMBRAPA, 2013).

### 3.5 Uso e relação solo-ambiente

Conicionados à grande diferença na composição das rochas encontradas nas unidades litológicas da área, podemos destacar dois conjuntos pedológicos de características distintas, quimicamente e morfologicamente. Em um caminhamento livre pela região, foi possível ressaltar cores muito diferentes, cores escurecidas, dos solos intimamente ligados aos dolomitos ferruginosos, como o perfil CX1 e CX2, em contraste nítido com solos formados sobre as rochas da Formação Cercadinho, com tonalidades amareladas ou vermelho-amareladas (Carvalho Filho, 2008). Essa transição entre uma formação e outra é muitas vezes abrupta, com solos contrastando as cores ao longo de uma mesma sequência, independente de mudanças topográficas abruptas (Figura 18).

Essas mudanças não somente afetam a cor apresentada pelos solos, mas também sua constituição química. Os solos relacionados à Formação Gandarela, distinguem-se pelos teores de óxidos de ferro e de manganês, com níveis elevados, podendo chegar a  $713 \text{ g kg}^{-1}$  para o ferro e  $48,6 \text{ g kg}^{-1}$  para o manganês (Carvalho Filho, 2008). Os solos estudados neste trabalho estão localizados em área de contato entre duas formações, a Gandarela e a Cercadinho, ambas com rochas com altos teores de ferro, porém a influência deste contato não permite valores tão expressivos como os apresentados anteriormente, mas ainda caracterizados como alto teor de óxidos de ferro, como no perfil CX1, com valores de  $464 \text{ g kg}^{-1}$ .

Todos os solos estudados foram classificados como Cambissolos, a maioria com caráter férrico ou perférico, o que confirma os padrões encontrados por outras pesquisas (Carvalho Filho, 2008; Costa, 2003), onde o predomínio de Cambissolos da região, em comparação as ocorrências de Latossolos, pode ser explicável por uma provável dificuldade de dispersão de materiais de natureza ferruginosa, pela união das partículas coloidais formando um material de maior tamanho (Curi, 1983) e

resistência à alteração modificando os teores de argila do material, bem como a distribuição geográfica dos Latossolos na área (Carvalho Filho, 2003).

Além da composição dos solos ferruginosos poder influenciar na ocorrência de Cambissolos, o terreno da área tem forte influência em sua formação. Os solos estudados estão todos localizados em uma estrada de declividade forte ondulada e montanhosa, formando morros alongados, onde a movimentação do relevo é maior, possivelmente com rampas coluvionares de pequena declividade, onde a mistura de material rolado é observada no retrabalhamento de material, como no perfil CX5 e também na presença de pedregosidade, nos perfis CX3 e CX4 (Figura 8).

É possível salientar que, devido ao relevo acidentado e às difíceis condições de acesso, a área apresenta grandes trechos ainda com vegetação nativa, ou bem preservada. Na região dos perfis, pela facilidade de acesso das estradas, a cultura de eucalipto foi historicamente plantada.

O perfil CX1 (CXj), localizado na área de maior altitude, é o único perfil localizado na Formação Gandarela, onde ocorrem as litologias de dolomito, itabirito dolomítico, filito dolomítico e argiloso. O horizonte Bi apresenta-se compactado e espelhado e, no BC, é observado material semelhante a minério de ferro. O solo apresenta restrição de uso em função da topografia movimentada e adensamento nos horizontes Bi e BC, além de apresentar baixa fertilidade natural, sendo classificado como distrófico. O uso atual, eucalipto, é adequado para as características do solo, principalmente pela localização em encosta (Figura 8).

O perfil 2 (CXbef) localiza-se na meia encosta, sob litologias da Formação Cercadinho, com quartzitos ferruginosos com intercalações de filito e dolomito (Figura 8). Apresenta características morfológicas semelhantes a CX1. Este solo apresentou elevada saturação por bases em todos os horizontes, com valores variando de 56,6% a 78,84% nos horizontes Ap, BA e Bi1. Porém, é um solo fortemente drenado e sua localização em relevo forte ondulado é a principal limitação de uso.

O perfil 3 (CXbdf) encontra-se em meia encosta, sob litologias da Formação Cercadinho, com quartzitos ferruginosos com intercalações de filito e dolomito (Figura 8). Apresenta horizonte A escuro, com estrutura em blocos forte, profundidade de 25 cm e elevada saturação por bases ( $V\% > 50$ ), sendo classificado com eutrófico.

Apresenta altos teores de matéria orgânica no A1 (6%), que devem estar relacionados à camada de serrapilheira presente na superfície. Logo abaixo, o horizonte Bi apresenta caráter distrófico, com V% igual a 5,6%, o que indica baixos teores de nutrientes associados a ácidos do pH em água e KCl, 5,9 e 4,1, respectivamente. O  $\Delta$ pH negativo nos três horizontes indica o domínio de carga líquida de superfície negativa. Desta forma, o uso do solo estaria condicionado a uma fertilização, porém dificultado pela localização na encosta.

O perfil 4 (CXbd) está localizado no terço médio da encosta, nas litologias da Formação Cercadinho, com quartzitos ferruginosos com intercalações de filito e dolomito (Figura 8). É o perfil de menor profundidade efetiva, textura franco arenosa e cascalhento, com presença de matações no horizonte BC. Apresenta horizonte A espesso, com 57 cm de espessura e valores de pH em água  $> 7,0$ , o que caracteriza o solo como neutro. O  $\Delta$ pH negativo indica o domínio de carga líquida negativa de superfície. A presença de cascalho, em todo perfil de solo, facilita a dinâmica de água, mas apresenta limitações quanto ao preparo do solo e uso em atividades agrícolas, tornando-se inviável para o plantio de culturas anuais e com limitações a culturas perenes. É um material propício ao uso para pavimentação de estradas ou para ser destinado como área de preservação.

O perfil CX5 (CXbdf) apresenta características morfológicas bem distintas dos anteriores (Figura 8). Apresenta evidências de retrabalhamento de material ao longo do perfil, com a presença de descontinuidade entre os horizontes apresentando sequência de horizontes Ap, Bi, 2Bi e 3BC. A diferença entre os materiais pode ser observada na descontinuidade nos teores de argila e silte ao longo do perfil, passando de 259 g kg<sup>-1</sup> de argila e 430 g kg<sup>-1</sup> de silte no horizonte Bi, para de 665 g kg<sup>-1</sup> e 158,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente no horizonte 3BC. O solo apresenta cor amarelada, textura franco argilosa com presença de cascalhos em todo perfil e fragmentos de filito e quartzito. As características do solo apontam para um solo com dificuldades ao uso e manejo devido à sua alta heterogeneidade e fragilidade.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os perfis estudados não apresentaram grandes variações em relação a sua classificação, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, todos sendo classificados como Cambissolos. Porém, como demonstrado neste trabalho, a grande variabilidade das propriedades dos solos, sejam morfológicas ou químicas, aponta a região como grande potencial para o avanço nos estudos pedológicos e ambientais.

As diferentes litologias, no geral, tiveram maior influência nas propriedades dos solos estudados, condicionando solos mineralmente empobrecidos, advindos de um material de origem pré-intemperizado com constituição ferrífera e cores escurecidas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELLOS, M. M.; MAIA, S; MEIRELES, C; PIMENTEL, D. S. Elaboração da Trilha Interpretativa no Morro das Andorinhas: Uma Proposta de Educação Ambiental no Parque Estadual da Serra da Tiririca, RJ. Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, n. 1, v. 1, 2013. Niterói – RJ.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico. Revista IGEOG/USP. Caderno de Ciências da Terra. São Paulo, USP, n. 13, 1971. pp. 1-27.

CARVALHO FILHO, A. Solos e ambiente do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. Lavras: UFLA, 2008. 245p. Tese (Doutorado)

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação/ Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., editores. – Viçosa, MG, 1999. 359 p.: il.

COSTA, S.A.D. Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 71p. (Tese de Mestrado)

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1999. 236 p.

CURI, N. 1983. Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University. 158p. (Tese Ph.D.)

DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. F.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Advances in Agronomy*, v. 23, p. 51 -87, 1971.

DALRYMPLE, J.B., Blong, R.J. and Conacher, A.J. 1968. An hypothetical nine-unit land surface model. *Zeitschrift für Geomorphologie* 12: 60-76.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil. V. 4. II. Brasília, 1986.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solos. Organizadores: Guilherme Kangussú Donagemma. [et al.]. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DOOR II, J. VAN N. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS Professional Paper 614-A, 1969. 110p.

DOOR II, J. VAN N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J.; REYNAERSON, G. A. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM, 1957. P. 7-58. (DFPM, avulso, 81). Trad. A. L. M. Barbosa.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos – SNLCS. Anais da III Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola. Minas Gerais, 1988.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 225p.

EMBRAPA, SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Release 10.1. Redlands, California, 2014.

FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, T. S. de; COSTA, L. M. da; CAMPOS, A. A. G. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian Soils from different parent material. 2000. Geoderma 96:81-99.

GEDA, UFMG. Movimento Pela Criação Do Parque Nacional Águas Do Gandarela. Belo Horizonte: 3 de abril de 2012.

Disponível em: <<https://gedaufmg.wordpress.com/2012/04/03/movimento-pela-criacao-do-parque-nacional-aguas-do-gandarela-2/>>. Acessado em: 27 de maio de 2017.

GUERRA, Antônio José Teixeira; MARÇAL, Mônica dos Santos. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

HOEFT, R.G.; WALSH, L.M.; KEENEY, D.R. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Science Society of American Proceedings, v.37, p.401-404, 1973.

KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa: UFV, 1995. 181p. il. Tese (Doutorado)

KLEIN, C.; HURLBUT JR., C.S. Manual of Mineralogy. 21st ed/after James D. Dana. 1993. 682p

MACIEL, Ana Beatriz Câmara; LIMA, Zuleide Maria Carvalho. O conceito de paisagem: diversidade de olhares. Sociedade e Território, Natal, v. 23, nº 2, p.159-177, jul./dez.2011.

MELFI, A.J., PEDRO, G.; NALOVIC, L.; QUEIROZ NETO, J.P. Étude sur l'alteration géochimique des itabirites du Brésil. Dissolution du quartz et instabilité de l'hématite primaire em condition tropicalles hydrolysantes. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 3:179-192, 1976.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. Soil Research, v. 4, p. 183-198, 1935.

OLIVEIRA, A. R. Relações solo-paisagem e modelo de predição de solos da bacia do córrego Marinheiro, Sete Lagoas (MG) [manuscrito] / Amanda Ribeiro de Oliveira. – 2016 (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, G.A.I; CLEMENTE, L.C.; VIAL, D.S. Excursão à Mina de Ouro de Morro Velho. In Anais, II Simp. Geol. Minas, Belo Horizonte, Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais, Bol. N. 3, 1983, p. 497-505

Projeto APA Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Antônio I. Medina, Allaoua Saadi. - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 54p.

