

ACAUÃ SANTOS DE SABOYA RIBEIRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA E  
MICROMORFOLÓGICA DOS SOLOS DA SERRA SUL,  
FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS, PARÁ**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

ACAUÃ SANTOS DE SABOYA RIBEIRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA E  
MICROMORFOLÓGICA DOS SOLOS DA SERRA SUL,  
FLORESTA NACIONAL DE CARAJÁS, PARÁ**

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

APROVADA : 24 de Setembro de 2009

---

Prof. João Carlos Ker  
(Co-orientador)

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Co-orientador)

---

Dr. Felipe Nogueira Bello Simas

---

Dr. Walnir Gomes Ferreira Júnior

---

Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer  
(Orientador)

*À minha mãe, por tudo nesta vida  
À Carolina, pelo amor, carinho e amizade  
Dedico*

## ORAÇÃO DOS CAMPOS RUPESTRES

“Ó Deus, expressão máxima de amor, dai-nos a graça de poder contemplar, meditar e aprender toda a beleza presente na natureza dos campos rupestres brasileiros.

Na carência do solo, fazei-nos lembrar da carência de amor na vida de muitos homens e mulheres. Na superficialidade das raízes dos vegetais, queremos pensar também na vida superficial de muitas pessoas, carentes de um solo existencial onde possam desenvolver e aprofundar suas raízes de uma vida plenificada de amor e cheia de valores éticos fundamentais.

Na microfilia das folhas das árvores e arbustos, fazei-nos compreender que a vida é feita também de pequenas coisas e modestas realizações.

Nas reservas de água das folhas, possamos aprender que na vida é necessário economizar energias potenciais a serviço do outro, da ciência e da sociedade.

Nos endemismos dos campos rupestres, possamos valorizar as culturas diversas dos homens e mulheres, próprias de seus ambientes específicos.

Na captura dos insetos feita pelas *Droseras*, possamos aprender que na vida é preciso capturar valores sólidos e alimentos espirituais para nutrir nossa carência de Deus, de Amor.

Na diversidade de espécies e no pluralismo de cores, que possamos contemplar a riqueza de plantas e animais, como também a tonalidade existencial da vida de milhares de seres humanos que vivem no planeta.

Na relação evolutiva das plantas e insetos, fazei que possamos entender que a vida humana é também uma contínua evolução e relação recíproca com a natureza, com os outros e com Deus.

Ó Senhor, dai-nos a força, a paz e a inteligência para podermos cada vez mais amar, estudar e preservar toda essa natureza exuberante dos campos rupestres, do qual somos parte integrante e responsável.”

Amém!

*Padre Josafá Carlos de Siqueira  
Prof. de Biogeografia, PUC Rio*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Cristina dos Santos e Rubens de Saboya Ribeiro, pelo grande amor e exemplo de vida. Especialmente a minha mãe, pela força e luta para a minha criação e a de meus irmãos.

Aos meus irmãos Eric, Paloma, Aianã, Yuri Moreno, Sebastião e Maria Concebida por todos os momentos compartilhados.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Prof. Carlos Ernesto Schaefer, por acreditar em mim, pela enorme paciência e pela valorosa orientação. Agradeço de coração. Valeu mestre!

Ao Prof. João Carlos Ker pelas valorosas sugestões e críticas construtivas ao longo deste trabalho e principalmente durante a defesa.

Ao amigo e irmão Felipe Nogueira Bello Simas por todo o apoio antes, durante e depois. Agradeço de coração sua enorme força e disposição para que este trabalho chegasse ao fim.

À Carolina Xavier de Lima pelo conforto e carinho nos momentos finais e pela preciosa ajuda nas referências bibliográficas.

Ao grande amigo Bruno Araújo Furtado de Mendonça, pela força na coleta e amostragem dos solos, pelos mapas desta dissertação e por todos os momentos felizes de convívio pacífico na república da Violeira ao longo destes anos.

À Katia Karoline Delpupo Sousa (Carol), pela enorme força nos momentos difíceis vividos no laboratório de geoquímica. Muito obrigado amiga!!

À todos os professores do Departamento de Solos da UFV, pelos ensinamentos e apoio ao longo destes anos, especialmente ao Elpidio Inácio Fernandes Filho, Eduardo Sá Mendonça, Vitor Hugo Alvarez Venegas e Liovando Marciano da Costa.

Aos membros da banca examinadora, João Carlos Ker, Elpidio Inácio Fernandes Filho, Felipe Nogueira Bello Simas e Walnir Gomes Ferreira Júnior, pelas valiosas sugestões e correções, que muito contribuíram para a melhoria da apresentação deste trabalho.

Aos funcionários e laboratoristas do Departamento de Solos, pela enorme paciência e pelo auxílio nas análises. Em especial, agradeço ao Geraldo Robésio, Chico, Luciana, Sônia e Brás.

À Cláudia, pela ajuda nas questões burocráticas e documentais. Muito obrigado!

À Rosane Palissari e ao Instituto de Geociências - UNICAMP - pelo apoio nas microanálises.

Aos amigos Walnir Gomes e Jaqueline Nunes, pelos felizes momentos vividos na serra Sul durante o levantamento de campo.

Aos amigos da irmandade do Palmital, Ana Carolina, Luiz Fernando, Joana, José Márcio, Tereza, Lunciane, Maria Carolina, Meubles, Pedro, Tatiana, Renatinha, Felipe, Roberto, e Victor por todos estes anos de convívio e trabalhos espirituais.

Aos meus grandes amigos Miguel Mader Ferraz e Felipe Marzano, por vários anos de convívio harmonioso na república da Violeira. Saudades dos tempos da graduação!!

Aos amigos da Pós Graduação, em especial, a Eliane de Souza, Lina Lobo, Bruno (Nobru), Roberto Michel, Guilherme Resende, Thiago Torres, Kleberson (Jacaré), Cecília Calhau, Ivan, Arlicélio, Mariana Médice, Marcos Locatelli, Melissa Bocaiuva e Fernanda Schustais pela amizade e contribuição neste trabalho.

À todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigado!

## **BIOGRAFIA**

ACAUÃ SANTOS DE SABOYA RIBEIRO, filho de Rubens de Saboya Ribeiro e Maria Cristina dos Santos, nasceu na cidade do Rio de Janeiro-RJ, em 22 de junho de 1979.

Morou na comunidade Vila Céu do Mapiá - Amazonas, durante sua infância e parte da juventude, onde iniciou o ensino fundamental e teve grande experiência e vivência com os saberes tradicionais e espirituais da floresta. Na busca por uma formação acadêmica mudou-se para a cidade de Belo Horizonte, onde concluiu o ensino fundamental.

Em 2000, concluiu o curso técnico em Agropecuária na Central de Ensino e Desenvolvimento Agrário de Florestal-CEDAF/UFV, Florestal-MG.

Em 2003, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa.

Graduou-se em julho de 2007, mesmo ano que deu início ao curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na área de Pedogênese e Relação Solo-Vegetação, no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

# SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE QUADROS .....	xiv
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. A serra dos Carajás	4
2.1.1. Clima	4
2.1.2. Geologia	4
2.1.3. Solos Lateríticos	6
2.1.4. Geomorfologia	8
2.1.4.1. Planaltos Dissecados do Sul do Pará	8
2.1.5. Vegetação	11
2.1.6. Aspectos socioeconômicos	12
2.2. Geoambientes da serra Sul	13
2.2.1. Encostas com Campo Rupestre	13
2.2.2. Encostas e Grotas Forestadas	14
2.2.3. Depressões e Patamares Campestres mal-drenados	17
2.2.4. Lagos Doliniformes	18

3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	22
3.1.	Seleção dos perfis e coleta das amostras de solos	22
3.2.	Caracterização morfológica	22
3.3.	Caracterização física	25
3.3.1.	Análise textural	25
3.4.	Caracterização química	25
3.4.1.	Análises de fertilidade do solo	25
3.4.2.	Ataque sulfúrico	26
3.4.3.	Ferro e alumínio extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio	26
3.4.4.	Ataque triácido total	26
3.5.	Caracterização da matéria orgânica	27
3.5.1.	Carbono orgânico total	27
3.5.2.	Nitrogênio total	27
3.5.3.	Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas	27
3.5.4.	Caracterização de ácidos húmicos e fúlvicos	28
3.5.5.	Análise elementar dos Ácidos húmicos e fúlvicos	28
3.5.6.	Estoque de carbono no solo	28
3.6.	Caracterização mineralógica	29
3.6.1.	Difratometria de raios-X	29
3.6.2.	Substituição isomórfica de ferro por alumínio	29
3.7.	Micromorfologia e Microanálises	30
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4.1.	Caracterização geral e morfológica dos solos	31
4.1.1.	Solos com horizonte Litoplântico	31
4.1.2.	Solos com horizonte Concrecionário	33
4.1.3.	Solos Orgânicos	36
4.2.	Atributos físicos	38
4.2.	Atributos físicos	38
4.3.	Atributos químicos	41
4.4.	Ataque sulfúrico	47

4.5.	Ferro e alumínio extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio	48
4.6.	Ataque triácido total	49
4.7.	Caracterização da Matéria Orgânica do Solo	51
4.7.1	Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas	51
4.7.2.	Análise elementar de ácidos húmicos e fúlvicos	53
4.7.3.	Estoque de Carbono	54
4.8.	Mineralogia	55
4.8.1.	Difração de raios-X	55
4.8.2.	Substituição isomórfica de ferro por alumínio	57
4.9.	Atributos Microquímicos	58
4.9.1.	Plintossolo Pétrico/Concreções ferruginosas	58
4.9.2.	Latosolos/ Horizonte Bw	67
4.9.3.	Análises microquímicas da fração areia fina - Plintossolo Pétrico Concessionário latossólico	73
5.	CONCLUSÕES.....	75
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
	APÊNDICES.....	87
	APÊNDICE A – Descrição geral e morfológica dos perfis estudados	88
	APÊNDICE B – Difratoformas de raios - X da fração argila	101
	APÊNDICE C – Difratoformas de raios - X da fração areia fina	105
	APÊNDICE D – Difratoformas de raios - X da fração silte	107

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, evidenciando a serra Sul, situada na Floresta Nacional de Carajás, sudoeste do Estado do Pará. .... 1
- Figura 2 – Corte esquemático da distribuição de unidades geológicas – Província mineral de Carajás. Fonte: BRASIL (1991). .... 5
- Figura 3 - Golpe de vista geológico e geomorfológico do domínio Planalto Dissecado do Sul do Pará, com detalhe da serra Sul, que representa um dos maciços residuais de formação ferrífera da serra dos Carajás. (Ilustração: Carlos Ernesto Schaefer). .... 9
- Figura 4 - Áreas predominantemente planas, alongadas e situadas mais ou menos ao mesmo nível. .... 10
- Figura 5 - Espigões alongados de perfis convexos com topos suaves ou planos, esculpido sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada. .... 10
- Figura 6 - Depressões fechadas, com ocorrência de lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas. .... 10
- Figura 7 – Detalhe do geoambiente Mata Alta sobre solos profundos de canga degradada (Capão florestal denso), associado ao processo de formação das cavernas. .... 15
- Figura 8 – Corte esquemático da paisagem interna da serra Sul, ilustrando as Encostas e Grotas florestadas, associadas ao processo de formação de cavernas e solos associados. (Ilustração: Carlos Ernesto Schaefer). .... 16
- Figura 9 - Detalhe de lagedo onde ocorre o geoambiente Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular. No entorno observa-se as encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga. .... 17
- Figura 10 - Detalhe dos ambientes depressionais que favorecem o acúmulo água e formação de solos ricos em matéria orgânica: Buritizais no primeiro plano e Campo brejoso no segundo plano. .... 18
- Figura 11 – Detalhe do geoambiente: Vegetação submersa de broda lacustre. .... 19
- Figura 12 – Detalhe dos lagos doliniformes permanentes. .... 19
- Figura 13 – Unidades geoambientais da serra Sul (Schaefer et al. 2007). .... 1
- Figura 14 – Mapa de solos e de localização dos perfis amostrados para o presente estudo na serra Sul (Schaefer et al., 2007) .... 1
- Figura 15 - Detalhe dos perfis amostrados nos geoambientes: A) Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular; B) Encosta com campo rupestre com *Vellozia* sobre canga ferrífera. .... 32
- Figura 16 - Detalhe dos perfis amostrados nos geoambientes: A) Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera; B) Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada. .... 32

Figura 17 - Detalhe do perfil 14 (Plintossolo Pétrico Litoplântico) amostrado no geoambiente: Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular.....	32
Figura 18 - Detalhe do perfil 35 (Plintossolo Pétrico Litoplântico) amostrado no geoambiente: Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera.....	33
Figura 19 - A) Detalhe do perfil 3 (Plintossolo Plétrico Concrecionário câmbico); B) perfil 4 (Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico).....	35
Figura 20 -A) Detalhe do perfil 7 (Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico); B) Perfil 8 (Latosolo Vermelho Acriférico petroplântico), amostrados nos ambientes florestais da serra Sul.....	35
Figura 21 - A) Detalhe do perfil 8 (Organossolo Háptico Sáprico típico); B) Perfil 12 (Organossolo Háptico Hêmico típico). ....	36
Figura 22 - Detalhe do perfil 11( Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico), amostrado no geoambiente Buritizal sobre solos orgânicos. ....	37
Figura 23 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV), mapas microquímicos e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS, referentes ao horizonte A do perfil 9. ....	59
Figura 24 – Fotografia em microscópio óptico de canga couraçada.....	60
Figura 25 – Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS na canga couraçada do perfil 9.....	61
Figura 26 - Fotografia em microscópio óptico de nódulo de concreção pisolítica de Plintossolo Pétrico Litoplântico (Perfil 5). ....	62
Figura 27 - Fotografia em microscópio óptico de nódulo de concreção pisolítica, de campo graminoso (Perfil 5), com Plintossolo Pétrico Litoplântico. ....	63
Figura 28 – Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS. Composição pontual de nódulo de concreção pisolítica de campo graminoso (Perfil 5). ....	64
Figura 29 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS. Composição pontual de nódulo de concreção pisolítica de campo graminoso (Perfil 5) (Área do círculo da Figura 27).....	65
Figura 30 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas microquímicos de EDS do nódulo de concreção pisolítica de campo graminoso do perfil 5, com inclusão de litoreliquia do jaspilite intemperizado. ....	66
Figura 31 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas microquímicos de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15 .....	68
Figura 32 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15.....	69

Figura 33 - Fotografia em microscópio óptico de horizonte Bwc1 perfil 15.....	70
Figura 34 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) mapas e pontos microquímicos de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15, evidenciando a degradação de fragmento da canga pisolítica em inclusão. ....	71
Figura 35 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) evidenciando um fitólito presente em abundância no horizonte Bic1 do perfil 11 (Buritizal). ....	72
Figura 36 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS da fração areia fina do horizonte Bwc1(Perfil 4). ....	74
Figura 37 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada no horizonte Bwc1 de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P4). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.....	101
Figura 38 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo; Ru: rutilo. ....	101
Figura 39 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P35). An: anatásio; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo. ....	102
Figura 40 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P5). Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.....	102
Figura 41 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P7). An: anatásio; Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Qz: quartzo; Ru: rutilo.....	103
Figura 42 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P14). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: Ilmenita; Qz: quartzo; Ru: rutilo. ....	103
Figura 43 - Difrátogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bw1 de Latossolo Vermelho Acriférrico (P15). Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo. ....	104
Figura 44 - Difrátograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bwc1 de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P4). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo....	105
Figura 45 - Difrátograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo. ....	105

- Figura 46 - Difratoograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bw1 de Latossolo Vermelho Acriférrico. Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo... 106
- Figura 47 - Difratoograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Af de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P35). An: anatasio; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo... 106
- Figura 48 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P14). An: anatasio; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo... 107
- Figura 49 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P5). Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo..... 107
- Figura 50 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bw1 de Plintossolo Pétrico Concessionário (P4). An: anatasio; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo..... 108
- Figura 51 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo..... 108

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Caracterização geral das unidades geoambientais do platô de canga da serra Sul, Floresta Nacional de Carajás.....	1
Quadro 2 – Dados de localização e características ambientais dos perfis de solo amostrados para o presente estudo.....	1
Quadro 3 – Características físicas e morfológicas dos solos estudados.....	39
Quadro 4 – Características químicas dos perfis estudados.....	43
Quadro 5 – Teores de SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> e TiO <sub>2</sub> obtidos pelo ataque sulfúrico na TFSA, e relação Ki e Kr dos solos estudados.....	48
Quadro 6 – Teores de Fe e Al na fração argila, obtidos após extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed) e (Ald) e oxalato de amônio (Feo) e (Alo), e relações Feo/Fed e Alo/Ald.....	49
Quadro 7 – Teores de elementos-traços, Al, Ca, Fe, Mg e P da digestão total à TFSA dos solos estudados.....	50
Quadro 8 – Fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados.....	52
Quadro 9 – Análise elementar de amostras de ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF) de solos da serra Sul.....	54
Quadro 10 – Estoque de carbono dos perfis estudados.....	55
Quadro 11 – Composição mineralógica por difratometria de raios-X da fração argila de horizontes dos solos da serra Sul estudados.....	57
Quadro 12 – Valores de substituição isomórfica do ferro por alumínio a partir de informações de DRX na fração argila concentrada em óxidos de ferro, dos solos estudados.....	58
Quadro 13 – Composição química de pedofeições indicadas na Figura 1, referentes ao horizonte A do perfil 9.....	59
Quadro 14 – Composição química de fragmento de canga compacta do horizonte A do perfil 9.....	62
Quadro 15 – Composição química de nódulo de campo graminoso do horizonte A do perfil 5.....	65
Quadro 16 – Composição química de nódulo de campo graminoso do horizonte A do perfil 3.....	66
Quadro 17 – Composição química do horizonte Bwcl do perfil 15.....	69

## RESUMO

RIBEIRO, Acauã Santos de Saboya, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2009. **Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica dos solos da serra Sul, Floresta Nacional de Carajás, Pará.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Coorientador: João Carlos Ker e Elpídio Inácio Fernandes Filho.

A serra Sul, localizada no Sudeste do Estado do Pará, representa o mais extenso platô de canga na paisagem da serra dos Carajás, abrigando diversos ecossistemas desenvolvidos sobre formações ferríferas com elevado grau de conservação. Apesar da grande importância geológica e econômica da região (maiores jazidas de minério de ferro do mundo) e de outros minérios de importância econômica, são ainda escassos os estudos pedológicos nesta área. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar os solos dos principais geoambientes que compõem a paisagem da serra Sul, quanto aos seus aspectos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos, procurando entender os principais fatores e processos pedogenéticos atuantes nestas condições singulares deste ambiente amazônico. Para tanto, foram coletadas e analisadas amostras de 13 (treze) perfis de solo, representativos dos diferentes geoambientes encontrados. Na serra Sul, predominam os Plintossolos Pétricos, ora com horizonte endurecido contínuo (litoplíntico) ora com horizonte endurecido fragmentado (concrecionário), existindo um forte controle dos solos sobre as diferentes fitofisionomias presentes nas áreas de canga, evidenciando uma relação direta entre a profundidade do solo e o porte da vegetação. São ainda observados Latossolos Vermelhos nas encostas e grotas florestadas e Organossolos Háplicos nas depressões e patamares campestres mal drenados. No geral, os solos são ácidos, distróficos, com P disponível muito baixo e teores elevados de  $Al^{3+}$  no complexo de troca. Foram observados teores elevados de P disponível nos solos coletados próximo às cavernas, nas áreas brejosas e nos montículos dos termiteiros, evidenciando a relação entre a fauna e o enriquecimento nutricional dos solos, conforme constatado pelas quantidades expressivas de fezes e guano de morcego observados nestes ambientes. Os teores de COT elevados em todos os solos estudados indicam condições favoráveis à incorporação dos resíduos vegetais à matéria orgânica do solo. Ao lado dos teores bastante elevados de óxido de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico e pelo DCB, os solos da serra Sul diferenciam-se

pela intensa cor vermelha e expressiva ocorrência de maghemita, que, ao lado de hematita e goethita, constituem os minerais dominantes na fração argila. Os resultados das microanálises ilustram os elevados teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $> 80\%$ ) e teores muito baixos de  $\text{SiO}_2$  e dos macronutrientes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , características atribuídas à riqueza em óxidos de Fe do material de origem (Jaspelito), a pobreza em minerais primários ricos em bases e ao intenso intemperismo destes solos. Pelos resultados das análises conclui-se que o material de origem rico em ferro e o pedoclima são os principais fatores que controlam a diversidade de características observadas nestes solos.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Acauã Santos de Saboya, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2009. **Physical, chemical, mineralogical and micromorphological characterization of soils from serra Sul, Carajás National Forest, Pará.** Adviser: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Coadvisers: João Carlos Ker and Elpídio Inácio Fernandes Filho.

The Serra Sul, located in the southeastern portion of the Pará State, is the largest plateau in Serra dos Carajás, comprising highly preserved ecosystems developed on ferruginous rocks. Despite the great geological and economic importance of this region, which is the largest deposit of iron ore in the world, there are very few pedological studies. The objective of the present work was to study the soils of the main geoenvironments of Serra Sul, in terms of their morphological, physical chemical, mineralogical and micromorphological characteristics, seeking to understand the main factors and processes in this singular landscape. Thirteen soil profiles were described and analyzed. Plintossolos Pétricos, with continuous (lithoplintic) or fragmented (concretionary) horizon, is the main soil type. There is a clear influence of soils on the distribution of the different phyto-physiognomies. Latossolos Vermelhos occur on forested slopes while Organossolos Háplicos occurs on flat, poorly drained grasslands. In general soils are acid, dystic, with very low P availability and high  $Al^{3+}$ . Soils located close to caves, poorly drained areas and termite mounds have high levels of available P, evidencing the effect of the fauna on soil nutrient status. The high levels of total organic carbon (TOC) in all soils indicate conditions which favor the incorporation and conservation of vegetal residues as soil organic matter. Soils have high levels of iron oxide obtained by both sulphuric attack and DCB extractions and present very strong red color. Expressive amounts of maghemite occur and, together with hematite and goethite, comprise the mineralogy of the clay fraction. Microanalysis illustrate the high  $Fe_2O_3$  levels (> 80%) and very low  $SiO_2$  and macronutrient levels, which is attributed to the chemical composition of the parent material (jaspelite), which is rich in iron oxide and poor in nutrient-bearing primary minerals. The results indicate that the iron-rich parent material and the pedoclimate are the main factors determining the characteristics of the studied soils.

# 1. INTRODUÇÃO

A serra dos Carajás, localizada no sudeste do Estado do Pará, abriga dois ambientes fitogeográficos bem distintos (AB'SABER, 1986): um tipicamente arbóreo, representado pela Floresta Ombrófila em suas diferentes fácies ocupando a maior parte da área; e outro, caracterizado por uma formação herbáceo-arbustiva, denominada Vegetação de Canga (SECCO & MESQUITA, 1983), Savana Metalófila (PORTO & SILVA, 1989) ou Campo Rupestre (JOLY, 1970) restrita às porções mais elevadas da paisagem. Este último confere uma elevada importância ecológica por se tratar de um ecossistema único no contexto amazônico.

A descoberta de importantes jazidas minerais, a partir da década de 60, despertou um grande interesse na região, resultando em pesquisas voltadas para a exploração econômica destes recursos. Neste sentido destacam-se as pesquisas geológicas (BARBOSA, 1966; ALMEIDA, 1968, 1980; BEISIEGEL *et al.*, 1973, 1982; HIRATA *et al.*, 1982; KOTSCHOUBEY & LEMOS, 1985; DOCEGEO, 1988; GIBBS & WIRTH, 1990; COSTA, 1991; COSTA *et al.*, 2005; 1991; TRENDALL *et al.*, 1998; LINDENMAYER, *et al.*, 2001; VENEZIANI *et al.*, 2004); geomorfológicas (RESENDE & BARBOSA, 1972; BRASIL, 1974, 1991; AB'SABER, 1986, 2003) e botânicas (BRASIL, 1974; SECCO & MESQUITA, 1983; PORTO & SILVA, 1989; SILVA & ROSA, 1989; PARADELLA, *et al.*, 1994; SILVA, 1991, 1992, 1996; SILVA *et al.*, 1996).

Em função da pouca importância agrônômica da serra dos Carajas, os estudos pedológicos são raros e poucos aprofundados (BRASIL, 1973, 1974; FALESI, 1986). No entanto, dado o reconhecido papel dos solos como estratificador ambiental (RESENDE *et al.*, 2007), estudos dos atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos fornecem importantes informações a nível local, permitindo evidenciar fenômenos geoambientais na paisagem (SCHAEFER *et al.*, 2000a; SIMAS, 2002). Ainda, permite ampliar o conhecimento da relação entre os fatores e processos de formação do solo em um dado contexto ambiental.

Neste sentido, o estudo de solos desenvolvidos de rochas ferríferas no Brasil concentra-se principalmente na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (CURI, 1983; CURI & FRANZMEIER, 1987; KER & SCHAEFER, 1995; COSTA, 2003; CARVALHO FILHO, 2008). Portanto os platôs de canga ferrífera de Carajás

representam uma oportunidade única para a ampliação dos estudos pedológicos semelhantes no domínio morfoclimático da Amazônia.

A serra Sul (Figura 1) representa o mais extenso platô de canga na paisagem da serra dos Carajás, abrigando diversos ecossistemas desenvolvidos sobre formações ferríferas com elevado grau de conservação. Por outro lado, a exploração mineral impõe o desafio de se compatibilizar o desenvolvimento econômico com a preservação destes ecossistemas singulares. Em função disto, torna-se prioritária a geração de bases de dados sobre estes ambientes de forma a subsidiar as avaliações de impactos ambientais, nortear estratégias de conservação e propor medidas de mitigação dos impactos causados pela mineração na região de Carajás.

O objetivo deste trabalho é caracterizar, quanto aos aspectos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos, os principais solos nos geoambientes da serra Sul, buscando conhecer em maior detalhe os principais fatores e processos pedogenéticos atuantes nestas condições. A ênfase do presente estudo são diferenciações pedológicas encontradas na paisagem de canga de Carajás. As informações geradas poderão contribuir para o aprofundamento do conhecimento pedológico na região e subsidiar estudos posteriores de recuperação e restauração de áreas degradadas nos diversos empreendimentos minerários presentes na serra dos Carajás.

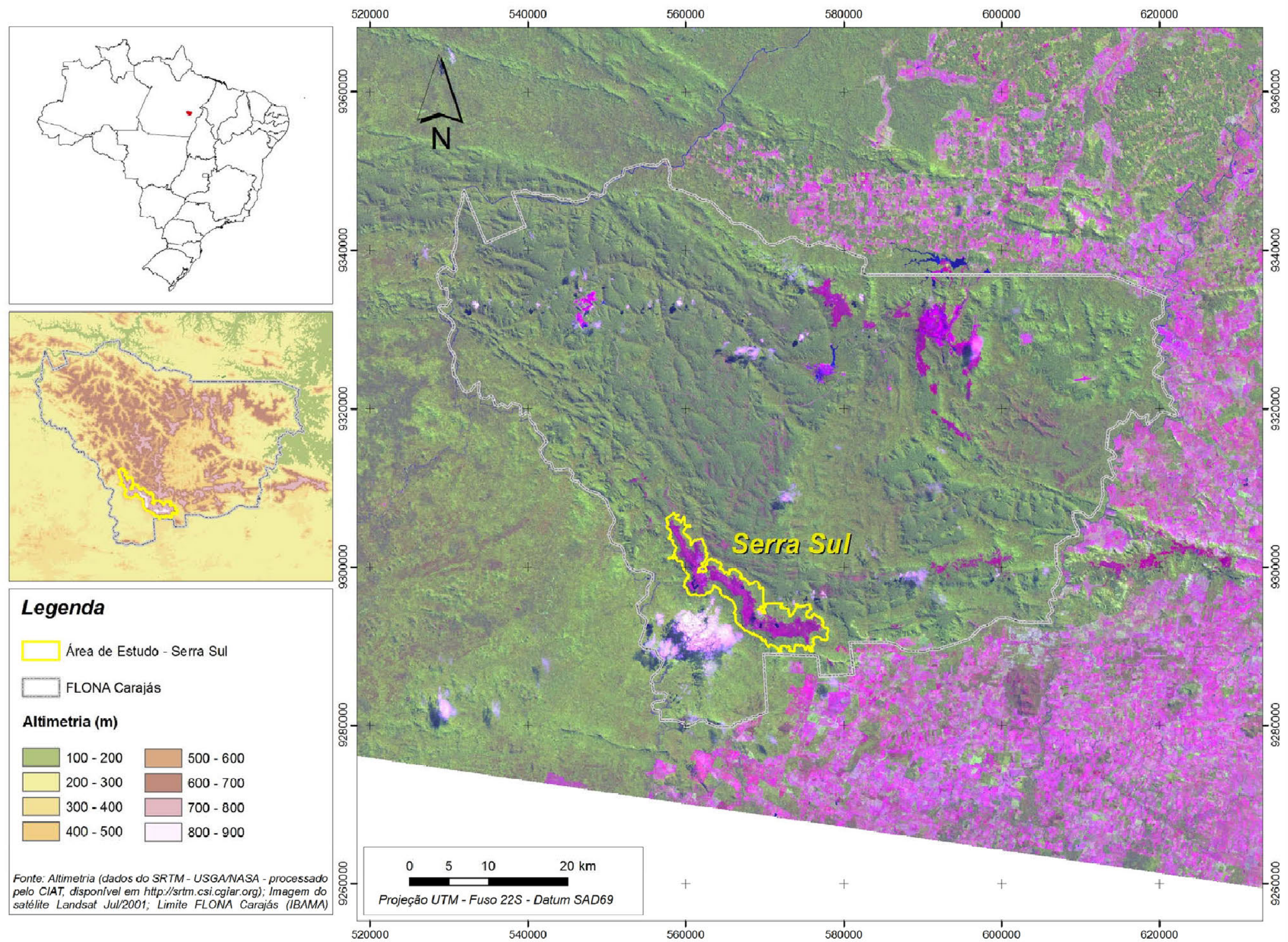


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, evidenciando a serra Sul, situada na Floresta Nacional de Carajás, sudoeste do Estado do Pará.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. A serra dos Carajás**

#### **2.1.1. Clima**

Na região de Carajás estado do Pará, o clima é tipicamente tropical, quente e úmido, enquadrado como do tipo “Aw” pela classificação de Köppen, com temperaturas médias oscilando entre 19 e 31 °C, caracterizado por duas estações distintas, uma seca (inverno) de maio a outubro e outra úmida (verão) de novembro a abril, com períodos torrenciais bastante intensos.

A serrade Carajás, do ponto de vista climático, está localizada na faixa conhecida como corredor seco da Amazônia Oriental, representando uma faixa climática transicional entre a Bacia Amazônica e o Planalto Brasileiro, apresentando grande variedade de fácies locais de pequena expressão geográfica (VANZOLINI & BRANDÃO, 1986). Como zona de tensão ecológica em escala regional, o relevo e o conjunto de condições climáticas característicos de Carajás tornaram possível a coexistência de paisagens diferentes, que incluem solos tropicais profundos cobertos por Floresta Ombrófila, lado a lado com vegetações ora florestais ora abertas (campestres), de caráter estacional, nas vertentes escarpadas e em alguns relevos mais altos, com coberturas pedológicas muito pouco desenvolvidas.

#### **2.1.2. Geologia**

O distrito ferrífero da serra dos Carajás é constituído essencialmente de rochas Pré-cambrianas de origem variada e distintos graus de metamorfismo (RESENDE & BARBOSA, 1972). A região está localizada no extremo SE do Cráton Amazônico, com ocorrência de um núcleo granito-*greenstone* envolvido por cinturões de gnaisses migmatizados e faixas supracrustais associadas, com direções EW, NE-SW e NW-SE conforme ALMEIDA, (1968).

A serrade Carajás evidência uma estrutura geotectônica em flor, desenvolvida no Pré-Cambriano, cuja topografia revela os efeitos de movimentação antiga e reativação rescente (Figura 2).

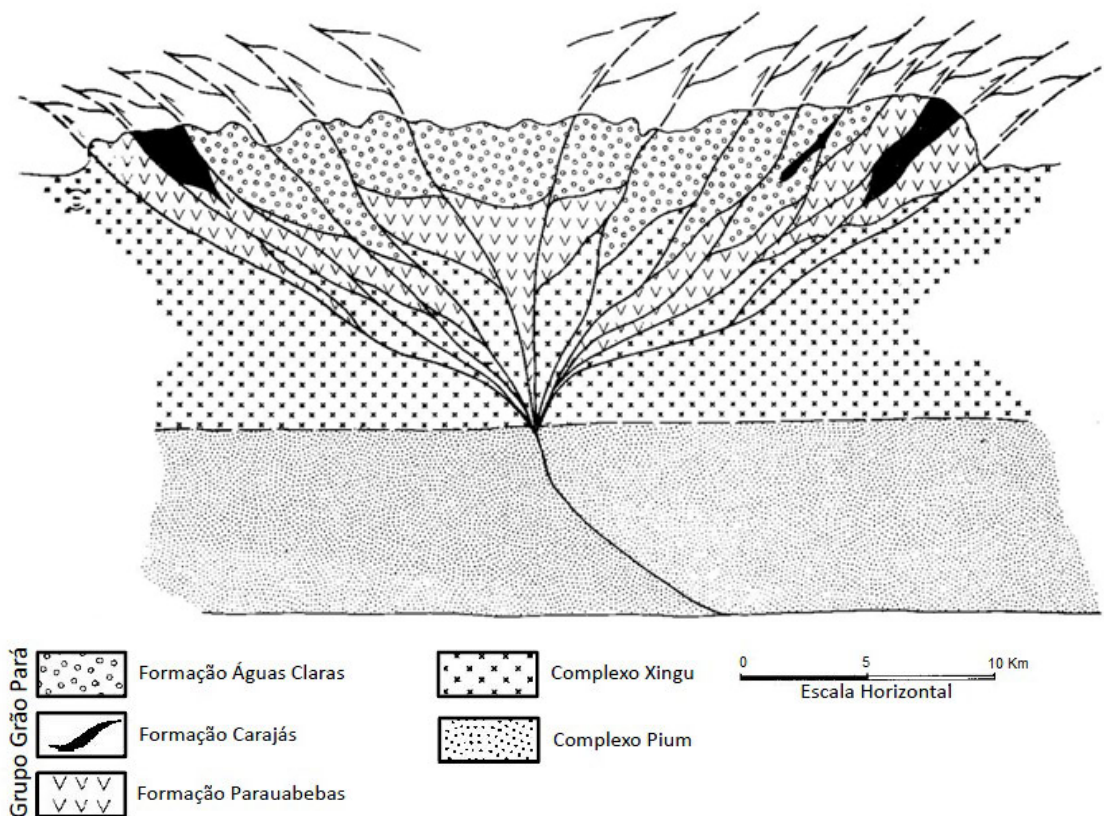


Figura 2 – Corte esquemático da distribuição de unidades geológicas – Província mineral de Carajás. Fonte: BRASIL (1991).

A serrade Carajás é constituída por um conjunto de serras menores que são formadas a partir de corpos de minério, constituindo extensos platôs de canga, esculpidos sobre a formação ferrífera de Carajás. Segundo BEISIEGEL *et al.*, (1973), estas formações são agrupadas na formação Carajás, unidade intermediária do grupo Grão Pará, incluído no supergrupo Itacaiúnas (Figura 2). Sua idade mínima é datada em 2.740 +/- 8 Ma, de acordo com TRENDALL *et al.* (1998).

Segundo LINDENMAYER, *et al.*, (2001), as formações ferríferas de Carajás são formadas por jaspelitos e guardam as maiores jazidas de ferro de alto teor do planeta (18 bilhões toneladas com mais de 65% de Fe). A origem dos teores anômalos e elevados de ferro é vinculada à sedimentação Arqueana marinha rica em ferro.

O jaspelito é uma rocha finamente laminada, constituída por bandas alternadas de *jaspe* (quartzo microcristalino recristalizado) e de *hematita-martita-magnetita*. Nestas rochas, os teores dos óxidos de Si e Fe, somados encontram-se entre 90,78 a 99,72%, conforme reportado por LINDENMAYER, *et al.*, (2001). A espessura dessas formações foi estimada por BEISIEGEL (1982), em 200-250 m na serra Norte e superior a 300 m na serra Sul.