Projeto APA Sul RMBH: geologia, mapa geológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Sérgio L. da Silva (Org.) Eduardo A. Monteiro, Orivaldo F. Baltazar, Márcia Zucchetti – Belo Horizonte. SEMA/CPRM, 2005. 64p.

QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B.van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. R. Bras. Ci. Solo, 3:184-187, 1979.

REID, P.H. & COPELAND, C., Tentative analytical methods used for the testing of farmers samples by the soil testing Division. North Carolina Department of Agriculture, Raleigh, 1966.

RENGER, F.S.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N. Evolução sedimentar dos Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Geonomos, Belo Horizonte, v.2, n.1, p.1-11, 1994.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P.; REZENDE, S.B. 1988. Susceptibilidade magnética em Latossolos do sudeste e sul do Brasil. In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação da aptidão agrícola, 3, Rio de Janeiro, 1988. Anais... Rio de Janeiro, EMBRAPA – SNLCS/SBCS. p. 233-258.

RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. Soil Science, v. 82, p. 441-445, 1956.

SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

SANTOS, H. G. dos; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C. dos; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SILVA, C. L.; AGUIAR, B. F.; DIAS, J. B.; CARMO, V. A.; COSTA, A. M.; JARDIM, C. Análise da paisagem a partir da estratificação ambiental: estudo da Bacia do Corrego Maria Casimira André do Mato Dentro/MG. Revista Geonorte. Manaus, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 518-529, 2012

SILVA, J.R.; SALGADO, A.A.R. Mapeamento das unidades de relevo da Serra do Gandarela – Quadrilátero Ferrífero/MG. *Geografias*, v. 5, p. 107-125, 2009.

TROEH, F.R. Landform equations fitted to contour maps. *American Journal of Science*, v.263, p.616-627, 1965.

VETTORI, L. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 34p. (Boletim Técnico, 7).

## CAPÍTULO 2

# CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS EM UMA TOPOSSEQUÊNCIA NA BACIA DO CÓRREGO MARIA CASIMIRA, SERRA DO GANDARELA - MG

### RESUMO

O solo é a coleção de corpos naturais que são constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas. São tridimensionais e dinâmicos, podendo ser formados de materiais minerais e orgânicos. O arranjo dos solos constitui um espaço poroso formado por fatores como a mineralogia, a granulometria das partículas, onde os processos pedogenéticos atuam, na presença de material orgânico, com a atividade dos organismos e por atividades antrópicas. O espaço poroso é responsável por determinar como a dinâmica da água, dos gases e de nutrientes se comporta pelo corpo do solo. Esta dinâmica é controlada pela energia da água dentro dos poros e pode ser estudada através da caracterização físico-hídrica dos solos. Uma caracterização físico-hídrica é relevante para se entender quais propriedades são fundamentais para projetos de manejo e de conservação de solos além da maior compreensão da lixiviação de nutrientes e da evolução pedogenética dos solos. Desta forma, o objetivo deste estudo foi realizar a caracterização físico-hídrica em uma sequência de solos na bacia do Córrego Maria Casimira, localizado em Santa Bárbara (MG), a partir da observação em campo e análises laboratoriais. Os Cambissolos estudados na bacia apresentaram valores de retenção de água distintos, que demonstraram que cada solo apresenta características próprias, que não podem ser padronizadas pela classe do solo em que foram classificados. Os valores de retenção de água variaram significativamente entre os horizontes dos solos estudados e foram relacionados às diferenças nas características físicas e morfológicas dos solos.

**Palavras-chave:** caracterização físico-hídrica, cambissolos, umidade do solo

## CHAPTER 2

# PHYSICAL - HYDRIC CHARACTERISTICS OF SOILS IN A TOPOGRAPHIC SEQUENCE IN THE MARIA CASIMIRA STREAM WATERSHED

## ABSTRACT

The soil is a collection of natural bodies that are made of solid, liquid and gaseous parts, are three-dimensional and dynamic, and is formed from mineral and organic materials. The arrangement of the soils constitutes a porous space that is characterized by factors such as mineralogy, particle size, where the pedogenetic processes act, in the presence of organic material, with the activity of the organisms and the anthropic activities. The porous space is responsible for the dynamic behavior of water, gases and nutrients in the body of the soil. This dynamic is controlled by the energy of the water inside the pores and can be studied through the physical-water characterization of the soils. A physical-hydric characterization is relevant to understand the properties that are fundamental to the soil management and conservation projects, in addition to a better understanding of nutrient leaching and pedogenetic soil evolution. Thus, the objective of this study was to perform the physical-water characterization in a sequence of soils in the Maria Casimira stream watershed, located in Santa Bárbara (MG), from field observation and laboratory analyses. The soils studied in the watershed presented different values of water retention that demonstrated that each soil presents its own characteristics that cannot be standardized by the soil class in which they were classified. The values of water retention varied significantly between the horizons of the studied soils and were related to the differences in the physical and morphological characteristics of the soils.

**Key-words:** physical-hydric characterization, soil moisture

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas. São tridimensionais e dinâmicos, podendo ser formados de materiais minerais e orgânicos (Santos et al., 2013). O arranjo dos solos constitui um espaço poroso controlado pela mineralogia e pela granulometria das partículas, na presença material orgânico, e pela atividade dos organismos e por atividades antrópicas. O espaço poroso é responsável pelo comportamento da água, dos gases e de nutrientes no solo. Esta dinâmica é controlada pela energia da água dentro dos poros e pode ser estudada através da caracterização físico-hídrica dos solos.

O estudo da dinâmica físico-hídrica de um solo permite entender a capacidade de atrair e reter a água, relacionando-se diretamente com a disponibilidade de água em uma determinada área para desenvolvimento de vegetação natural ou para a produção agrícola. A água das chuvas tem uma dinâmica que varia em quantidade, intensidade e distribuição, de acordo com os ciclos hidrológicos e o solo tem a capacidade de retenção, armazenamento e disponibilização dessa água para as plantas através dos efeitos combinados da textura, da estrutura, da densidade de solo e de partículas, da mineralogia e da matéria orgânica (Reichardt e Timm, 2004; Van Lier, 2010; Reichert et al., 2011; Silva, 2014).

A textura é um dos atributos físicos que define a proporção relativa entre as diferentes frações granulométricas que constituem o solo, a areia, o silte e a argila. As frações do solo interferem na capacidade de retenção de água através do fenômeno de adsorção, fenômeno esse influenciado pela superfície de contato disponível para adesão da água ao solo. De forma geral, quanto mais fina a textura, maior a superfície de contato entre as partículas. No entanto, para um correto entendimento das reações que ocorrem no solo, é importante a avaliação de outros parâmetros (Scheinost, 1997).

A estrutura do solo relaciona-se ao padrão de arranjo das partículas deste solo, formando unidades denominadas de agregados e os espaços entre essas unidades são formados os sistemas de poros (Santos et al.; 2015). Em campo, a estrutura de um solo é descrita através de características morfológicas, sendo avaliada segundo a existência de agregados, sua forma, seu tamanho e seu desenvolvimento. Reconhecer a estrutura de um solo é importante em razão da sua influência no

desenvolvimento e crescimento de plantas, em relação ao crescimento radicular e na capacidade de retenção de nutriente, água e ar, além de influenciar na atividade microbiana e resistência a erosão (Santos et al.; 2015).

A estrutura do solo pode ser influenciada tanto por fatores internos, como mineralogia, textura, teor de matéria orgânica, como fatores externos relacionados ao manejo do solo. Um importante atributo físico do solo relacionado à estrutura é a densidade do solo. A densidade de um solo está diretamente ligada à sua porosidade e à compactação do solo e representa a massa de sólidos presente em um volume definido.

A densidade de partículas é representada pela massa de sólidos e pelo volume dos próprios sólidos, desconsiderando-se o volume do espaço poroso. Está intimamente ligada à mineralogia da massa de sólidos do solo e esta, por sua vez, influencia na constituição do solo de forma a interferir na estrutura. Óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), por exemplo, influenciam na agregação das partículas menores, que podem ser comportar como partículas de tamanho maior. Essa nova estrutura tende a modificar o comportamento das propriedades hidráulicas do solo.

Estudos para avaliar a relação entre a porosidade e a retenção de água pelo solo podem ser realizados através da curva de retenção de água no solo (CRA). Esta curva é expressa ao se relacionar a umidade e o potencial matricial de um solo. Dentre os fatores do potencial matricial, representados pela curva de retenção, destacam-se a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). A capacidade de campo corresponde aos valores entre -6 kPa e -10 kPa para solos tropicais (Andrade & Stone, 2011) e, está relacionada ao limite superior de disponibilidade de água para as plantas, representando o conteúdo máximo de água no solo onde a perda de água por drenagem é mínima (van Lier, 2010). O ponto de murcha permanente corresponde ao teor onde a água é retida sob maior tensão matricial, com potencial matricial na faixa de -1500 kPa. Este teor representa a umidade mínima presente no solo para que uma planta seja capaz de sobreviver. Em uma tensão abaixo do PMP, as raízes da planta não são capazes de superar a força de retenção da água no solo. A diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente representa a água que está disponível para as plantas no solo, sendo denominada de capacidade de água disponível (CAD).

O cálculo da CAD pode ser obtido através da montagem da curva de retenção de água no solo, expressando o relacionamento entre os diferentes teores de água em diferentes tensões em que a água fica retida na matriz porosa do solo. Para a montagem da curva de retenção são utilizados métodos como a mesa de tensão e o psicrômetro (WP4C). A mesa de tensão avalia a retenção de água em baixas tensões medida pela variação gravimétrica (-1 kPa a -66 kPa). O método do psicrômetro WP4C (Dew Point PotentialMeter) avalia a retenção de água em altas tensões, de -0,1 MPa a -300 Mpa (Klein, 2010 & Decagon, 2015). O resultado é modelado através do software SHYPFIT (Peters, 2015).

Neste contexto, o entendimento das características físico-hídricas do solo é importante aliado para o entendimento do comportamento dos solos em relação à disponibilidade e à dinâmica da água em uma determinada área. Desta forma, a aplicação das técnicas de medição apresentadas pode ser usada para inferir sobre a capacidade de uso de um solo e quais seus potenciais e fragilidades quanto ao manejo e conservação.