### 2.1.3. Solos Lateríticos

O termo laterita foi empregado por Buchanan em 1807 (ALEVA, 1994), em referência ao material saprolítico macio que sofria endurecimento irreversível quando exposto ao sol, rico em ferro, de coloração amarelo-ocre e vermelha, sem qualquer aparência de estratificação. Este material, observado por Buchanan durante uma viagem pela Índia, é utilizado em construções desde os tempos remotos.

O interesse científico nas lateritas foi despertado por várias áreas da ciência: geologia (WALTHER, 1889; HARRISON, 1910; LACROIX, 1913); geomorfologia (DE SWARDT, 1964; VALETON, 1972; McFARLANE, 1976); pedologia (ALEXANDER & CADY, 1962; MOHR *et al.*, 1972, BEAUVAIS & COLIN, 1993; HORBE & COSTA, 2004).

A importância de estudos sobre lateritas é apoiada nos seguintes fatores: as lateritas são as maiores reservas de alumínio; algumas lateritas são fontes de outros metais de grande importância econômica, tais como o níquel e o ferro, concentrados no processo de laterização; em várias regiões tropicais o efeito negativo da laterita no crescimento das plantas afeta a produção de alimentos (ALEVA, 1994).

De acordo com COSTA (1991), o termo laterito é usado para designar rochas formadas por meio de intenso intemperismo químico de rochas preexistentes, sob condições tropicais. Segundo este mesmo autor, os lateritos são caracteristicamente ricos em Fe e Al e pobres em Si, K e Mg. Para SCHELLMANN (1980), o intenso intemperismo das rochas faz com que os teores de Fe e/ou Al sejam mais elevados e os de Si mais baixos nos lateritos do que na rocha-mãe.

A Laterização (processo de formação das lateritas), é definida por SCHELLMANN (1983) como um processo que age independentemente da composição química da rocha de origem. No entanto, os resultados são claramente dependentes da composição química e mineralógica do material de origem. Desta forma, COSTA (1991) classifica os lateritos em: ferruginosos (ricos em ferro); fosfáticos (ricos em fosfato) e bauxíticos (ricos em hidróxidos de alumínio).

Na região amazônica, a primeira ocorrência de lateritos descritos na literatura científica foram feitas por KATZER (1903), que os descreveu como arenitos ferruginosos. Em meados dos anos cinquenta, grandes depósitos de lateritos bauxíticos foram descobertos pela *Kaiser Aluminium Company* e pela *Rio Tinto Zinc Company* na região amazônica. Nos anos sessenta, a descoberta de grandes depósitos de níquel, ferro

e de outros metais de grande importância econômica na região de Carajás estimulou ainda mais o interesse científico pela laterita.

COSTA (1990a, b; 1991) descreveu o potencial mineral da Amazônia e os processos de laterização de modo geral, constatando que nesta região, é comum a ocorrência de lateritos, no entanto, somente os ferruginosos e as baixíticos constituem grandes depósitos.

Segundo COSTA *et al.* 2005, os lateritos da região amazônica normalmente estão constituindo a superfície dos terrenos atuais, quando se manifestam tanto por crostas ferruginosas ou ferroaluminosas, como também por espessos pacotes de solos arenoargilosos a concrecionários de cor amarela até vermelha (classificados como Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Plintossolos).

Nestes solos, formados a partir do intemperismo de rochas ricas em ferro ou da própria crosta laterítica, a acumulação dos óxidos de ferro poderá apresentar-se na forma de um material mosqueado vermelho, vermelho-amarelado ou vermelho escuro, com padrões usualmente laminares, poligonais ou reticulados, constituído de mistura de material de argila, pobre em carbono orgânico e rico em ferro, ou ferro e alumínio, com quartzo e outros materiais. Essas acumulações são conhecidas como plintita (EMBRAPA, 2006).

A plintita caracteriza-se morfologicamente com padrões definidos de formas e cores, consistência dura a muito dura quando seca e firme a muito firme quando úmida (EMBRAPA, 2006), e por sua capacidade de endurecer irreversivelmente quando exposta a sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, sob forte incidência solar (SOIL SURVEY STAFF, 1975). Sua gênese tem sido relacionada às acumulações diferenciadas de ferro e/ou alumínio por condições alternadas nos processos de oxidação e de redução (ALEXANDER & CADY, 1962). Embora essa condição seja reconhecida como determinante no processo de formação da plintita, sua ocorrência em diferentes tipos de solos pedogeneticamente diferenciados, e a extrema variabilidade nos padrões apresentados, sugerem a associação com outros processos de formação dos solos (BATISTA & SANTOS, 1995).

A plintita sob efeito de repetitivos ciclos de umedecimento e secagem sofre consolidação irreversível, formando um material extremamente duro, denominado de petroplintita ("ironstone", cascalho laterítico, concreções lateríticas, canga, tapanhoacanga), de dimensões e formas variáveis (laminar, nodular, esferoidal), individualizadas ou aglomeradas (KÄMPF, 1997; EMBRAPA, 2006).

## 2.1.4. Geomorfologia

### 2.1.4.1. Planaltos Dissecados do Sul do Pará

Do ponto de vista geomorfológico, a serrade Carajás encontra-se inserida no domínio do Planalto Dissecado do Sul do Pará, caracterizado por maciços residuais de topo aplainado e conjuntos de cristas e picos interpenetrados por faixas de terrenos mais baixos (BRASIL, 1974). Esta unidade apresenta-se intensamente dissecada por vales encaixados, adaptados a redes de fratura em rochas arqueanas e algumas estruturas proterozóicas. Os vales são essencialmente fechados, em forma de V e, em alguns casos, em forma de U onde ocorrem as planícies aluvionares (BRASIL, 1991). A existência de drenagens interiores é evidenciada pela presença de lagoas suportadas pelas formações ferríferas do grupo Grão Pará. O relevo é montanhoso, predominando declividades acima de 40%. Na porção inferior de algumas encostas ocorrem declividades de 8-20%, caracterizando um relevo ondulado. Os topos são extensos e aplainados, tendendo localmente a tabulares, constituindo testemunhos de uma superfície de aplainamento resultante de uma pediplanação terciária que reelaborou um pediplano cretácico ou pré-cretácico (AB'SABER, 1986).

A serrade Carajás, *stricto sensu*, possui 160 km em seu eixo maior, no sentido leste -oeste, e 60 km de largura, no sentido norte -sul. O corpo principal da serra estende-se de leste para oeste, seguindo o rumo de velhos dobramentos do núcleo sul-amazônico do escudo brasileiro. A serra ou maciço de Carajás é o que restou de uma paleo-cordilheira arrasada desde os fins do Cretáceo (AB'SABER 1996), embasado por rochas Arqueanas dobradas com grau metamórfico muito baixo (grupo Grão Pará, formações Parauapebas, Carajás e Águas Claras), conforme observado na Figura 3.

Destacam-se neste domínio as serras com altitude média de 700 m, chegando a 900 m nas partes mais elevadas (Figura 3). Entre as principais serras que compõem o maciço de Carajás, tem-se: serra Sul, serra Norte, serrado Rabo ou do Buriti e a serrado Tarzan. Nas porções mais altas das serras, dispõem-se os paleo-relevos residuais caracterizados pelas coberturas lateríticas e concrecionárias que revelam um relevo colinoso exumado, conservado pelos profundos mantos de intemperismo das rochas ferríferas arqueanas, pertencentes à Formação Carajás do Grupo Grão-Pará. Na porção interna deste domínio, ocorrem relevos de menor amplitude, correspondendo às áreas de ocorrência do granitos proterozóicos (BRASIL, 1991). São comuns os ravinamentos, principalmente nos flancos da megaestrutura que constitui a serra dos Carajás (BRASIL, 1991).

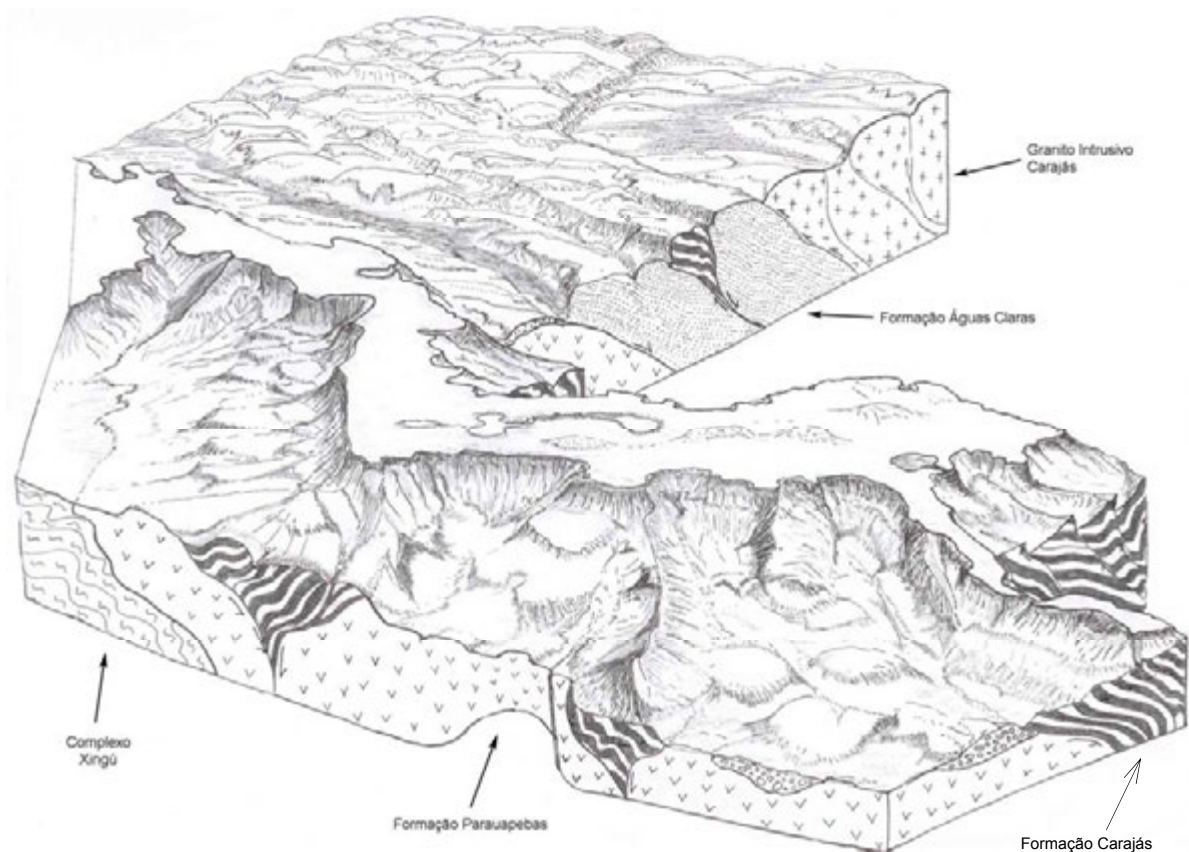


Figura 3 - Golpe de vista geológico e geomorfológico do domínio Planalto Dissecado do Sul do Pará, com detalhe da serra Sul, que representa um dos maciços residuais de formação ferrífera da serra dos Carajás. (Ilustração: Carlos Ernesto Schaefer).

Segundo RESENDE & BARBOSA (1972) os aspectos geomorfológicos marcantes da serrade Carajás são: vales cobertos pela mata virgem; serras alongadas e íngremes e chapadas ou “mesas”.

As chapadas são as feições dominantes, erguidas acima da floresta densa, em forma de clareiras, com encostas geralmente íngremes, com altitude geral variando de 600 – 880 m, cujas feições morfológicas comuns são: áreas predominantemente planas, alongadas e situadas mais ou menos ao mesmo nível (Figura 4); espigões alongados de perfis convexos com topos suaves ou planos, esculpidos sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada (Figura 5); depressões fechadas, com ocorrência de lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas (Figura 6).



Figura 4 - Áreas predominantemente planas, alongadas e situadas mais ou menos ao mesmo nível.

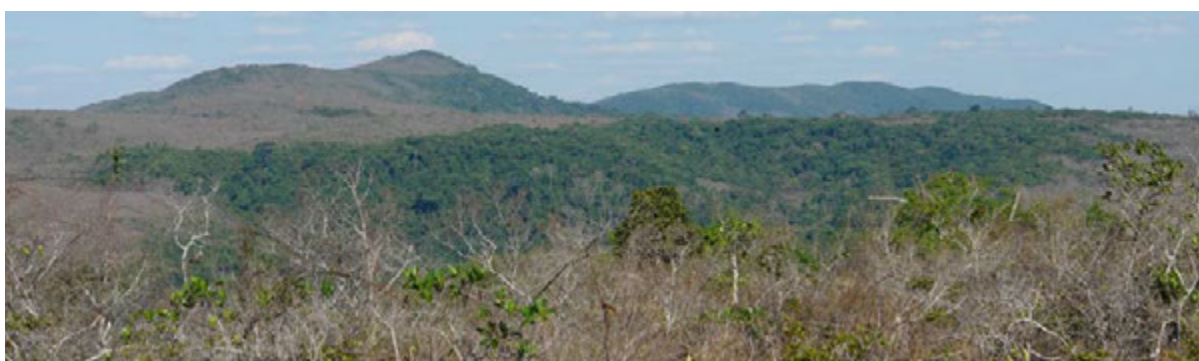


Figura 5 - Espigões alongados de perfis convexos com topos suaves ou planos, esculpidos sobre canga de minério de ferro, orientados longitudinalmente e erguidos acima da superfície alongada.

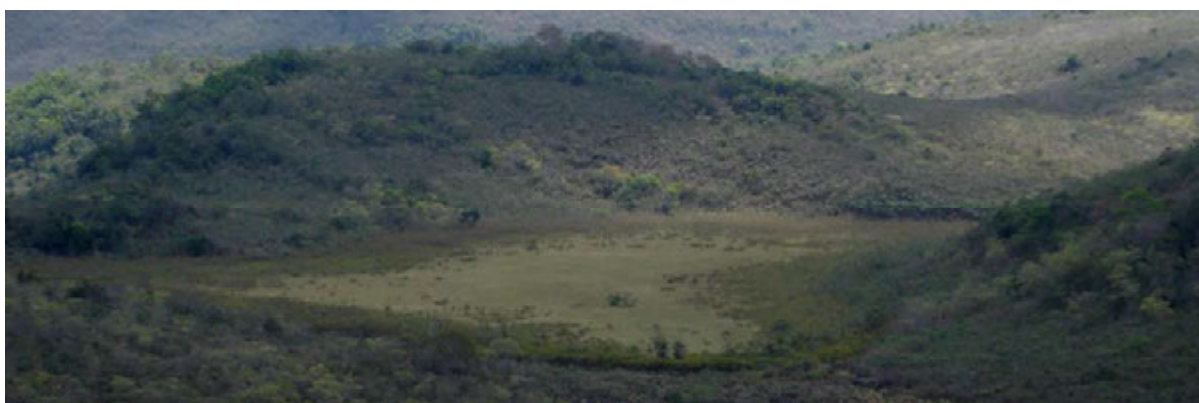


Figura 6 - Depressões fechadas, com ocorrência de lagos e brejos temporários ou perenes nas áreas planas e rebaixadas.

### 2.1.5. Vegetação

A presença de formações campestres na Amazônia, no caso de Carajás constituindo verdadeiras clareiras dominadas pela vegetação de canga, representa um importante ambiente de enclave dentro do domínio da floresta tropical. AB'SABER (1986) considera tais enclaves como testemunhos de uma cobertura vegetal arcaica, que teria antecedido a recente expansão das coberturas florestais amazônicas. Tal fenômeno teria ocorrido, significativamente, após a passagem do Pleistoceno para o Holoceno, em especial, quando do término da última glaciação, à partir de 10.000 anos atrás, em processo ainda hoje operante.

Estas fitofisionomias que crescem principalmente no topo das serras, sobre as formações ferríferas, foram denominadas por alguns autores como vegetação de canga (SECCO & MESQUITA, 1983; SILVA *et al.*, 1986); Savana Metalófila (PORTO & SILVA, 1989) ou campos ferruginosos (RIZZINI, 1979; VINCENT *et al.* 2002; VINCENT 2004; VIANA & LOMBARDI, 2007; JACOBI *et al.*, 2007). A distribuição destas fitofisionomias singulares é restrita a áreas associadas a importantes depósitos de minério de ferro no Brasil, sendo um dos ecossistemas mais ameaçados e pouco estudados, tanto em Minas Gerais (JACOBI *et al.*, 2008) como na região de Carajás (SILVA, 1996; NUNES, 2009). Esses campos, conjuntamente representam 97% das áreas com minério de ferro do país (PORTO & SILVA, 1989; VINCENT *et al.*, 2002 e VINCENT, 2004). A exploração do minério de ferro tem sido responsável pela eliminação de campos ferruginosos de forma indireta, por sua degradação, uma vez que ocorrem em áreas coincidentes (SCHAEFER *et al.*, 2008a).

De acordo com SILVA *et al.* (1996) a vegetação sobre canga ferrífera da região de Carajás é composta de inúmeras espécies endêmicas, raras, novas para a ciência, medicinais e ornamentais. Nesse sentido, esta região representa um ecossistema muito frágil e com características extremamente relevantes para sua preservação.

No topo da serrade Carajás (platôs de canga), onde há muitos afloramentos rochosos, a camada de solo é praticamente inexistente e as espécies desenvolvidas são de porte reduzido. Isto se deve ao pequeno acúmulo de matéria orgânica nas fendas das rochas ou entre elas, levando à formação de tapetes de gramíneas, subarbustos e arbustos de porte baixo sobre a canga. À medida que se desce as encostas, ocorre acúmulo de solo e de matéria orgânica, permitindo o crescimento de espécies de maior porte, ocorrendo aí o predomínio de espécies arbustivas sobre o estrato gramíneo. Na

base dos morros, a flora atinge seu máximo desenvolvimento e as espécies florestais e arbustivas inibem a existência do estrato gramíneo. Dessa forma tem-se caracterizado um gradiente vegetacional extremamente associado ao gradiente pedogeomorfológico: Campos rupestres herbáceos sobre os afloramentos, seguidos dos Campos arbustivos nas encostas e a Floresta ombrófila densa na base dos morros.

Sobre a canga ferrífera cresce uma vegetação baixa, com poucos indivíduos de porte arbóreo, conferindo uma fisionomia geral campestre, que se destaca da floresta tropical circunvizinha. O aspecto aberto desta vegetação foi importante desde o início das pesquisas geológicas, pois serviu como indicador para as descobertas de minério da região (SILVA *et al.*, 1996).

#### **2.1.6. Aspectos socioeconômicos**

Historicamente os aspectos sociais e econômicos da região sudeste do estado do Pará, mantiveram-se ligadas ao extrativismo dos recursos naturais.

A ocupação da região teve início no século XIX, quando colonos de outras regiões do Brasil para lá se deslocaram, na esperança de encontrarem áreas de potencial agrícola. Porém, ao se depararem com a imensa floresta tropical estabelecida sobre áreas de baixa fertilidade natural, adaptaram-se à subsistência e ao extrativismo dos recursos naturais da floresta, com destaque para seringueira e a castanha-do-brasil. No fim do século XIX até meados do século XX a extração de látex (ciclo da borracha) exerceu uma forte atração para os colonos. A grande oferta de borracha no mercado internacional, obtida de plantios comerciais pela Malásia pôs fim ao ciclo da borracha e ao sonho de riqueza de muitos colonos.

A extração de madeiras nobres como o mogno, a andiroba, a sucupira e a ucuuba, para a exportação e mercado interno, foi outra atividade que obteve um grande desenvolvimento a partir da década de 1970 (ARAÚJO, 1991), acelerando o processo de desmatamento na região. Neste mesmo período, segundo AB'SABER (1996), a descoberta de ouro aumentou ainda mais o afluxo extraordinário de garimpeiros e aventureiros, de todos os tipos, para a região, culminando com a descoberta de ouro na serra Pelada no ano de 1979. Nos dias atuais, a exploração da riqueza mineral da região, tem sido a base da economia. A grande oferta de trabalho nas atividades do setor minerário, tem gerado muitos empregos e um crescimento demográfico elevado e desordenado.

No ano de 1998, através do Decreto Federal nº 2.486, foi estabelecida a Floresta Nacional de Carajás. De acordo com o SNUC (2000), o objetivo básico desta Unidade de Conservação é consiliar o uso múltiplo sustentável dos recursos naturais e a pesquisa científica.

A comunidade residente na FLONA é representada pelo Núcleo Urbano de Carajás que foi implantado no início da década de 1980, possui 1.319 residências e cerca de 7.000 habitantes. A comunidade do entorno está concentrada principalmente na cidade de Parauapebas. Segundo dados do plano de manejo da Flona de Carajás, a população desta microrregião no ano de 2001 era de aproximadamente 173 mil habitantes (IBAMA, 2003).

O histórico da Floresta Nacional de Carajás está diretamente relacionado com as atividades da Companhia Vale na região e tem como marco referencial a descoberta da província mineral de Carajás, uma das mais importantes reservas minerais do Brasil, contendo os maiores depósitos de minério de ferro de alto teor do planeta (18 bilhões toneladas com mais de 65% de Fe), além de jazidas de Au, Cu, Mn, Ni e Pt. (VENEZIANI *et al.*, 2004).

## **2.2. Geoambientes da serra Sul**

Na estratificação geoambiental da serra Sul realizada por SCHAEFER *et al.* (2007), foram mapeadas e caracterizadas dez unidades geoambientais, na escala de 1:10.000. As principais características de cada goambiente são apresentadas no Quadro 1 e sua distribuição geográfica na Figura 13.

De modo geral, estes geoambientes estão distribuídos na serra Sul em 4 grandes compartimentos da paisagem, a saber: i) Encostas com campo rupestre sobre canga ferrífera ii) Encostas e grotas florestadas; iii) Depressões e patamares campestres mal-drenados e; iv) Lagos doliniformes.

### **2.2.1. Encostas com Campo Rupestre**

As encostas com campo rupestre de canga ferrífera constituem o compartimento de maior expressão geográfica do platô de canga propriamente dito, ocupando cerca de 36 % da área mapeada (Quadro 1). Este compartimento subdivide-se em duas unidade geoambientais: Encostas com campo rupestre de Vellozia sobre canga ferrífera, Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera.

Em geral, nas encostas com campo rupestre predominam os Plintossolos Pétricos, litoplinticos ou concrecionários, rasos, onde o solo friável raramente ultrapassa 5cm de horizonte A, rico em matéria orgânica na maioria dos casos, formado a partir de antigos termiteiros abandonados. Em alguns casos, forma-se um verdadeiro complexo de solos, com alternância de faixas ora mais rasas, ora mais profundas, indicando a atual morfogênese ativa no Platô, com dificuldade de manter a delgada cobertura pedológica.

No topo dos morros, a área é ocupada quase que totalmente pelos afloramentos rochosos, onde a camada de material orgânico é praticamente inexistente, ficando restrita ao acúmulo de material orgânico nas fendas da canga ferrífera, rochas ou entre elas, bem como nos inúmeros cupinzeiros que recolhem a pouca matéria orgânica acumulada. Nestes ambientes apenas um reduzido número de espécies conseguem desenvolver-se, representando um grau extremo de especialização sobre a canga.

À medida que se desce as encostas, a flora vai se tornando mais rica em espécies, além de aumentar o porte dos indivíduos. Nos locais onde o relevo é mais suave, associado a um maior grau de fraturamento da canga possibilita um maior acúmulo de solo, aparecem espécies de porte arbóreo mais desenvolvido.

### **2.2.2. Encostas e Grotas Forestadas**

Nas encostas da serra Sul e em zonas, especialmente onde houve o colapso sub-superficial do saprolito, sotoposto à canga ferrífera, formam-se áreas de acumulações coluviais, com solos com profundidade de horizonte Bic e Bwc variando de 20 cm a 1 metro ou pouco mais, onde a retenção hídrica e de nutrientes são favorecidas. Nessas condições, desenvolvem-se verdadeiras matas altas, bem estruturadas e ricas em espécies. Este compartimento da paisagem subdivide-se em três geoambientes fundamentais: Matas Altas sobre solos profundos de canga degradada (Capão florestal denso), ilustrado na Figura 7; Matas Baixas sobre solos intermediários de canga degradada (Capão florestal aberto); e Matas Altas de transição sobre solos profundos de canga degradada.



Figura 7 – Detalhe do geoambiente Mata Alta sobre solos profundos de canga degradada (Capão florestal denso), associado ao processo de formação das cavernas.

Nas encostas e grotas florestadas, foram descritos Plintossolos Pétricos Concrecionários e Latossolos Vermelhos Concrecionários, todos ricos em concreções ferruginosas e dominados por estrutura microgranular muito pequena. No geral, são solos bastante ácidos, com baixíssima CTC, onde se observa intensa atividade de térmitas construtores de montículos de terra vermelha que contrastam fortemente com os termiteiros negros dos campos rupestres adjacentes.

Estas unidades ambientais são frequentemente associados a cavernas de canga, onde se desenvolve espessa camada de guano, rico em minerais fosfatados. Os solos nas proximidades das cavernas são sempre mais profundos e ricos em matéria orgânica e serapilheira, além de serem muito mais ricos em fósforo que os solos de campo rupestre do entorno.

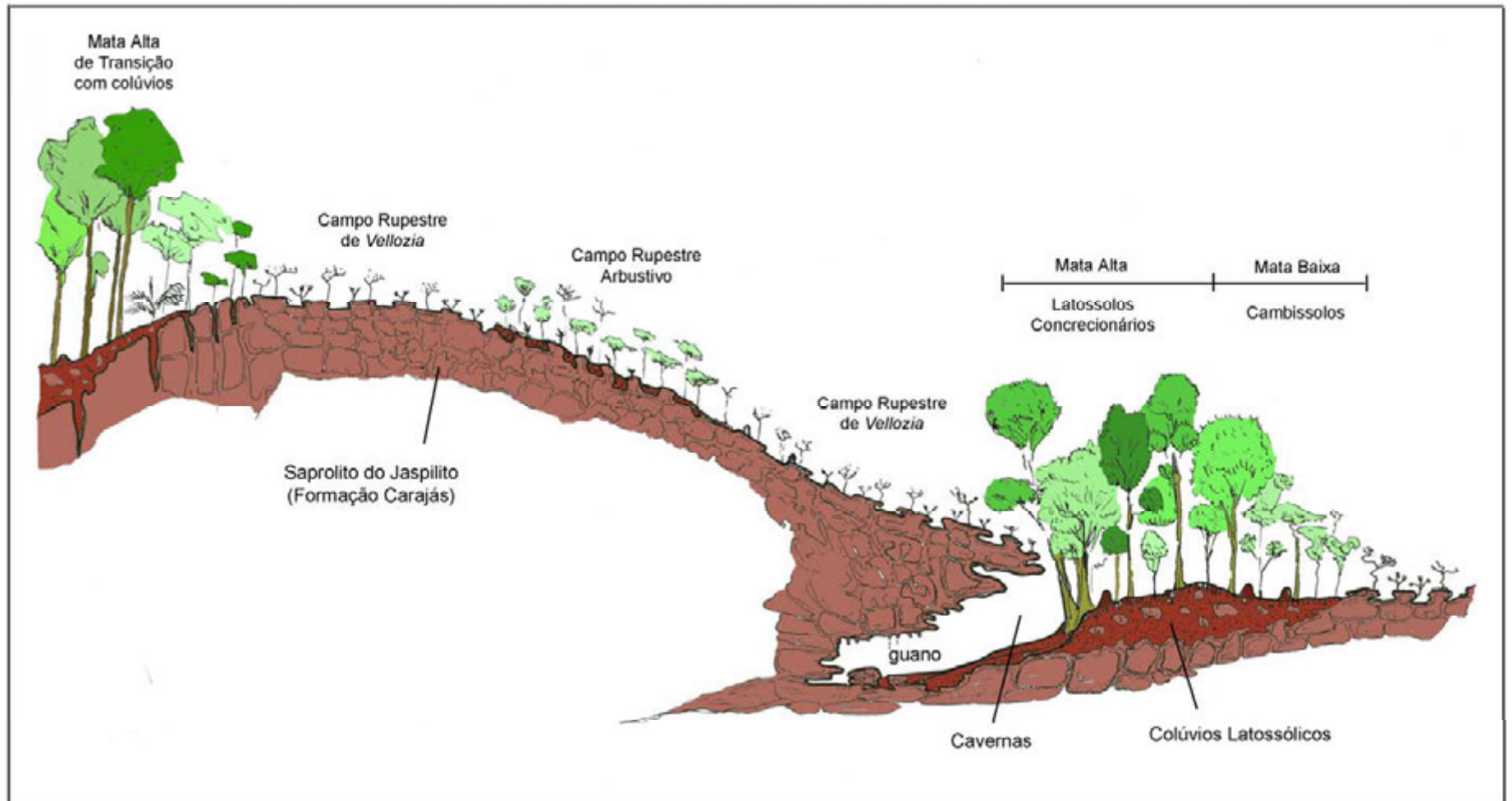


Figura 8 – Corte esquemático da paisagem interna da serra Sul, ilustrando as Encostas e Grotas florestadas, associadas ao processo de formação de cavernas e solos associados. (Ilustração: Carlos Ernesto Schaefer).

### 2.2.3. Depressões e Patamares Campestres mal-drenados

Nas depressões doliniformes e patamares rebaixados no platô de canga da serra Sul, ocorrem uma verdadeira sucessão vegetal, que se inicia com a colmatação ou pelo esvaziamento de antigas áreas lacustres com o avanço da drenagem interna do platô, promovida pelo rebaixamento do lençol freático, ou pela incisão da erosão remontante nas bordas, causando a dessecação dos lagos de Carajás (Figura 9).

Foram identificados e mapeados três geoambientes que caracterizam este compartimento da paisagem, a saber: (i) Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular (Figura 9), onde predomina Plintossolos Pétricos Litoplínticos, muito rasos, formados por canga pisolítica esferoidal; (ii) Campo brejoso graminoso sobre solos orgânicos (Figura 10); (iii) Buritizais sobre solos orgânicos (Figura 10), que normalmente ocorrem bordejando os Campos brejosos e as formações lacustres e doliniformes de maior extensão.



Figura 9 - Detalhe de lagedo onde ocorre o geoambiente Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular. No entorno observa-se as encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga.



Figura 10 - Detalhe dos ambientes depressionais que favorecem o acúmulo água e formação de solos ricos em matéria orgânica: Buritizais no primeiro plano e Campo brejoso no segundo plano.

#### **2.2.4. Lagos Doliniformes**

Foram mapeados 123 ha de lagos doliniformes na serra Sul, subdivididos em dois geoambientes: Vegetação submersa de borda lacustre (Figura 11) e Lagos doliniformes permanentes (Figura 12).

São geoambientes onde ocorre a acumulação de água freática ou pluvial em depressões de dissolução na canga, formando extensas áreas lacustres permanentes, algumas com vários metros de profundidade. Nos ambientes rasos de borda lacustre, há uma densa colonização por macrófitas aquáticas e plantas paludosas. A vegetação lacustre apresenta uma composição florística bem diferente daquela do entorno bem drenado.

De maneira geral, os lagos possuem fraca acumulação lamosa na forma de lamas argilo-siltosas de natureza ferruginosa (goethítica) e orgânica, com espessuras de poucos centímetros até metros, na parte central dos lagos maiores. À medida que a drenagem se rebaixa, os lagos vão se convertendo em amplos pantanais com solos orgânicos (turfas) até alcançar o completo desaparecimento de espelho d'água permanente.



Figura 11 – Detalhe do geoambiente: Vegetação submersa de borda lacustre.



Figura 12 – Detalhe dos lagos doliniformes permanentes.

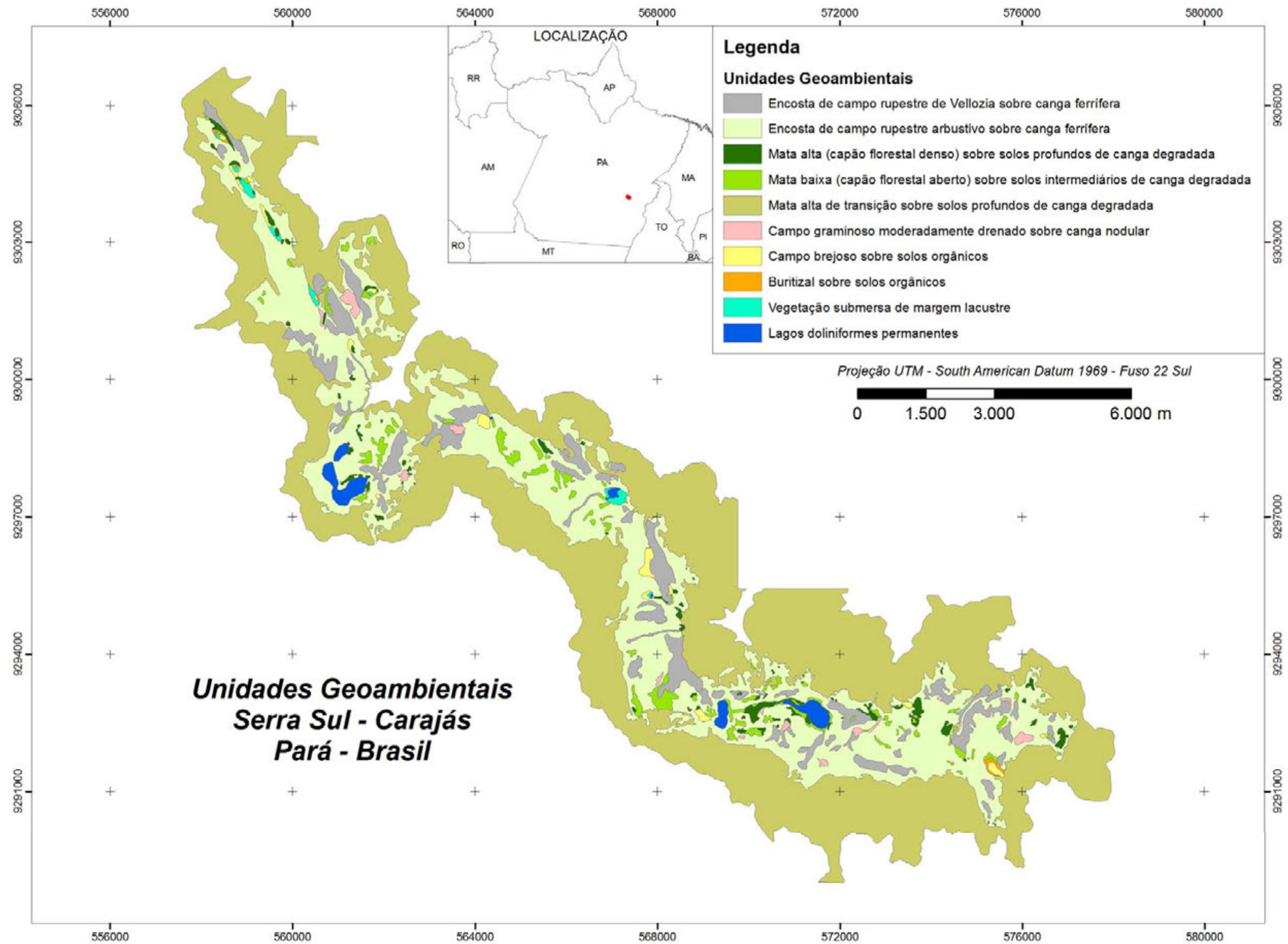


Figura 13 – Unidades geoambientais da serra Sul (Schaefer *et al.* 2007).

Quadro 1 – Caracterização geral das unidades geoambientais do platô de canga da serra Sul, Floresta Nacional de Carajás.

Compartimentos da Paisagem	Unidades geoambientais	Pedoambientes	Vegetação	Área	
				ha	%
Encostas com Campo Rupestre	Encostas com campo rupestre com <i>Vellozia</i> sobre canga ferrífera	Solos rasos, bem drenados, ricos em MO, sobre camada contínua de canga, abundância de termiteiros.	Estrato arbustivo-herbáceo com abundância dos gêneros: <i>Axonopus</i> , <i>Vellozia</i> , <i>Sobralia</i> , <i>Ipomea</i> e <i>Andropogon</i> característicos desta fitofisionomia.	644,8	6,5
	Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera	Solos rasos, bem drenados, com bolsões de MO nas fraturas da camada de canga, abundância de termiteiros.	Estrato arbustivo com abundância dos gêneros: <i>Callisthene</i> , <i>Byrsonima</i> , <i>Bauhinia</i> , <i>Alibertia</i> e <i>Mimosa</i> característicos desta fitofisionomia.	2.858,6	29,0
Encostas e Grotas Florestadas	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte, teores altos de P quando próximos à cavernas.	Estrato arbóreo com abundância dos gêneros: <i>Pouteria</i> , <i>Sacoglottis</i> , <i>Myrcia</i> , <i>Miconia</i> , <i>Ficus</i> e <i>Cupania</i> característicos desta fitofisionomia.	117,3	1,2
	Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte.	Formação ecotonal com gêneros comuns aos geoambientes: capões florestais altos, mata de transição e campo rupestre arbustivo.	191,4	1,9
	Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada	Solos profundos, bem drenados, com quantidade expressiva de fragmentos de canga (concreção) do tamanho de areia e silte.	Estrato arbóreo com abundância dos gêneros: <i>Mouriri</i> , <i>Caryocar</i> , <i>Eugenia</i> , <i>Casearia</i> , <i>Guatteria</i> , <i>Eugenia</i> e <i>Myrcia</i> característicos desta fitofisionomia.	5.791,8	58,9
Depressões e Patamares Campestres mal-drenados	Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular	Solos rasos, moderadamente drenados, ricos em MO, sobre camada contínua de canga.	Apresenta estrato graminóide com predominância das famílias: Xyridaceae, Ciperaceae, Gramineae e Eriocaulaceae características deste ambiente.	54,0	0,6
	Campo brejoso sobre solos orgânicos	Solos orgânicos, bem profundos, mal drenados, em ambiente com expressivo acúmulo e conservação de MO.	Vegetação lacustre com ocorrência das famílias: Ciperaceae, Eriocaulaceae, Nymphaeaceae, Iridaceae, Lentibulareaceae, Xyridaceae, com abundância de Gramineae e samabáias, além de macrofitas aquáticas.	49,4	0,5
	Buritizais sobre solos orgânicos	Solos orgânicos, profundos, mal drenados, em ambiente com expressivo acúmulo e conservação de MO.	Estrato arbustivo com dominância das espécies: <i>Mauritia flexuosa</i> , <i>Mauritia caranda</i> e espécies herbáceas do campo graminoso.	9,4	0,1
Lagos Doliniiformes	Vegetação submersa de margem lacustre		Ambiente aquático com Ciperáceas, Eriocauláceas, <i>Typha</i> sp., <i>Eleocharis</i> sp., além de outras macrófitas aquáticas. Durante alguma parte do ano ou do ciclo de vida ocorrem em ambiente aquático.	27,6	0,3
	Lagos doliniiformes permanentes		Macrófitas aquáticas	95,34	1,0

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Seleção dos perfis e coleta das amostras de solos**

Após abrangente percorrimto da área de estudo, foram selecionados treze perfis representativos de solos dos principais geoambientes que compõem a paisagem da serra Sul (Quadro 2), objetivando entender melhor os fatores e processos envolvidos na gênese destes solos, contribuindo para um melhor detalhamento dos dados pedológicos desta região. A localização de cada perfil de solo é apresentada no mapa de solos da serra Sul (Figura 14), elaborado por Schaefer *et al.* (2007). No Quadro 2 são apresentadas informações de localização e características ambientais de cada perfil em seu respectivo geoambiente.. Os solos foram classificados até o quarto nível categorico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A descrição detalhada de cada perfil encontra-se no apêndice A.

#### **3.2. Caracterização morfológica**

Foram realizadas no campo a descrição morfológica dos perfis e a amostragem dos solos para as análises laboratoriais, ambas de acordo com SANTOS *et al.* (2005), e as cores identificadas conforme MUNSELL (1994). A posição geográfica de cada perfil foi obtida utilizando-se GPS de navegação. As amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se desta maneira, a terra fina seca ao ar (TFSA), que foi submetida às análises descritas a seguir.

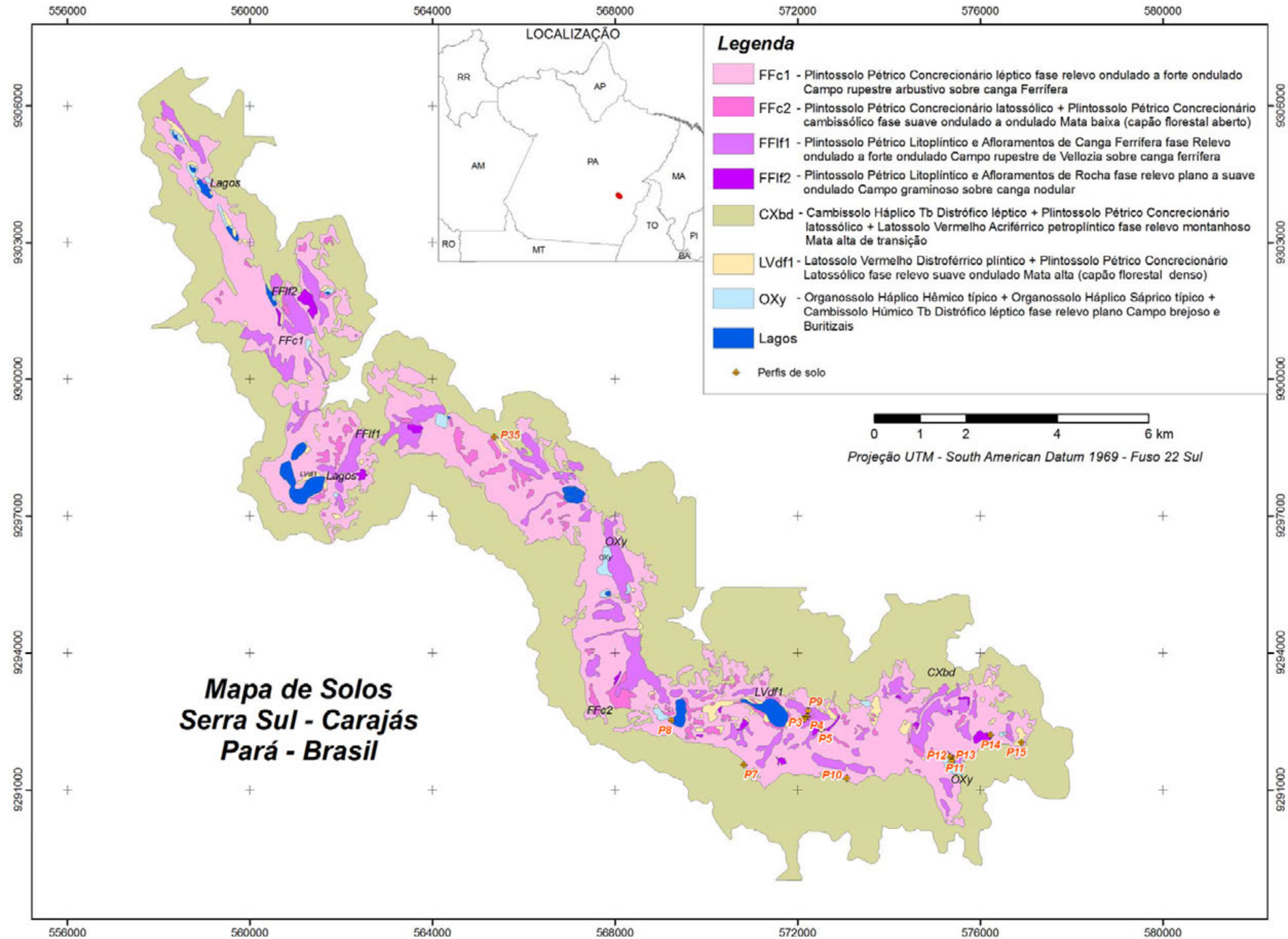


Figura 14 – Mapa de solos e de localização dos perfis amostrados para o presente estudo na serra Sul (Schaefer *et al.*, 2007).

Quadro 2 – Dados de localização e características ambientais dos perfis de solo amostrados para o presente estudo.

Perfil	Classe de Solo	Unidade Geoambiental	Coordenadas (UTM - 22M)	Alt. (m)	Relevo local	Características ambientais
3	Plintossolo Pétrico	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572173 9292600	768	Plano	Solo com blocos concrecionados entre 25 e 70cm, com 60% de concreções em processo de degradação e intensa atividade de térmitas.
4	Plintossolo Pétrico	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572143 9292582	768	Suave ondulado	Solo com blocos concrecionados entre 25 e 70cm, com 60% de concreções em processo de degradação, intensa atividade de térmitas.
5	Plintossolo Pétrico	Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular	572520 9292320	731	Plano	Solo muito raso, formado de canga pisolítica esferoidal degradada (60%), com abundância de raízes de gramíneas e atividade intensa de térmitas.
7	Plintossolo Pétrico	Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada	570918 9291589	880	Montanhoso	Solo formado por canga degradada e colúvios de escarpa da formação Carajás, em borda serrana, com 60% de concreções frequentes, duras, angulares e grandes.
8	Organossolo Háptico	Campo brejoso sobre solos orgânicos profundos	569240 9292514	713	Plano	Material orgânico sobre canga degradada da formação Carajás (turfeira de campo brejoso).
9	Plintossolo Pétrico	Encosta com campo rupestre de canga ferrífera com <i>Vellozia</i>	572234 9292724	770	Plano	Solo formado de canga ferrífera, muito raso, com bolsões nas fraturas da canga, com atividade intensa de térmitas; muitas concreções duras, irregulares, pequenas e grandes.
10	Plintossolo Pétrico	Encosta com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera	573040 9291210	810	Plano	Solo muito raso, em bolsões nas fraturas da canga. Intensa atividade de térmitas, concreções frequentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
11	Cambissolo Húmico	Buritizal sobre solos orgânicos	575396 9291680	736	Plano	Solo orgânico originado de depósitos fluvio-lacustre derivados da formação Carajás, mal drenado, com canga sendo degradada formando aparentemente ferridrita.
12	Organossolo Háptico	Campo brejoso sobre solos orgânicos	575376 9291607	736	Plano	Solo orgânico, saturado com água mesmo no período da seca (turfeira de campo brejoso).
13	Plintossolo Pétrico	Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada	575334 9291726	720	Suave ondulado	Solo formado da degradação da canga, rico em matéria orgânica.
14	Plintossolo Pétrico	Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular	576230 9292190	720	Plano	Solo muito raso, mal drenado, bastante amarelo, formado de canga pisolítica esferoidal degradada (60%)
15	Latossolo Vermelho	Matas altas sobre solos profundos de canga degradada	572143 9292582	694	Plano	Solo profundo, originado da degradação da canga e colúvios da formação Carajás, em ambiente florestal.
35	Plintossolo Pétrico	Encosta com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera	565357 9298724	609	Ondulado	Solo muito raso, com bolsões nas fraturas da canga.

### **3.3. Caracterização física**

#### **3.3.1. Análise textural**

A TFSA (10 g) foi tratada com 50 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e 150 mL de água deionizada em três repetições, agitando com um bastão de vidro e deixando em repouso por um período de 6 horas. Em seguida o material foi transferido para frascos plásticos que após tampados foram agitados durante 16 horas a 50 rpm. A suspensão foi passada para proveta de 500 mL através de peneira de malha de 0,053 mm separando as frações areia fina e grossa (retidas) das silte e argila (suspensão). As frações areia grossa e areia fina foram separadas após passagem em peneira de 0,210 mm. O material em suspensão foi transferido novamente para a proveta de 500 mL, completando-se o volume com água deionizada, determinando depois a argila pelo método da proveta e a fração silte por diferença (RUIZ, 2005).

### **3.4. Caracterização química**

#### **3.4.1. Análises de fertilidade do solo**

As análises foram feitas em três repetições de acordo com EMBRAPA (1997) e constaram de: pH em água e em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, determinados potenciométricamente, na relação solo:solução de 1:2,5 com 1 h de contato e agitação da suspensão no momento da leitura; extração de fósforo disponível, sódio e potássio trocáveis e os micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup> (Mehlich - 1), na proporção solo:solução 1:10, sendo o fósforo determinado espectrofotometricamente, o sódio e potássio por fotometria de emissão de chama e os micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica; dosagem de cálcio e magnésio trocáveis por espectroscopia de absorção atômica e do alumínio trocável por titulometria após a extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> na relação solo:solução 1:10; determinação da acidez potencial (H + Al) por titulometria após extração com Ca(CH<sub>3</sub>COO<sub>2</sub>) 0,5 mol L<sup>-1</sup> na relação solo:solução 1:10 e pH 7,0; o fósforo remanescente (P - rem) foi obtido em amostra de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg/mL de P, na relação solo:extrator de 1:10 segundo ALVAREZ & FONSECA (1990) e determinado nos extratos segundo MURPHY & RILEY (1962).

### **3.4.2. Ataque sulfúrico**

Nos extratos obtidos pela digestão em três repetições da TFSA, moída e passada em peneira com malha de 0,5 mm, com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  9 mol  $\text{L}^{-1}$  na proporção 1:20, com aquecimento de 170 °C por 1 h e filtragem em papel de filtro lento (EMBRAPA, 1997), foram determinados os teores totais de alumínio, ferro e titânio por espectrofotometria de emissão ótica plasma acoplado idutivamente, e no resíduo do filtrado obtido pela lavagem do papel de filtro com água deionizada foi determinado o silício por espectroscopia de absorção atômica.

### **3.4.3. Ferro e alumínio extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio**

Para a extração das diferentes frações de ferro e alumínio, foram utilizadas três repetições de amostras de argila, moídas e passadas em peneira com malha de 0,21 mm. As formas de Fe livre foram extraídas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio 0,3 mol  $\text{L}^{-1}$  na proporção 1:20, permanecendo em “banho maria” a 75 °C sob agitação constante por 30 minutos, sendo, em seguida centrifugado a 2.500 rpm por 15 minutos em seis extrações sucessivas (MEHRA & JACKSON, (1960). Neste mesmo extrato, foi determinado o Al.

As formas de Fe e Al de baixa cristalinidade foram extraídas com oxalato de amônio em concentração de 0,33 mol  $\text{L}^{-1}$  a pH 3,0 na proporção de 1:40, com agitação por 4 h na ausência de luz e centrifugação a 2.500 rpm por 15 min (McKEAGUE, & DAY, 1966). Todas as determinações de Fe e Al foram feitas por espectrometria de emissão de plasma indutivamente acoplado nos respectivos extratos.

### **3.4.4. Ataque triácido total**

Os extratos do ataque triácido total foram obtidos em três repetições da TFSA (moída e passada em peneira com malha de 0,25 mm), utilizando  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  e  $\text{HF}$ , todos concentrados, na proporção de 1:9, 1:3 e 1:4, respectivamente, com aquecimento em forno de microondas conforme o método EPA 3052 (1996). Os teores totais de Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Pb e Zn foram determinados por espectroscopia de emissão ótica de plasma indutivamente acoplado.

## **3.5. Caracterização da matéria orgânica**

### **3.5.1. Carbono orgânico total**

O carbono orgânico total (COT) da TFSA foi determinado em três repetições pela titulação do dicromato de potássio remanescente com sulfato ferroso amoniacal após o processo de oxidação por via úmida (YEOMANS & BREMNER, 1988).

### **3.5.2. Nitrogênio total**

O nitrogênio total foi determinado pelo método desenvolvido por Kjeldahl em 1883 (BREMNER & MULVANEY, 1982; TEDESCO *et al.*, 1995), que consiste em duas etapas: digestão sulfurica e destilação.

### **3.5.3. Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas**

As diferentes frações das substâncias húmicas foram obtidas em três repetições da TFSA segundo a técnica da solubilidade diferencial, em meio ácido ou alcalino, separando-se as fração humina (HU), ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH) conforme SWIFT (1996).

A fração humina foi separada das frações ácido húmico e ácido fúlvico agitando-se verticalmente tubos de centrifuga de 50 mL contendo 1,0 g de TFSA moída e passada em peneira de 0,20 mm com 10 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 1 h. Em seguida as amostras permaneceram em repouso por doze horas e foram centrifugadas a 3.000 g por 20 minutos. Novamente, foram adicionados 10 mL de NaOH nos tubos que foram agitados manualmente e deixados em repouso por uma hora até que foram centrifugados a 3.000 g. Este último procedimento foi realizado mais uma vez. Os resíduos nos tubos contendo a fração humina foram secos a 45 °C. O extrato alcalino teve o pH aferido em 2,0 com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 % e ficou em repouso por 12 h para precipitação da fração ácidos húmicos. Procedeu-se a centrifugação a 3.000 g por 5 minutos e recolheu-se o sobrenadante contendo a fração ácidos fúlvicos, que teve o volume aferido para 50 mL. O resíduo no tubo (fração ácidos húmicos) foi resuspendido com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e o volume completado para 50 mL.

O carbono orgânico das frações foi determinado pelo processo de oxidação por via úmida (YEOMANS & BREMNER, 1988).

### 3.5.4. Caracterização de ácidos húmicos e fúlvicos

Os ácidos húmicos e fúlvicos foram extraídos, purificados e liofilizados conforme SWIFT, (1996).

### 3.5.5. Análise elementar dos Ácidos húmicos e fúlvicos

Foi realizada a análise elementar dos AF e AH utilizando o analisador elementar Perkin-Elmer 2400, quantificando diretamente os teores de C, H e N, e obtendo o teor de O por diferença. As razões atômicas foram calculadas da seguinte forma:

$$H/C = [(\%H / 1) / (\%C / 12)],$$

$$C/N = [(\%C / 12) / (\%N / 14)] \text{ e}$$

$$O/C = [(\%O / 16) / (\%C / 12)].$$

### 3.5.6. Estoque de carbono no solo

Os valores de carbono total nos solos e geoambientes da serra Sul foi estimado utilizando-se a metodologia utilizada por FIDALDO *et al.* (2007) para a estimativa do estoque de carbono nos solos do Brasil. Segundo estes autores, o cálculo do estoque de carbono no solo passa primeiramente pela determinação dos teores no perfil, segundo a fórmula abaixo:

$$C_t = (C * DS * E) / 100$$

Onde:

$C_t$  = carbono orgânico total no horizonte em  $kg\ m^{-2}$ ;

C = conteúdo de carbono orgânico em  $g\ kg^{-1}$ ;

$DS^*$  = densidade do solo em  $gcm^{-3}$ ;

E = espessura do horizonte em cm.

\* No presente estudo, considerou-se uma densidade média igual a 1 para todos os horizontes.

## 3.6. Caracterização mineralógica

### 3.6.1. Difractometria de raios-X

A caracterização mineralógica foi realizada nas frações argila e silte (sedimentação) e areia fina (tamisação) conforme EMBRAPA (1997). Foram preparadas laminas orientadas de argila natural, desferrificadas com DCB (MEHRA & JACKSON (1960) e tratada com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> conforme KÄMPF & SCHWETMANN (1982), para destruição de gibbsita e caulinita. Nas frações argila e silte foram montadas laminas utilizando a técnica do “esfregaço”, de modo a intensificar os picos diagnósticos dos minerais. Para a fração areia fina, foram montadas lâminas escavadas. A análise mineralógica foi realizada por difratometria de raios-X (DRX), com radiação de Co K $\alpha$ , no intervalo entre 4 a 45 °2 $\theta$  a 1 passo s<sup>-1</sup>, com tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. Os picos dos minerais foram identificados segundo CHEN (1977).

### 3.6.2. Substituição isomórfica de ferro por alumínio

- **Goethita**

A substituição isomórfica de ferro por alumínio na goethita foi estimada pela fórmula proposta por SCHULZE (1982).

$$\text{cmol.mol}^{-1} \text{ Al} = 1730 - 572 * c$$

em que,  $c = \frac{1}{\sqrt{(1/d_{110}^2 - 1/d_{111}^2)}}$

A lógica desse calculo baseia-se no fato de que a substituição isomórfica causa uma alteração no tamanho do cristal, o que leva amudanças na posição dos picos, correlacionável com a porcentagem de substituição.

Um padrão de Silício, que não sofre substituição isomórfica, é utilizado para descontar a deriva que os picos podem sofrer.

- **Hematita**

De forma semelhante à goethita, SCHWERTMANN *et al.* (1979) propôs a seguinte fórmula para o cálculo da substituição isomórfica do ferro por alumínio na hematita:

$$\text{cmol. mol}^{-1} \text{ Al} = 3098,80 - 615,1185 * c$$

em que,  $c = d_{110} * 2$

### **3.7. Micromorfologia e Microanálises**

Para as análises de micromorfologia e microquímica, foram coletadas amostras indeformadas de solo para estudo em seções finas (lâminas de micromorfologia) de dimensão 2,5 por 5cm, polidas sucessivamente em disco de nylon com pasta diamantada, a partir de 60  $\mu$ , 6  $\mu$ , 3  $\mu$  e 1  $\mu$ , com posterior lavagem ultrassônica para remoção de resíduo do polimento. As características micromorfológicas foram analisadas com aumento mínimo de 10 vezes por microscópio petrográfico segundo BULLOCK *et al.* (1985) e FITZPATRICK (1993). As lâminas foram recobertas por uma fina película de grafite, para formar uma superfície condutora, sendo feitas microanálises (mapas químicos e análise pontual quantitativa) em microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo LEO 430i com detector de retroespalhamento acoplado ao espectrômetro de dispersão de raios X (PCXA-EDS) pertencente ao Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas. O aparelho foi operado a 84 eV, e a análise elementar quantitativa foi realizada através do método de normalização estequiométrica.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização geral e morfológica dos solos

#### 4.1.1. Solos com horizonte Litoplíntico

A presença do horizonte litoplíntico constitui um severo impedimento a infiltração de água e penetração de raízes. Estes solos são encontrados em três situações nas áreas estudadas: i) áreas planas onde ocorre acúmulo de água durante o período das chuvas, com desenvolvimento de vegetação graminóide; (ii) encostas montanhosas e lajedos com vegetação de campo rupestre com *Vellozia*; (iii) encostas montanhosas com vegetação de campo rupestre arbustivo.

Nas duas primeiras, o horizonte litoplíntico apresenta-se muito próximo a superfície, sob um delgado horizonte A, geralmente com menos de 8cm de profundidade, limitando o volume de solo para as reações de troca de nutrientes, retenção de umidade e crescimento das raízes. Nestes casos, a camada de canga é contínua, com poucas fraturas, formando um lajedo com tendência a formar concreções pisolíticas bem arredondadas. No caso dos perfis 13 e 35, a maior profundidade do horizonte superficial permite o desenvolvimento de campos rupestres com predomínio de elementos arbustivos, que caracterizam o geoambiente Encostas com campo rupestre arbustivos sobre canga ferrífera.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS, 2006) a presença do horizonte Litoplíntico é suficiente para classificação dos perfis 5, 9, 10 e 14 e 35 até o 3º nível categórico como Plintossolo Pétrico Litoplíntico. São solos minerais, rasos, com alta propensão a erosão, sobretudo nas encostas. A atividade de térmitas é de extrema importância para a formação do solo nos bolsões. A erosão dos montículos é fonte de material de solo, que se acumula nas fraturas e em micro depressões, nas quais as plantas fixam-se suas raízes e se desenvolvem. Os horizontes superficiais são em geral escuros, com textura fraca e relativamente ricos em carbono orgânico.

No caso dos perfis 8, 13 e 35, a maior profundidade do horizonte superficial e a coloração preta sugerem a presença de horizonte orgânico, sendo necessários dados analíticos para a classificação destes solos, conforme será discutido posteriormente neste trabalho. As figuras 15, 16, 17 e 18 apresentam os perfis de solos com horizonte litoplíntico caracterizados neste estudo.



Figura 15 - Detalhe dos perfis amostrados nos geambientes: A) Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular; B) Encosta com campo rupestre com Vellozia sobre canga ferrífera.



Figura 16 - Detalhe dos perfis amostrados nos geambientes: A) Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera; B) Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada.



Figura 17 - Detalhe do perfil 14 (Plintossolo Pétrico Litoplântico) amostrado no geambiente: Campo graminoso moderadamente drenado sobre canga nodular.

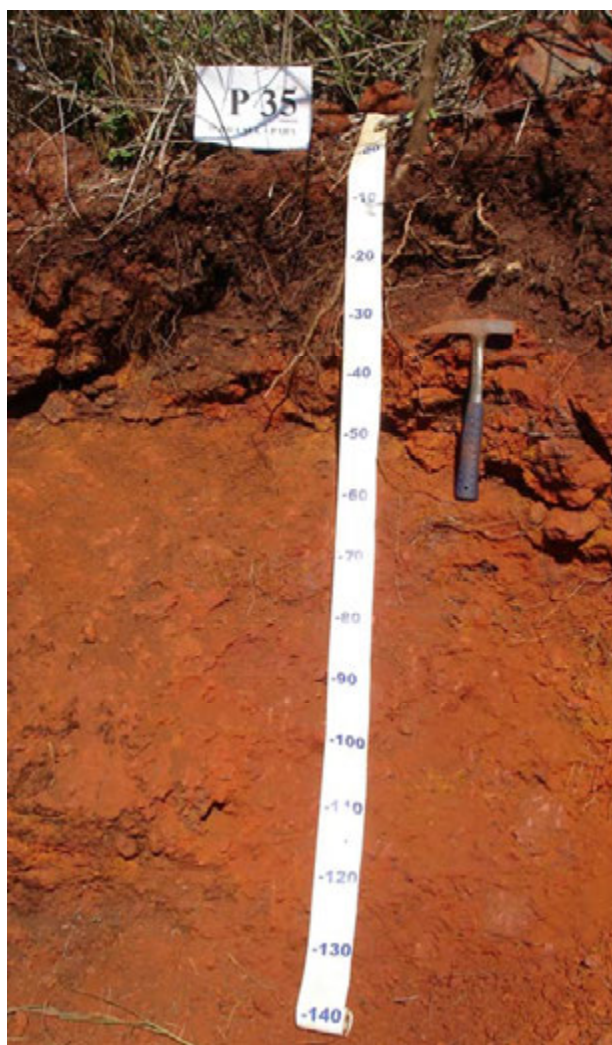


Figura 18 - Detalhe do perfil 35 (Plintossolo Pétrico Litoplântico) amostrado no geoambiente: Encostas com campo rupestre arbustivo sobre canga ferrífera.

#### 4.1.2. Solos com horizonte Concrecionário

Os solos com caráter concrecionário (perfis 3, 4, 7 e 15) são solos com horizonte A repousando sobre horizonte B com profundidade e teor de concrecionamento variáveis, de acordo com o grau de fraturamento da canga ferrífera e a posição na paisagem. Em razão da presença de horizonte B, ainda que em alguns casos fortemente concrecionário, estes solos sustentam vegetação de porte arbóreo típica dos geoambientes: Matas Altas sobre solos profundos de canga dregadada (Figura 19, A e B; Figura 20, B); Matas Altas de transição sobre solos profundos de canga degradada (Figura 20, A), agrupados no compartimento: Encostas e Grotas Florestadas.

Em todos os perfis deste grupo, o horizonte subsuperficial apresentam estrutura forte muito pequena granular, típica de solos desenvolvidos de rochas ferríferas (CURI,

1983; EMBRAPA, 1988; KER, 1995; COSTA, 2003). O predomínio de cores vermelhas com matiz (10R) nos horizontes subsuperficiais destes solos (Quadro 3), reflete a influência da hematita. As condições ambientais de boa drenagem favorecem a estabilidade da hematita, que possui alto poder de pigmentação (SCHWERTMANN, 1971, 1993; RESENDE, 1976; SCHWERTMANN *et al.*, 1982; KÄMPF & SCHWERTMANN, 1983).

Nas encostas, o horizonte B raramente ultrapassa 50cm de profundidade e o grau de concrecionamento é elevado, chegando a apresentar mais de 60 % de seu volume preenchido por matacões e calhaus de petroplintita, permitindo a classificação destes solos até o 3º nível categórico como Plintossolos Pétricos Concrecionários (perfis 3, 4 e 7). Já em ambientes mais conservadores, no terço inferior das encostas ou no interior de feições doliniformes resultado da dissolução da rocha ferrífera, o horizonte B apresenta mais de 50cm de profundidade.

Já no caso do perfil 15, o horizonte B apresenta mais de 65cm de profundidade, com menos de 50 % de concreção. Em função da estrutura forte pequena a muito pequena granular, da relação silte/argila próxima a 0,7 e cores com matiz 10R, este solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico petroplíntico. O elevado conteúdo de petroplintita levou-nos a propor a classificação de petroplintico no 4º nível categórico visto que o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos não prevê este atributo para esta classe.

De modo geral, os Latossolos da serra Sul são formados a partir da degradação dos blocos de canga em ambientes favoráveis ao acúmulo de colúvios, como grotas e depressões em meio a canga, frequentemente associadas às entradas das inúmeras cavernas formadas pela dissolução da rocha ferrífera. A formação de bolsões de material latossólico condiciona uma maior profundidade efetiva e, conseqüentemente, maior retenção de umidade, permitindo o desenvolvimento de vegetação florestal de maior porte.

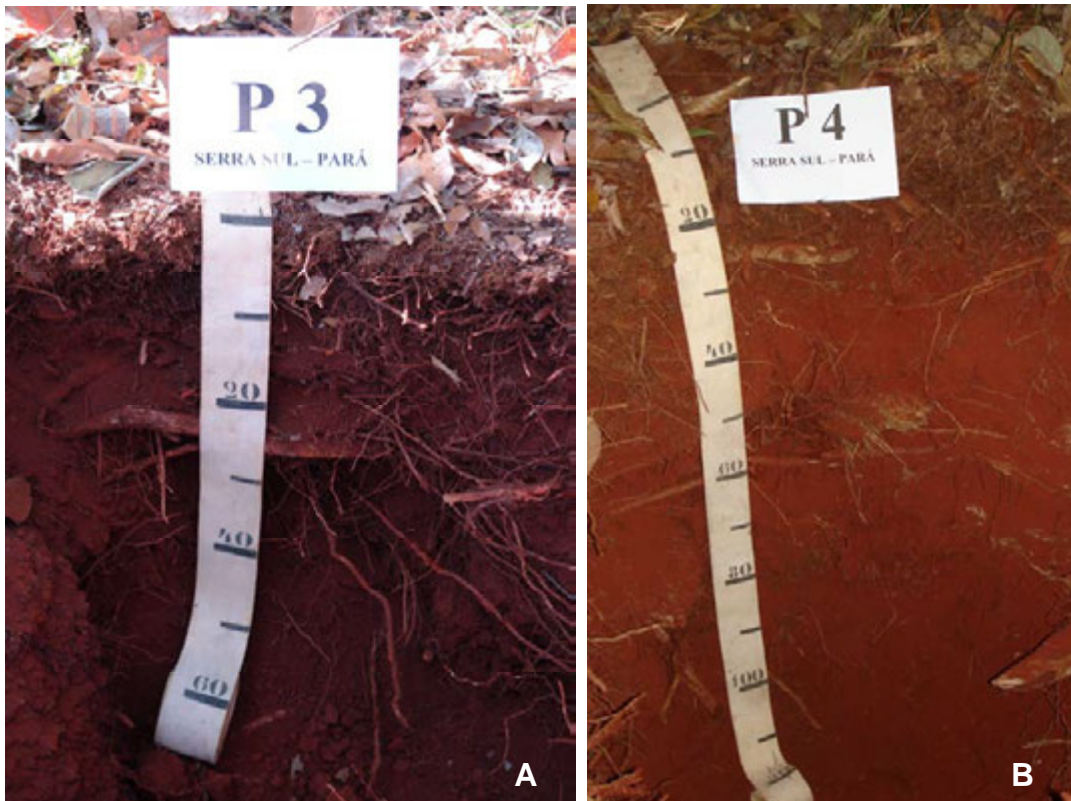


Figura 19 - A) Detalhe do perfil 3 (Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico); B) perfil 4 (Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico).

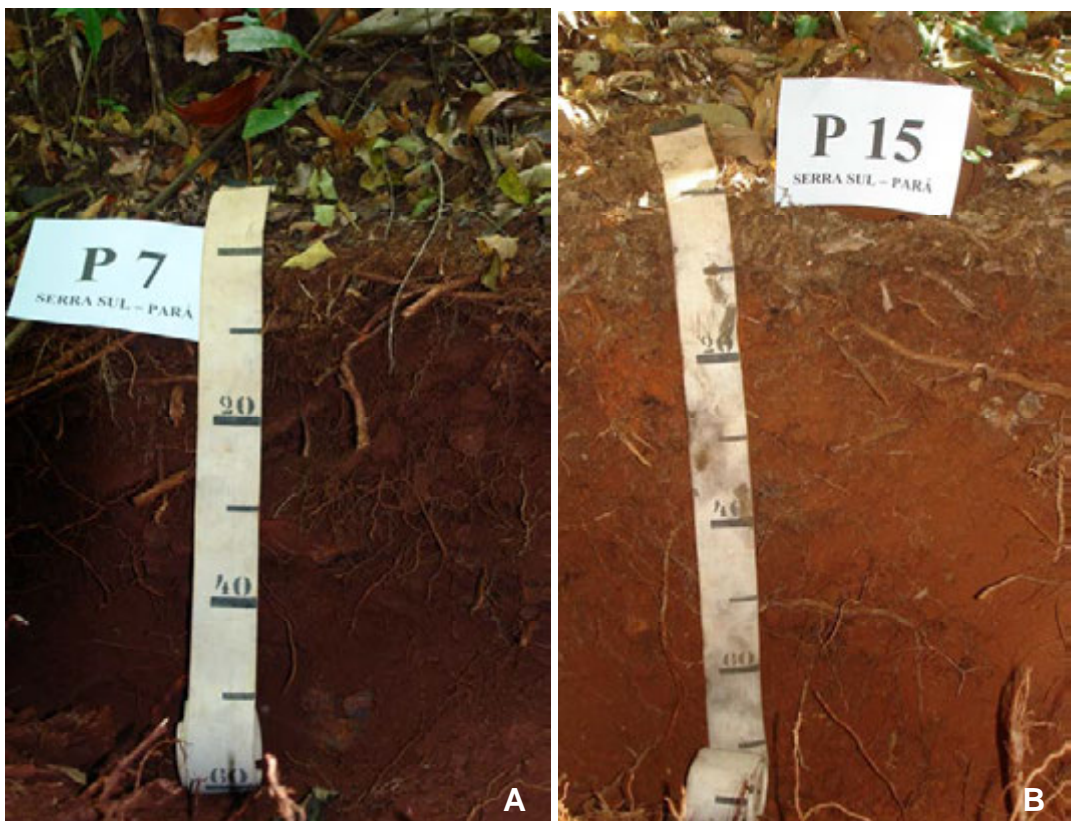


Figura 20 -A) Detalhe do perfil 7 (Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico); B) Perfil 8 (Latosolo Vermelho Acriférrico petroplântico), amostrados nos ambientes florestais da serra Sul.

### 4.1.3. Solos Orgânicos

Os solos orgânicos ocorrem em ambientes depressionais que favorecem o acúmulo de água e material orgânico, tal como o campo brejoso e o buritizal. Mesmo na estação seca, o solo se encontra saturado de água a partir de 30cm de profundidade. Os solos associados aos buritizais também apresentam lençol freático elevado, sendo representados pelo perfil 11, com coloração escura, indicando altos teores de carbono orgânico. É um solo profundo e mal drenado. Na zona de oscilação do lençol freático ocorrem fragmentos de canga em degradação, passando de petroplintita à plintita.

Em geral, todos os solos apresentam cores mais escuras nos horizontes superficiais (valor e croma baixo) em função dos maiores teores de matéria orgânica em relação aos horizontes subsuperficiais. Para os perfis 8, 11 e 12 (Figuras 21 e 22), a cor preta chegando a mais de 20cm de profundidade (Quadro 3), reflete a importância da matéria orgânica nas características e na gênese destes solos, indicando ambientes que favorecem o acúmulo e conservação da matéria orgânica no solo, sugerindo a ocorrência de horizontes hísticos ou húmicos.



Figura 21 - A) Detalhe do perfil 8 (Organossolo Háptico Sáprico típico); B) Perfil 12 (Organossolo Háptico Hêmico típico).



Figura 22 - Detalhe do perfil 11( Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico), amostrado no geoambiente Buritizal sobre solos orgânicos.