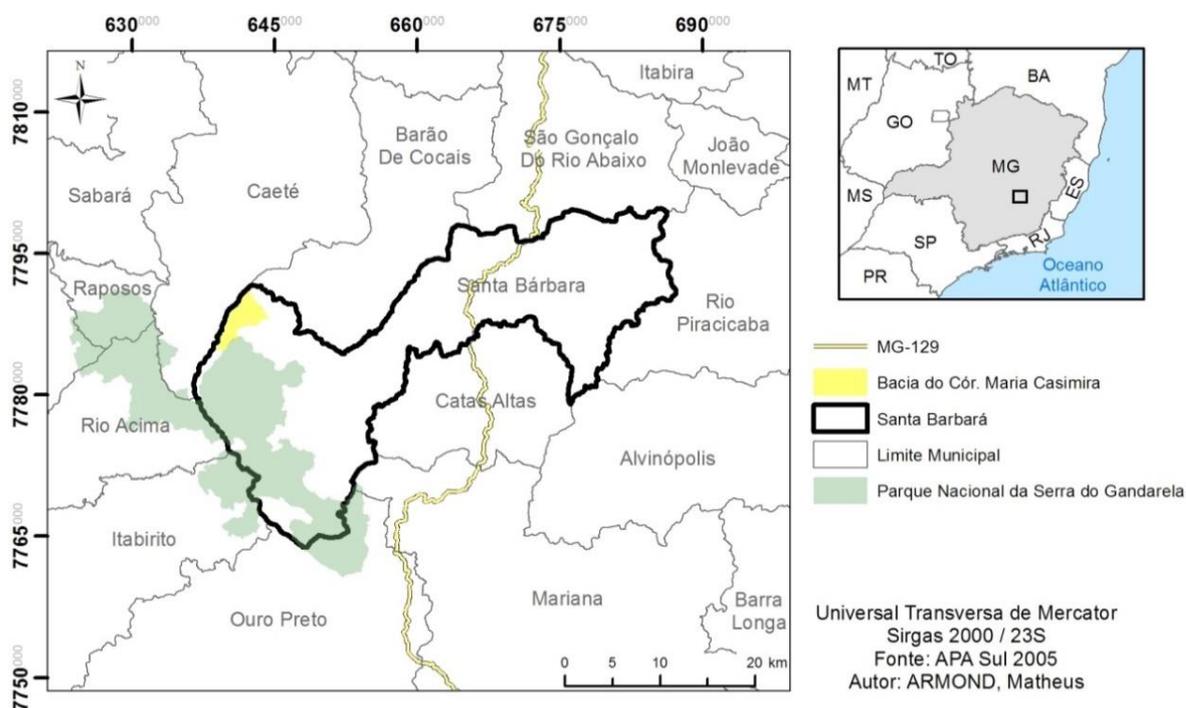
A sub-bacia hidrográfica do Córrego Maria Casimira é um importante contribuinte da Bacia do Rio Piracicaba, localizada no município de Santa Bárbara/MG. Apresenta grande relevância no contexto geográfico por estar inserida na Serra do Gandarela - MG, no quadrilátero ferrífero. Localizada a aproximadamente 65 km de Belo Horizonte, tem uma área de aproximadamente 467 km<sup>2</sup>, com alto grau de conservação (DNPM, 2014). Esta região apresenta solos sobre formações ferruginosas com teores de óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) superior a 36% (Carvalho Filho, 2008; Costa, 2003; Donagemma et al., 2003; Lima et al., 1990) que, além de apresentarem um grande potencial mineral, são importantes áreas de recarga hídrica para a região.

Assim, este estudo objetivou a caracterização físico-hídrica de uma sequência de solos na bacia do Córrego Maria Casimira, na Serra do Gandarela - MG.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

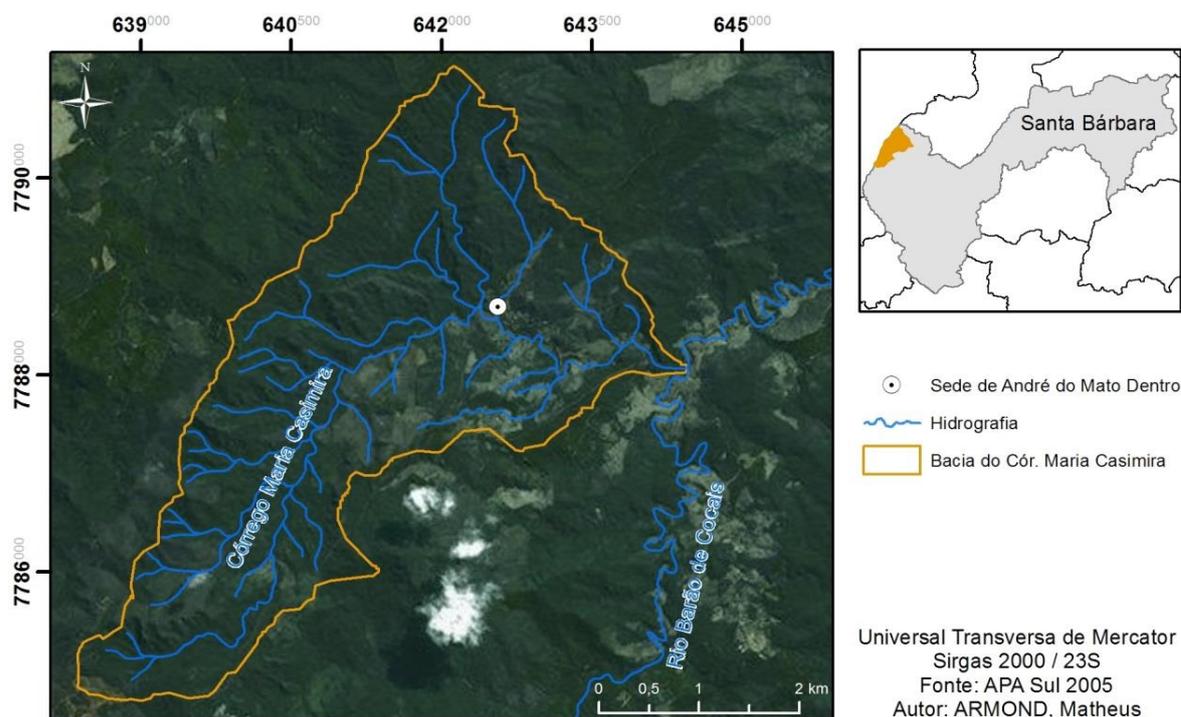
### 2.1 Caracterização da Área

A área de estudos está inserida na bacia do córrego Maria Casimira, no município de Santa Barbara (MG) que, por sua vez, tem parte da área do município dentro do limite estabelecido do Parque Nacional da Serra do Gandarela (Figura 1).



**Figura 9** Mapa de localização de Santa Bárbara e da Bacia do Córrego Maria Casimira

A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na porção noroeste do município, com cerca de 15,2 km<sup>2</sup> e com seu limite sul-sudeste coincidindo com os limites estabelecidos da PARNA da Serra do Gandarela. A bacia não somente estabelece os limites físicos da drenagem local, mas também do distrito de André do Mato Dentro (Silva, 2012), que tem sua sede localizada na porção nordeste da bacia (Figura 2).



**Figura 10** Mapa de localização da Sede de André do Mato Dentro na Bacia do Córrego Maria Casimira

A bacia localiza-se majoritariamente no Supergrupo Minas, Supergrupo que se assenta de forma discordante sobre rochas do Embasamento Cristalino e do Supergrupo Rio das Velhas. Divide-se nos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba, Sabará e Tamanduá (Dorr, 1969). Na bacia não é encontrado o grupo Tamanduá. Os perfis estudados localizam-se entre os Grupos Itabira, na Formação Gandarela, que é composta de mármores, dolomitos, filitos e itabiritos dolomíticos, com intercalações de hematita e zonas manganesíferas, e o Grupo Piracicaba, na Formação Cercadinho. Essa formação é composta de quartzito ferruginoso, quartzito, filito, dolomitos e conglomerados (Dorr et al., 1957).

Geomorfologicamente, a sub-bacia localiza-se na Unidade Morfoestrutural da Depressão Suspensa do Sinclinal Gandarela. A altitude na bacia varia entre 900 m e 1620 m, com declividades variando de plano a forte montanhoso, refletindo-se na densidade de drenagem encontrada na Serra do Gandarela e pode ser observada na grande quantidade de afluentes e subafluentes da forma dendrítica do Córrego Maria

Casimira. A litologia e as unidades de relevo exercem forte influência nos processos de formação dos solos na região do Gandarela.

Os solos da região são classificados como Neossolos Litólicos, Cambissolos Háplicos e Latossolos Vermelhos (APA Sul, 2005), com destaque para os solos com caráter perférrico. Estes apresentam alto teor de óxidos de ferro, superiores ou iguais a  $360 \text{ g kg}^{-1}$ , intimamente ligados ao material de origem, neste caso, o Itabirito.

A cobertura vegetal da bacia é predominantemente de Mata Atlântica, podendo ser mais ou menos preservada de acordo com o uso e ocupação da região, onde são encontradas algumas manchas de plantação de eucaliptos e campo-pastagem (APA Sul, 2005).

A bacia do córrego Maria Casimira encontra-se na faixa de clima tropical úmido com chuvas concentradas no verão. A temperatura média do ar é de  $21,1^{\circ}\text{C}$  e o total de chuva é de  $1491,3 \text{ mm/ano}$  (podendo chegar a  $2000 \text{ mm}$  em alguns trechos devido às influências da altitude no efeito orográfico) segundo os dados das Normais Climatológicas 1961-1990, da estação meteorológica oficial mais próxima à Serra, em Belo Horizonte (Silva et al., 2012).

## **2.2 Identificação e caracterização das amostras de solo**

O trabalho foi realizado em cinco perfis de solos, classificados como Cambissolos, segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013) (Tabela 1).

**Tabela 1** Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados

Horiz.	Espess. (cm)	Estrutura	Classe Textural	Areia		Silte	Argila	Silte/Argila	Densidade de Partículas (g/cm-3)
				Grossa	Fina				
-----g/kg-----									
<b>CX1 (CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico)</b>									
Ap	0-41	Forte muito pequena e granular	Franco Siltoso	163	119	702	15	45,37	3,086
Bi	41-107	Fraca pequena e blocos que se desfazem em forte e muito pequena granular	Franco Siltoso	154	96	707	43	16,56	3,343
BC	107-159+	Moderada pequena e muito pequena prismas	Franco Siltoso	138	107	746	9	82,55	3,112
<b>CX2 (CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico )</b>									
Ap	0-12	Moderada pequena e muito pequena grumos que se desfaz em forte muito pequena granular	Franco Argiloso	190	154	349	307	1,14	2,617
BA	12-29	Fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte e muito pequena granular	Franco Argiloso	179	153	356	312	1,14	2,555
Bi1	29-55	Fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena e granular	Franco Argiloso	165	145	333	358	0,93	2,487
Bi2	55-144+	Forte muito pequena e granular	Franco Argiloso	186	153	300	361	0,83	2,677
<b>CX3 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)</b>									
A1	0-5	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	172	151	393	285	1,38	2,376
A2	5-25	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	217	176	302	305	0,99	2,508
Bi	25-152+	Moderada média pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	144	153	352	352	1,00	2,680

(...continua...)

**Tabela 1** Resultados de algumas características físicas dos perfis selecionados

(...continuação...)