De modo geral, os solos representativos dos diversos ambientes da serra Sul podem ser agrupados em: (i) solos rasos com camada de canga contínua (horizonte litoplântico); (ii) solos com caráter concrecionário e; (iii) solos orgânicos ou húmicos. O primeiro grupo caracteriza-se pela presença de horizonte A, com profundidade normalmente menor que 10cm, repousando diretamente sobre o horizonte litoplântico (perfis 5, 9, 10, 13 e 14), com exceção do perfil 35, no qual o horizonte superficial apresenta até 30cm de profundidade.

## 4.2. Atributos físicos

Os solos estudados apresentaram teores de argila variando de 10 a 37 dag kg<sup>-1</sup>, caracterizando solos de textura franco, franco-argilosa e franco-argilo-arenosa (Quadro 3). Chama a atenção os valores altos da fração silte, variando de 18 a 52 dag kg<sup>-1</sup> e valor médio de 32 dag kg<sup>-1</sup>. Estes valores são provavelmente devido à presença de concreções ferruginosas no tamanho silte. Esta representa um tipo específico de pseudo-silte, já que são partículas formadas de concreções de óxidos de ferro abundantes nos solos de Carajás. É provável que a elevada concentração de concreções ferruginosas no tamanho silte esteja contribuindo para o aumento desta fração, na medida em que dificulta a dispersão do solo no laboratório (CURI, 1983) ou, ainda, favorecendo a rápida sedimentação de partículas dispersas de argila (COSTA, 2003).

A resistência aos tratamentos de dispersão dos microagregados do tamanho silte tem sido registrada em diferentes Latossolos (VITORINO *et al.*, 2003), em especial naqueles de constituição mais oxídica (LIMA *et al.*, 1990; COSTA, 2003; DONAGEMMA *et al.*, 2003). Possivelmente em virtude da dispersão pouco eficiente, houve subestimação dos valores de argila e superestimação dos de silte. Estes valores de silte quando relacionados aos baixos valores de argila, fornecem uma alta relação silte/argila. À primeira vista, estes altos valores poderiam induzir a inferência de serem solos mais jovens, pouco intemperizados, o que não é o caso visto que são solos predominantemente oxídicos.

Os valores de silte/argila superiores ao limite para latossolos (0,7) para os horizontes Bc dos perfis 4 e 7, caracteriza o caráter câmbico, sendo os solos classificados como Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico. Já no caso do perfil 15, como a relação é muito próxima de 0,7 (0,76), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). BENNEMA, (1981) já alertava para a inadequação da relação silte-argila para definir o horizonte latossólico em solos do Brasil.

Os Plintossolos Pétricos, de maneira geral, apresentam teores elevados de areia grossa, variando de 17 a 60 dag kg<sup>-1</sup> (Quadro 3), caracterizadas pelas concreções de ferro, petroplintita.

Quadro 3 – Características físicas e morfológicas dos solos estudados.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor seca (Munsell)	Areia grossa (2–0,2 mm)	Areia fina (0,2–0,02 mm)	Silte (0,02–0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)	Silte Argila	Classe Textural
					----- dag kg <sup>-1</sup> -----			
Perfil 3 – Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-4	2,5YR 2,5/3	41	7	25	27	0,93	Franco-Argilo-Arenosa
Bic1	4-25	10R 3/6	25	8	37	30	1,23	Franco-Argilosa
Bic2	25-60	10R 3/6	28	6	36	30	1,20	Franco-Argilosa
Perfil 4 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-10	2,5YR 2,5/3	23	7	40	30	2,00	Franco-Argilosa
AB	10-15	10R3/6	25	6	46	23	2,04	Franco
Bwc1	15-80	10R3/6	24	6	47	23	1,83	Franco
Bwc2	80-110+	10R3/6	25	7	44	24	0,84	Franco
Perfil 5 – Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico – Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular								
A	0-3	5YR 5/8	46	8	21	25	0,84	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 7 – Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-5	2,5YR 2,5/2	50	13	19	18	1,06	Franco-Arenosa
Bic	5-50	10R 2,5/2	60	9	21	10	2,10	Franco-Arenosa
Perfil 8 – Organossolo Háplico Sáprico típico – Campo brejoso sobre solos orgânicos								
Hy	0-20	7,5YR 2,5/1	27	27	22	24	0,92	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 9 – Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico – Encostas com campo rupestre de canga ferrífera com <i>Vellozia</i>								
A	0-5	2,5Y 5/3	20	7	44	29	1,52	Franco-Argilosa
Perfil 10 – Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico – Encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera								
A	0-5	5YR 3/4	45	2	23	30	0,77	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 11 – Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico – Buritizal sobre solos orgânicos								
Ah	0-12	7,5YR 2,5/1	13	26	40	21	1,90	Franco
Bif1	12-30	10YR 5/8	6	29	42	23	1,83	Franco
Bif2	30-45	2,5YR5/8	5	19	52	24	2,17	Franco-Siltosa
BC	45-60	10YR 8/8	40	7	26	27	0,96	Franco-Argilo-Arenosa

Quadro 3 – Características físicas e morfológicas dos solos estudados (Continuação).

Horizonte	Profundidade (cm)	Cor seca (Munsell)	Areia grossa (2–0,2 mm)	Areia fina (0,2–0,02 mm)	Silte (0,02–0,002 mm)	Argila (<0,002 mm)	$\frac{\text{Silte}}{\text{Argila}}$	Classe Textural
----- dag kg <sup>-1</sup> -----								
Perfil 12 – Organossolo Háplico Hêmico típico – Campo brejoso sobre solos orgânicos								
Hy1	20-40	7,5YR 3/3	46	2	15	37	0,40	Argilo-Arenosa
Hy2	40-70	7,5YR 2,5/1	20	7	43	30	1,43	Franco-Argilosa
Cf	70+	2,5Y 5/4	40	2	25	33	0,75	Franco-Argilosa
Perfil 13 – Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada								
Ah	0-10	10YR 2/1	35	8	35	22	1,59	Franco
Bif	10-25	2,5YR 2,5/2	53	3	25	19	1,32	Franco-Arenosa
Perfil 14 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular								
A	0-2	10YR 7/8	17	5	42	36	1,17	Franco-Argilosa
Bif	2-20	10YR 8/8	49	4	18	29	0,62	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 15 – Latossolo Vermelho Acriférico petroplântico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada								
A	0-5	2,5YR 3/6	23	15	44	18	2,44	Franco
Bwf1	5-40	10R 3/6	50	6	19	25	0,76	Franco-Argilo-Arenosa
Bwf2	40-70+	10R 3/6	43	6	20	31	0,65	Franco-Argilo-Arenosa
Perfil 35 – Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – Encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera								
A	0-25	2,5YR 3/4	45	5	21	29	0,72	Franco-Argilo-Arenosa
AF	25-30	2,5YR 3/6	44	7	18	31	0,58	Franco-Argilo-Arenosa
Guano de Caverna								
-	-	2,5YR 3/4	52	12	20	16	1,25	Franco-Arenosa
Solo de termiteiro								
-	-	2,5YR 5/4	16	4	12	68	0,17	Muito Argilosa

### 4.3. Atributos químicos

De forma geral, os solos nos geoambientes da serra Sul são caracterizados pela baixa CTC efetiva, acentuado distrofismo, P disponível muito baixo e teores elevados de  $Al^{+3}$  no complexo de troca. Estas características estão de acordo com diversos trabalhos anteriores estudando solos formados a partir de rochas ferríferas do Quadrilátero Ferrífero (CURI & FRANZMEIER, 1987; KER & SCHAEFER, 1995; COSTA, 2003; SCHAEFER, *et al.*, 2008a; CARVALHO FILHO, 2008).

Todavia, os teores de COT, principalmente nos horizontes superficiais (Quadro 4), são mais elevados do que o relatado para os solos do Quadrilátero Ferrífero (COSTA, 2003; CARVALHO FILHO, 2008). No caso dos perfis 4, 5, 7, 9, 11, a camada superficial apresenta mais de  $8 \text{ dag.kg}^{-1}$ , caracterizando material orgânico, porém sem espessura suficiente para caracterizar um horizonte hístico. No caso dos perfis 5 e 11, a posição em ambiente mal drenado reduz a decomposição do material vegetal (HAYES & MALCOLM, 2001). No caso dos perfis 4, 7 e 9, a elevada produção primária no ambiente florestal ou de campo arbustivo (perfil 9) associada à acentuada pobreza química dos solos pode contribuir para os elevados teores de carbono orgânico.

Os teores de carbono elevados em todos os solos estudados (Quadro 4) indicam condições favoráveis à incorporação dos resíduos vegetais à matéria orgânica do solo. Diversos fatores podem estar relacionados à preservação da matéria orgânica. Nas áreas bem drenadas, com vegetação de pequeno porte (campo rupestre com *Vellozia* e campo rupestre arbustivo), os principais fatores associados ao acúmulo de carbono provavelmente são o acentuado distrofismo dos solos (deficiência de nutrientes); o déficit hídrico no período das secas, que provavelmente condicionam um metabolismo microbiano mais lento, retardando a decomposição dos resíduos vegetais; e a toxidez pelo alumínio, o qual também é um fator de limitação para a atividade microbiana. Além do efeito biotóxico, causando redução da biodegradabilidade da matéria orgânica, observa-se que a formação dos complexos Al-MO torna a matéria orgânica mais resistente à oxidação química, preservando-a, como reportado por VOLKOFF *et al.*, (1984); MENDONÇA, (1995); BENITES *et al.*, (2001); DIAS *et al.*, (2003) e SIMAS *et al.*, (2005), em solos tropicais e subtropicais.

A íntima associação entre os campos ferruginosos e a ocorrência sazonal de fogo também pode contribuir para uma maior estabilidade de compostos orgânicos em

função da combustão incompleta de resíduos vegetais, semelhante ao verificado por BENITES (2002) em solos de campos de altitude no sudeste brasileiro.

No caso dos perfis 8, 13 e 35, observa-se o acúmulo de material orgânico com mais de 20cm de profundidade sobre o horizonte litoplântico, implicando em dificuldades para a classificação destes solos. Uma vez que o horizonte litoplântico é resultado de processos pedogenéticos, não parece coerente defini-lo como um contato lítico, tal qual um afloramento de rocha propriamente dita. Até mesmo porque o SBCS não prevê de forma clara a possibilidade de se considerar o contato litoplântico desta forma.

Considerando-se a presença do horizonte litoplântico como contato lítico, o perfil 8, situado em ambiente brejoso, no qual o solo apresenta-se saturado por mais de 30 dias por ano, seria classificado como Organossolo Háplico Sáprico típico. Já os perfis 13 e 35, situados em ambiente bem drenado, seriam classificados como Organossolo Háplico Sáprico lítico. Caso o contrário, todos os três perfis seriam classificados como Plintossolo Pétrico Litoplântico, sendo proposto o caráter hístico para o 4º nível categórico, o que não é previsto no sistema atual.

Entre todos os solos analisados, apenas o perfil 12, no qual o horizonte H possui 70cm de profundidade, caracteriza, sem dúvidas, um Organossolo Háplico Hêmico típico.

Nos solos com horizonte B concrecionário e no Latossolo, a redução nos valores de carbono orgânico em profundidade é acompanhada pela redução na soma de base (SB), CTC efetiva (t) e índice de saturação por bases (V), revelando a importância da matéria orgânica do solo na geração de cargas negativas.

Os valores de pH em água são extremamente baixos em todos solos, variando de 3,21 a 5,63, resultado de intensa lixiviação, remoção de bases e em parte pela acidez proveniente de materiais orgânicos (Quadro 4). De acordo com a EMBRAPA (2006), estes solos apresentam reação moderadamente a extremamente ácida. Em todos os solos o aumento do pH em profundidade evidencia a natureza ácida e a contribuição dos materiais orgânicos para a redução do pH do solo em superfície (Quadro 4). Outro aspecto a ser mencionado são os valores mais negativos do  $\Delta$ pH nos horizontes superficiais, ressaltando a importância da matéria orgânica no balanço das cargas negativas dos solos altamente intemperizados (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

Quadro 4 – Características químicas dos perfis estudados.

Hor.	Prof. (cm)	pH (1:2,5)		$\Delta$ pH <sup>(1)</sup>	Complexo Sortivo									V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	COT <sup>(7)</sup>	N <sup>(8)</sup>	C/N	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu	
		H <sub>2</sub> O	KCl		P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB <sup>(2)</sup>	t <sup>(3)</sup>											T <sup>(4)</sup>
		mg dm <sup>-3</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>										
Perfil 3 – Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada																								
A	0-4	4,74	3,32	-1,42	3,5	75	26,7	0	0,03	1,93	18,8	0,34	2,27	19,14	1,8	85	5,4	0,44	12,4	20,4	0,56	224,6	1,4	0,04
Bic1	4-25	4,7	3,57	-1,13	2,3	17	0,5	0	0,01	1,25	14	0,05	1,3	14,05	0,4	96,2	2,7	0,18	15,4	17	0,38	42,2	0,9	0,09
Bic2	25-60	4,19	3,81	-0,38	2	11	0,5	0	0,01	1,06	11,4	0,04	1,1	11,44	0,3	96,4	2,1	0,60	3,5	12,9	0,34	150,3	0,5	0,1
Perfil 4 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada																								
A	0-10	3,55	3,16	-0,39	16,9	21	1,5	0	0	2,89	21,9	0,07	2,96	21,97	0,3	97,6	9,8	0,12	80,0	21,7	0,77	236,3	0,8	0,37
AB	10-15	4,39	3,99	-0,4	18,9	8	0	0	0	1,06	10,8	0,02	1,08	10,82	0,2	98,1	2,1	-	-	13,8	0,79	124	2,3	0,67
Bwc1	15-80	4,2	4,09	-0,11	15,7	6	0	0	0	0,67	10,2	0,02	0,69	10,22	0,2	97,1	2,4	0,21	11,4	12,5	0,72	199,7	1,2	1,3
Bwc2	80-110 <sup>+</sup>	4,2	4,08	-0,12	13,4	7	0,5	0	0	0,58	10,3	0,02	0,6	10,32	0,2	96,7	1,8	-	-	12,5	1,56	110,9	0,9	0,88
Perfil 5 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular																								
A	0-3	5,07	4,28	-0,79	1,9	17	10,6	0	0	0,48	9,2	0,11	0,59	9,31	1,2	81,4	8,4	0,14	60,0	22,4	0,54	733,6	1,6	0,16
Perfil 7 – Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas de transição sobre solos profundos de canga degradada																								
A	0-5	3,61	3	-0,61	1,8	30	7,5	0	0,02	2,7	24,8	0,13	2,83	24,93	0,5	95,4	9,9	0,30	33,0	22,3	1,45	493,7	1,8	0,06
Bic	5-50	3,73	3,6	-0,13	1,7	14	2,5	0	0	1,54	12,2	0,05	1,59	12,25	0,4	96,9	5,1	0,11	48,6	22,6	0,59	196,3	1,2	0,28
Perfil 8 – Organossolo Háptico Sáprico típico – Campo brejoso sobre solos orgânicos																								
Oy	0-20	4,52	3,64	-0,88	5,7	29	13	0	0,02	1,83	14,2	0,15	1,98	14,35	1	92,4	35,6	2,22	16,0	16,9	0,78	721,2	0,5	0,14
Perfil 9 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Encostas com campo rupestre de canga ferrífera com Vellozia																								
A	0-5	4,89	3,39	-1,5	3,4	35	5,5	0,47	0,17	0,87	19,1	0,75	1,62	19,85	3,8	53,7	20,5	1,02	20,2	14,9	1,14	372,5	2,7	0,36
Perfil 10 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera																								
A	0-5	4,4	3,2	-1,2	4,1	75	13,6	0,93	0,42	2,12	27,8	1,6	3,72	29,4	5,4	57	7,7	1,20	6,4	2	0,84	837,4	8,2	0,16
Perfil 11 – Cambissolo Húmico Tb distrófico léptico – Buritizal sobre solos orgânicos																								
Ah	0-10	4,67	3,95	-0,72	113,6	53	8	0,19	0,18	1,64	17,5	0,54	2,18	18,04	3	75,2	18,44	1,50	12,3	12,1	7,54	375,8	2,1	3,27
Bif1	10-30	5,12	4,42	-0,7	208,7	33	14	0	0,04	0,87	14,3	0,18	1,05	14,48	1,2	82,9	11,34	0,50	22,7	6,3	4,16	73,8	0,9	8,49
Bif2	30-45	5,31	4,68	-0,63	192,6	24	25	0,02	0	0,39	8,7	0,19	0,58	8,89	2,1	67,2	4,76	0,30	15,9	8,6	6,38	112,8	1,2	13,27
BC	45-60	5,52	4,61	-0,91	82,6	21	13	0,03	0,02	0,29	9,9	0,16	0,45	10,06	1,6	64,4	4,06	0,50	8,1	10,7	3,22	152,3	0,4	4,13

Quadro 4 – Características químicas dos perfis estudados (continuação).

Hor.	Prof. (cm)	pH (1:2,5)		$\Delta\text{pH}^{(1)}$	Complexo Sortivo										V <sup>(5)</sup>	m <sup>(6)</sup>	COT <sup>(7)</sup>	N <sup>(8)</sup>	C/N	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu
		H <sub>2</sub> O	KCl		P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB <sup>(2)</sup>	t <sup>(3)</sup>	T <sup>(4)</sup>										
		mg dm <sup>-3</sup>				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%		dag kg <sup>-1</sup>		mg L <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>						
Perfil 12 – Organossolo Háplico Hêmico típico – Campo brejoso sobre solos orgânicos																								
Hy1	20-40	4,19	3,7	-0,49	26,6	32	9	0	0,13	2,22	17,2	0,25	2,47	17,45	1,4	89,9	35	15,00	2,3	17,3	2,76	71,5	0,8	2,91
Hy2	40-70	4,96	4,08	-0,88	399,7	10	3	0	0,03	2,31	26,2	0,07	2,38	26,27	0,3	97,1	10,27	1,20	8,6	4,2	1,78	59,8	0,3	7,49
Cf	70 <sup>+</sup>	5,17	4,32	-0,85	74,7	10	10	0,13	0	0,96	16,5	0,2	1,16	16,7	1,2	82,8	7,74	0,50	15,5	4,6	1,04	112,8	0,2	2,57
Perfil 13 – Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – Matas baixas sobre solos intermediários de canga degradada																								
Ah	0-10	3,21	2,49	-0,72	173,4	63	0	0,2	0,08	3,37	36,6	0,44	3,81	37,04	1,2	88,5	15,49	2,30	6,7	29,5	7,21	863,1	1,6	3,33
Bif	10-25	3,33	2,54	-0,79	237,3	35	0,5	0,06	0,03	3,28	40,1	0,18	3,46	40,28	0,4	94,8	15,98	1,40	11,4	27,7	3,57	927,1	1	5,56
Perfil 14 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo gramíneo moderadamente drenado sobre canga nodular																								
A	0-2	5,21	4,56	-0,65	2,8	61	23,7	0,49	0,1	0,19	7,8	0,85	1,04	8,65	9,8	18,3	16,39	1,40	11,7	6,8	2,4	726,7	2,9	1,03
Bif	2-20	5,49	5,82	0,33	3	13	0	0,02	0	0	3	0,05	0,05	3,05	1,6	0	1,6	0,10	16,0	2,3	0,59	72,8	0,3	1,02
Perfil 15 – Latossolo Vermelho Acriférico petroplântico – Matas altas sobre solos profundos de canga degradada																								
A	0-5	4,99	4,4	-0,59	3,4	16	0	0,06	0,03	0,58	9,5	0,13	0,71	9,63	1,3	81,7	4,17	0,50	8,3	4,8	0,37	82,5	10,1	5,36
Bwf1	5-40	4,63	4,56	-0,07	1,3	12	0	0	0	0,39	8,7	0,03	0,42	8,73	0,3	92,9	6,06	0,10	60,6	9,1	0,13	57,8	5,4	5,02
Bwf2	40-70 <sup>+</sup>	4,69	4,69	0	1,3	10	0	0	0	0,29	8,3	0,03	0,32	8,33	0,4	90,6	5,81	0,50	11,6	7,9	0,12	41,3	6,6	5,3
Perfil 35 Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – Encostas com campo rupestre arbustivo de canga ferrífera																								
A	0-25	5,51	4,02	-1,49	5,1	56	9,6	1,02	0,21	0,87	15,6	1,41	2,28	17,01	8,3	38,2	13,04	0,82	16,0	21,9	0,89	459	18,7	0,78
Af	25-30	6,01	5,12	-0,89	3,3	25	5,5	0,16	0,04	0,29	6,2	0,28	0,57	6,48	4,3	50,9	2,59	0,14	18,6	10,3	0,46	131,4	4,5	0,37
Guano de Caverna																								
-	-	4,10	3,97	-0,13	237,5	108	34	1,44	0,63	1,83	23,5	2,50	4,33	26,0	9,6	42,3	13,23	-	-	20,60	6,05	184,4	5,0	0,56
Solo de montículo de termiteiro																								
-	-	4,86	3,35	-1,51	12,54	103	14,3	1,54	0,73	1,84	30,8	2,60	4,43	33,5	8,15	43,2	24,40	1,53	15,9	22,07	1,25	385,6	5,71	0,68

(1)  $\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ ; (2) Soma de bases; (3) CTC efetiva; (4) CTC a pH7; (5) Índice de Saturação por Bases; (6) Índice de Saturação por Alumínio;

(7) Carbono Orgânico Total – Yomans-Bremner; (8) Nitrogênio total do solo – Kjeldahl

Os valores de  $\Delta\text{pH}$  negativos mostram que, em geral, todos os solos coletados são eletronegativos. No entanto, os horizontes subsuperficiais de alguns solos (P14 e P15) apresentaram caráter ácrico, evidenciando o saldo de cargas positivas ou nulas no solo, característica condizente com o estágio extremamente avançado de intemperismo destes solos e mineralogia oxidica. No caso do perfil 15, esta característica, associada aos elevados teores de ferro pelo ataque sulfúrico, leva a classificação do solo como Latossolo Vermelho Acriférrico petroplíntico, localizado em uma encosta florestada, com relevo suave.

Em todos os solos com caráter concrecionário da serra Sul, a soma dos cátions básicos do complexo de troca (SB) é extremamente baixa, apresentando valor médio de  $0,08\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  no horizonte B (Quadro 4). Os valores nos horizontes superficiais são em média mais altos ( $0,40\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), evidenciando a importância da ciclagem biogeoquímica na sustentabilidade destes ecossistemas. Contudo, mesmo nos horizontes superficiais os valores de cátions trocáveis são extremamente baixos. Em alguns casos, os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (Quadro 4) foram abaixo do limite de detecção dos equipamentos. O acentuado distrofismo destes solos resulta em valores extremamente reduzidos de saturação de bases (V), com média de 2,60 e 0,68% nos horizontes A e B, respectivamente.

Os valores de Al trocável seguem o mesmo padrão dos demais cátions trocáveis, com valores superiores nos horizontes superficiais (média =  $1,59\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e menores em profundidade (média =  $0,94\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). O pH mais baixo em superfície aumenta a solubilidade do  $\text{Al}^{3+}$ , enquanto que em subsuperfície, a menor contribuição da acidez orgânica resulta em pH mais elevado, reduzindo a atividade deste metal. A maioria dos horizontes apresentam valores de saturação por alumínio (m) acima de 50 %, com valor médio de 83% e teores de  $\text{Al}^{3+}$  acima de  $0,5\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , indicando o caráter álico. Os menores valores de m ocorreram em P14, chegando próximo de 0% no horizonte Bi. A mineralogia gibbsítica-oxidica deste solo resulta em pH próximo a 5,20, reduzindo a atividade do alumínio e sua participação no complexo de troca, com valores de m menores que 18,3%.

Os dados químicos evidenciam a importância do enriquecimento químico promovido pela ação dos cupins nestes ambientes oligotróficos. Os valores de SB (média =  $2,6\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); CTC efetiva (média =  $33,5\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); P disponível ( $12,5 \text{ mg dm}^{-3}$ ) observados nos cupinzeiros são maiores que os dos solos do entorno ( $0,67\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $17,25\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $3,25 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente). Estes resultados evidenciam a

extrema importância da atividade dos térmitas na ciclagem e concentração de nutrientes para a manutenção destes ecossistemas, a exemplo do que foi descrito por SARCINELLI *et al.* (2009).

Os valores de CTC a pH 7 para os horizontes Bc e Bw variaram de 8,33 a 10,22 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Quadro 4), evidenciando a baixa atividade da fração argila, típica de solos oxidicos desenvolvidos de rochas ferríferas (CURI, 1983; GUALBERTO *et al.*, 1987; KÄMPF *et al.*, 1988; KÄMPF & CURI, 2000; COSTA, 2003; RESENDE, *et al.*, 2005; CARVALHO FILHO, 2008). Nos horizontes superficiais, estes valores foram superiores, variando de 8,65 a 37,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, com média de 17,01 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, indicando a participação substancial da matéria orgânica na geração de cargas negativas dependentes de pH.

Os resultados do perfil 4, localizado próximo a entrada de uma caverna, evidencia o efeito positivo da fauna nas características do solos. O teor médio de 16,2 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível, quando comparado ao teor médio de 2,6 mg dm<sup>-3</sup> de P disponível do perfil 3, situado na borda do mesmo capão florestal indica a importância do guano de morcego como fonte de fósforo nestes ambientes. A análise do solo afetado por guano de morcego coletado na caverna próxima ao perfil 4 apresentou valores extremantes altos de P disponível (237,5 mg dm<sup>-3</sup>).

Os Organossolos (perfis 8, 12, e 13) e o Cambissolo Húmico (perfil 11) são ácidos com pH médio de 4,9, com elevado teor de matéria orgânica (média = 28,36 dag kg<sup>-1</sup>) e apresentaram valores expressivamente mais elevados de P disponível (média = 123 mg dm<sup>-3</sup>), quando comparados aos demais solos minerais formados a partir das rochas ferríferas (média = 22 mg dm<sup>-3</sup>). A maior riqueza química destes solos ricos em matéria orgânica indica a importância destes ambientes para a manutenção dos processos ecológicos.

As áreas brejosas e turfas regulam a vazão das principais drenagens, muitas delas subterrâneas, interligando os diversos lagos, e estas às drenagens que descem as serras. Servem como oásis para a fauna local que, por sua vez, contribui para o enriquecimento nutricional dos solos devido a deposição de dejetos, como verificado para o solo de Buritizal (Perfil 11) que apresenta valores altos de P disponível (208 mg dm<sup>-3</sup> no horizonte Bi1), atribuídos à atividade de antas e as aves que nidificam nos buritis elevados, conforme evidenciado por fezes e rastros de animais, observados durante o trabalho de campo. A ocorrência peculiar destas turfeiras em meio ao vasto ambiente oligotrófico, representa verdadeiros endemismos de solos no sentido usado

por SCHAEFER *et al.* (2000b), e confirmados por valores elevados de COT e fósforo disponível.

Estes solos constituem os principais *sinks* de carbono orgânico no contexto dos ambientes de canga, visto que seu posicionamento na paisagem propicia o acúmulo dos resíduos vegetais e animais produzidos no entorno, em função da menor atividade microbiana resultante do ambiente anaeróbico.

#### 4.4. Ataque sulfúrico

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos pelo ataque sulfúrico foram bastante elevados, variando entre 303 a 501  $\text{g kg}^{-1}$  de solo (Quadro 5). Estes resultados confirmam a riqueza dos solos em óxidos de ferro. Dos cinco perfis estudados no ataque sulfúrico, quatro (P3, P4, P7 e P15) apresentaram teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 360 \text{g kg}^{-1}$ . O Latossolo Vermelho (Perfil 15) foi classificado como perférrico. No entanto, por apresentar o caráter ácrico a classificação até o terceiro nível categórico, foi : Latossolo Vermelho Acriférrico, conforme EMBRAPA (2006).

Os teores de  $\text{TiO}_2$  variaram de (4,0 a 12,0  $\text{g kg}^{-1}$ ) confirmando a relativa estabilidade deste óxido no solo.

Os teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  são extremamente baixos, resultando em baixos valores de Ki (0,525) e Kr (0,062), sugerindo a ocorrência de solos intensamente intemperizados, com predomínio de óxidos de ferro. Conforme MELFI *et al.*, (1979), no processo de laterização há uma dissolução seletiva de sílica em ambientes ricos em ferro. Os valores baixos de Ki e Kr são condizentes com a natureza da rocha de origem, pobre em sílica, de forma que os valores muito baixos de Ki e Kr não necessariamente indicam intemperização intensa, conforme discutido por RAMOS (1981); EMBRAPA (1988); KER (1995) e CARVALHO FILHO (2008), em solos de natureza semelhante.

O valor de Ki do perfil 15 é menor que 2,2, o que condiz com a definição de horizonte Bw (EMBRAPA, 2006). Os resultados de Ki bem abaixo deste valor sugerem que os solos são oxídicos, o que está de acordo com dos resultados da difração de raios – X.

Com exceção do P15, que apresentou valores muito baixos de Ki (0,525), sendo caracterizado como gibbsítico-oxídico, todos os demais solos estudados apresentaram valores de  $\text{Ki} > 0,75$  e  $\text{Kr} \leq 0,75$  sendo caracterizados como cauliniticos – oxídicos. No entanto, conforme indicado pelos difratogramas de raios–X e dados químicos, predominam os óxidos na fração argila.

Quadro 5 – Teores de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> obtidos pelo ataque sulfúrico na TFSA, e relação Ki e Kr dos solos estudados.

Hor.	Prof. (cm)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ki*	Kr**
----- g kg <sup>-1</sup> -----							
<b>Perfil 3 - Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Capão florestal denso</b>							
Bif	4 - 25	25	31	402	7	1.413	0.059
<b>Perfil 4 – Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Capão florestal denso</b>							
BWfl	15 - 80	27	37	409	8	1.221	0.060
<b>Perfil 7 - Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico – Mata de transição</b>							
Bif	5 - 50	36	18	501	12	2.301	0.047
<b>Perfil 14 – Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo gramíneo</b>							
Bif	2 - 20	49	104	303	7	0.807	0.121
<b>Perfil 15 - Latossolo Vermelho Acriférrico petroplântico – Campão florestal denso</b>							
BWfl	5 - 40	30	99	393	7	0.525	0.062

\* Ki = 1,7x(%SiO<sub>2</sub>/%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

\*\*Kr = 1,7\* %SiO<sub>2</sub>/(%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* 0,64)

#### 4.5. Ferro e alumínio extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato e oxalato de amônio

Todos os solos estudados apresentaram altos valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> quando se considera o total das seis extrações com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB). O Plintossolo Pétrico Concrecionário (perfil 4) apresentou maior teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (42,71 dag kg<sup>-1</sup>) após seis extrações.

A razão entre o Fe extraído pelo oxalato de amônio e o Fe extraído pelo ditionito bicarbonato (Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub>) mostra que na maioria os perfis de solos estudados predominam formas de ferro cristalinas (Quadro 6). Solos de ambientes mal drenados, ricos em matéria orgânica (P9 e P10) (Quadro 6), apresentaram valores de Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> mais elevados, evidenciando o efeito da matéria orgânica na inibição da cristalinidade dos óxidos de ferro (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989). No horizonte Cf do Organossolo Háplico Hêmico (P9) a relação Fe<sub>o</sub>/Fe<sub>d</sub> é de 0,656 (Quadro 8), indicando o predomínio de formas de ferro de baixa cristalinidade, possivelmente na forma de ferridrita (SCHWERTMANN & KÄMPF, 1983).

Quadro 6 – Teores de Fe e Al na fração argila, obtidos após extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed) e (Ald) e oxalato de amônio (Feo) e (Alo), e relações Feo/Fed e Alo/Ald.

Perfil	Hor.	DCB (Fed)	$\Sigma^{(1)}$ (Fed)	Oxalato (Feo) única	DCB (Ald)	Oxalato (Alo) única	Feo <sup>(2)</sup> /Fed	Alo/Ald
----- dag/kg -----								
3	BW1	13,33	42,71	2,029	2,13	7,73	0,152	3,63
4	A	15,44	36,42	2,643	1,77	3,10	0,171	1,75
5	Bi	10,83	38,72	1,158	1,84	1,0	0,107	0,54
11	Bi	11,36	23,79	0,305	4,32	13,66	0,027	3,17
12	Cf	8,95	19,78	2,679	2,46	6,75	0,656	2,75
13	Bi	8,54	18,23	5,608	0,66	2,85	0,299	4,33
14	Bi	15,52	34,02	0,434	4,24	0,78	0,028	0,18
15	BW1	16,30	26,15	0,571	7,67	1,12	0,035	0,15
35	A	7,83	28,71	1,206	2,91	5,05	0,154	1,73

(1) Somatório de 6 extrações sucessivas; (2) Com base na primeira extração com DCB

#### 4.6. Ataque triácido total

Pelos resultados do ataque total (Quadro 7) observa-se uma grande variação no somatório dos teores dos elementos traços analisados. Com valores variando entre 151 a 941 mg kg<sup>-1</sup>. Os menores valores estão associados aos horizontes mais orgânicos, encontrados nos ambientes hidromórficos. Nos horizontes subsuperficiais os valores observados são maiores. COSTA, (2003) estudando solos do Quadrilátero Ferrífero obteve valores semelhantes. Os valores altos de Pb observados no perfil 4 podem estar relacionados à atividade da fauna (Guano de morcego), visto que esta área é intensamente ocupada por estes animais. Os maiores valores de fósforo também reforçam esta hipótese, como observado nos horizontes A e Bwc do perfil 4. O perfil 13 também apresenta elevados teores de fósforo, possivelmente relacionados a atividade da fauna, pois situa-se ao lado de um Buritizal, ambiente com recursos para a fauna (água e alimentos). A concentração de Mn nos solos foi elevada, variando de 54 a 533 mg kg<sup>-1</sup>.

Os valores de ferro foram bastante elevados, com valores pequenos nos horizontes superficiais. Na maioria dos horizontes minerais subsuperficiais analisados, os resultados de ferro obtidos pela digestão total da TFSA (Quadro 7) acompanharam os resultados do ataque sulfúrico e do DCB, evidenciando a riqueza da rocha em ferro.

Quadro 7 – Teores de elementos-traços, Al, Ca, Fe, Mg e P da digestão total à TFSA dos solos estudados.

Perfil	Prof. (cm)	Horizonte	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Zn	*Σ	Al	Ca	Fe	Mg	P
			mg/kg						dag/kg					
4	0-10	A	73.25	76.87	12.84	533.07	198.41	46.47	941	1.38	6.736	38.68	0.332	0.373
	15-80	Bwc	63.76	66.27	9.32	470.15	166.43	40.66	817	1.52	7.388	43.98	0.380	0.363
5	0-3	A	2.82	Nd	nd	394.30	30.85	26.48	455	1.36	0.021	48.17	nd	nd
	0-5	A	5.03	Nd	nd	409.40	26.55	36.71	478	0.95	0.014	43.40	nd	0.070
7	5-50	Bic	4.75	Nd	nd	490.86	32.45	45.94	574	1.00	0.002	52.39	nd	0.068
	0-5	A	16.31	Nd	nd	114.86	12.35	7.90	151	0.68	0.027	7.22	0.016	0.071
10	0-5	A	15.24	Nd	nd	340.12	13.31	23.48	392	0.87	0.039	37.92	nd	0.147
11	0-10	A	35.57	68.35	nd	54.12	2.97	37.25	198	1.82	0.028	4.95	0.008	0.344
	10-30	Bi	42.52	56.60	nd	131.25	5.99	33.99	270	2.99	0.001	16.56	nd	0.415
12	70 <sup>+</sup>	Cf	28.61	52.33	nd	206.49	13.22	21.04	322	3.49	nd	26.65	nd	0.405
13	0-10	A	7.74	136.35	nd	238.85	9.99	35.96	429	0.40	0.006	27.33	nd	0.807
	10-25	Bi	7.34	62.16	nd	403.65	17.69	38.62	529	0.38	nd	46.86	nd	0.813
14	0-2	A	42.81	48.50	nd	190.75	74.88	32.07	389	2.64	4.108	17.90	0.125	0.081
	2-20	Bi	78.84	50.83	6.65	383.06	112.98	44.13	677	2.58	2.037	33.75	0.199	0.229
15	0-5	A	114.93	75.68	nd	340.45	11.76	20.95	564	3.37	0.006	31.80	nd	0.010
	5-40	Bw1	131.49	84.91	nd	415.37	18.81	27.03	678	2.32	0.009	40.61	nd	nd
35	0-25	A	64.26	39.68	nd	381.98	16.13	41.59	544	3.13	0.003	38.38	nd	0.115

nd : não detectado; \* Σ = Somatório das concentrações de Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, e Zn.