Horiz.	Espess. (cm)	Estrutura	Classe Textural	Areia		Silte	Argila	Silte/Argila	Densidade de Partículas (g/cm-3)
				Grossa	Fina				
-----g/kg-----									
CX5 (CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico)									
Ap	0-16	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco Argiloso	99	167	432	301	1,44	2,340
Bi	16-34	Moderada pequena e muito pequena blocos subangulares	Franco	93	165	482	260	1,86	2,418
2Bi	34-48	Moderado muito pequeno blocos subangulares e muito cascalho	Franco Siltoso	90	153	552	205	2,69	2,512
3BC	48-200+	Fraca pequena e muito pequena blocos com estrutura da rocha	Franco Siltoso	77	99	665	159	4,19	2,541

### 2.3 Análises laboratoriais

Foram realizadas análises de umidade, densidade do solo e curva de retenção de água para os horizontes das 4 classes de solos descritas na Tabela 1. Excetuou-se o horizonte 2B1 do CX5 que, devido à presença de cascalhos, não foi possível a coleta de amostra indeformada do solo. As análises de densidade e umidade foram realizadas conforme proposto por Donagemma et al. (2011). A densidade foi realizada pelo método do anel volumétrico. As amostras foram coletadas em anéis volumétricos de 5 cm de diâmetro por 5 cm de altura, protegidas por ponteiros de borracha nas extremidades, de forma a preservar sua estrutura e umidade.

Para a montagem da curva de retenção de água no solo, foram utilizados dois métodos de avaliação dos potenciais matriciais, para duas faixas de teor de água do solo. Para a parte alta da curva de retenção, faixa de menor potencial matricial (-1 kPa; -2 kPa; -4 kPa; -6 kPa; -10 kPa; -33 kPa e -66 kPa), utilizou-se o método da mesa de tensão da fabricante Ecotech. Para a parte baixa da curva, usou-se o método da psicometria, utilizando-se o equipamento WP4C (Klein, 2010 & Decagon, 2015).

Em laboratório, os anéis coletados foram preparados, retirando-se o excesso de solo de forma a manter o volume de solo correspondente ao máximo de volume do anel. Em uma das extremidades, foi colocado um pano de cetim, de peso conhecido, preso por elástico, para proteger o material ao ser manuseado e levado à mesa de tensão. Os anéis com o solo foram colocados em uma bandeja de fundo plano e adicionada água deionizada de forma gradativa, em três etapas para sua saturação: a primeira etapa com um terço da altura dos anéis, a segunda etapa até a metade e a última até dois terços. Cada etapa foi realizada em um intervalo de 24 horas para a saturação por capilaridade (Figura 3). As amostras foram saturadas até o surgimento de uma lâmina d'água homogênea na parte superior da amostra, indicando a saturação (Figura 3). Após saturação, as amostras foram pesadas para o início das análises na mesa de tensão.



**Figura 11** Saturação das amostras

Fonte: Acervo do Autor

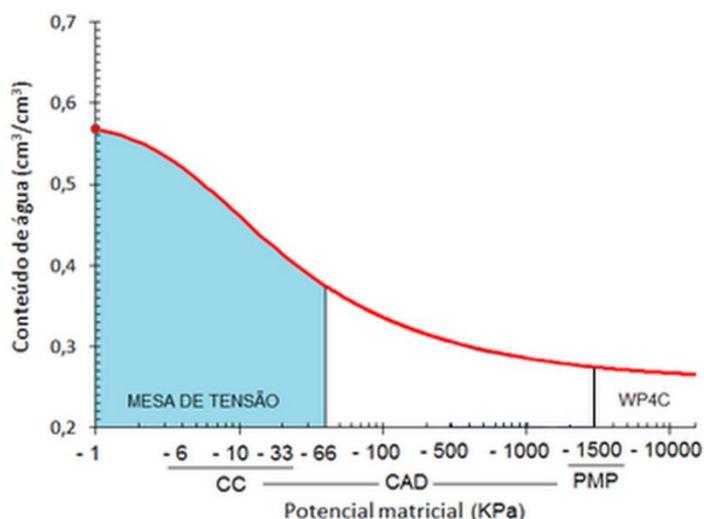
As medições na mesa de tensão foram realizadas no laboratório de Solos e Meio Ambiente do Instituto de Geociências, da UFMG. Após a pesagem as amostras saturadas, foram colocadas na mesa de tensão onde foram aplicadas as seguintes tensões: -1 kPa; -2 kPa; -4 kPa; -6 kPa; -10 kPa; -33 kPa e -66 kPa. Após cada tensão aplicada, o tempo para estabilização da água retida foi de 2 a 5 dias. Após cada estabilização, as amostras foram pesadas e os valores anotados em planilha. Por fim, as amostras foram colocadas em latas de peso conhecido e levadas à estufa a 105 °C por dois dias. O peso final das amostras equivale à massa seca do solo e, por diferença gravimétrica, identifica-se a massa de água armazenada na matriz porosa do solo, para cada tensão aplicada (Figura 4).



**Figura 12** Amostras indeformadas na mesa de tensão

Fonte: Acervo do Autor

Para a parte baixa da curva, foi utilizado o método do psicrômetro WP4C (Dew Point PotentiaMeter) (Klein, 2010). Para tal, 3 g de terra fina seca ao ar foram armazenadas em cápsulas de aço inoxidável e depois introduzidas na câmara do aparelho WP4C (Figura 5).



**Figura 13** Métodos utilizados para faixas de potencial matricial

Fonte: Amaral (2017) (adaptado)

Inicialmente cada amostra de terra fina seca ao ar foi medida. Após a medida, cada amostra foi submetida a um umedecimento progressivo e secagem em estufa, para alcançar as leituras necessárias, entre -0,1 MPa e -300 MPa, para a calibração da curva de retenção de água no solo (Decagon, 2015). Foram feitas no mínimo cinco medidas, com valores aproximados de 0 MPa e -50 MPa, -50 MPa e -100 MPa, -100 MPa e -150 MPa, -150 MPa e -200 MPa, e -200 MPa e -250 MPa para cada amostra de solo (Figura 6).

Os valores obtidos pela mesa de tensão e pelo psicrômetro WP4C foram tabulados e inseridos no software SHYFIT (Peters, 2015) para a construção da curva de retenção segundo os modelos de van Genuchten (1980) e Peters e Durner (2008).



**Figura 14** Amostras em cápsulas de aço inoxidável e WP4C

Fonte: Acervo do Autor

A capacidade de água disponível é calculada com base na quantidade de água presente no solo que realmente está disponível às plantas, segundo Reichardt (1988). Deve ser estabelecido, para cada solo, o teor de água entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). Os resultados da capacidade de água disponível foram definidos com base na diferença dos valores entre 4,2 pF (ou 1500 kPa) correspondente ao PMP e 1 pF (ou 1,0 kPa), correspondendo ao valor da CC da curva de retenção (Smith & Mullins, 1991).

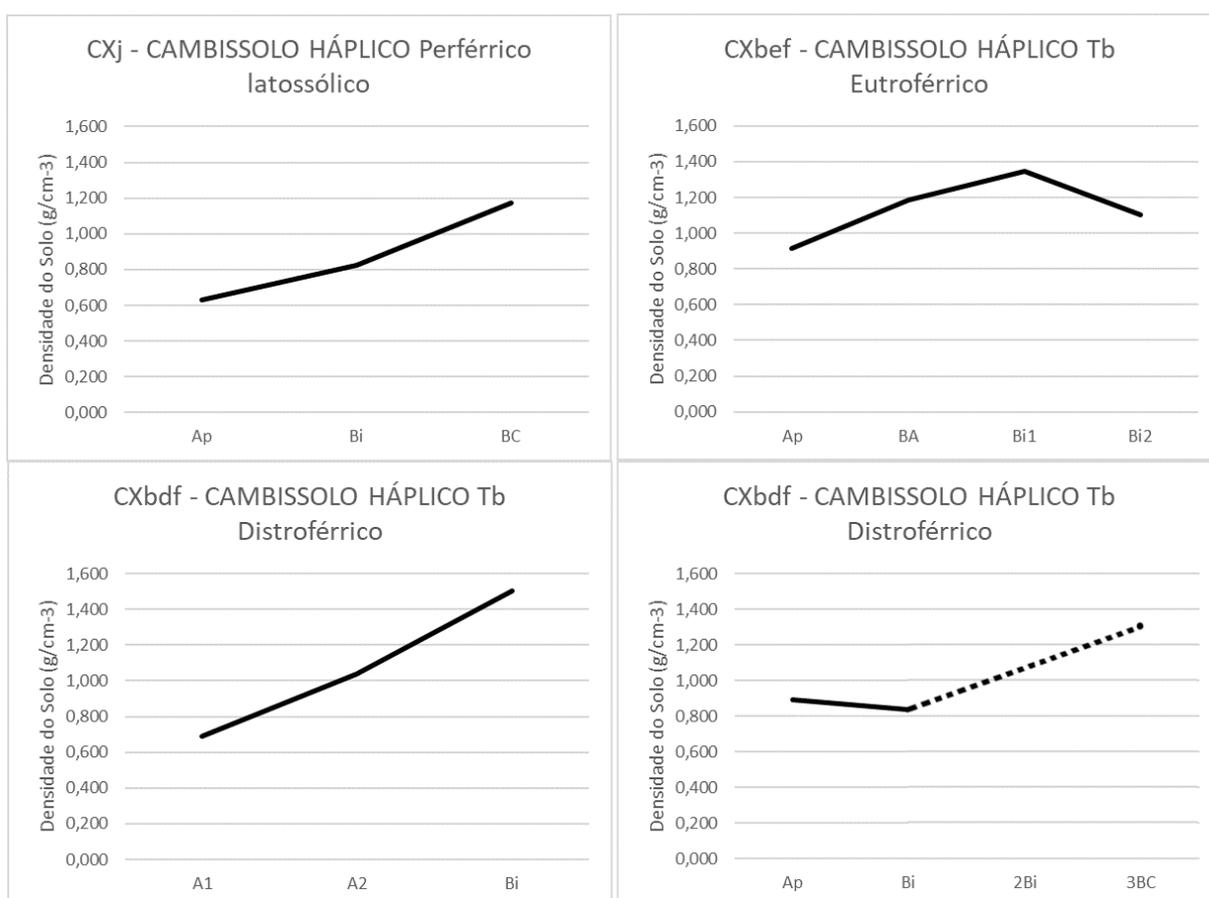
A porosidade total foi obtida pelo método indireto, calculado através da densidade de partículas sólidas do solo e pela densidade do solo, em  $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ , pela equação:

$$P_t = \left[ \frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right]$$

Em que:  $P_t$  – porosidade total, em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .  $D_p$  – densidade de partículas sólidas do solo, em  $\text{g}/\text{cm}^{-3}$ .  $D_s$  – densidade do solo, em  $\text{g}/\text{cm}^{-3}$  (Donagemma et al., 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