## 4.7. Caracterização da Matéria Orgânica do Solo

### 4.7.1 Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas

O fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos do Platô da serra Sul revelou diferenças na distribuição das formas de carbono nos solos estudados, evidenciando os efeitos dos diferentes pedoambientes na transformação do material orgânico (Quadro 8).

O somatório das frações húmicas representou em média 97,6 % do carbono orgânico total (COT), correlacionando-se fortemente com este ( $R = 0,92^1$ ). A faixa de recuperação em relação ao COT foi bastante ampla, com valores variando de 47 à 260%, bem maior que os encontrados por BENITES (1998) e SIMAS (2002). Em razão do grande predomínio de microagregados estáveis nos solos estudados, essa diferença pode estar relacionada com uma possível associação da fração humina (HU) com a matriz mineral. Os valores de COT correlacionaram-se fortemente com as frações humina ( $R = 0,93^*$ ) e ácido húmico ( $R = 0,86^*$ ) e bem menos com a fração ácido fúlvico ( $R = 0,35^*$ ).

A maior parte da matéria orgânica encontrada nos solos da serra Sul ocorre na forma humificada, sendo a humina a fração predominante, principalmente nos horizontes superficiais, onde o conteúdo de carbono desta fração representou em média 72% do COT. Em geral, para os solos estudados, esta fração representou 59% do COT.

A relação entre as frações húmicas extraídas pela solução alcalina e a humina (EA/HU) indica o predomínio de compostos orgânicos de maior peso molecular e maior estabilidade (BENITES, 1998). Analisando-se esta relação, pode-se confirmar a abundância da fração humina, sobre as outras frações, já que na maioria dos casos, a relação foi menor que 1,0. A freqüente ocorrência de fogo nos ambientes de canga, associada inclusive ao estabelecimento de vegetação adaptada a esta queima periódica, resulta na combustão incompleta de resíduos vegetais, gerando compostos orgânicos altamente estáveis e insolúveis, que contribuem para os altos valores de humina, conforme observado por BENITES (2002), em campo rupestre sobre rochas do embasamento e quartzitos.

---

<sup>1</sup> Significativo a 0,1% de probabilidade

As exceções deram-se para as amostras dos horizontes subsuperficiais dos solos com teores elevados de COT (P11 e P12) Nestes houve um decréscimo acentuado da fração humina em profundidade e um aumento relativo nos teores da fração ácido fúlvico, evidenciando movimentação vertical desta fração. Os ácidos fúlvicos apresentam maior concentração de grupos funcionais que as demais frações húmicas, o que lhes confere maior polaridade e conseqüentemente maior solubilidade em meio aquoso (STEVENSON, 1996).

Os altos teores de humina nos organossolos em geral não é humina e sim matéria orgânica não decomponível (MOL) que não é extraída pelo NaOH.

Quadro 8 – Fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados.

Hor.	FAF	FAH	HUM	Soma	COT	FAF <sup>(1)</sup>	FAH <sup>(1)</sup>	HUM <sup>(1)</sup>	C rec. <sup>(2)</sup>	AH/AF	EA/HU
	g kg <sup>-1</sup>					% COT					
<b>Perfil 3 - Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas</b>											
A	5,3	7,6	27,5	40,4	54	10	14	51	75	1,43	0,47
Bif1	5,1	4,9	10,8	20,8	27	19	18	40	77	0,96	0,93
Bif2	8,4	3,6	9,5	21,5	21,4	39	17	44	100	0,43	1,26
<b>Perfil 4- Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas</b>											
A	16,8	18,5	46,8	82,1	98	17	19	48	84	1,10	0,75
Bw1	8,4	2,3	6,2	16,9	24,2	35	10	26	70	0,27	1,73
<b>Perfil 5 - Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo gramíneo</b>											
A	12,2	6,9	25,3	44,4	84,2	14	8	30	53	0,57	0,75
<b>Perfil 7 - Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico – Matas altas de transição</b>											
A	14,1	19,2	44,7	78	99,5	14	19	45	78	1,36	0,74
Bif	5,3	9,5	15,2	30	51,3	10	19	30	58	1,79	0,97
<b>Perfil 8 - Organossolo Háptico Sáptico típico – Campo brejoso</b>											
Oy	24	91,7	338,3	454	355,6	7	26	95	128	3,82	0,34
<b>Perfil 9 - Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo rupestre com <i>Vellozia</i></b>											
A	18,1	27,3	139,7	185,1	205,5	9	13	68	90	1,51	0,32
<b>Perfil 10 - Plintossolo Pétrico Litoplântico típico – Campo rupestre arbustivo</b>											
A	16,9	32,8	106,3	156	77,6	22	42	137	201	1,94	0,47
<b>Perfil 11 - Cambissolo Húmico Tb distrófico - Buritizal</b>											
Ah	9,4	61,5	166,7	237,6	184,4	5	33	90	129	6,54	0,43
Bi1	7,5	32,3	43,8	83,6	113,4	7	28	39	74	4,31	0,91
Bi2	35,1	18,1	27,6	80,8	47,6	74	38	58	170	0,52	1,93
BC	8,1	9,3	11,5	28,9	40,6	20	23	28	71	1,15	1,51
<b>Perfil 12 - Organossolo Háptico Hêmico – Campo Brejoso</b>											
Hy1	10,6	77,7	355,4	443,7	350	3	22	102	127	7,33	0,25
Hy2	23,9	56,1	187,4	267,4	102,7	23	55	182	260	2,35	0,43
Cf	22,1	23,9	20,1	66,1	77,4	29	31	26	85	1,08	2,29
<b>Perfil 13 - Plintossolo Pétrico Litoplântico hístico – Matas baixas</b>											
Ah	24,6	64,3	155,3	244,2	154,9	16	42	100	158	2,61	0,57
Bif	12,4	53,2	85	150,6	159,8	8	33	53	94	4,29	0,77

Quadro 8 – Fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados (continuação).

Hor.	FAF	FAH	HUM	Soma	COT	FAF <sup>(1)</sup>	FAH <sup>(1)</sup>	HUM <sup>(1)</sup>	C rec. <sup>(2)</sup>	AH/AF	EA/HU
	g kg <sup>-1</sup>					% COT					
<b>Perfil 14 - Plintossolo Pétrico Litoplúntico típico – Campo gramíneo</b>											
A	17,4	19,7	129,2	166,3	163,9	11	12	79	101	1,13	0,29
Bif	2,2	2,3	6,1	10,6	16	14	14	38	66	1,05	0,74
<b>Perfil 15 - Latossolo Vermelho Acriférrico petroplúntico – Matas altas</b>											
A	5,2	4,9	22,9	33	41,7	12	12	55	79	0,94	0,44
Bw1	3,8	5,5	21,9	31,2	60,6	6	9	36	51	1,45	0,42
Bwf2	5,6	5,3	16,2	27,1	58,1	10	9	28	47	0,95	0,67
<b>Perfil 35 - Plintossolo Pétrico Litoplúntico hístico – Campo rupestre arbustivo</b>											
A	6	12,8	47,9	66,7	130,4	5	10	37	51	2,13	0,39
AF	3,3	1,9	10	15,2	25,9	13	7	39	59	0,58	0,52
<b>Média</b>	<b>12,29</b>	<b>24,93</b>	<b>76,94</b>	<b>114,16</b>	<b>104,66</b>	<b>16,74</b>	<b>21,59</b>	<b>59,41</b>	<b>97,63</b>	<b>1,98</b>	<b>0,79</b>

FAF = fração ácidos fúlvicos; FAH = fração ácidos húmicos; HUM = fração húmica; COT = carbono orgânico total; <sup>(1)</sup>Porcentagem de cada fração em relação ao carbono orgânico total; <sup>(2)</sup>Recuperação do método em relação ao carbono orgânico total; Soma = FAF+FAH+HUM; EA/HU = (FAF+FAH)/HUM

#### 4.7.2. Análise elementar de ácidos húmicos e fúlvicos

A composição elementar e as razões atômicas (C/N, H/C, e O/C) dos ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), do Cambissolo Húmico (perfil 11) e do Organossolo Hêmico (perfil 12) estão demonstrados no Quadro 9. As razões atômicas têm sido utilizadas indiretamente para descrever o grau de condensação, a fonte de matéria orgânica, as transformações diagenéticas, bem como as condições ambientais sob as quais elas foram formadas (RICE & MACCARTHY, 1991), além de serem um indicador simples do comportamento químico das substâncias húmicas (CANELLAS *et al.*, 1999). A razão H/C é considerada como índice de aromaticidade (STEVENSON, 1996). A razão atômica O/C permite estimar a abundância de oxigênio contido em grupos funcionais (BRAVARD & RIGHI, 1991). A relação C/N indica o grau de incorporação do N na estrutura das SH e o grau de humificação (STEVENSON, 1996).

De maneira geral, observa-se que os ácidos húmicos apresentaram maiores valores de C, H e N em relação aos ácidos fúlvicos. Dentre as frações analisadas, o AF extraído do horizonte Bi do P11 apresentou menor teor de C, H e N, possuindo mais O em sua estrutura. Tal fato resulta no maior valor observado da relação O/C das frações analisadas (indicando maior reatividade dos AF e maior contribuição para o COT dos solos), revelando presença de grupos oxigenados tais como hidroxilas, carbonilas, carboxilas, ésteres e éteres.

Os valores mais baixos da razão H/C dos AH corrobora o fato de que são compostos mais aromáticos, condensados e descarboxilados, concomitante ao fato de

apresentarem baixa razão atômica de O/C, menor grau de oxidação dos AH. De acordo com STEVENSON (1996), quanto maior o estágio de humificação das SH, maior é o teor de C e menor o de H (razão H/C menor).

Quadro 9 – Análise elementar de amostras de ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF) de solos da serra Sul.

Amostra	C(%)	H (%)	N (%)	O (%)	C/N	H/C	O/C
AH							
P11 A	51,51	4,35	3,89	40,25	13,24	0,08	0,78
P11 Bi	52,82	4,1	3,95	43,08	13,37	0,08	0,82
P12 Hy2	44,25	3,23	2,92	49,6	15,15	0,07	1,12
AF							
P11 A	25,82	2,27	0,93	70,98	27,76	0,09	2,75
P11 Bi	18,97	1,96	0,72	78,35	26,35	0,10	4,13
P12 Hy2	38,64	3,19	1,39	56,78	27,80	0,08	1,47

#### 4.7.3. Estoque de Carbono

No geral, os solos da serra Sul apresentam quantidades surpreendentemente elevadas de carbono orgânico para padrões amazônicos. O estoque de COT nos perfis dos solos estudados (Quadro 10) evidencia a grande importância dos ambientes mal drenados (Depressões e Patamares campestres mal-drenados) na conservação do carbono no sistema. Destacam-se os campos brejosos e buritizais que possuem turfeiras, que, apesar de ocuparem uma restrita extensão na serra Sul, apresentam os maiores valores absolutos de estoque de carbono no solo. Nas encostas florestadas, o estoque de carbono é relativamente alto, devido principalmente à grande espessura do solum.

Quadro 10 – Estoque de carbono dos perfis estudados.

Perfil	Estoque de C* (kg m <sup>-2</sup> )		Estoque total C no perfil (kg m <sup>-2</sup> )	Geoambiente
	Hor. Superficial	Hor. Sub.		
3	2,16	13,02	15,18	Matas altas
4	10,85	21,00	31,85	Matas altas
5	2,52	-	2,52	Campo gramíneo
7	4,95	22,95	27,90	Matas altas de transição
8	33,80	-	33,80	Campo brejoso
9	10,25	-	10,25	Campo rupestre com <i>Vellozia</i>
10	3,85	-	3,85	Campo rupestre arbustivo
11	18,44	35,91	54,35	Buritizal
12	70,00	54,03	124,03	Campo brejoso
13	15,49	23,97	39,46	Matas baixas
14	3,28	2,88	6,16	Campo gramíneo
15	2,09	38,64	40,73	Matas altas
35	32,60	4,72	37,32	Campo rupestre arbustivo

\*Conforme FIDALGO *et al.* (2007)

Os dados sugerem que a supressão (pela mineração) de áreas extensas de geoambientes hidromórficos deve ser acompanhada de medidas compensatórias que visem a contrabalancear as imensas perdas de C orgânico pela drenagem e mineralização desses ambientes, à exemplo do ocorrido com os lagos dos platos N5 e N4.

Os dados revelam grande variabilidade nos valores dos estoques totais de C para os ambientes florestais, com amplitudes de 15,18 a 40,73 kg\*m<sup>-2</sup>, e nos campos Rupestres Arbustivos (3,85 – 37,32 kg\*m<sup>-2</sup>).

## 4.8. Mineralogia

### 4.8.1. Difração de raios-X

As análises mineralógicas na fração argila dos horizontes diagnósticos indicaram para todos os perfis estudados uma mineralogia predominantemente oxidada, corroborando o extremo grau de intemperismo destes solos bem como a riqueza em ferro do material de origem.

Os difratogramas de raios-X mostram que a constituição mineralógica da fração argila dos solos estudados (Quadro 11 e Apêndice B) é composta basicamente por hematita, goethita, maghemita, quartzo, caulinita, ilmenita, gibbsita, anatásio e rutilo. Comum a todos, porém, é o predomínio de hematita e goethita com picos bem distintos em 0,367; 0,269 e 0,220 nm para hematita e 0,418; 0,269 e 0,243 nm para goethita.

Outro óxido de grande importância nestes solos é a maghemita, cuja presença é indicada pela reflexão a 0,295 nm, ou inferida pela intensidade relativa dos reflexos a 0,252 e 0,269 nm (FEY & LE ROUX, 1977), assim como pela forte atração magnética da TFSA e da fração argila. FONTES *et al.* (1985), estudando um solo rico em concreções ferruginosas do Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais, reforça a idéia de que a presença de maghemita intensifica o reflexo do pico 0,252 nm.

Na caracterização mineralógica de um horizonte ferruginoso (petroplíntico) na região de Carajas, COSTA (1991) destaca que os minerais mais importantes são a hematita, goethita e maghemita.

Em todos os solos estudados, os difratogramas de raios-X da fração argila desferrificada com DCB evidenciaram traços de caulinita (0,717 e 0,356 nm); traços de quartzo (0,426 e 0,334 nm); traços de anatásio (0,352 e 0,243 nm); traços de rutilo (0,324 nm) e traços de ilmenita (0,256 e 0,223 nm). Somente nos perfis 7 e 15 foram observados traços de gibbsita, com reflexão em 0,485 nm.

A presença de anatásio na fração argila solos estudados, pode ser relacionada com o intemperismo de minerais como a ilmenita (ALLEN & HAJEK, 1989; KER, 1995; SCHAEFER *et al.*, 2008b).

Os difratogramas de raios-X (Quadro 11 e Apêndice B) mostram de forma didática o efeito do pedoclima na mineralogia dos solos da serra Sul. Nos solos bem drenados (Perfis 4, 7, 15 e 35) as reflexões para hematita e maghemita são bem mais intensas que as reflexões para goethita. Nos ambientes mal drenados (perfil 11) ou com impedimento de drenagem (Perfil 14) as reflexões de goethita são mais intensas do que para hematita e maghemita, que quase não aparecem nos difratogramas. O predomínio da goethita como principal forma cristalina nestes perfis (11 e 14), evidencia o efeito da matéria orgânica e do ambiente mal drenado, condicionando uma baixa atividade de ferro em solução, favorecendo a gênese de goethita em detrimento à hematita (RESENDE, 1976; SCHWERTMANN, 1985; SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

Os difratogramas de raios-X na fração fração silte (Apêndice C) e na areia fina (Apêndice D) são muito semelhantes e, mostram o predomínio de óxidos de ferro, principalmente na forma de hematita, goethita e maghemita. Nos difratogramas destas frações também são observados picos de quartzo com picos bem distintos em 0,426 e 0,334 nm. São observados picos de gibbsita em 0,485 na fração areia fina dos perfis 15 e 35 respectivamente.

Quadro 11 – Composição mineralógica por difratometria de raios-X da fração argila de horizontes dos solos da serra Sul estudados.

Perfil	Horizonte	Composição mineralógica da fração argila
P4	Bw1	Hm, Gt, Mh, Qz, Ct, An
P5	A	Hm, Gt, Mh,
P7	Bi	Hm, Mh, Gt, Qz, Ct, An, Ru, Gb
P11	Bi	Gt, Hm, Qz, Mh, Il, Ct, An, Ru
P14	Bi	Gt, Hm, Qz, Mh, Ct, Il, An, Ru
P15	Bw1	Hm, Mh, Gt, Gb, Qz

Hm = hematite; Gt = goethite; Mh = maghemita; Qz = quartzo; Ct = caulinita; An = anatásio; Ru = rutilo; Gb = gibbsita

#### 4.8.2. Substituição isomórfica de ferro por alumínio

A substituição isomórfica do ferro pelo alumínio na estrutura da goethita variou de 3,79 a 12,58cmol.mol<sup>-1</sup>, para os solos onde este mineral ocorre de forma mais significativa e a expressividade dos reflexos nos difratogramas permitiram o cálculo da substituição (Quadro 12). Os valores obtidos estão dentro da faixa normalmente verificada para goethitas de solos estudados por outros autores (RESENDE, 1976; SCHWERTMANN & KÄMPF, 1985; SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989; KER, 1995; NUNES, 1999).

No geral, quando se compara os valores de goethita com hematita, observa-se que a substituição isomórfica por alumínio na goethita foi superior à observada para a hematita, na maioria dos solos estudados, principalmente para os solos de áreas com impedimento de drenagem (Perfis 11, 12 13 e 14), onde não foi detectado a substituição na estrutura da hematita. Estes valores confirmam a menor capacidade de incorporação de alumínio na estrutura da hematita, em se comparando com a goethita. Os valores observados para hematita nos solos da serra Sul variaram de 3,52 a 9,67cmol\*mol<sup>-1</sup> (Quadro 12), são valores comuns àqueles mencionados por outros autores (CURI, 1983; SCHWERTMANN & KÄMPF, 1985; FONTES & WEED, 1991; KER, 1995; COSTA, 2003).

Quadro 12 – Valores de substituição isomórfica do ferro por alumínio a partir de informações de DRX na fração argila concentrada em óxidos de ferro, dos solos estudados.

Perfil	Hori.	Substituição por alumínio (cmol/mol)	
		Goethita	Hematita
4	Bw	x	5.98
5	A	3.79	3.52
7	Bi	x	9.67
11	Bi	6.14	x
12	Cf	5.50	x
13	Bi	12.14	x
14	Bi	10.58	x
15	Bw	x	9,06

X = não detectável

#### 4.9. Atributos Microquímicos

Os resultados das microanálises ilustram os elevados teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (> 80%) e teores muito baixos de  $\text{SiO}_2$  e de macronutrientes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), características atribuídas a riqueza em óxidos de Fe do material de origem (Jaspelito) e a pobreza em minerais primários ricos em bases. Para efeito de comparação, foram selecionados as principais feições micromorfológicas nos diferentes Plintossolos e no Latossolo Vermelho.

##### 4.9.1. Plintossolo Pétrico/Concreções ferruginosas

Os mapas microquímicos (Figura 23), do Perfil 9 - Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico, coletado no geoambiente: Encostas com campo rupestre de canga ferrífera com *Vellozia* (canga couraçada) revelam zonas uniformemente ricas em  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , com valores que alcançam > 94%, em toda a seção-fina analisada, acompanhados de teores de Si muito baixos (Quadro 13 – campo 4). Nas partes mais densas opacas e vermelhas das concreções (Figura 24) o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  é maior que 99% (Quadro 13 – campo 1).

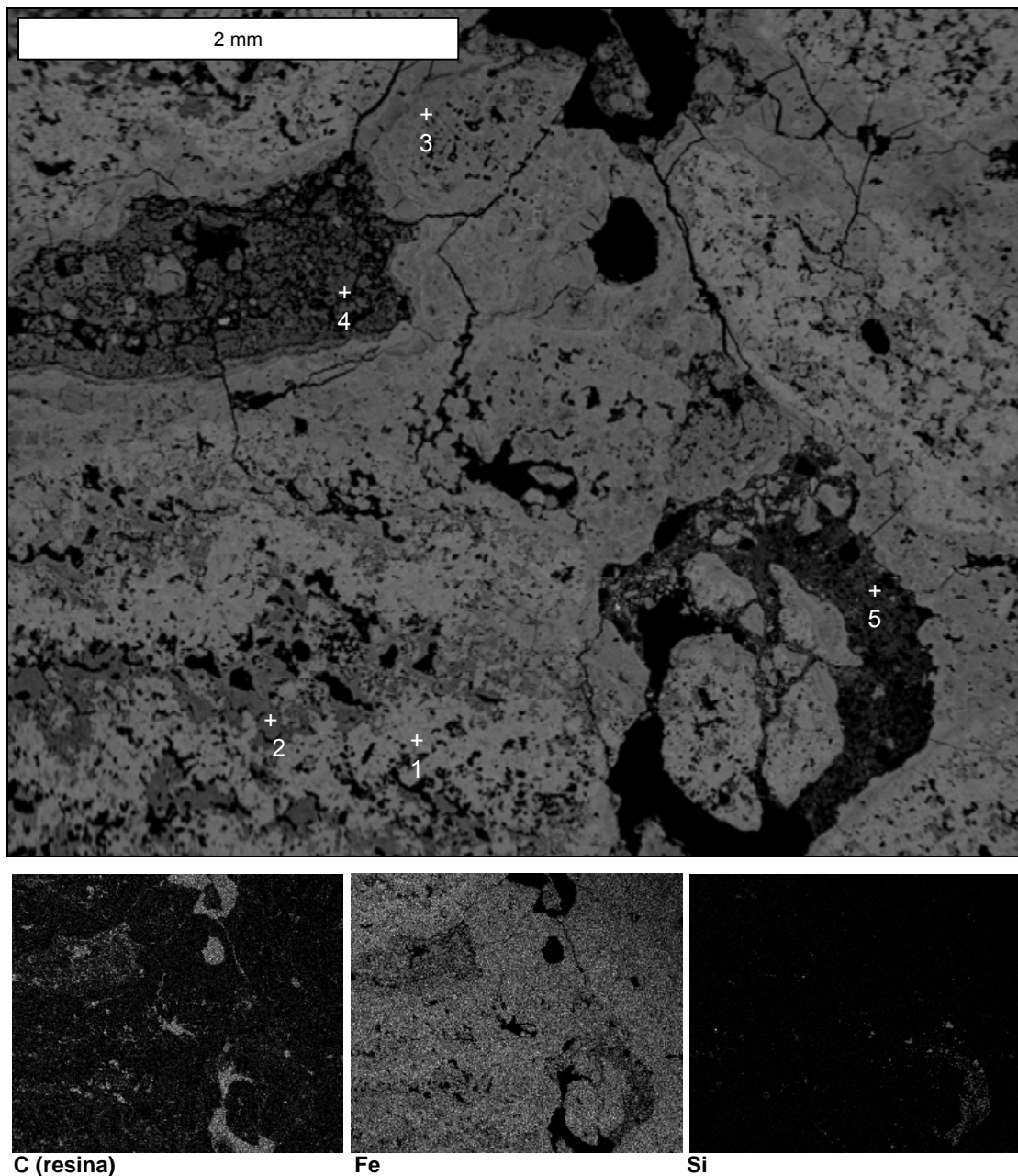


Figura 23 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV), mapas microquímicos e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS, referentes ao horizonte A do perfil 9.

Quadro 13 – Composição química de pedofeições indicadas na Figura 1, referentes ao horizonte A do perfil 9.

Análises localizadas	% Óxidos				
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	-	99,51	-	0,49	-
2	2,36	95,14	1,18	-	1,32
3	3,13	95,54	1,33	-	-
4	2,97	94,22	0,93	0,53	1,36
5	3,81	79,96	-	14,49	1,74

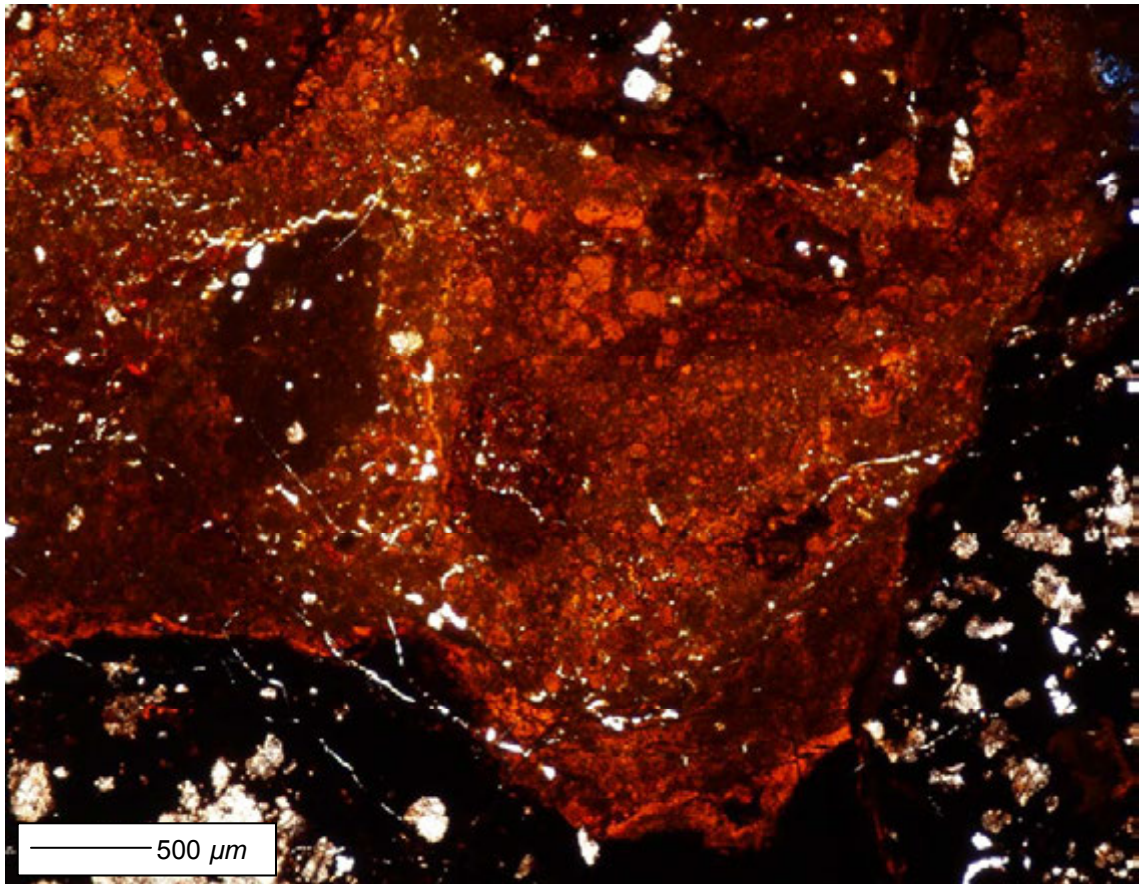


Figura 24 – Fotografia em microscópio óptico de canga couraçada.

Zonas ricas em matéria orgânica (MO) estão associadas à redução dos teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , como indicado pelo retroespalhamento difuso de C. Zonas de maior concentração de Si não associado à MO, indicam que ocorre caulinita em partes do plasma argiloso, conforme indicado nos difratogramas de raios-X ou sílica de origem biogênica, (Quadro 13 – campo 5). Contudo, em nenhum campo foram obtidas relações  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  típicas de caulinita (1:1).

Na canga superficial decomposta, análises do material concrecionário, não pisolítico (Quadro 14), revelam uma seqüência de degradação do interior para o exterior da petroplintita. Na parte mais densa (vermelha e hematítica) do interior das concreções (Figura 25 – campos 1 e 2), os teores de Fe são extremamente elevados, com valores > 98%, e traços de Sílica (Quadro 14). Na parte externa, amarelada e em processo de degradação e hidratação (campo 3), os teores de Fe são bem inferiores (44,8% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), com valores de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na ordem de 2% e de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  chegando a 6%, indicando a presença de goethita aluminosa. A matéria orgânica variou entre 26 a 46 % de  $\text{CO}_2$ . Concreções menores (campo 4) envoltas por material amarelado goethítico possuem valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  intermediários (72%).

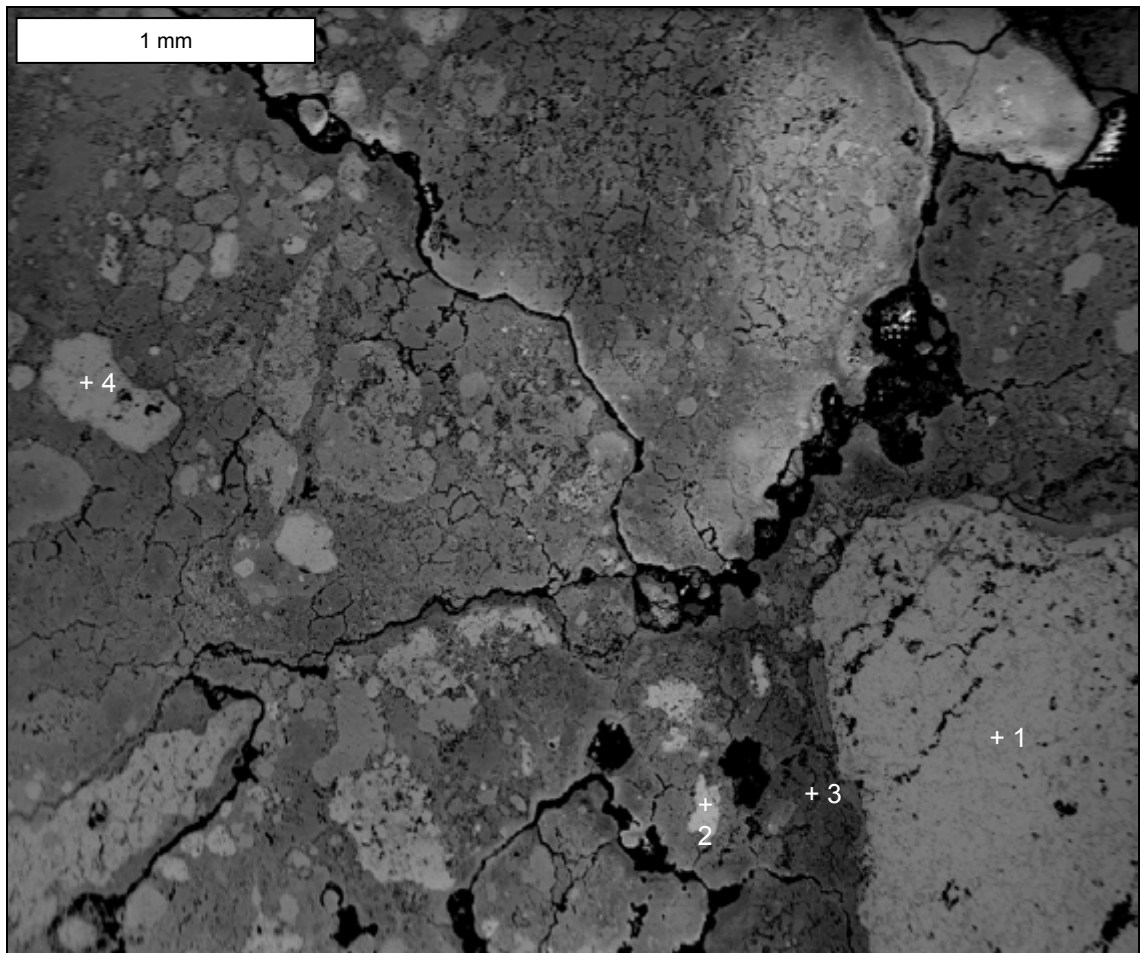


Figura 25 – Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS na canga couraçada do perfil 9.

Quadro 14 – Composição química de fragmento de canga compacta do horizonte A do perfil 9.

Análises localizadas	% Óxidos					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	-	-	98,35	-	1,65	-
2	-	-	98,99	-	1,01	-
3	6,00	46,18	44,77	2,09	0,43	0,54
4	0,85	26,00	72,00	-	1,14	-

O Fenômeno de concrecionamento e formação de nódulos com deposição concêntrica incluem materiais ferruginosos de morfologias diversas, como observado na Figura 26. Nestes nódulos partículas ricas em Si são raras e as camadas concêntricas de deposição de Fe mostram coloração e densidade variáveis (Figura 27).

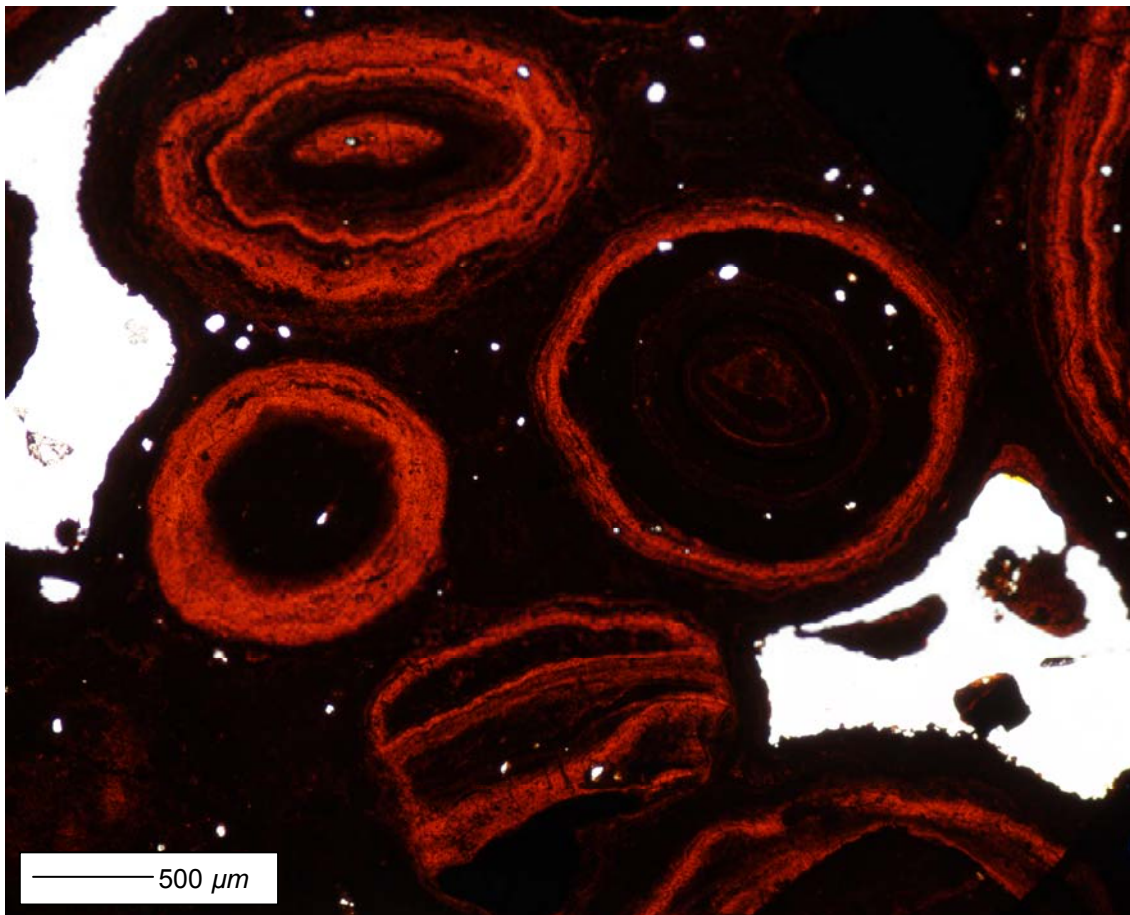


Figura 26 - Fotografia em microscópio óptico de nódulo de concreção pisolítica de Plintossolo Pétrico Litoplântico (Perfil 5).

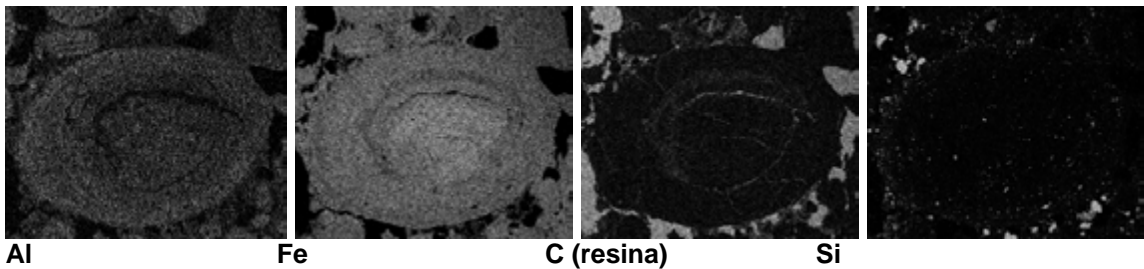
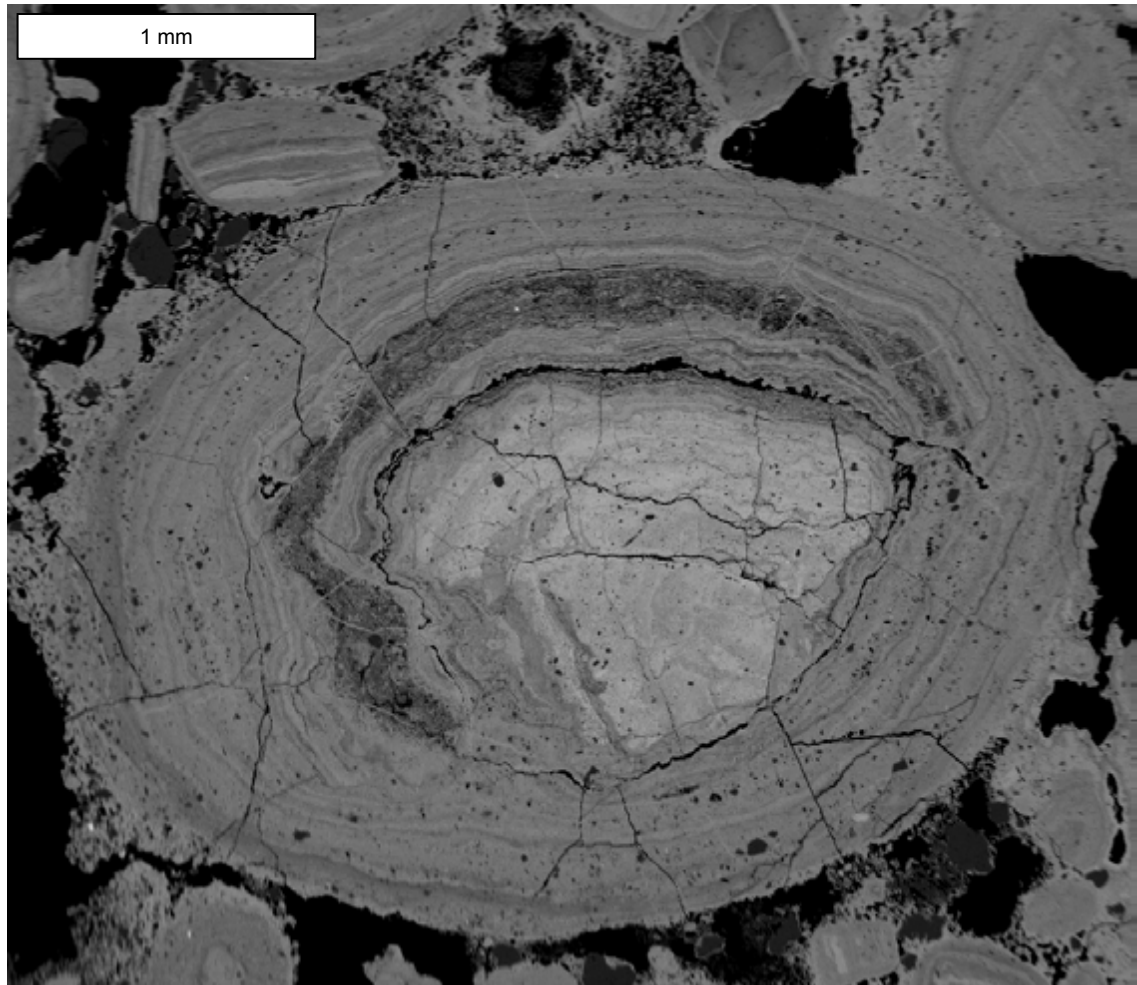


Figura 27 - Fotografia em microscópio óptico de nódulo de concreção pisolítica, de campo graminoso (Perfil 5) - Plintossolo Pétrico Litoplíntico.

O estudo detalhado da composição química de um nódulo pisolítico presente no Plintossolo Pétrico de campo graminoso, perfil 5 (Figura 28) revelou a tendência de aumento de P e Al com redução gradativa de Fe na direção das bordas (Quadro 15), indicando que ocorre certa perda de Fe na superfície dos nódulos de forma sazonal, quando há inundação no período chuvoso. Isso corrobora as observações de campo, que mostram águas ferruginosas supostamente com ferridrita no auge da estação chuvosa,

com extenso alagamento desses solos. As análises mostram ainda a inclusão de grãos quartzo e de minerais de titânio nas concreções (Quadro 15, campos 10 e 11, respectivamente), bem como minerais de zircão (Figura 29, Quadro 16). O plasma predominantemente ferruginoso mostra valores elevados de alumínio (Quadros 15 e 16), indicando presença de goethita aluminosa, com pouca sílica residual.

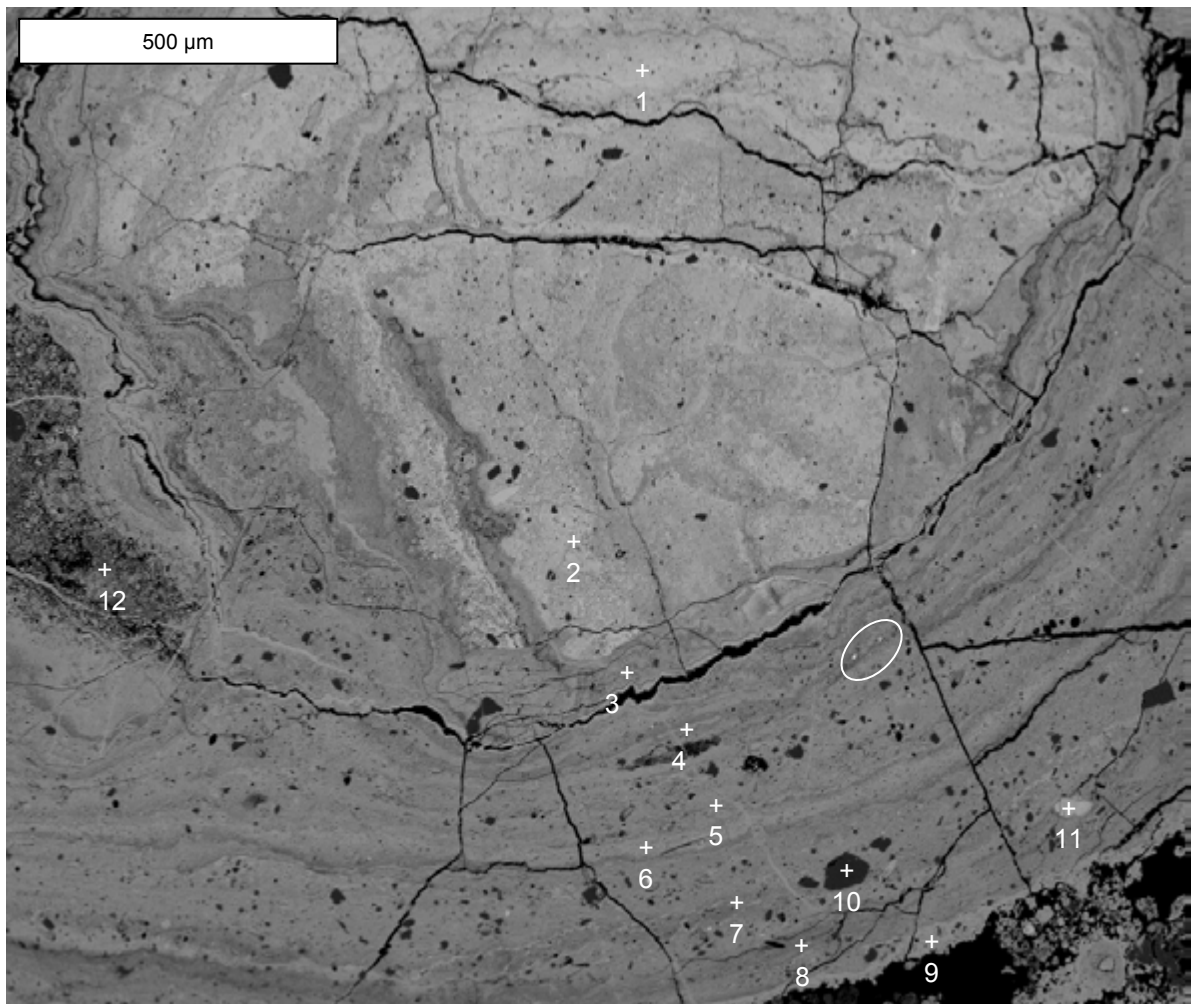


Figura 28 – Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS. Composição pontual de nódulo de concreção pisolítica de campo gramíneo (Perfil 5).

Quadro 15 – Composição química de nódulo de campo graminoso do horizonte A do perfil 5.

Análises localizadas	% Óxidos					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	4,92	93,31	-	-	1,77	-
2	8,26	89,16	-	0,84	1,75	-
3	9,65	84,93	-	1,90	3,44	0,39
4	13,30	80,98	-	2,09	3,05	0,57
5	11,81	83,07	-	2,01	3,12	-
6	17,27	78,14	-	1,84	2,75	-
7	13,81	78,78	-	2,10	5,31	-
8	17,32	73,02	-	2,70	6,44	0,52
9	12,10	79,77	-	1,64	5,51	0,98
10	0,26	0,60	-	-	99,14	-
11	0,61	38,01	1,42	-	0,48	59,48
12	11,77	85,46	-	1,12	1,28	-

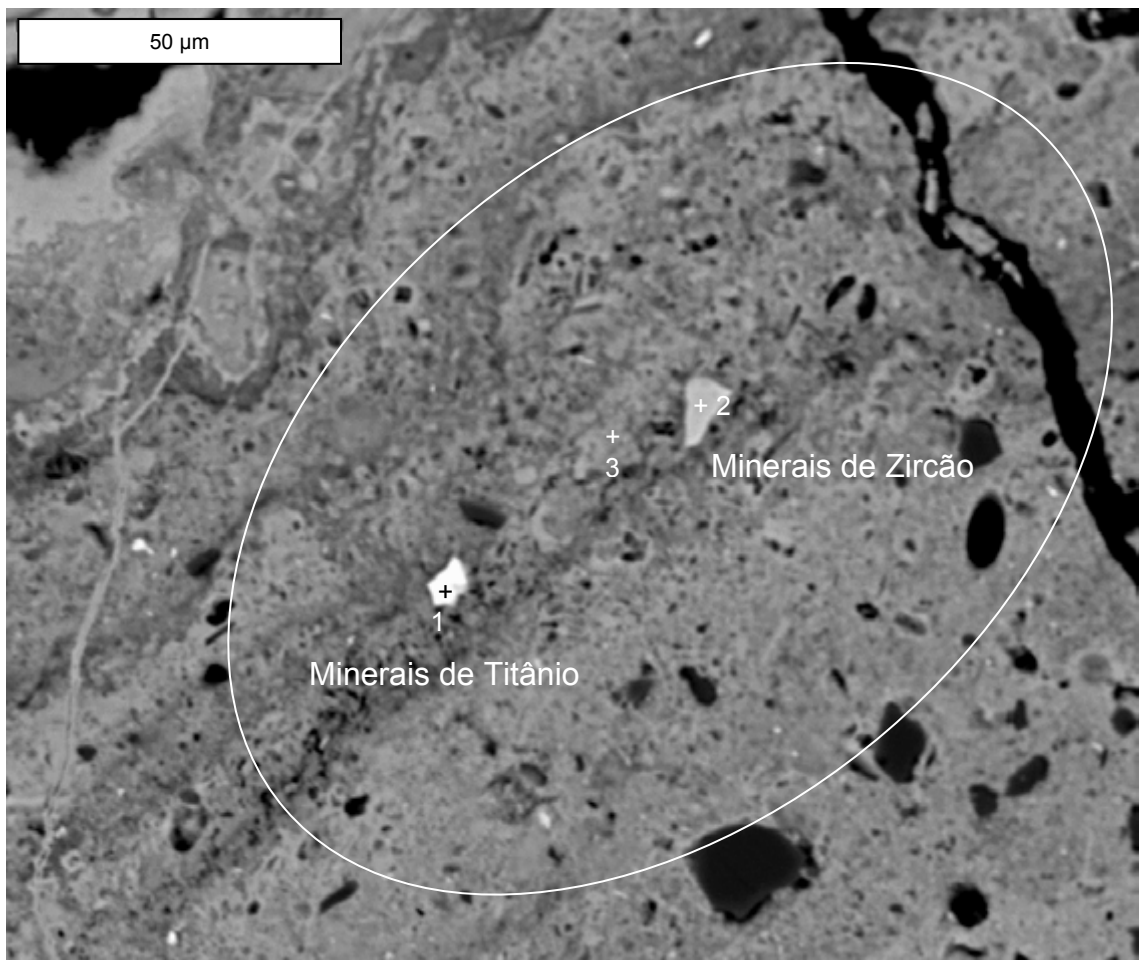


Figura 29 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS. Composição pontual de nódulo de concreção pisolítica de campo graminoso (Perfil 5) (Área do círculo da Figura 27).

Quadro 16 – Composição química de nódulo de campo graminoso do horizonte A do perfil 3.

Análises localizadas	% Óxidos							
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	-	2,05	-	65,84	1,34	-	30,77	-
2	-	46,44	4,57	-	-	-	-	48,98
3	9,56	84,15	-	-	-	1,69	4,61	-

Os nódulos podem incluir materiais ferruginosos (litoreliquias) sem qualquer tendência esferóide, que se tornam nódulos “pisolíticos” típicos à medida que a precipitação sazonal do Fe se desenvolva em suas bordas (Figura 30).

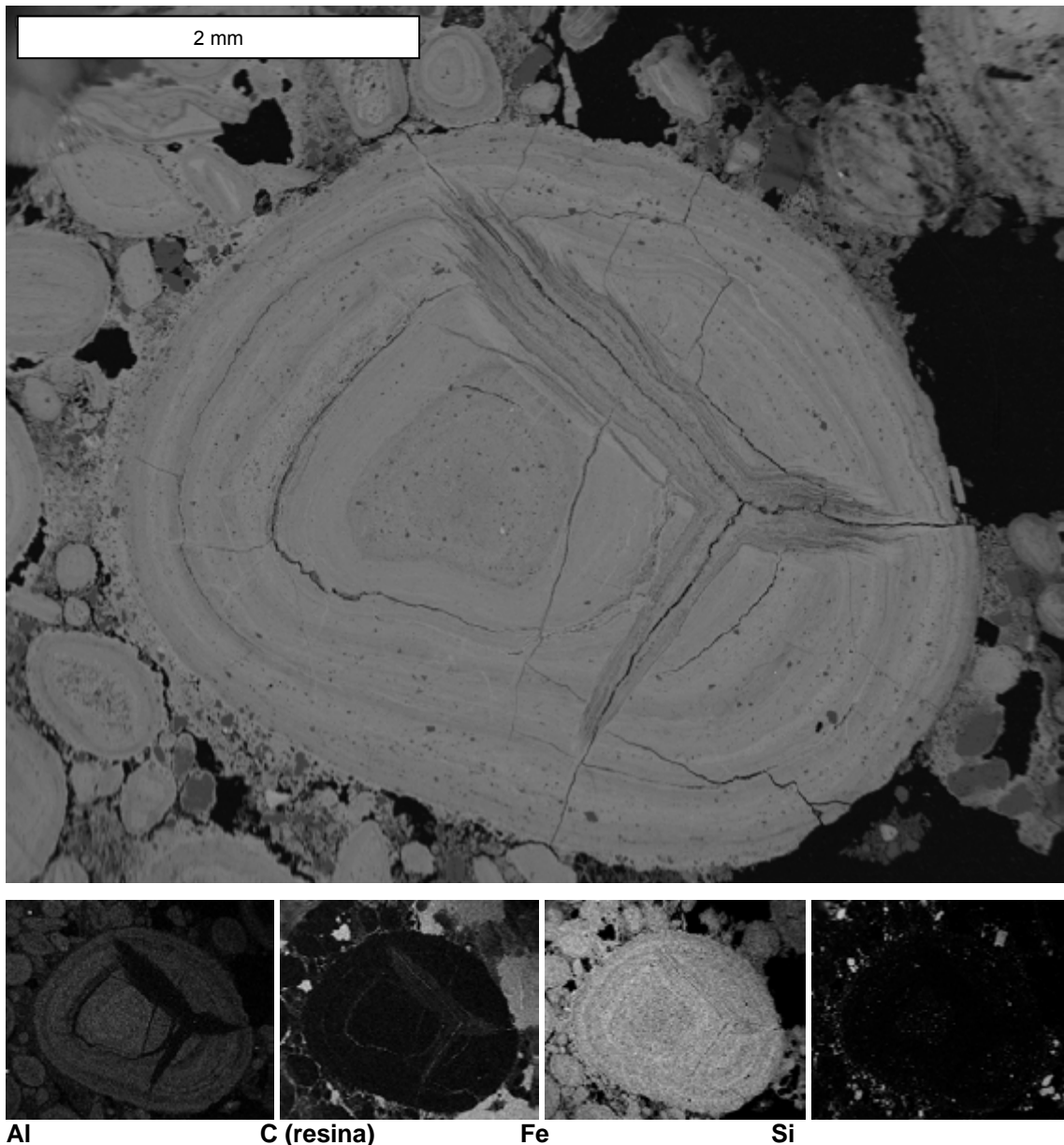


Figura 30 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas microquímicos de EDS do nódulo de concreção pisolítica de campo graminoso do perfil 5, com inclusão de litoreliquia do jaspilito intemperizado.

#### 4.9.2. Latossolos/Horizonte Bw

Os mapas microquímicos evidenciaram com clareza a microestrutura granular forte dos materiais latossólicos (Figuras 31, 32 e 33 ), com agregados microgranulares de tamanhos na faixa de 150-300  $\mu\text{m}$  com alta concentração de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , e menor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Em comparação ao material ferrífero da canga couraçada os teores de Fe são bem menores, mesmo nos agregados com maior retroespalhamento eletrônico (Quadro 17 – campo 4). A gênese policíclica dos agregados é indicada pelas várias fases de concentração de Fe nestes microagregados, e pela distinta presença de pontuações gibbsíticas e grãos de quartzo bastante corroídos, presentes como grãos individuais ou incorporados nos microagregados.

A microagregação é tipicamente de origem pedobiológica (STOOPS & BUOL, 1985; STOOPS, 1989 e SCHAEFER, 2001) e os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no material são bem maiores que na canga couraçada o que denota a maior abundância de goethita aluminosa. Não há evidências de minerais primários intemperizáveis no material de solo, que evidencia elevado grau de intemperismo.

Pontuações de anatásio ocorrem dispersas por todo o plasma argiloso dos agregados, e materiais organo-minerais ocorrem distribuídos no espaço intergranular, como pode ser visualizado no mapa microquímico de carbono (C).

Os microagregados mais densos revelam maior teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (50,8%) que materiais orgânicos fortemente ferruginizados, que possuem teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  elevados, indicando presença de goethita aluminosa, com pouca sílica associada. As análises de Ilmenita (Figura 32), indicam 88,9% de  $\text{TiO}_2$  e 10% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Figura 32 - campo 2), que degrada para zonas com teor de 56,9%  $\text{TiO}_2$  e 41%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Figura 32 - campo 1) ao longo de fraturas, onde também ocorre reprecipitação de Mn.

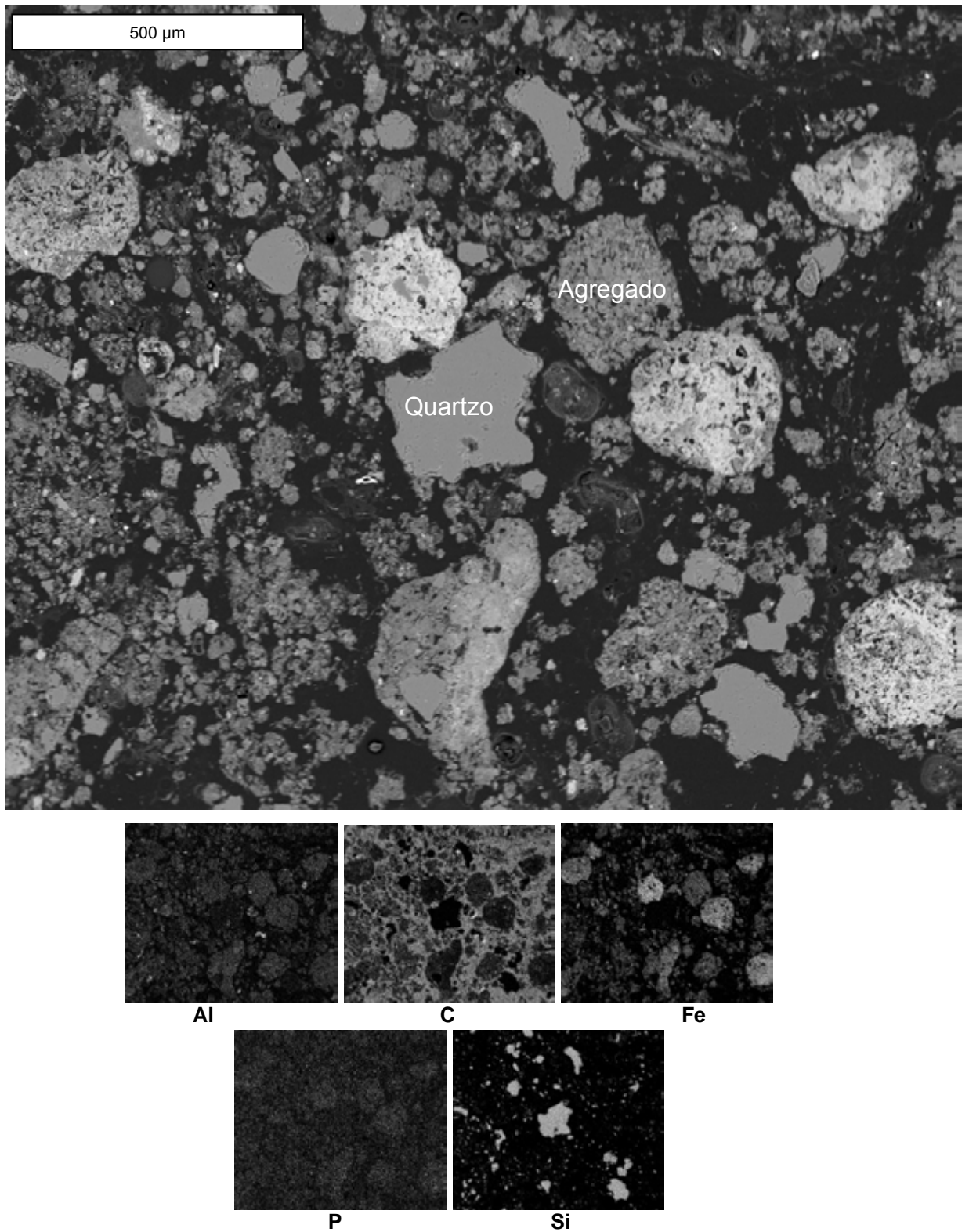


Figura 31 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas microquímicos de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15.

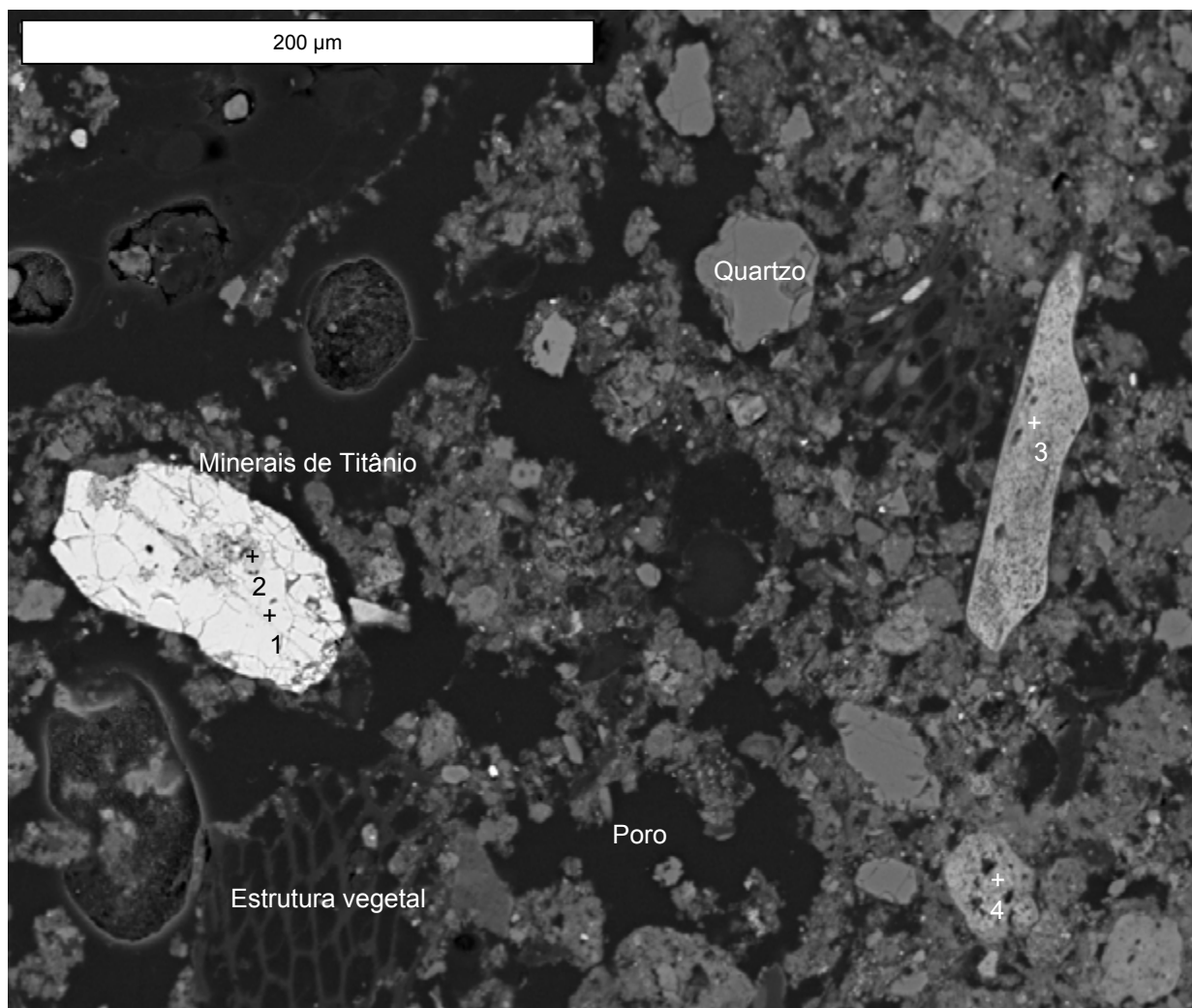


Figura 32 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e pontos onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15.

Quadro 17 – Composição química do horizonte Bwc1 do perfil 15.

Análises localizadas	% Óxidos						
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
1	-	-	41,04	2,07	-	-	56,89
2	0,95	-	10,14	-	-	-	88,90
3	7,64	48,17	42,12	-	1,81	0,27	-
4	9,34	34,57	50,78	-	0,81	1,93	2,56

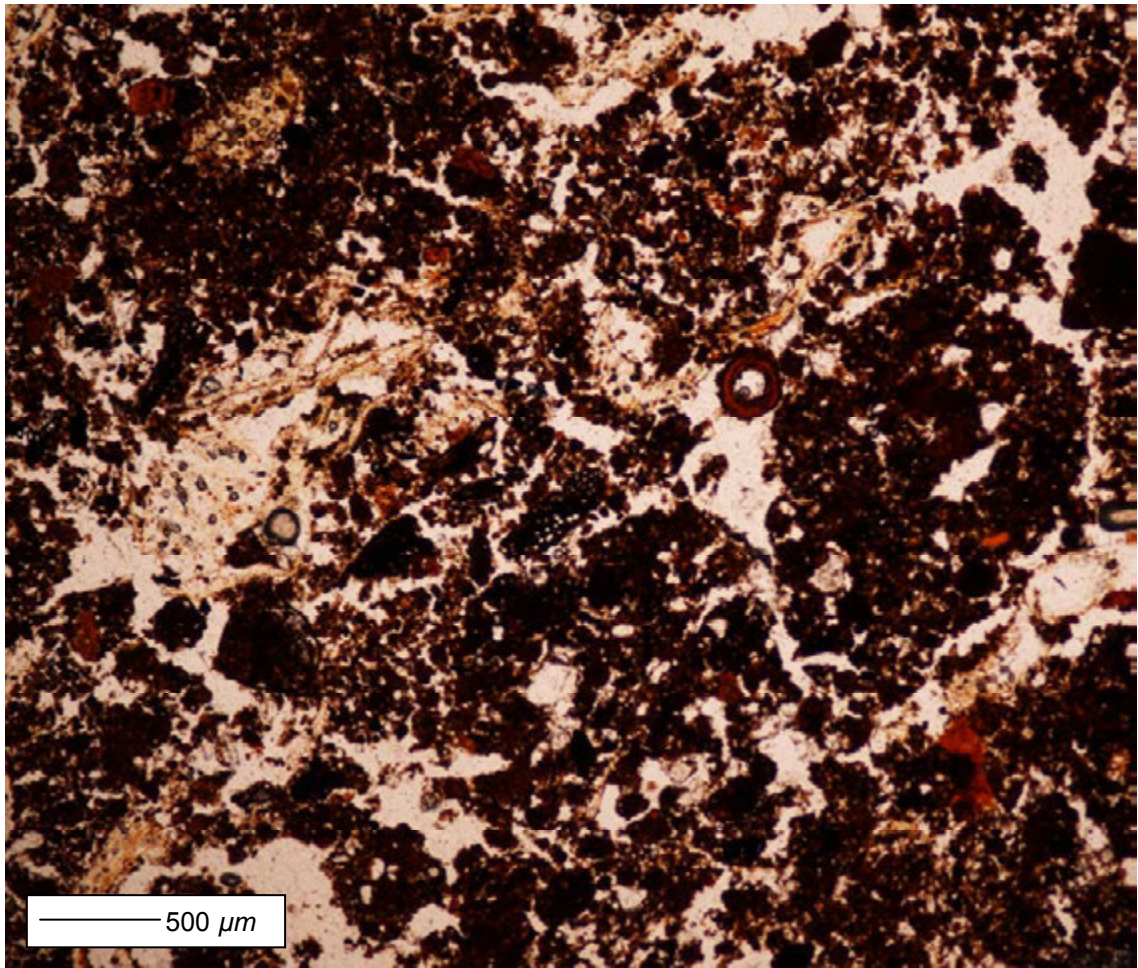


Figura 33 - Fotografia em microscópio óptico de horizonte Bwc1 perfil 15.

No geral, os Latossolos Vermelhos da serra Sul apresentam uma expressiva quantidade de concreções ferruginosas. A Figura 34 ilustra um fragmento de canga pisolítica, evidenciando sua degradação. A distribuição dos elementos no mapa microquímico releva concentração elevada de ferro no interior da concreção e, quantidade menor de alumínio.

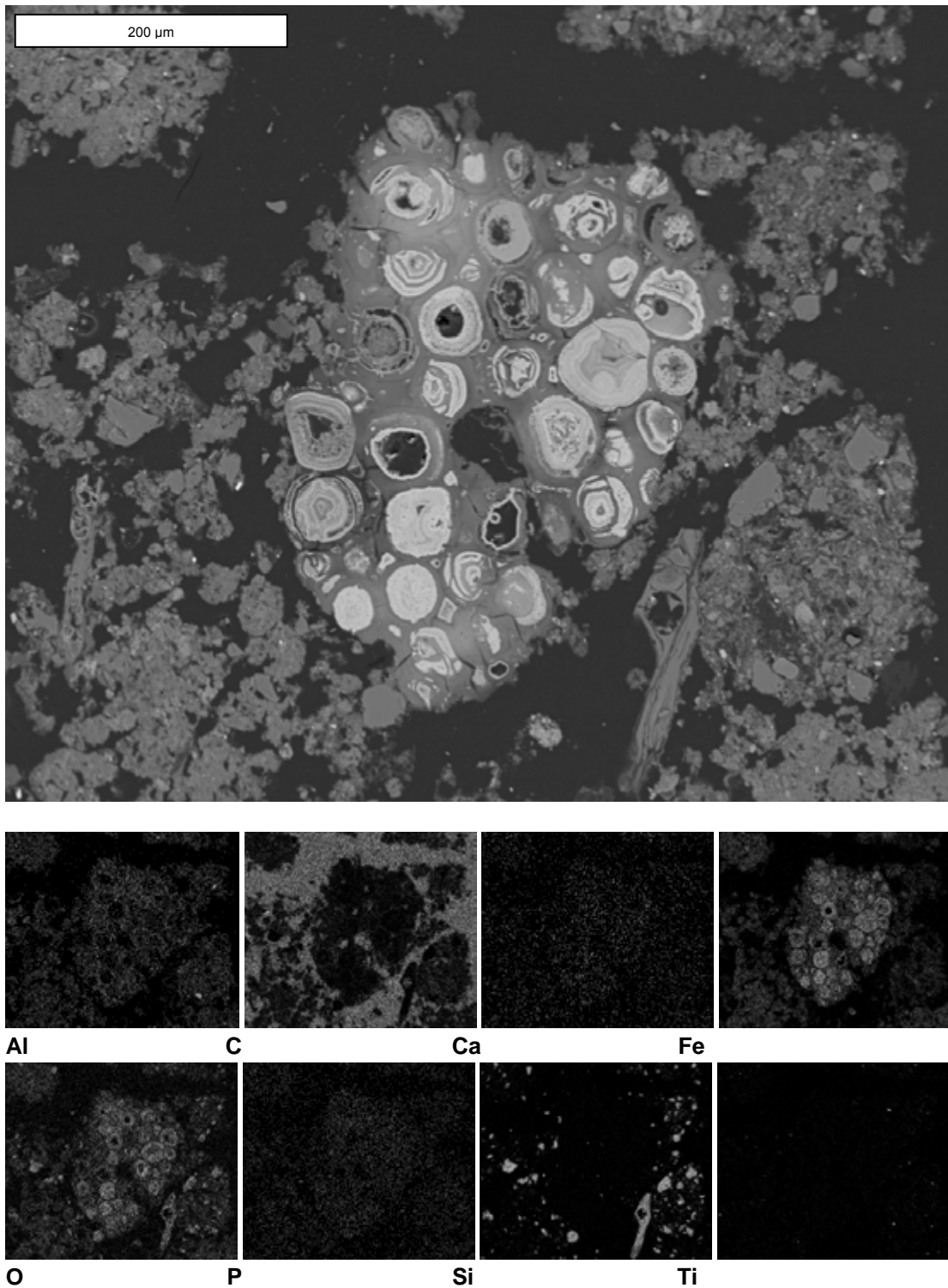


Figura 34 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) mapas e pontos microquímicos de EDS do horizonte Bwc1 do perfil 15, evidenciando a degradação de fragmento da canga pisolítica em inclusão.

Nos Buritizais com solos orgânicos, detectou-se a presença de sílica biogênica como apresentado na Figura 35. A análise pontual por meio de EDS constatou a composição química com 100 % de  $\text{SiO}_2$ . COSTA *et al.* (2005) estudaram a composição mineralógica e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico da região de Carajás, constatando que a formação diagenética de pequenas quantidades de Illita e Esmectita, inexistentes nas crostas, permite inferir o desenvolvimento de microorganismos silicosos.