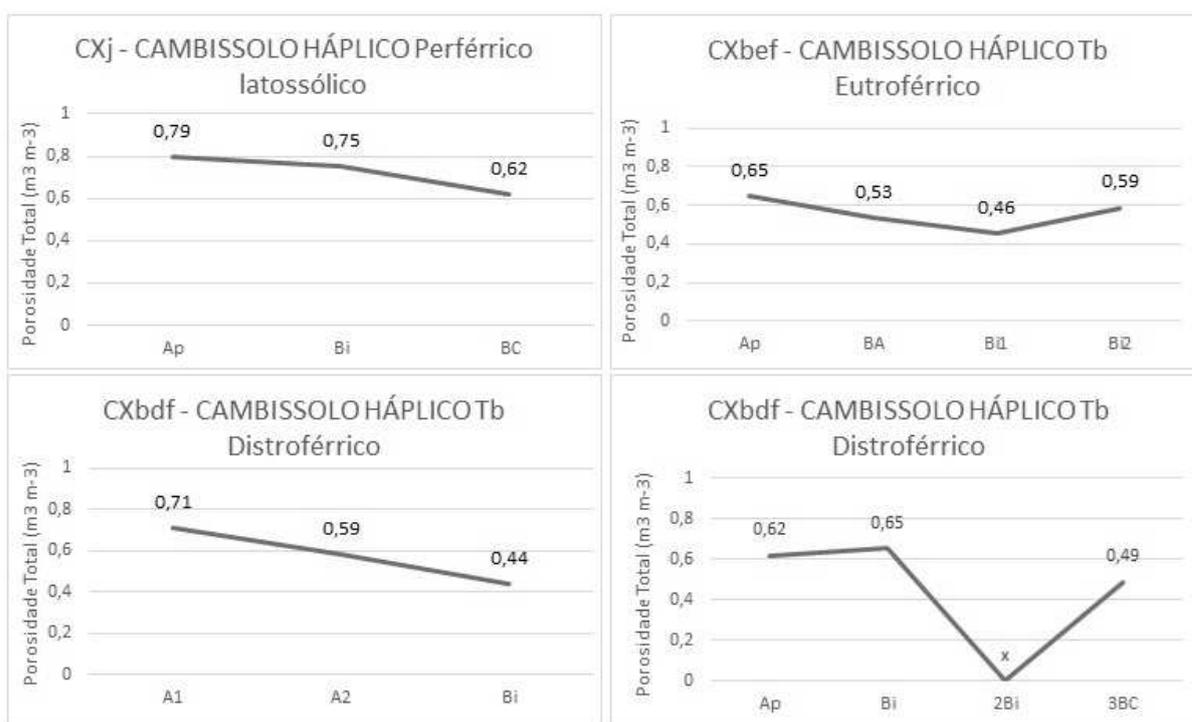
A densidade para todos os perfis estudados tende a um aumento com a profundidade. Isso decorre da menor estruturação dos horizontes à medida que se aproxima do material de origem (Figura 7). O perfil CX2 se destaca por não seguir este padrão. O horizonte Bi2 apresentou a densidade do solo menor que os dois horizontes anteriores, além de apresentar a estrutura forte e os anteriores, estrutura fraca. Alguns sistemas de manejo podem alterar a estrutura e a densidade do solo. Essas mudanças podem influenciar a sua propriedade físico-hídrica, em relação à retenção e disponibilidade de água e à resistência do solo à penetração (Tormena, et al., 1998; Nobrega, 2015). Porém a densidade do solo pode ser também alterada de forma natural, o que dificulta a definição e avaliação do solo quanto a uma degradação de manejo (Beltrame & Taylor, 1980).



**Figura 15** Densidade do Solo para os perfis analisados

\*O perfil CXbdf não possui dados para o horizonte 2Bi.

Desta forma, quanto maior a densidade do solo, maior pode ser a compactação, menor estruturação, menor porosidade total (Figura 7 e 8) e maior a restrição para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Ao se comparar os valores de densidade de partículas com os valores de densidade do solo, podemos observar que os perfis apresentaram o dobro e, em alguns, o triplo de densidade de partículas, se comparada à densidade do solo (Tabela 1). O perfil CX1 apresentou os valores mais distintos dentre as duas densidades. Em Ap, as densidades foram de  $3,086 \text{ g/cm}^{-3}$  e  $0,633 \text{ g/cm}^{-3}$ , em Bi de  $3,343 \text{ g/cm}^{-3}$  e  $0,825 \text{ g/cm}^{-3}$  e em BC de  $3,112 \text{ g/cm}^{-3}$  e  $1,175 \text{ g/cm}^{-3}$  para densidade de partículas e densidade do solo, respectivamente, para cada horizonte. Essa grande diferença pode indicar que estes solos, mesmo possuindo a densidade de partícula elevada (Tabela 1), possuem a estrutura bem desenvolvida, em relação aos espaços porosos.

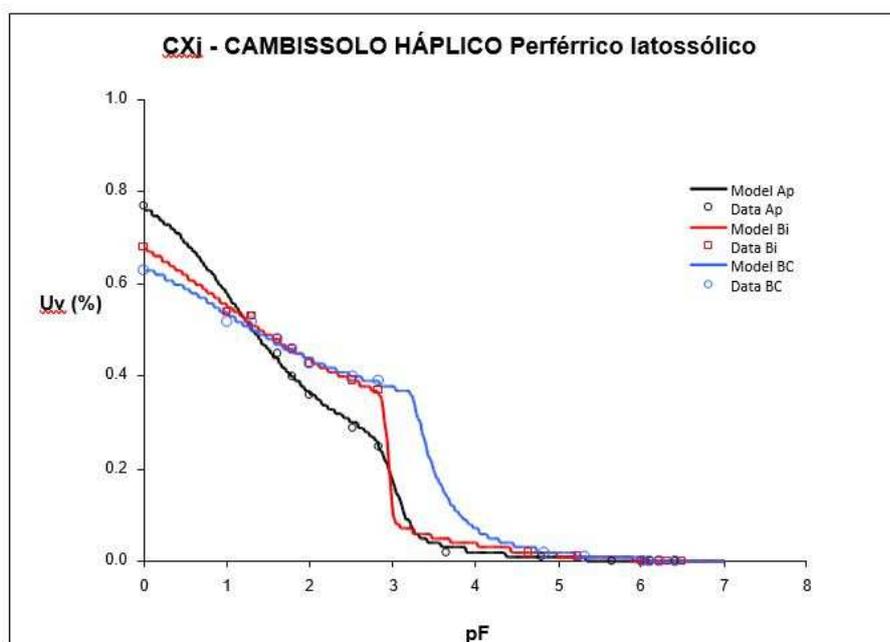


**Figura 16** Porosidade total para os perfis analisados

\*O perfil CXbdf não possui dados para o horizonte 2Bi.

As curvas de retenção para os perfis são apresentadas nas Figuras 9, 10, 11 e 12.

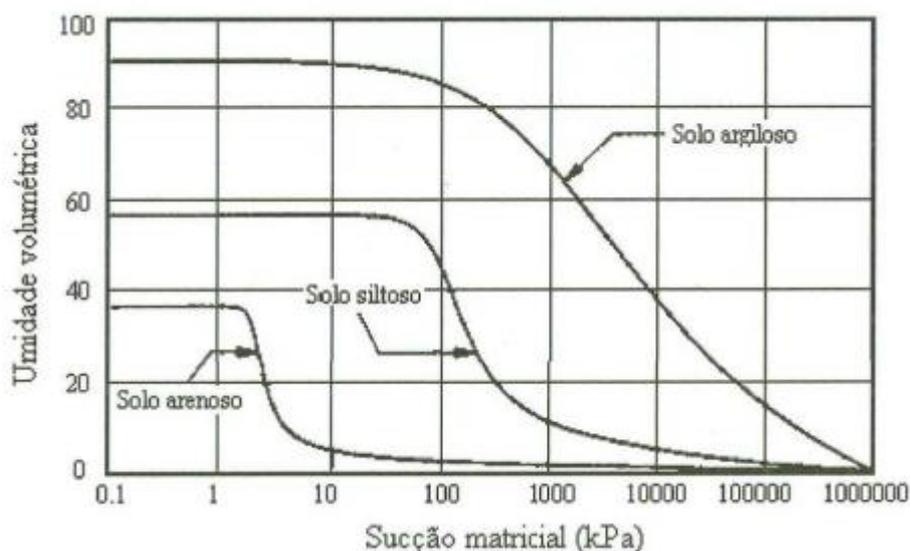
O perfil CX1 (CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico) apresentou um formato de curva bem distinto em baixas tensões e na faixa da capacidade de campo (de 0 a 2,5 pF). O horizonte Ap teve a maior variação de umidade na faixa da capacidade de campo, com valor em 0 pF maior que o horizonte Bi e o BC, porém apresentou a maior inclinação nesta mesma faixa, com valores aproximados variando entre 80% e 30%. Os horizontes Bi e BC se comportaram da mesma forma, com uma inclinação semelhante com valores aproximados, variando entre 70% e 40% para Bi e 65% e 40% para BC (Figura 9).



**Figura 17** Curva de retenção do perfil CX1

Os três horizontes apresentaram uma queda abrupta (ombro) na faixa de 3 e 4 pF, chegando ao ponto de murcha permanente (PMP, aproximadamente 4,2 pF ou - 1500 kPa) com valores abaixo de 10% de umidade. Nenhum dos horizontes apresentou ponto de inflexão no PMP, possuindo uma queda brusca antes deste ponto.

A faixa correspondente à capacidade de água disponível teve valores máximos de 40% próximos ao 2 pF, tendendo a menos que 10% próximo a 4 pF, com pouca variação nos percentuais máximos e mínimos para cada horizonte (Tabela 2).

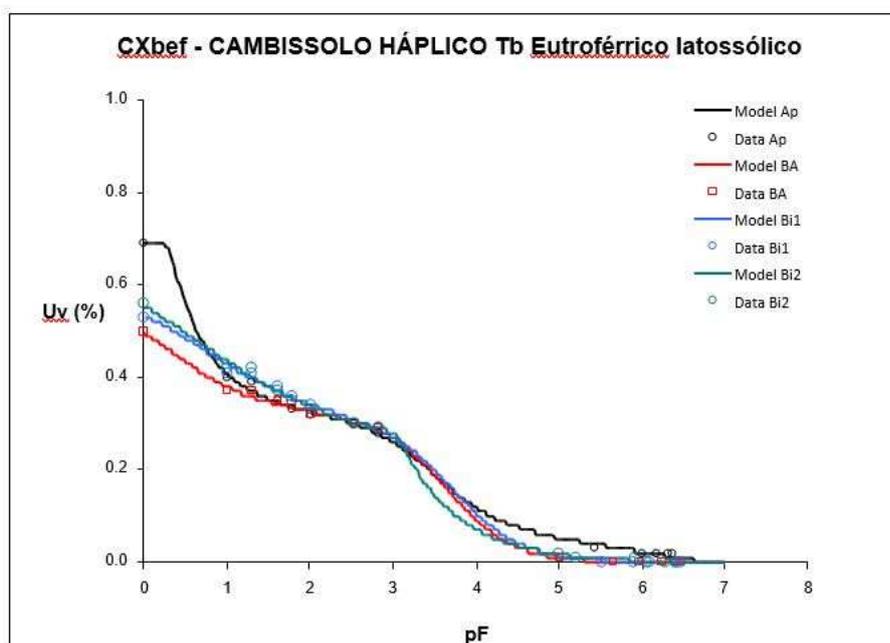


**Figura 18** Representação esquemática de curvas de retenção para diferentes tipos de solo

Fonte: Vanapalli, 1994

Segundo a representação de Vanapalli (1994), a curva esquemática de retenção para solos siltosos, possui características semelhantes ao identificados para o perfil CX1 (Figura 10). Desta forma, mesmo o perfil apresentando características latossólicas, em quarta ordem, o formato da curva, principalmente os valores baixos em PMP, inferiores a 10%, são diferentes do que é observado em solos tropicais estudados por Coelho (2016) com Latossolos próximos a 20% e Amaral (2017), com Latossolos apresentando CAD superiores a 30%.

O perfil CX2 (CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico latossólico) apresentou um formato bem distinto entre o horizonte Ap e os demais horizontes em baixas tensões e na faixa da capacidade de campo (de 0 a 2,5 pF). O horizonte Ap apresenta uma queda acentuada próximo ao 0,2 pF, porém essa curvatura se torna menos marcada ao se aproximar de 1 pF, onde o valor da umidade é próximo aos demais horizontes. O horizonte Ap possui a umidade de aproximadamente 70% e 30% na faixa da capacidade de campo. Os horizontes BA, Bi1 e Bi2 apresentaram umidade aproximada entre 50 e 65% em 0 pF e 30% no limite da faixa de capacidade de campo (2,5 pF) (Figura 11).



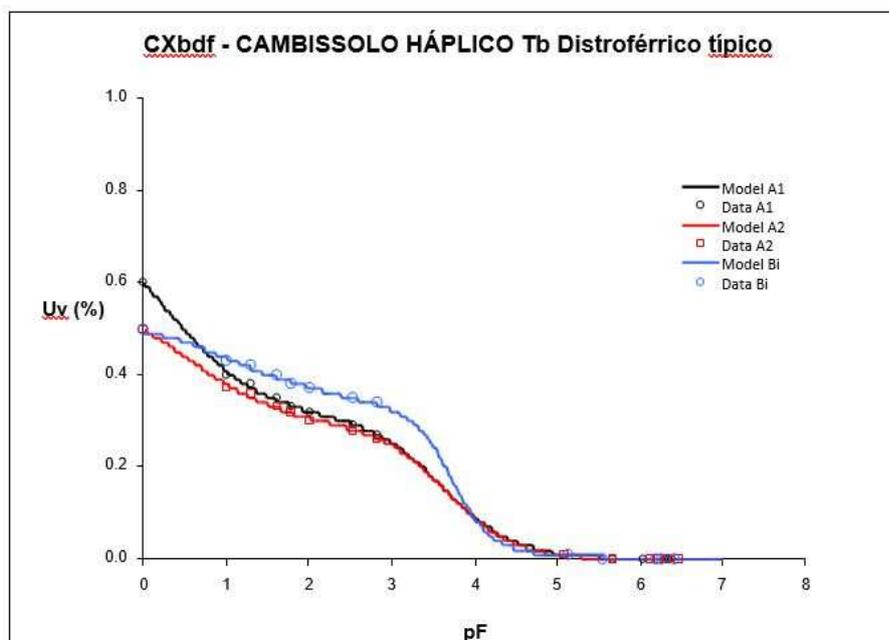
**Figura 19** Curva de retenção do perfil CX2

Os horizontes apresentaram curva semelhante pelo restante da curva, com uma queda mais acentuada na faixa de 3 a 4 pF, com umidade variando aproximadamente entre 30 e 15%. Na faixa do ponto de murcha permanente, o horizonte Ap apresentou umidade aproximada de 10%, enquanto os outros horizontes variaram com a umidade próxima de 5%. É possível salientar que de forma geral, os horizontes Bi1 e Bi2 apresentaram maior umidade entre a faixa de 0 pF a 3 pF do que o horizonte acima, BA.

A faixa correspondente à capacidade de água disponível teve valores máximos de 35% próximos aos 2 pF tendendo a menos que 15% próximo a 4 pF, com pouca variação nos percentuais máximos e mínimos para cada horizonte (Tabela 2). O horizonte Ap manteve o decréscimo de umidade menor que os outros horizontes, se mantendo próximo a 5% até a faixa dos 6 pF.

O perfil CX3, CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico (Figura 12), apresentou, na faixa correspondente à capacidade de campo, variações significativas para cada horizonte. O horizonte A1 inicia a curva com a maior umidade, aproximadamente 60%, porém apresenta uma queda acentuada entre 0 e 1 pF, chegando a aproximadamente 30% em 2,5 pF. O mesmo formato da curva é observado em A2, com valor máximo próximo a 50% em 0 pF, chegando aos mesmos

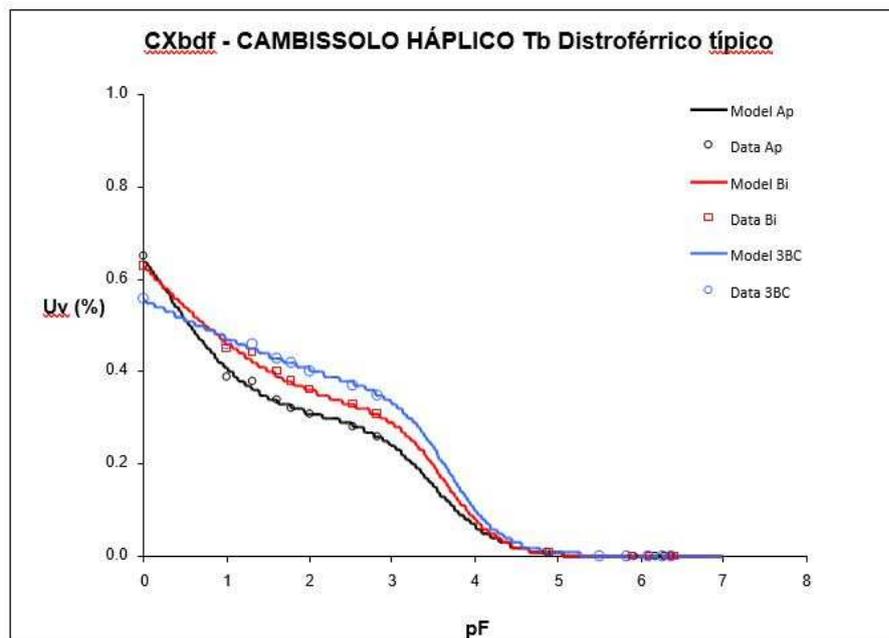
30% em 2,5 pF. Porém o horizonte Bi apresenta característica da curva diferente dos demais na mesma faixa. Com valor máximo de aproximadamente 50%, a curva do horizonte Bi é mais suave, mantendo mais umidade que os outros horizontes na mesma faixa, ficando com mais de 40% próximo ao limite da capacidade de campo.



**Figura 20** Curva de retenção do perfil CX3

Os três horizontes apresentam uma queda entre 3 e 4 pF, atingindo relativamente a mesma umidade próximo ao ponto de murcha permanente (4,5 pF), com aproximadamente 10%. Nesta mesma faixa, entre 3 e 4 pF, o horizonte Bi apresenta uma grande queda, com valores variando de 40 a 15%.

O perfil CX5, CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico típico, apresentou, na faixa correspondente à capacidade de campo dos horizontes Ap e Bi, variações da curva parecidas, enquanto 3BC se comportou de forma a manter maior umidade no limite da faixa (Figura 13). Os horizontes Ap e Bi iniciaram a curva com umidade próxima a 65%. Ap apresentou uma curva um pouco mais acentuada que Bi, chegando a 2,5 pF com aproximadamente 30% enquanto Bi ficou com aproximadamente 35%. O horizonte 3BC iniciou a curva de retenção com menos umidade que os outros horizontes, aproximadamente 55%, porém manteve uma curva mais suavizada na faixa da capacidade de campo, ficando com aproximadamente 45%.



**Figura 21** Curva de retenção do perfil CX5

Entre as faixas de 3 e 4 pF, os três horizontes apresentaram a curva mais acentuada, formando um ombro. Nesta faixa, os três horizontes chegaram a 4 pF com umidade entre 15 e 10%. Próximo à tensão do ponto de murcha permanente (4,5 pF), os três horizontes apresentaram umidade aproximada de 10 a 15%. Amaral (2017) encontrou valores de PMP na faixa de 2% a 5% para Cambissolo Háplico e Júnior (2016), Cambissolo Háplico Tb distrófico com valores superiores a 10%.

**Tabela 2** Água disponível nos perfis (pF 4.2 - pF 1)

Perfil	Horizonte	Profundidade	Água disponível
CX1	Ap	0-41	0.52
	Bi1	41-107	0.51
	BC	107-159+	0.47
CX2	Ap	0-12	0.3
	BA	12-29	0.31
	Bi1	29-55	0.33
CX3	Bi2	55-144+	0.37
	A1	0-5	0.35
	A2	5-25	0.4
CX5	Bi	25-152+	0.4
	Ap	0-16	0.34
	2Bi	16-34	0.31
		34-48	0.38

Ao se comparar os 4 perfis de solo, o perfil CX1 apresentou a maior umidade na faixa de tensão da capacidade de campo, porém sua curva teve a maior queda próximo ao 3 pF. Os perfis CX2, CX3 e CX5 apresentaram umidade semelhantes próximo ao ponto de murcha permanente, variando entre 10 e 15%. Para o perfil CX1, a umidade chegou a 10% por volta dos 3,5 e 4 pF. Os valores elevados de silte podem explicar a grande variação na umidade do perfil CX1.

Todos os horizontes superficiais iniciaram a curva de tensão com a maior umidade dentro de cada perfil, e também as maiores quedas de umidade entre 0 e 2,5 pF, na faixa de tensão da capacidade de campo. Esta característica pode estar relacionada à maior quantidade de matéria orgânica próxima da superfície, Junior (2016), encontrou a mesma característica em Cambissolo Háplico de Lavras, Minas Gerais. Somente o perfil CX2 apresentou umidade superior a 5% em tensões maiores que 5,5 pF. Este mesmo solo teve as maiores densidades do solo, com valores variando entre  $0,91 \text{ g/cm}^{-3}$  e  $1,35 \text{ g/cm}^{-3}$ .

Os resultados da Capacidade de Água Disponível (CAD), calculados com base em valores da literatura, demonstram uma grande diferenciação do que é encontrado em solos argilosos com valores médios, segundo Machado et al. (2014), de 28% para Argissolo Amarelo Distrófico típico e mesmo para outro Cambissolos, como o Cambissolo Háplico de Portugal et al. (2007), com valores variando entre 16% e 19%.