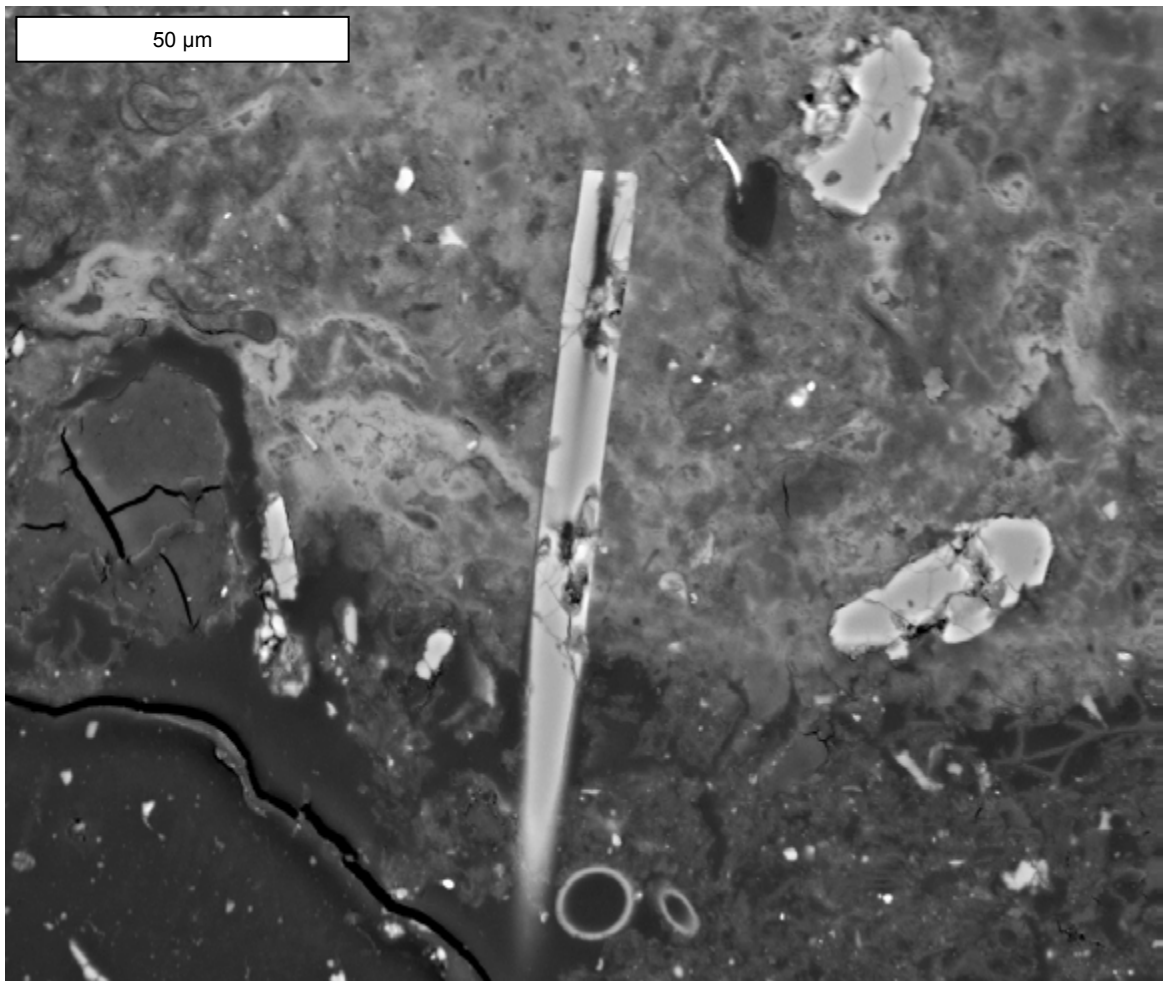


Figura 35 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) evidenciando um fitólito presente em abundância no horizonte Bic1 do perfil 11 (Buritizal).

### **4.9.3. Análises microquímicas da fração areia fina - Plintossolo Pétrico Concessionário latossólico**

Na fração areia fina do Plintossolo Pétrico Concessionário latossólico (P4), os mapas microquímicos da Figura 36, demonstraram o predomínio de ferro e sílica. Os resultados da mineralogia na fração areia fina identificaram picos de óxidos de ferro (hematita, goethita e maghemita) e de quartzo. Estes óxidos são componentes de concreções ferruginosas extremamente resistentes ao intemperismo, visto que em um ambiente de clima tropical úmido como o da serra Sul, a alteração química e física dos minerais é intensa, restando na fração areia basicamente quartzo bem cristalino, arestado e herdado do material de origem (Jaspelito). A presença de concreções ferruginosas estáveis na fração areia fina destes solos demonstra a concentração acentuada de óxidos que ocorre em locais ricos em ferro como na serra dos Carajás.

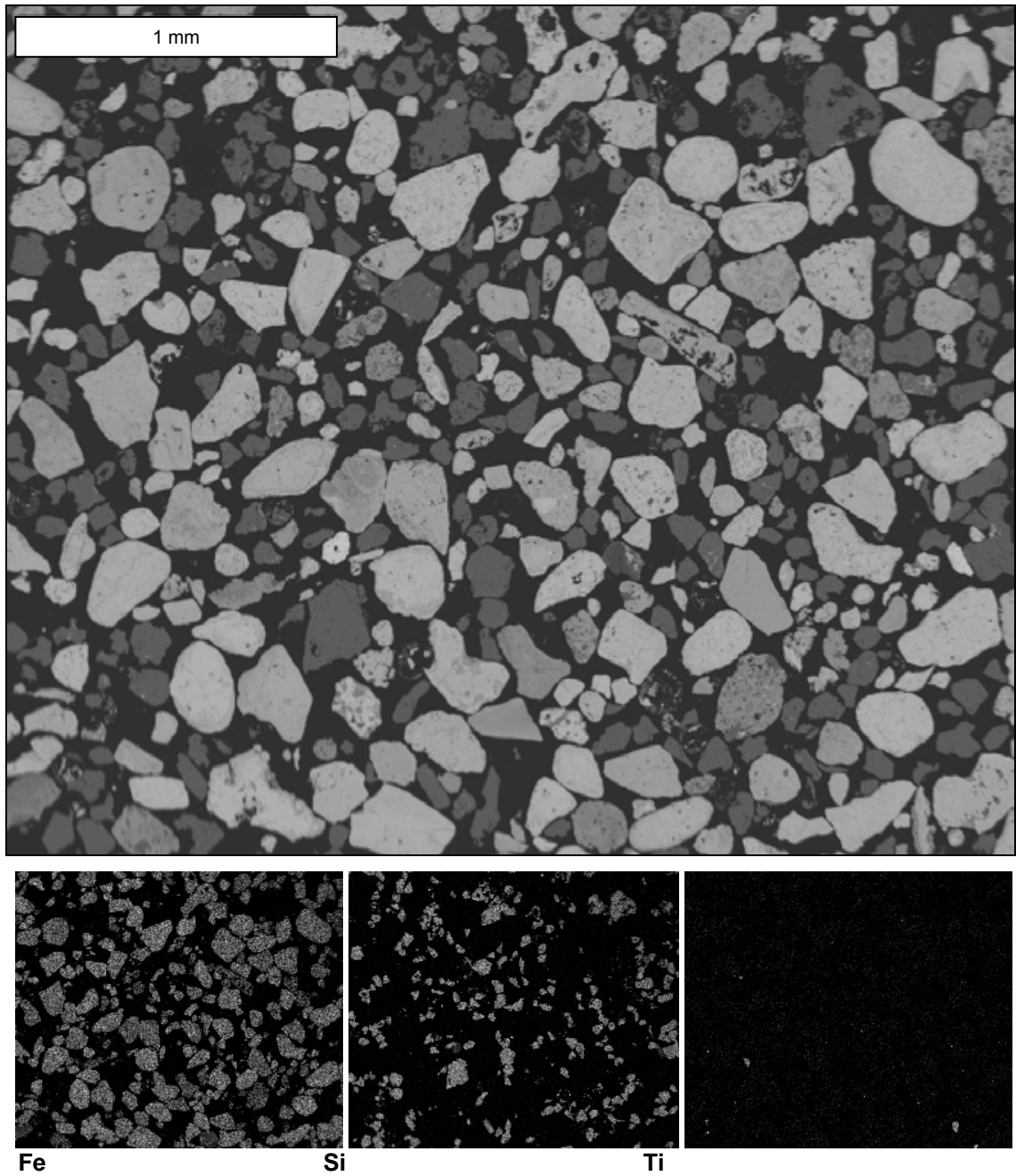


Figura 36 - Fotomicrografia em retroespalhamento eletrônico (MEV) e Mapas onde foram feitas análise da composição química por meio de EDS da fração areia fina do horizonte Bwc1(Perfil 4).

## 5. CONCLUSÕES

Existe um forte controle dos solos sobre as diferentes fitofisionomias presentes nas áreas de canga da serra Sul, evidenciando uma relação direta entre a profundidade do solo e o porte da vegetação. Com o aumento do grau de fraturamento, passando de uma condição litoplíntica ao horizonte concrecionário, ocorre o espessamento do *solum* e o aumento do porte da vegetação.

Com base nos diversos perfis amostrados, pode-se afirmar que, em geral, a vegetação florestal ocorre sempre que o horizonte concrecionário possui mais de 30cm de profundidade. Em solos mais rasos, ocorrem formas de transição com fácies arbustivas de Campo Rupestre e, finalmente, quando tem-se o horizonte litoplíntico recoberto por horizonte A delgado, tem-se a presença de Campos Rupestres Herbáceos nas encostas, ou Campos Graminosos nas partes baixas.

Predominam, os Plintossolos Pétricos, ora com horizonte endurecido contínuo (Litoplíntico) ora com horizonte endurecido fragmentado (Concrecionário).

Todos os solos são ácidos, distróficos e com CTC muito baixa, sendo os maiores valores destes atributos verificados nos horizontes de maior teor de carbono evidenciando a grande importância da ciclagem de nutrientes pela vegetação para a manutenção do equilíbrio dos geoambientes. Dessa forma, recomenda-se que nas atividades de mineração o *topsoil* deve ser separado e reutilizado na recuperação de áreas degradadas. Esta camada superficial de solo (*topsoil*) contém o banco de sementes e, possui condições físico-químicas e biológicas necessárias para o estabelecimento e sobrevivência das espécies vegetais adaptadas a estas condições extremamente oligotróficas e especializadas.

A baixa relação Feo/Fed observada confirma o predomínio de formas mais cristalinas de óxidos de ferro na fração argila dos solos estudados.

A mineralogia apresentou como constituintes dominantes na fração argila a hematita, goethita, maghemita e quartzo. Constatou-se também, a presença em menores proporções de anatásio, rutilo, gibbissita e ilmenita.

Ao lado dos teores bastante elevados de óxido de ferro obtidos pelo ataque sulfúrico e pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), os solos da serra Sul diferenciam-se pela intensa cor vermelha e expressiva ocorrência de maghemita, que, ao lado de hematita e goethita, constituem os minerais dominantes na fração argila.

Solos próximos as cavernas e em áreas de Buritizal recebem forte influência da fauna, resultando em teores muito altos de P disponível, que confere uma riqueza química anômala a estas áreas.

Os Organossolos constituem os principais reservatórios de carbono orgânico na serra Sul. Apesar da reduzida extensão geográfica, as turfeiras e ambientes brejosos constituem o mais importante dreno de C atmosférico, estabilizando-o na forma de matéria orgânica do solo. O impacto da mineração futura pode, portanto, ocasionar emissões de C que devem ser compensadas por medidas práticas que possam contrabalancear essa tendência.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB`SABER, A. N. Geomorfologia da Região. In: ALMEIDA JR. (Org). **CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense, 1986. Brasília: CNPq, 88-124p.
- AB`SABER, A. N. **Amazônia: Do discurso à práxis**. São Paulo: Edusp, 1996. 320p.
- AB`SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ed. Ateliê Editorial, 2003.
- ALEVA, G. J. J. **Laterites: Concepts, geology, morphology and chemistry**. ISRIC, Wageningen, The Netherlands. 170p. 1994.
- ALMEIDA, F. F. Radiometric age determinations from Northern Brazil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. São Paulo, v.17, n.1, p. 3-14, 1968.
- ALMEIDA, R. C. C. **Contribuição à petrologia do granito da serra dos Carajás**. 64p. (Tese de Mestrado) – UFPA, Belém, 1980.
- ALEXANDER, L. T.; CADY, J. G. **Genesis and hardening of laterite in soils**. Techn. Bull. nº 1282, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, 90p. 1962.
- ARAÚJO, O. J. B. (Org). **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto Grande Carajás**. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Brasília: DNPM-CPRM, 1991. 136p.
- ALLEN, B. L.; HAJEK, B. F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. 199-278 p.
- ALVARES, V., V.H.; FONSECA, D. M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, 4 p. 49-55 p., 1990.
- BARBOSA, O. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do “Projeto Araguaia”**. 1966. 94p. (Monografia 19) - MME, DNPM, Rio de Janeiro, RJ, 1966.
- BATISTA, M. de A., SANTOS, M. C. Morfologia e Gênese de dois solos com plintita da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, 487-496 p., 1995.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.

BEISIEGEL, V. R. Carajás iron-ore district. In: IS AP, International Symposium on Archean and Early Proterozoic Geologic Evolution and Metallogensis, 1982, Salvador, BA. **Abstracts and Excursions**, 1982. p. 47-61.

BEISIEGEL, V. R.; BERNARDELLI, A. L.; DRUMMOND, N. F.; RUFF, A. W.; TREMAINE, J. W. Geologia e recursos minerais da serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, p. 215-242, 1973.

BENITES, V. M. 1998. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da serrado Brigadeiro, Zona da Mata Mineira**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 123p. (Tese de Mestrado)

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C. E. R. G.; MENDONÇA, E. S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da serrado Brigadeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 661-674, 2001.

BENITES, V. M., 2002. **Caracterização de solos e substancias humicas de campos de altitude**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 79p. (Tese de Doutorado)

BENNEMA, J. **Oxisols of Brazil**. PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP. 4 ed. RWANDA: ISAR/USDA/ABOS/AGCD/University of Puerto Rico, p. 101-143, 1981.

BEAUVAIS, A.; COLIN, F. Formation and transformation processes of duricrust systems in tropical humid environment. **Chemical Geology**, v. 106, p. 77-101, 1993.

BRAVARD, S.; RIGHI, D. Characterization of fulvic and humic acids from na Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. **Geoderma**, v. 48, p. 151-162, 1991.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R., (Eds.) **Methods of soil analysis**. Part 2 - Chemical and microbiological properties. Madison: Soil Science Society of America, 1982. 2<sup>o</sup>ed. p. 595-624. (Agronomy, 9).

BRASIL. RADAMBRASIL, **Levantamento de recursos naturais**. Vol. 4. Folha SB.22 - Araguaia. Ministério das Minas e Energia. Dpto Nacional da Produção Mineral. Rio de Janeiro, RJ, 1974.

BRASIL. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil**. Projeto Grande Carajás. Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Brasília, DNPM-CPRM, 1991. 136p.

BRASIL. Lei nº9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1<sup>o</sup>, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC e dá outras providências. Brasília: MMA/SBF, 2000. 32 p.

BULLOCK, P.; FEDEROFF, N.; JONGERIUS, A. **Handbook for soil thin section description**. Wolverthampton: Waine Research publications, 1985.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL-SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Gênese, 1999. p. 69-90.

CARVALHO FILHO, A. **Solos e Ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e Aptidão Silvicultural dos Tabuleiros Costeiros**. 245p. (tese de doutorado) - Lavras: UFLA, 2008.

CHEN, P. Y. **Table of key-lines in X-ray Power diffraction patterns of minerails in clays and associated rocks**. Bloomington, Department of Natural Resources, 1977. 67p. (Geological survey occasional paper, 21).

COSTA, M. L. Lateritos e lateritização. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 36. Natal, 1990a. **Anais...** Natal, SBG. v. 1, p. 404-421.

COSTA, M. L. Potencial met alogenético dos lateritos da Amazônia. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 36. Natal, 1990b. **Anais...** Natal, SBG. v.3, p. 1371-1385.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21 (2), p.146-160, 1991.

COSTA, M. L.; CARMO, M. S.; BEHLING, H. Mineralogia e geoquímica de sedimentos lacustres com substrato laterítico na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 2, p. 165-176, 2005.

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

CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais states, Brazil**. 158p. Thesis (Ph.D.) - Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1983.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. 1987. Effect of Parent Rocks on Chemical and Mineralogical Properties of Some Oxisols in Brazil. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 51:153-158.

DIAS, H. C. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA, A. P.; MICHEL, R. M. ; LEMOS JR, J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 469-482, 2003.

DOCEGEO. Revisão lito-estratigráfica da Província Mineral de Carajás. CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 35, 1988, Belém, PA. **Anexo aos Anais...** Belém: SBG, 1988. p. 10-54.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de prétratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. SBCS. Viçosa, MG, v.27, p.765-772, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. III REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA **Anais...** Minas Gerais, 1988.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solo.** 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Solos: 6<sup>a</sup> aproximação. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FALESI, I. C. O ambiente edáfico. In: ALMEIDA Jr., J. M. G. et al. (Ed.) **CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento.** São Paulo: Brasiliense, 1986. Brasília: CNPq. p. 125-155.

FEY, M. V.; LE ROUX, J. Properties and quantitative estimation of poorly cristaline components in sequioxidic soil clays. **Clays and Clay Minerals**, v.25, p.285-294,1977.

FITZPATRICK, E. A. **Soil microscopy and micromorphology.** New York: John Wiley & Sons, 1993. 304p.

FONTES, M. R.; FABRIS, J. D.; RESENDE, M.; GALVÃO DA SILVA, E. Concreções Ferruginosas de alguns solos Brasileiros. II Caracterização Mineralógica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** SBCS. Viçosa, MG. v.9, p.119 -123, 1985.

FONTES, M. P. F., WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 55, p. 1143-1449, 1991.

GIBBS, A. K.; WIRTH, K. R. **Geologic Setting of the serra dos Carajás Iron deposits, Brazil – Banded Iron Formations – Theophrastus publication, AS – Greece,** 1990. p. 83-102.

GUALBERTO, V.; RESENDE, M. & CURI, N. Química e Mineralogia de Latossolos, com altos teores de ferro, da Amazônia e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** SBCS. Viçosa, MG. v.11, p.245 -252, 1987.

HARRISON, J. B. **Residual earth of British Guiana commonly termed laterite.** Geol. Mag., 7, p 439-452. 1910.

HAYES, M. H. B. & MALCOLM, R. L. Considerations of Compositions and Aspects of the Structures of Humic Substances. *In:* HAYES, M.H.B. & MALCOLM, R.L. (Eds) **Humic substances and chemical contaminants.** Madson: Soil Science Society of American, p.3-39, 2001.

- HIRATA, W. K.; RIGON, J. C.; KADEKARU, K.; CORDEIRO, A. A. C.; MEIRELES, E. M. Geologia da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Simp. Geol. Amazônia, 1, 1982, Belém. **Anais...** p. 100-108.
- HORBE, A. M. C. Ç; COSTA, M. L. Lateritic crusts and related soils in eastern Brazilian Amazonia. **Geoderma**, v. 1268, p. 225-239, 2004.
- IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) Plano de Manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás. *Capítulo 2 – Análise da Unidade de Conservação, Tomo I – Fatores abióticos*, 2003.
- JACOBI, C. M.; CARMO, F. F.; VINCENT, R. C.; STEHMANN, J. R. Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 2185-2200, 2007.
- JACOBI, C. M.; CARMO, F. F.; VINCENT, R. C. Estudo Fitossociológico de uma comunidade vegetal sobre canga com subsídio para a reabilitação de áreas mineradas no Quadrilátero Ferrífero, MG. **Revista Árvore**, v.32, n.2, p. 345-353, 2008.
- JOLY, A. B. **Conheça a Vegetação Brasileira**. São Paulo: Polígono e Ed. USP, 1970.
- KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. **Clays and Clays Miner**, v. 30(6), p.401-408, 1982.
- KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulínicos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 27-31, 1983.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M.; CURTI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: VIII INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS. Part 1. **Proceedings...** EMBRAPA, SMSS, AID, UPR, Rio de Janeiro, Brasil, p. 71-77, 1988.
- KÄMPF, N.; CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.107-138, 2000.
- KATZER, F. **Grundzüge der Geologie des unterm Amazonasgebietes des Staates Pará in Brasilien**. Leipzig, M. Weg. 296 p., 1903.
- KER, J. C. **Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil**. 181p. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Roteiro da excursão pedológica Viçosa - Sete Lagoas**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 47p.

KOTSCHOUBEY, B.; LEMOS, V. P. Considerações sobre a origem e gênese das bauxitas da serra dos Carajás. SIMPÓSIO GEOLOGIA AMAZÔNIA, 2. **Anais...** Belém: SBG/NN, 1985. v. 3 p.48-61.

LACROIX, A. **Les latérites de la Guinée et les produits d'alteration qui leur sont associés.** Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat., Paris, sér. 5, p. 255-356. 1913.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p. 85-90, 1990.

LINDENMAYER, Z. G.; LAUX, J. H.; TEXEIRA, J. B. G. Considerações sobre a origem das formações ferríferas da formação Carajás, serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, p. 21-28, 2001.

MEHRA, J. P.; JACKSON, M. L. Iron oxids removal from solis and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. **Clays Clay Miner**, v.7, p.317-327. 1960.

MELFI, A. J.; PEDRO, G.; VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos nos solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 47-54, 1979.

MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.25-30, 1995.

MOHR, E. C. J., VAN BAREN, F. A., VAN SCHUYLENBORGH. **Tropical Soils.** 3ed., Mouton-Ichtiar Bary-Van Hoeve, The Hague-Paris-Djakarta, 481 p. 1972.

MUNSELL. Soil color charts. Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. Baltimore, Maryland, 1990.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. **Anal. Chim. Acta**, v. 27, p. 31-36. 1962.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J.H. **Dithionite and oxalate. Extratable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils.** Soil Sci. Soc. Am. Proc., v.46, p.13-22. 1966.

NUNES, W. A. G. A. **Caracterização física, química, mineralógica, micromorfológica e espectral de alguns solos da zona da mata mineira.** 135p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

NUNES, J.A. 2009. **Florística, estrutura e relações solo-vegetação em gradiente fitofisionômico sobre canga, na serra Sul, FLONA de Carajás – Pará.** 112p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

PARADELLA, W.R.; SILVA, M. F. F., ROSA, N. A.; KUSHIGBOR, C. A. A geobotanical approach to the tropical rain forest environment of the Carajás Mineral Province (Amazon Region, Brazil), based on digital TM Landsat and DEM data. **Int. Jour. Rem. Sensing**, v.15, p.1633-1648, 1994.

PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de Vegetação Metalófila em Áreas da serrade Carajás e de Minas Gerais, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 3(2), 1989.

RAMOS, D. P. **Latossolos brasileiros; um novo enfoque para o reconhecimento de características diferenciais**. 184p. (Tese D.S.) – ESALQ, Piracicaba, SP, 1981.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. 237p. Thesis (Ph.D.) Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações**. Lavras: UFLA, 192p. 2005.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5.ed. rev. Lavras: UFLA, 322p. 2007.

RESENDE, N. P.; BARBOSA, A. L. M. **Relatório de pesquisa de minério de ferro**. Distrito ferrífero da serra dos Carajás – Estado do Pará: Relatório final de pesquisa. Belém, AMZA, 5v, 1972.

RICE, J. A.; MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. **Organic Geochemistry**, v. 17, p. 635-648, 1991.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo: HUCITEC/EDUSP, 1979. 374p.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.297-300, 2005.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92p.

SARCINELLI, T. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; LYNCH, L. S.; ARATO, H. D.; VIANA, J. H. M.; FILHO, M. R. A.; GONÇALVES, T. T. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. **Catena**, 2009. p. 76, 107-113.

SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE, M. A.; CAMPOS, J. C. F.; CHARMELO, L. L.; SIMAS, F. N. B. Elementos da Paisagem e Gestão da Qualidade Ambiental. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 20-44, 2000a.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; VALE JUNIOR, J. F.; MELLO, J. W. V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Sér. Ciên. Nat.**, Belém, v. 12, p. 63-104, 2000b.

SCHAEFER, C. E. G. R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal Soil Research**, v. 39, p. 909-926, 2001.

SCHAEFER, C. E. G. R., SIMAS, F. N. B., MENDONÇA, B. A. F., RIBEIRO, A. S. R., FERREIRA JÚNIOR, W. G., NUNES, J. A. & CORREA, G. R. **Geodiversidade dos Ambientes de Canga na Região de Carajás – Pará**. Relatório técnico Vale do Rio Doce. 75p., 2007.

SCHAEFER, C. E. G. R., MENDONÇA, B. A. F., CORREA, G. R. & RIBEIRO, A. S. S. Solos desenvolvidos sobre canga no Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. In: I SIMPÓSIO DE AFLORAMENTOS FERRUGINOSOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: BIODIVERSIDADE, CONSERVAÇÃO E PERSPECTIVAS DE SUSTENTABILIDADE. **Anais...** Belo Horizonte, MG., p.107-121, 2008a.

SCHAEFER, C. E. G. R. ; FABRIS, J. D. ; KER, J. C. . Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): A review. **Clays and Clay Minerals**, v. 43, p. 1-18, 2008b.

SCHELLMANN, W. Considerations on the definition and classification of laterites. In: INT. SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 1. Trivandrum. **Proceedings...** Trivandrum, Oxford & Ibh. p. 1-10, 1980.

SCHELLMANN, W. Geochemical principles of lateritic nickel ore formation. In: Inten. Seminar on Laterization Processes, 2. São Paulo. **Proceedings...** p. 119-135, 1983.

SECCO, R. S.; A. L. MESQUITA. Nota Sobre a Vegetação de Canga da serra Norte. **I. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Nova Sér. Bot.**, v. 59, p. 1-13, 1983.

SILVA, M. F. F.; MENEZES, N. L.; CAVALCANTE, P. B.; JOLY, C. Geomorfologia da Região. In: ALMEIDA JR. (Org). **CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense; Brasília: CNPq, 1986. p.184-207.

SILVA, M. F. F. da; ROSA, N. A. Análise do estrato arbóreo da vegetação sobre jazida de cobre na serra dos Carajás-PA. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Sér. Bot.**, v.5(2), p. 175-206, 1989.

SILVA, M. F. F. da; Análise florística da vegetação que cresce sobre canga hematítica em Carajás-Pará, Brasil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Sér. Bot.**, v. 7(1), p. 79-107, 1991.

SILVA, M. F. F. Distribuição de metais pesados na vegetação metalófila de Carajás. **Acta Botânica Brasílica**, v. 6, p.107-22, 1992.

SILVA, M. F. F. da; SECCO, R. de S.; LOBO, M. da G. Aspectos ecológicos da vegetação rupestre da serra dos Carajás, Estado do Pará, Brasil. **Acta Amazonica** 26 (1/2), p. 17-44, 1996.

SIMAS, F. N. B. **Pedogênese e geoambientes na serra Verde, parte da Mantiqueira Mineira**: atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos. 78f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on

crystalline rocks of the serrada Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma** (Amsterdam), v. 125, p. 187-201, 2005.

SOIL SURVEY STAFF. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, 1975. (Agricultural Handbook), 436p.

STOOPS, G. Relict properties in soils of the humid tropical regions with special reference to central Africa. In: BRONGER, A. & CATT, J.A., (eds.) **Paleopedology**. Cremlingen: [s.n.], p.95-106, 1989.

STOOPS, G.F. & BUOL, S.W. Micromorphology of Oxisols. In: DOUGLAS, L.A. & THOMPSON, M.L., (eds.) **Soil micromorphology and soil classification**. Madison, Soil Science Society of America, 1985. p.105-119. (SSSA. Special Publication, 15)

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical methods**. v.3. Soil Science Society of America; Madison: American Society of Agronomy, (SSSA. Book Series, 5), 1996. p. 1011-1020.

SCHULZE, D. G. **The identification of iron oxides by differential X-ray diffraction and the influence of aluminum substitution on the structure of goethite**. 133p. (Tese de Doutorado) - Freising: Techn. Univ. Munchen, 1982.

SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R. W.; TAYLOR, R. M.; LEWIS, D. G. The influence of aluminum on iron oxides. Part II. Preparation and properties of Al-substituted hematites. **Clays and Clay Minerals**, v. 27, p. 105-112, 1979.

SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.251-256, 1983.

SCHWERTMANN, U. **The effect of environments on iron oxide minerals**. Adv. Soil Sci., v.1, p. 172-200, 1985.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. (eds). **Minerals in Soil Environments**. Madison: Soil Sci. Soc. of Am., 2 ed. p.379-438, 1989.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reactions**. New York: Wiley, 2.ed. 496p., 1996.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 174p., 1995.

VANZOLINI, P. E.; BRANDÃO, C. R. F. Diretrizes gerais para um levantamento faunístico. In: ALMEIDA JR. (Org). **CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento**. São Paulo: Brasiliense; Brasília: CNPq, p. 208-221, 1986.

VENEZIANI, P.; DOS SANTOS, A. R.; PARADELLA, W. R. A evolução tectono-estratigráfica da Província Mineral de Carajás: um modelo com base em dados de sensores remotos orbitais (sar-c radarsat-1, tm landsat-5), aerogeofísica e dados de campo. **Rer. Bras. de Geoc.**, v. 34 (1), p. 67-78, 2004.

VIANA, P. L. & LOMBARDI, J. A. Florística e Caracterização dos Campos Rupestres sobre Canga na serrada Calçada, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58 (1), p. 159-177, 2007.

VINCENT, R. C.; JACOBI, C. M.; ANTONINI, Y. Diversidade na adversidade. **Ciência Hoje**, v. 31 (185), p. 64-67, 2002.

VINCENT, R. C. **Florística, fitossociologia e relações entre a vegetação e o solo em área de campos ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 2004. 145p. (Tese de doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; CURI, N.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; MOTTA, P. E. F. da; Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.1, p.133-141, 2003.

VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELFI, A. J. Humus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 277-283, 1984.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil Sci. Plant Anal**, v. 19(13), p. 1467-1476, 1988.

## APÊNDICES

# APÊNDICE A – Descrição geral e morfológica dos perfis estudados

## PERFIL 3

### DESCRIÇÃO GERAL

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Concrecionário câmbico.

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572173 / 9292600.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Mata Alta sobre canga degradada, com <3% de declividade, em área de Capão de floresta tropical perenifolia.

*Altitude:* 714 metros

*Litologia:* colúvios de material latossólico misturados com canga da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Não rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Acentuadamente drenado.

*Vegetação primária:* Capão de floresta tropical perenifolia (Capão florestal denso).

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A 0-4cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3); franco-argilo-arenosa; moderada; pequena blocos subangulares; solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções freqüentes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bic1 4-25cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilosa; forte muito pequena granular muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e gradual; concreções freqüentes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bic2 25-60cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilosa; forte muito pequena granular muito friável, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Raízes : Raízes muito finas dentro da canga, abundantes média a grossas no A; muitas médias e grossas no Bic1; muitas médias e grossas no Bic2.
- Obs.: Solos com blocos concrecionados entre 25cm e 70+cm e canga pisolítica e nodular em processo de degradação (60% de concreções), atividade intensa de térmitas..

## **PERFIL 4**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação* Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572143 / 9292582.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Mata Alta sobre canga degradada, com 3-8% de declividade, em área de Capão de floresta tropical perenifolia.

*Altitude:* 768 metros

*Litologia:* colúvios latossólicos misturados com canga da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Não rochosa.

*Relevo local:* Suave ondulado.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Acentuadamente drenado.

*Vegetação primária:* Capão de floresta tropical perenifolia (Capão florestal denso).

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-10cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/3); franco-argilosa; forte muito pequena e pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções poucas, duras, irregulares, esféricas e pequenas.
- AB 10-15cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções freqüentes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Bwc1 15-80cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, esféricas e grandes.
- Bwc2 80-110+cm; Vermelho-escuro (10R3/6); franco; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções dominantes, duras, irregulares, esférica e grandes.
- Raízes: Abundantes finas a grossas no A e AB; abundantes finas e médias no Bwc1; e muitas finas e médias no Bwc2.
- Obs.: Solos com blocos concrecionados entre 25cm e 70+cm e canga pisolítica e nodular em processo de degradação (60% de concreções).

## **PERFIL 5**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 01/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Litoplântico típico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572520 / 9292320.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Campo gramíneo parcialmente drenado, com <3% de declividade e cobertura de Ciperáceas, Xiridáceas e Eriocauláceas.

*Altitude:* 731 metros

*Litologia:* canga nodular da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Canga nodular degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.

*Rochosidade:* Moderadamente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Forte.

*Drenagem:* Mal drenado.

*Vegetação primária:* Campo gramíneo parcialmente drenado sobre Canga nodular.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-3cm; Vermelho-amarelado (5YR 5/8); franco-argilo-arenosa forte muito pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, esféricas e pequenas.

Cf 3-25+cm; forte muito pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, esféricas e pequenas.

Raízes: Abundantes e finas até 20cm, inclusive nas fraturas.

Obs.: Atividade intensa de térmitas Nasuti.

## **PERFIL 7**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 01/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Concrecionário Perférico léptico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 570918 / 9291589

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito na borda serrana sobre colúvios de canga, com 45-75% de declividade, em área de Mata de transição para a Floresta Ombrófila Densa.

*Altitude:* 880 metros

*Litologia:* canga e colúvios de canga da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.

*Rochosidade:* Moderadamente rochosa.

*Relevo local:* Montanhoso.

*Relevo regional:* Montanhoso.

*Erosão:* Moderada.

*Drenagem:* Acentuadamente drenado.

*Vegetação primária:* Floresta Ombrófila Densa primária.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas Bruno Araujo Furtado de Mendonça e Acauã Santos de Saboya Ribeiro.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-5cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena e pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções freqüentes, duras, angulares e grandes.

Bic 5-50cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (10R 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição irregular e gradual; concreções freqüentes, duras, angulares e grandes.

Raízes: Abundantes finas a grossas no A; abundantes finas e médias no Bic.

Obs.: Cupins de solos comuns, poucos montículos, solos formado sobre colúvios de escarpa.

## **PERFIL 8**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 01/08/2007

*Classificação:* Organossolo Háptico Sáprico típico.

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 569240 / 9292514

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em campo brejoso, com <3% de declividade e cobertura de Ciperáceas e Eriocauláceas.

*Altitude:* 713 metros

*Litologia:* Canga dregadada da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* material orgânico sobre canga degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Moderadamente pedregosa.

*Rochosidade:* Rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Ligeira.

*Drenagem:* Mal drenado.

*Vegetação primária:* Turfeira de campo brejoso com Ciperáceas, Xyridáceas e Eriocauláceas.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Oy        0-20cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-argilo-arenosa; material fibroso típico.

F        20<sup>+</sup>cm.

Obs.:     Turfeira de campo brejoso típico, com material fibroso atípico para a região.

## **PERFIL 9**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Litoplântico típico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572234 / 9292724.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Canga Ferrífera, com <3% de declividade e em área de Campo rupestre com Vellozia.

*Altitude:* 770 metros

*Litologia:* Canga ferrífera da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Muito pedregosa.

*Rochosidade:* Extremamente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Forte.

*Drenagem:* Imperfeitamente drenado.

*Vegetação primária:* Campo rupestre com Vellozia.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A 0-5cm; Bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/3); franco-argilosa; forte muito pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

F 5-25<sup>+</sup>cm.

Raízes: Abundantes e finas, inclusive nas fraturas.

Obs.: Solos muito rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

## **PERFIL 10**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Litoplíntico típico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 573040 / 9291210.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Canga Ferrífera, com <3% de declividade e em área de Campo Rupestre Arbustivo

*Altitude:* 810 metros

*Litologia:* Canga ferrífera da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Canga ferrífera degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Muito pedregosa.

*Rochosidade:* Extremamente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Forte.

*Drenagem:* Imperfeitamente drenado.

*Vegetação primária:* Campo Rupestre Arbustivo

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A            0-5cm; Bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.

F            5-25<sup>+</sup> cm.

Raízes:     Abundantes e finas, inclusive nas fraturas.

Obs.:       Solos muito rasos em bolsões. Atividade intensa de térmitas.