## **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os valores de umidade variam significativamente entre os horizontes dos solos e estão relacionados às diferenças nas características físicas e morfológicas dos solos. A textura, a mineralogia, a densidade de partículas, a distribuição de poros, a densidade do solo e o tipo de estrutura são as principais características que alteram a permeabilidade dos solos.

Os Cambissolos estudados apresentaram valores de umidade distintos, demonstrando que cada solo apresentou características próprias que não podem ser padronizadas pela classe do solo em que foram classificados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J.R. Caracterização físico-hídrica dos solos da bacia do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas – MG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. 132p. (Dissertação de Mestrado)

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F., Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob Cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.15, n.2, 2011 p.111-116.

AZEVEDO, A.C.; BONUMÁ, A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. Ciência Rural, Santa Maria, V.34, n.2, p.609-617,2004.

BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. Lavoura Arrozeira, v.33, p.59-62, 1980.

CARVALHO FILHO, A. Solos e ambiente do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. Lavras: UFLA, 2008. 245p. Tese (Doutorado).

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação/ Antônio Carlos Ribeiro, Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Victor Hugo Alvarez V., editores. – Viçosa, MG, 1999. 359 p.: il.

COSTA, S.A.D. Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 71p. (Dissertação de Mestrado).

CURI, N. 1983. Lithosequence and toposequence of oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University. 158p. (Tese Ph.D.)

DIRKSEN, C. H. Unsaturated hydraulic conductivity. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Eds.). Soil analysis: physical methods. New York: M. Dekker, 1991. p. 209-269.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2014. 141 p.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. Manual de métodos de análise de solos. Organizadores: Guilherme Kangussú Donagemma.[et al.]. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2011. 230 p

DOOR II, J. VAN N. Physiographic stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. USGS Professional Paper 614-A, 1969. 110p.

DOOR II, J. VAN N.; GAIR, J. E.; POMERENE, J.; REYNAERSON, G. A. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM, 1957. P. 7-58. (DFPM, avulso, 81). Trad. A. L. M. Barbosa.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos – SNLCS. Anais da III Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola. Minas Gerais, 1988.

GIMENES, F.H.S. Curva de retenção na avaliação da qualidade física do solo Piracicaba, 2012. 69p. Dissertação (Mestrado).

JUNIOR, M.A.; CIPRIANO, P.E.; MARS, G.; SILVA, R.F.; SOARES, L.S.; ASSIS, E.S.; OLIVEIRA, J.M.; TASSINARI, D.; JUNIOR, M.S.D. Determinação da Curva de Retenção de água e da distribuição de poros por tamanho em solos de Lavras-MG. Convibra, Viçosa, 2016.

KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa: UFV, 1995. 181p. il. Tese (Doutorado)

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com o psicrômetro. Ciência Rural, 2010. v. 40, n. 7, p. 1550-1556.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. J. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 103-152.

LIMA, J.M. et al. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, p.85-90, 1990.

MACHADO, M. B.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; SILVA, G. M.; COUTO, R. S. Correlação entre a densidade e a capacidade de água disponível em um solo cultivado com pastagem de Azevém. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campo Grande – MS. 2014.

NÓBREGA, J. C. A.; SILVA, F. T. S.; DIAS, F. P. M.; SOUZA, V. M.; SILVEIRA JUNIOR, M. C. Densidade de partícula, densidade do solo e volume total de poros em solo do agreste baiano sob diferentes usos em sistemas orgânicos. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015, Natal - RN. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2015.

OLIVEIRA, G.A.I; CLEMENTE, L.C.; VIAL, D.S. Excursão à Mina de Ouro de Morro Velho. In Anais, II Simp. Geol. Minas, Belo Horizonte, Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais, Bol. N. 3, 1983, p. 497-505

PETERS, A.; DURNER, W. A simple model for describing hydraulic conductivity in unsaturated porous media accounting for film and capillary flow. Water Resources Research. 2008. vol. 44.

PETERS, A.; DURNER, W. SHYFIT 2.0 User's Manual. Research Report. Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin, Germany, 2015

Projeto APA Sul RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Antônio I. Medina, Allaoua Saadi. - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 54p.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. V.; da COSTA, L. M.; do SANTOS, B. C. M. Características químicas e físicas de um argissolo submetido a diferentes usos agrícolas. Revista Ceres. 2007. v. 54, n. 315. p.412-421.

Projeto APA Sul RMBH: geologia, mapa geológico, escala 1:50.000 em 3 partes. Sérgio L. da Silva (Org.) Eduardo A. Monteiro, Orivaldo F. Baltazar, Márcia Zucchetti – Belo Horizonte. SEMA/CPRM, 2005. 64p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 1988; v. 12, p. 211-216.

REICHERT, J.M.; REINERT, J.M.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria, v.27, p.29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; URACH, F. L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v.33, p.1547:1560.

SANTOS, H.G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p

SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: SBCS, 2015

SCHEINOST, A, C; SINOWSKI, W.; AUERSWALD, K. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. Geoderma 1997.Vol. 78, p:129-143

SILVA, B.M. Disponibilidade de água no solo: Métodos de estimativa e implicações de manejo em cafeeiros na região do Cerrado. Lavras: UFLA, 2014. Tese (Doutorado)

SILVA, C. L.; AGUIAR, B. F.; DIAS, J. B.; CARMO, V. A.; COSTA, A. M.; JARDIM, C. Análise da paisagem a partir da estratificação ambiental: estudo da Bacia do Córrego Maria Casimira, André do Mato Dentro/MG. Revista Geonorte. Manaus, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 518-529, 2012

Smith K. A. and Mullins C. E. Soil Analysis: Physical Methods, Marcel Dekker, New York, 1991, p.161–207.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22: 301-309, 1998.

VANAPALLI, S.K. Simple Procedures and their Interpretation in Evaluating the Shear strength in Unsaturated Soil, PhD Thesis, University of Saskatchewan, Canadá, 1994.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of American Journal, Madison, WI, 1980. v. 44, p. 892 -898.

## **6. CONCLUSÃO GERAL**

O estudo da relação solo-paisagem é uma ferramenta muito útil para o entendimento da natureza através de uma análise integrada. Representa uma abordagem multidisciplinar na busca pela compreensão dos aspectos que influenciam a dinâmica da natureza para sua formação. É importante, porém, ressaltar que a própria natureza do método de análise pela visão da relação solo-paisagem não contempla todas as variáveis envolvidas na formação da paisagem ou do próprio solo. O método então deve ser usado no âmbito de tomadas de decisão, de tipo de manejo, de preservação e conservação abordando todos os condicionantes sociais, ambientais e políticos envolvidos.

O conhecimento do solo, do relevo, da vegetação, do clima, da própria paisagem é uma ferramenta de legitimação das comunidades envolvidas, não somente a comunidade de André do Mato Dentro, diretamente impactada pelos conhecimentos apresentados neste trabalho, mas para todos os locais que possam utilizar os dados contidos nesta pesquisa para o entendimento de outras regiões. O conhecimento é imprescindível para a definição de estratégias de uso e manejo sustentável.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Descrição Morfológica dos Perfis Descritos



PERFIL: CX1

CLASSIFICAÇÃO: CXj - CAMBISSOLO HÁPLICO Perférico latossólico

DATA: 21/03/2017

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: André do Mato Dentro, Município de Santa Bárbara (MG), x: 642000, y: 7787487 (UTM SIRGAS 2000 23S)

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Corte de estrada em terço superior de encosta sob plantio de eucalipto

ELEVAÇÃO: 1166m

LITOLOGIA: Itabirito dolomítico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Formação Gandarela

RELEVO LOCAL: Montanhoso

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Bem drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Eucalipto

USO ATUAL: Reflorestamento

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap:** 0-41 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 2,5/2, úmida); franco siltoso com cascalho; forte muito pequena granular; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

**Bi:** 41-107 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 2,5/2, úmida); franco siltoso com cascalho; fraca pequena e blocos que se desfazem em forte muito pequena granular; plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.

**BC:** 107-159<sup>+</sup>, preto avermelhado (2,5YR 2,5/1, úmida); franco siltoso com cascalho; moderada pequena e muito pequena prismas; ligeiramente plástica e pegajosa.

**RAÍZES:** muitas finas, comuns médias, rara grossa em Ap, comuns finas, raras médias, raras grossas em Bi e poucas finas, raras grossas em BC.

**OBSERVAÇÕES:** Bi o horizonte se torna mais compactado / espelhado



**PERFIL:** CX2

**CLASSIFICAÇÃO:** CXbef - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutroférico

**DATA:** 21/03/2017

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** André do Mato Dentro, Município de Santa Bárbara (MG), x: 642050, y: 7787518 (UTM SIRGAS 2000 23S)

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Corte de estrada em terço médio de encosta sob plantio de eucalipto

**ELEVAÇÃO:** 1121m

**LITOLOGIA:** Itabirito dolomítico

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA:** Formação Cercadinho com Formação Gandarela

**RELEVO LOCAL:** Montanhoso

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Fortemente drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Eucalipto

**USO ATUAL:** Reflorestamento

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap:** 0-12 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmida); franco argiloso com cascalho; moderada pequena e muito pequena grumos que se desfaz em forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

**BA:** 12-29 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmida); franco argiloso; fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente; transição difusa e plana.

**Bi1:** 29-55, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida); franco argiloso; fraca pequena e muito pequena blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

**Bi2:** 55-144+, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida); franco argiloso; forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

**RAÍZES:** muitas muito fina, muitas finas, comuns médias em Ap, poucas muito finas, poucas finas, poucas médias, rara grossa em BA, raras fina, comum média em BW1 e raras finas, raras médias, raras grossas em BW2.



**PERFIL:** CX3

**CLASSIFICAÇÃO:** CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférico

**DATA:** 21/03/2017

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** André do Mato Dentro, Município de Santa Bárbara (MG), x: 641802, y: 7787337 (UTM SIRGAS 2000 23S)

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Corte de estrada em terço médio de encosta sob plantio de eucalipto

**ELEVAÇÃO:** 1123m

**LITOLOGIA:** Itabirito dolomítico

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA:** Formação Cercadinho com Formação Gandarela

**RELEVO LOCAL:** Montanhoso

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Fortemente drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Eucalipto

**USO ATUAL:** Reflorestamento

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**A1:** 0-5 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/3, úmida); franco argiloso; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares; plástica e pegajosa; transição clara e plana.

**A2:** 5-25 cm, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida); franco argiloso; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares; plástica e pegajosa; transição gradual e irregular.

**Bi:** 25-152<sup>+</sup> cm, vermelho amarelado (7,5YR 4/6, úmida); vermelho amarelado (5YR 4/6, seca); franco argiloso; moderada média pequena e muito pequena blocos subangulares; plástica e pegajosa.

**RAÍZES:** comuns finas, raras médias em A1, comuns finas, raras médias em A2, comuns finas, raras médias, raras grossas em BW.