## PERFIL 11

### DESCRIÇÃO GERAL

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Cambissolo Húmico Tb distrófico leptico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575396 / 9291680.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em mata de várzea circular, com <3% de declividade, em Buritizal.

*Altitude:* 736 metros.

*Litologia:* Sedimentos derivados da canga ferrífera.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás.

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Mal drenado.

*Vegetação primária:* Buritizal, com predomínio de Buritirana, Buriti e Euterpe.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ah 0-12cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco; fraca pequena blocos subangulares; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bic1 10-30cm; Bruno-amarelado(10YR 5/8); franco; fraca média blocos subangulares; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Bic2 30-45cm; Vermelho (2,5YR5/8); franco-siltosa; fraca média blocos subangulares; muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- BC 45-60cm; Amarelo (10YR 8/8); franco-argilo-arenosa; fraca média blocos subangulares; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual; concreções freqüentes, dominantes, duras, irregulares, pequenas e grandes.
- Raízes: Poucas e finas no Ah e no Bic1; muitas médias e grossas no Bic2 e BC.
- Obs. Canga ferrifera sendo degradada, formando aparentemente ferridrita.

## **PERFIL 12**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Organossolo Háptico Hêmico típico.

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575376/9291607.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em campo brejoso, com <3% de declividade, em turfeira com Ciperáceas e Samambaias.

*Altitude:* 736 metros.

*Litologia:* Sedimentos derivados da canga ferrífera.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* Depósitos fluvio-lacustres derivados da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Mal drenado.

*Vegetação primária:* Campo brejoso inundado com turfeira.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

O	0-20cm; transição clara e plana.
Hy1	20-40cm; Bruno-escuro (7,5YR 3/3); argilo-arenosa; transição clara e plana.
Hy2	40-70cm; Preto (7,5YR 2,5/1); franco-argilosa; transição clara e irregular.
CF	70 <sup>+</sup> cm. Bruno-oliváceo-claro (2,5Y 5/4); franco-argilosa.
Raízes:	Abundantes finas e médias no O.
Obs.:	Solo saturado com água.

## **PERFIL 13**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Litoplintico hístico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 575334 / 9291726.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em colúvio de canga, com 3-8% de declividade e em área de Mata-seca com sub-bosque graminoso.

*Altitude:* 720 metros

*Litologia:* Canga da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* colúvio de canga degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Ligeiramente pedregosa.

*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.

*Relevo local:* Suave ondulado.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Forte.

*Drenagem:* Moderadamente drenado.

*Vegetação primária:* Mata-seca com sub-bosque graminoso.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

Ah	0-10cm; Preto (10YR 2/1); franco; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções frequentes, duras, angulares, pequenas e grandes.
Bif	10-25cm; Vermelho muito escuro-acinzentado (2,5YR 2,5/2); franco-arenosa; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e clara; concreções muito frequentes, duras, angulares, pequenas e grandes.
F	25 <sup>+</sup> cm.
Raízes:	Abundantes e muito finas a médias no A(h) e muitas e finas a grossas no Bi.

## **PERFIL 14**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Plintossolo Pétrico Litoplântico típico.

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 576230/9292190.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em campo graminoso, com <3% de declividade e em área de Ciperáceas, Xiridaceas e Eriocaulaceas.

*Altitude:* 720 metros

*Litologia:* canga nodular da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* canga nodular degradada da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Ligeiramente pedregosa.

*Rochosidade:* Ligeiramente rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Mal drenado.

*Vegetação primária:* Campo graminoso com Ciperáceas, Xiridaceas e Eriocaulaceas.

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A            0-2cm; Amarelo (10YR 7/8); franco-argilosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, duras, esféricas e pequenas.

Bif           2-20cm; Amarelo (10YR 8/8); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; solto, solto, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções freqüentes, duras, esféricas e pequenas.

Raízes:      Abundantes e finas até 20cm.

## PERFIL15

### DESCRIÇÃO GERAL

*Data:* 02/08/2007

*Classificação:* Latossolo Vermelho Acriférico petroplintico

*Localização, município, estado e coordenadas:* FLONA Carajás – serra Sul (setor D), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 572143 / 9292582.

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil:* Perfil descrito em Mata Alta sobre canga degradada, com <3% de declividade, em área de Capão de floresta tropical perenifolia com espécies pioneiras e bambus.

*Altitude:* 694 metros

*Litologia:* colúvios latossólicos misturados com canga da Formação Carajás.

*Formação geológica:* Formação Carajás. Grupo Grão Pará.

*Material originário:* canga degradada e colúvios de canga da Formação Carajás. Arqueano.

*Pedregosidade:* Não pedregosa.

*Rochosidade:* Não rochosa.

*Relevo local:* Plano.

*Relevo regional:* Forte ondulado.

*Erosão:* Não aparente.

*Drenagem:* Acentuadamente drenado.

*Vegetação primária:* Capão de floresta tropical perenifolia (Capão florestal denso).

*Clima:* Aw da classificação de Köppen.

*Descrito e coletado por:* Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Acauã Santos de Saboya Ribeiro e Bruno Araujo Furtado de Mendonça.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- |         |   |
|---------|---|
| A       | 0-5cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco; forte muito pequena e pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara; concreções poucas, duras, irregulares e pequenas.  |
| Bwf1    | 5-40cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e gradual; concreções muito frequentes, duras, irregulares, esféricas e grandes.               |
| Bwf2    | 40-70 <sup>+</sup> cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); franco-argilo-arenosa; forte muito pequena granular; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição ondulada e difusa; concreções muito frequentes, duras, irregulares, esféricas e grandes. |
| Raízes: | Abundantes finas a médias no A; muitas finas e médias no Bw1 e Bw2.   |

## **PERFIL 35**

### **DESCRIÇÃO GERAL**

*Data: 04/08/2007*

*Classificação: Plintossolo Pétrico Litoplúntico hístico.*

*Localização, município, estado e coordenadas: FLONA Carajás – serra Sul (Bloco C), Canaã dos Carajás, Pará. UTM 22K 565357/ 9298724.*

*Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Perfil descrito em campo rupestre arbustivo de Calistene, Mimosa, Mirtaceae e Gramineae, com 3-8% de declividade.*

*Altitude: 609 metros.*

*Litologia: Canga.*

*Formação geológica:*

*Material originário: Canga.*

*Pedregosidade: Moderadamente pedregosa.*

*Rochosidade: Rochosa.*

*Relevo local: Ondulado.*

*Relevo regional: Ondulado.*

*Erosão: Moderada.*

*Drenagem: Bem drenado.*

*Vegetação primária: Campo rupestre de canga.*

*Clima: Aw da classificação de Koppen.*

*Observações:.*

*Descrito e coletado por: Carlos Ernesto R. G. Schaefer, Felipe Nogueira Bello Simas, Bruno Araujo Furtado de Mendonça, Acauã Santos de Saboya Ribeiro.*

### **DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

O 3-0cm; Preto (10YR 2/1);

A1 0-25cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4); franco-argilo-arenosa; média, pequeno em blocos subangulares, forte e muito pequeno granular;

AF 25-30cm; Vermelho-escuro (2,5YR 3/6); franco-argilo-arenosa;

F 30-120+cm; Vermelho-escuro (10R 3/6); argila;

## APÊNDICE B – Difratomogramas de raios - X da fração argila

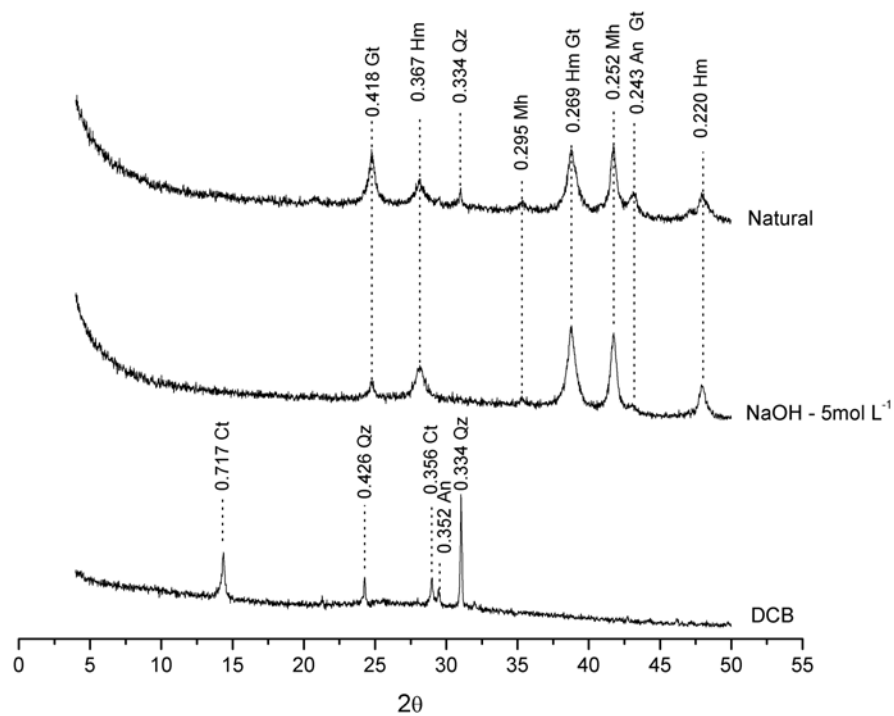


Figura 37 - Difratomogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada no horizonte Bwc1 de Plintossolo Pétrico Concessionário (P4). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.

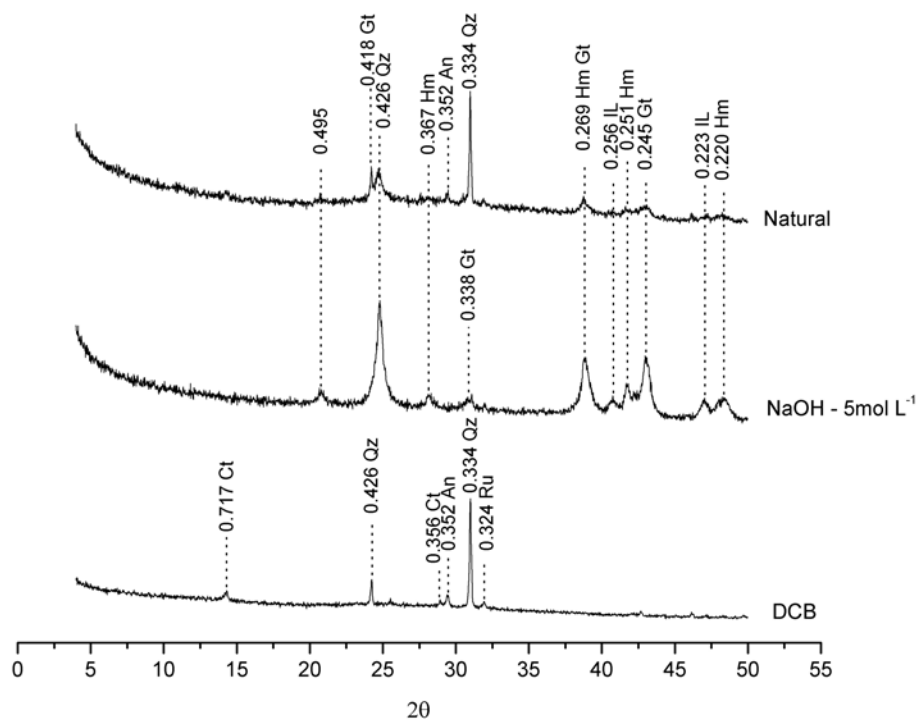


Figura 38 - Difratomogramas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo; Ru: rutilo.

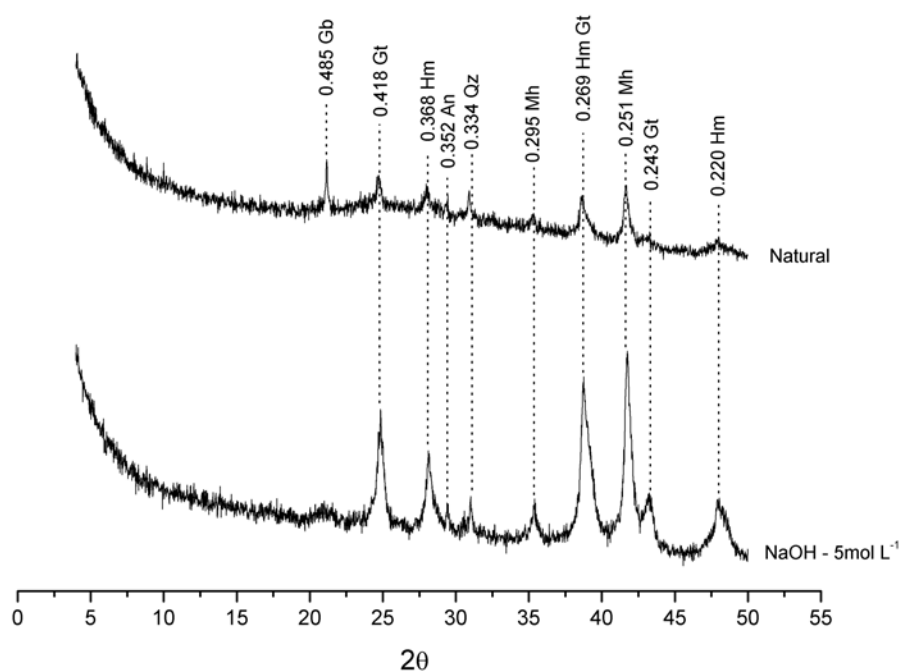


Figura 39 - Difratoformas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P35). An: anatásio; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.

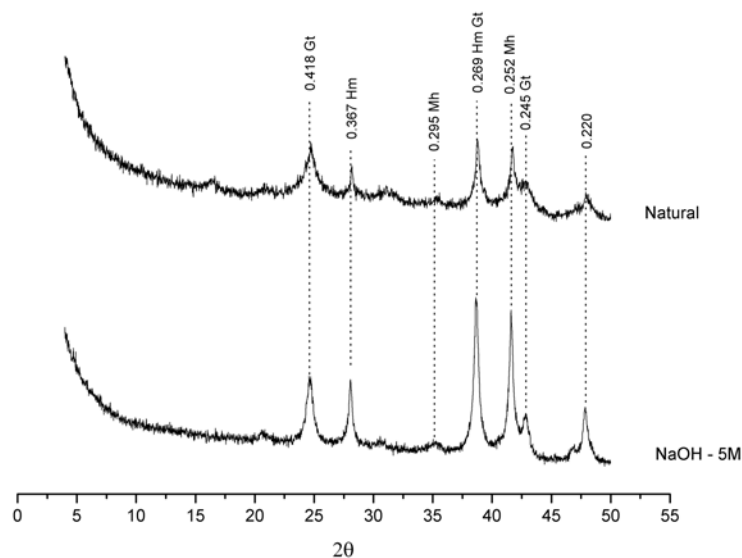


Figura 40 - Difratoformas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P5). Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.

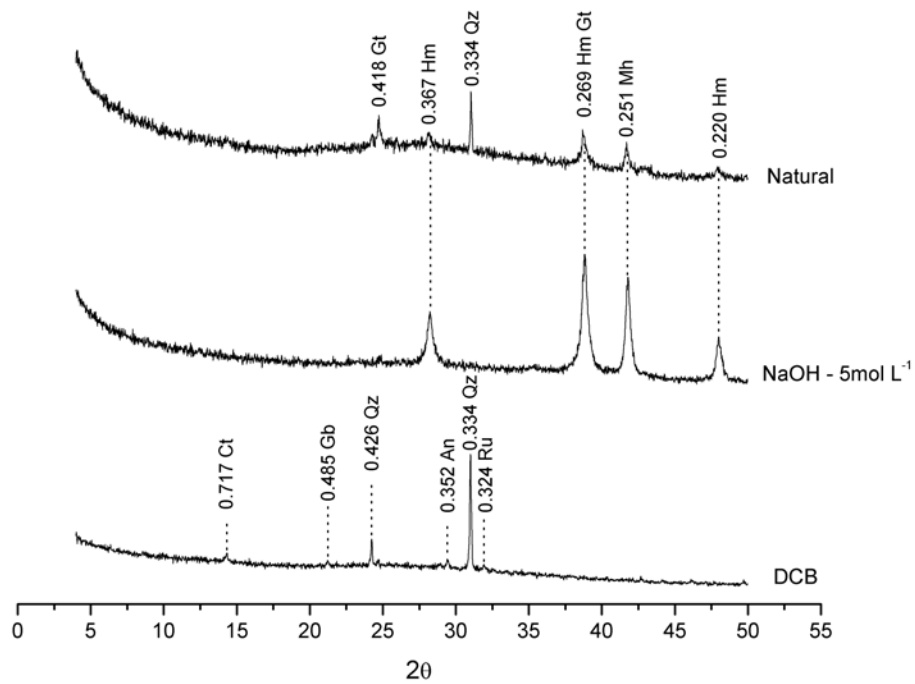


Figura 41 - Difratoformas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Concrecionário (P7). An: anatásio; Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Qz: quartzo; Ru: rutilo.

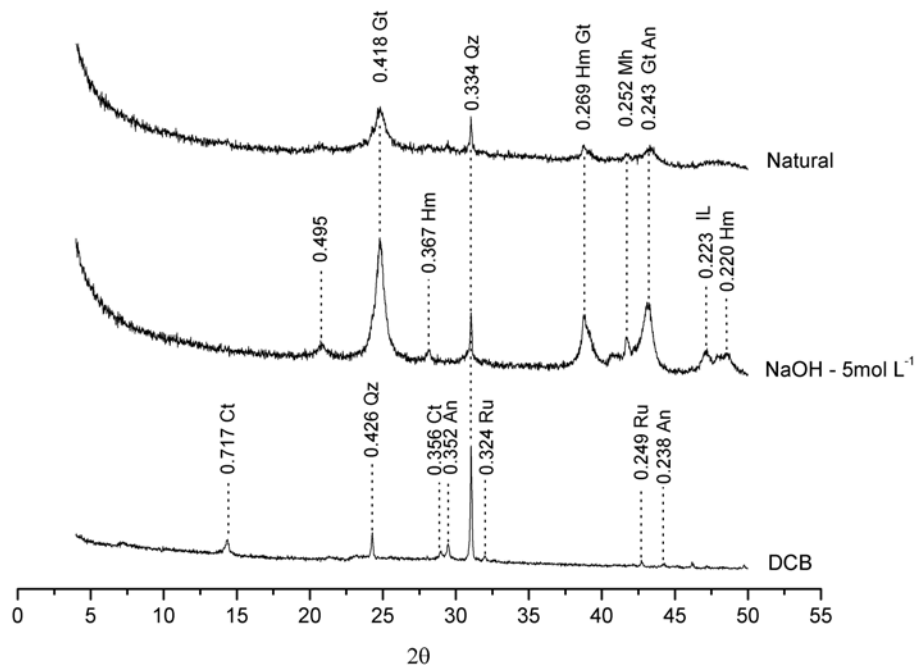


Figura 42 - Difratoformas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P14). An: anatásio; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: Ilmenita; Qz: quartzo; Ru: rutilo.

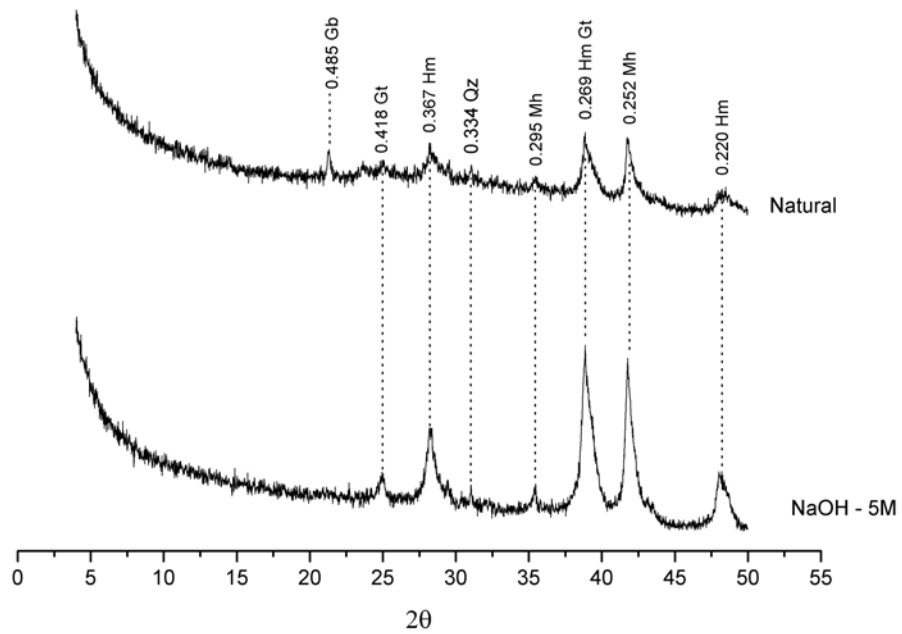


Figura 43 - Difratoformas de raios-X representativos dos tratamentos realizados na fração argila orientada de horizonte Bw1 de Latossolo Vermelho Acriférico (P15). Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: maghemita; Qz: quartzo.

## APÊNDICE C – Difratomogramas de raios - X da fração areia fina

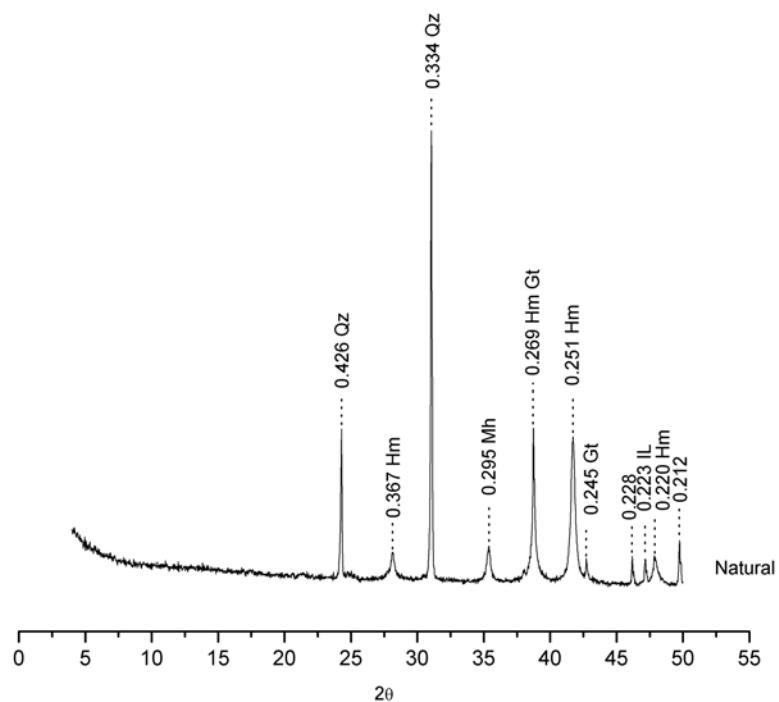


Figura 44 - Difrátograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bwc1 de Plintossolo Pétrico Concessionário (P4). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

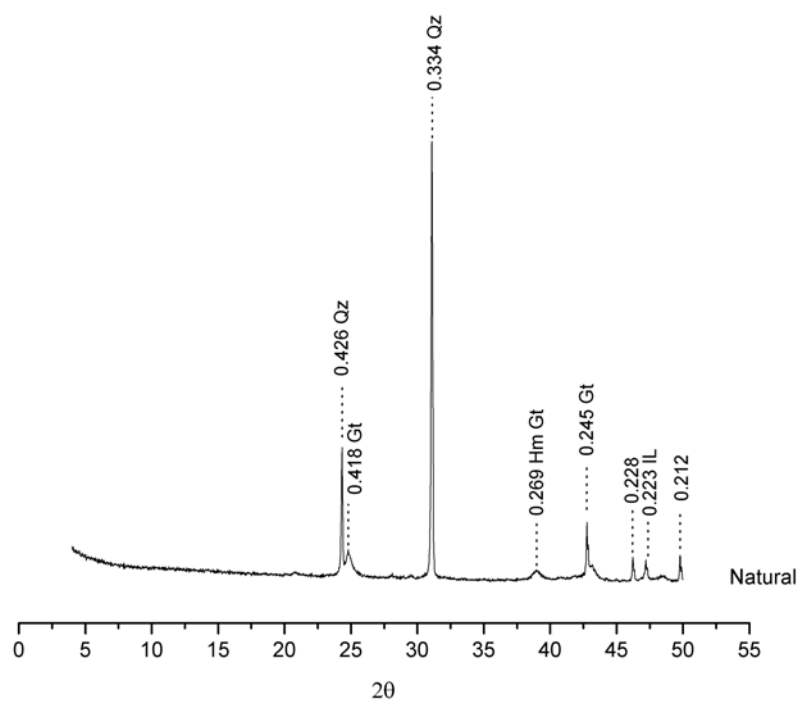


Figura 45 - Difrátograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo.

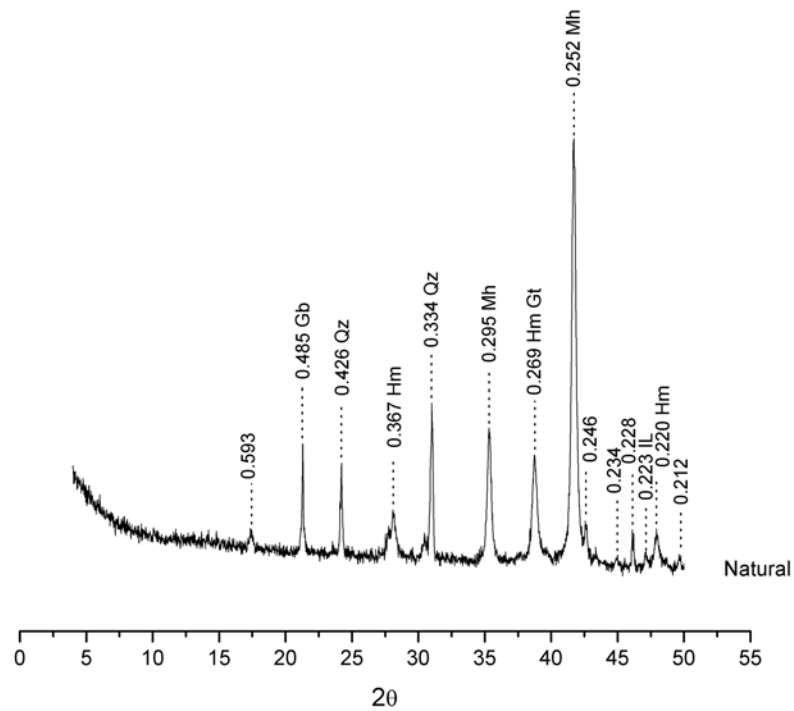


Figura 46 - Difratoograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Bw1 de Latossolo Vermelho Acriférico (P15). Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

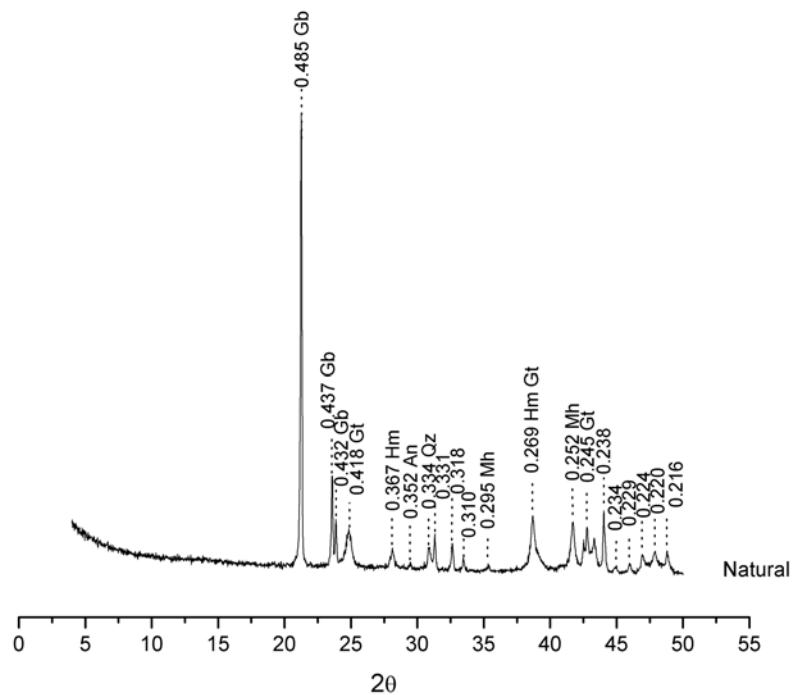


Figura 47 - Difratoograma de raios-X representativo na fração areia fina natural de horizonte Af de Plintossolo Pétrico Litoplíntico (P35). An: anatasio; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

## APÊNDICE D – Difratomogramas de raios - X da fração silte

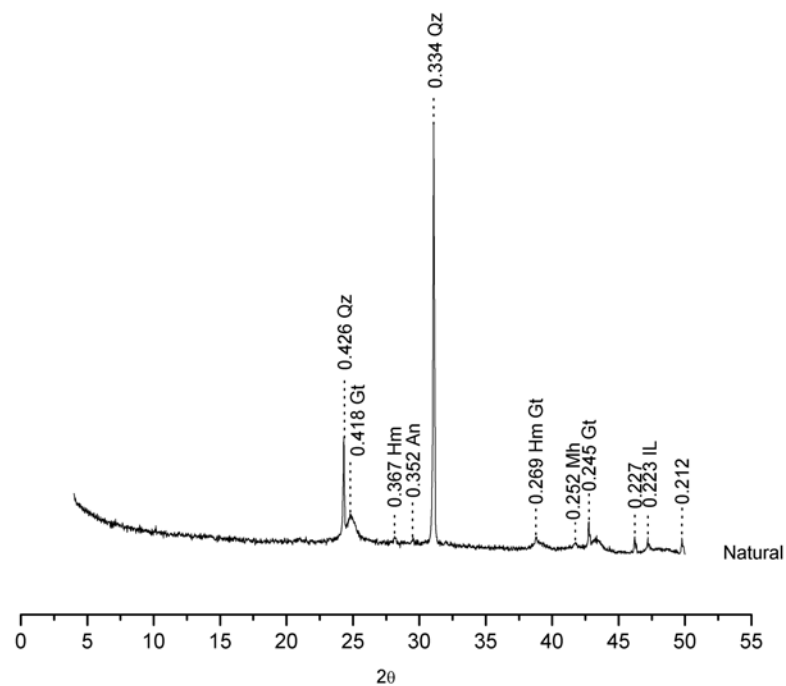


Figura 48 - Difrátograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bi de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P14). An: anatásio; Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

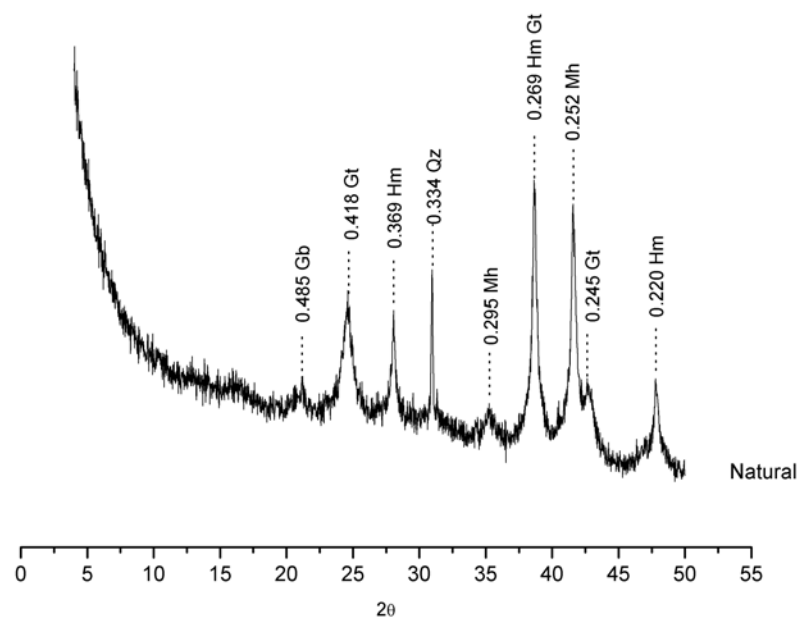


Figura 49 - Difrátograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte A de Plintossolo Pétrico Litoplântico (P5). Gb: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

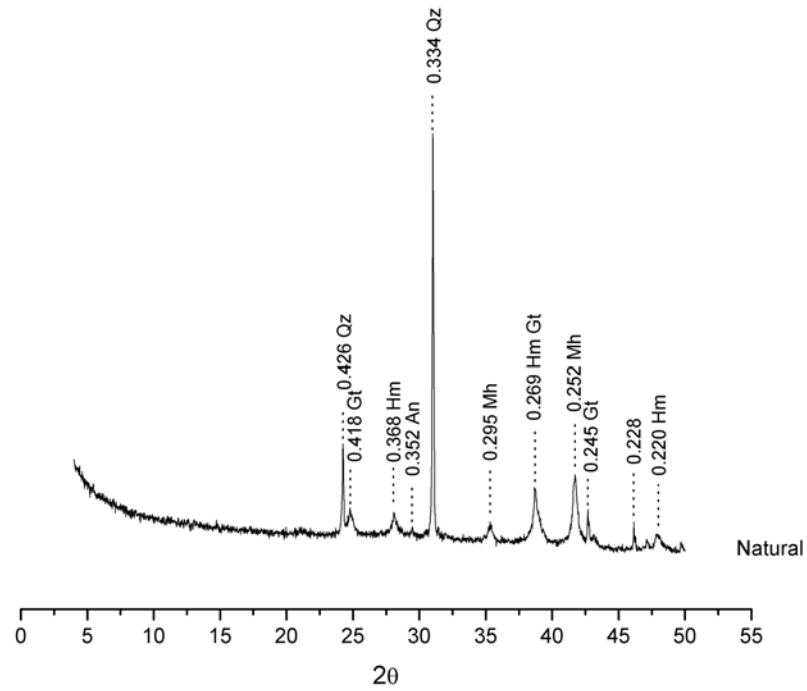


Figura 50 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bw1 de Plintossolo Pétrico Concessionário (P4). An: anatasio; Gt: goethita; Hm: hematita; Mh: Maghemita; Qz: quartzo.

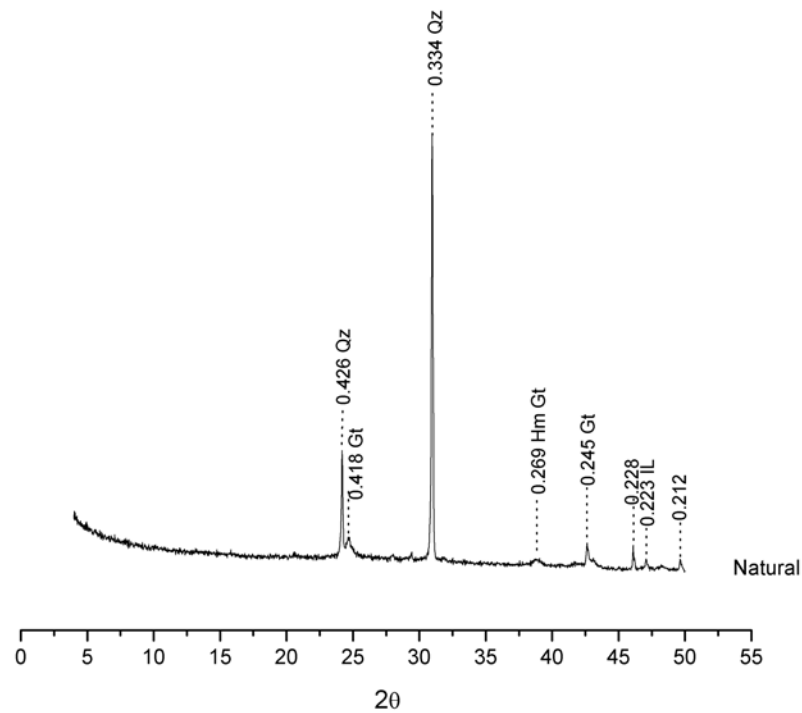


Figura 51 - Difratoograma de raios-X representativo na fração silte natural de horizonte Bi de Cambissolo Húmico (P11). Gt: goethita; Hm: hematita; IL: ilmenita; Qz: quartzo.