**PERFIL:** CX4

**CLASSIFICAÇÃO:** CXbd - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico

**DATA:** 21/03/2017

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** André do Mato Dentro, Município de Santa Bárbara (MG), x: 641978, y: 7787516 (UTM SIRGAS 2000 23S)

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Corte de estrada em terço médio de encosta sob plantio de eucalipto

**ELEVAÇÃO:** 1120m

**LITOLOGIA:** Quartzito ferruginoso com intercalações de filito e dolomito

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA:** Formação Cercadinho

**RELEVO LOCAL:** Montanhoso

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Bem drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Eucalipto

**USO ATUAL:** Reflorestamento

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap:** 0-57 cm, bruno forte (7,5YR 3/2, úmida); franco arenoso; forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

**Bi:** 57-110 cm, bruno (7,5YR 4/4, úmida); franco arenoso; forte muito pequena granular; plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e difusa.

**BC:** 110-120<sup>+</sup> cm, bruno (7,5 YR 4/3, úmida); franco arenoso; forte muito pequena granular; plástica e pegajosa.

**RAÍZES:** muito finas em Ap, muito finas, comum média em Bi, muito finas, comum média, rara grossa em 2Bi e raras finas, poucas finas, poucas médias em 3BC.

**OBSERVAÇÕES:** Todo perfil muito cascalhento. BC com fragmentos maiores de rocha.



**PERFIL:** CX5

**CLASSIFICAÇÃO:** CXbdf - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distroférrico

**DATA:** 21/03/2017

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS:** André do Mato Dentro, Município de Santa Bárbara (MG), x: 642309, y: 7787429 (UTM SIRGAS 2000 23S)

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Corte de estrada em terço superior de encosta sob plantio de eucalipto

**ELEVAÇÃO:** 1084m

**LITOLOGIA:** Quartzito ferruginoso com intercalações de filito e dolomito

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA:** Formação Cercadinho

**RELEVO LOCAL:** Montanhoso

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Bem drenado

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:** Eucalipto

**USO ATUAL:** Reflorestamento

## DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

**Ap:** 0-16 cm, bruno amarelado escuro (10YR 3/6, úmida); franco argiloso; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares; plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

**Bi:** 16-34 cm, bruno forte (7,5YR 4/6, úmida); franco; moderada pequena e muito pequena blocos subangulares; plástica e pegajosa; transição transição gradual e plana.

**2Bi: 34-48**, , bruno forte (7YR 4/6, úmida); franco siltoso com cascalho; moderado muito pequeno blocos subangulares e muito cascalho; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

**3BC:** 48-200<sup>+</sup>, amarelo brunado (10YR 6/6, úmida); franco siltoso; fraca pequena e muito pequena blocos com estrutura da rocha.

**RAÍZES:** muito finas em Ap, muito finas, comum média em Bi, muito finas, comum média, rara grossa em 2Bi e raras finas, poucas finas, poucas médias em 3BC.

**Tabela 3** Parâmetros de ajuste da variante PDI do modelo condicionado de van Genuchten. Perfil CX1

<b>P1HAp</b>	<b>HAP01c</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00093	0.00001	0.5	0.0000	105718506.6532	1/cm
n1	4.203	0.5	15	0.000	3348047852541860000000.000	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.009	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.008	0.007681105	1	0.008	0.008	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.2164	0.00001	0.5	0.0001	601.8899	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	4.333	-
w2	0.748	0	1	-0.589	2.086	-
m1	1.000*	0.01	1	-60.516	1*	-
m2	0.418	0.01	1	-2.986	3.822	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<b>P1HBi</b>	<b>HAP02</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.3515	0.00001	0.5	0.0000	0.0000	1/cm
n1	0.500*	0.5	15	0.5*	0.000	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.000	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.008	0.006810862	1	0.000	0.000	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00113	0.00001	0.5	0.0000	0.0000	1/cm
n2	15.000	1.01	15	0.000	0.000	-
w2	0.343	0	1	0.000	0.000	-
m1	0.627	0.01	1	0.000	0.000	-
m2	1.000*	0.01	1	0.000	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<b>P1HBC</b>	<b>HAP03</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00056	0.00001	0.5	0.0000	+Infinito	1/cm
n1	14.997	0.5	15	0.000	+Infinito	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.057	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.007	0.006349708	1	0.007	0.007	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.5000*	0.00001	0.5	0.0112	0.5*	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	4.669	-
w2	0.550	0	1	-0.802	1.902	-
m1	0.085	0.01	1	-26587.604	26587.773	-
m2	0.242	0.01	1	-1.749	2.233	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

**Tabela 4** Parâmetros de ajuste da variante PDI do modelo condicionado de van Genuchten. Perfil CX2

<b>P2HAp</b>	<b>HAP04</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00031	0.00001	0.5	0.0000	587547720276386000 0000000.0000	1/cm
n1	1.209	0.5	15	0.000	292520.238	-
th_r	0.002	0	0.4	-0.014	0.018	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.007*	0.006897367	1	0.006897367*	0.007	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.5000*	0.00001	0.5	0.0002	0.5*	1/cm
n2	15.000*	1.01	15	0.000	15*	-
w2	0.626	0	1	-0.366	1.617	-
m1	1.000*	0.01	1	-65.579	1*	-
m2	0.073	0.01	1	-37.311	37.457	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<b>P2HBA</b>	<b>HAP05</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n1	0.819	0.5	15	0.010	67.656	-
th_r	0.000	0	0.4	-0.003	0.003	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.006	0.004986586	1	0.006	0.006	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00023	0.00001	0.5	0.0000	984125.8139	1/cm
n2	1.099	1.01	15	0.001	1028.019	-
w2	0.540	0	1	0.056	1.023	-
m1	1.000*	0.01	1	-14.937	1*	-
m2	1.000*	0.01	1	-13.969	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<b>P2HBi1</b>	<b>HAP06</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00018	0.00001	0.5	0.0000	248436107864249000 00000000000.0000	1/cm
n1	1.107	0.5	15	0.000	157099843161.129	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.014	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.006	0.005343775	1	0.006	0.006	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	138.556	-
w2	0.512	0	1	-3.055	4.080	-
m1	1.000*	0.01	1	-46.311	1*	-
m2	0.378	0.01	1	-9.237	9.993	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

(...continua...)

(...continuação...)

<b>P2HBi2</b>	<b>HAP07</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.3527	0.00001	0.5	0.0000	21771649.7772	1/cm
n1	0.500*	0.5	15	0.5*	2.668	-
th_r	0.000	0	0.4	-0.021	0.021	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.007	0.005565363	1	0.007	0.007	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
					429629762130820000	
alpha2	0.00091	0.00001	0.5	0.0000	00000000000000000000	1/cm
					00000000000000000000	
					0000000000.0000	
n2	15.000*	1.01	15	0.000	15*	-
w2	0.345	0	1	-0.137	0.827	-
m1	0.808	0.01	1	-6.011	7.628	-
m2	0.045	0.01	1	-40.564	40.654	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

**Tabela 5** Parâmetros de ajuste da variante PDI do modelo condicionado de van Genuchten. Perfil CX3

<b>P5HA1</b>	<b>HAP14</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n1	0.795	0.5	15	0.011	59.794	-
th_r	0.000	0	0.4	-0.019	0.019	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.008	0.006013717	1	0.008	0.008	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00024	0.00001	0.5	0.0000	164383145264 65300.0000	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	53624.571	-
w2	0.400	0	1	-0.533	1.334	-
m1	1.000*	0.01	1	-15.583	1*	-
m2	1.000*	0.01	1	-35.463	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

<b>P5HA2</b>	<b>HAP15</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00021	0.00001	0.5	0.0000	134738606171 .2460	1/cm
n1	1.095	0.5	15	0.000	48399.201	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.005	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.006	0.004987763	1	0.006	0.006	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	21.411	-
w2	0.491	0	1	-0.514	1.497	-

<b>P5HA2</b>	<b>HAP15</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
m1	1.000*	0.01	1	-21.969	1*	-
m2	0.558	0.01	1	-6.484	7.600	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

(...continua...)

(...continuação...)

<b>P5HBi</b>	<b>HAP16</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.00019	0.00001	0.5	0.0000	128338155821 637000000000 000000000000 000000000.00 00	1/cm
n1	1.935	0.5	15	0.000	112266892598 27200000.000	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.011	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.005	0.004955991	1	0.005	0.005	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.3833	0.00001	0.5	0.0000	48468.8652	1/cm
n2	1.010*	1.01	15	1.01*	10.366	-
w2	0.433	0	1	-2.172	3.038	-
m1	1.000*	0.01	1	-72.589	1*	-
m2	0.266	0.01	1	-3.966	4.498	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-

**Tabela 6** Parâmetros de ajuste da variante PDI do modelo condicionado de van Genuchten. Perfil CX5

<b>P3HAp</b>	<b>HAP08</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n1	0.844	0.5	15	0.016	43.380	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.008	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.008	0.006452378	1	0.008	0.008	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00031	0.00001	0.5	0.0000	1025114545.8 452	1/cm
n2	1.133	1.01	15	0.000	27268.602	-
w2	0.359	0	1	-0.238	0.955	-
m1	1.000*	0.01	1	-12.739	1*	-
m2	1.000*	0.01	1	-20.138	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<hr/>						
<b>P3HBi</b>	<b>HAP09</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.5000*	0.00001	0.5	0.0000	0.5*	1/cm
n1	0.554	0.5	15	0.002	155.303	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.007	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.008	0.006297222	1	0.008	0.008	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00023	0.00001	0.5	0.0000	377821809071 88700000000. 0000	1/cm
n2	1.360	1.01	15	0.000	13218346855. 320	-
w2	0.364	0	1	-1.091	1.819	-
m1	1.000*	0.01	1	-23.827	1*	-
m2	1.000*	0.01	1	-42.638	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-
<hr/>						
<b>P3H2Bi</b>	<b>HAP11</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
alpha1	0.4324	0.00001	0.5	0.0000	675655098664 559000000000 000000000000 0000.0000	1/cm
n1	0.500*	0.5	15	0.5*	808.476	-
th_r	0.000*	0	0.4	0*	0.014	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
th_s	0.007	0.005574247	1	0.007	0.007	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
pF_dry	6.80	5.00	7.00			-
alpha2	0.00021	0.00001	0.5	0.0000	221765002801 7180.0000	1/cm

(...continua...)

(...continuação...)

<b>P3H2Bi</b>	<b>HAP11</b>					
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>2.5%</b>	<b>97.5%</b>	<b>Unit</b>
n2	1.378	1.01	15	0.000	800347994.82 9	-
w2	0.518	0	1	-3.108	4.143	-
m1	0.778	0.01	1	-33.777	35.333	-
m2	1.000*	0.01	1	-28.522	1*	-
Ks	1.00	0.01	10000			cm/d
tau	0.500	-1	10			-
omega	1.00E-4	0.000000001	0.1			-
a	-1.500	-5	0			-