

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**RELAÇÃO ENTRE O CAPEAMENTO PEDOLÓGICO E  
O SUBSTRATO ROCHOSO-ARENOSO NO OESTE  
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Edgardo Ramos Medeiros**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

# **RELAÇÃO ENTRE O CAPEAMENTO PEDOLÓGICO E O SUBSTRATO ROCHOSO-ARENOSO NO OESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**Edgardo Ramos Medeiros**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Gênese, Degradação e Recuperação da Agregação do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Dalvan José Reinert**

Santa Maria, RS, Brasil  
2012

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado**

**RELAÇÃO ENTRE O CAPEAMENTO PEDOLÓGICO E O  
SUBSTRATO ROCHOSO-ARENOSO NO OESTE DO ESTADO DO  
RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por  
**Edgardo Ramos Medeiros**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Dalvan José Reinert, Dr**  
(Presidente/Orientador)

**Vitor Paulo Pereira, Dr (UFRGS)**

**Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr (UFSM)**

**Luis Eduardo de Souza Robaina, Dr (UFSM)**

**Fabício de Araujo Pedron, Dr (UFSM)**

**Santa Maria, 03 de agosto de 2012**

## **Agradecimentos**

Prof. Dalvan José Reinert por acolher-me como orientando.

Aos meus colegas do Setor de Geologia do Deptº de Geociências por substituírem-me em aulas.

Ao amigo e Prof. Luis Eduardo de Souza Robaina pelas discussões, sugestões e críticas.

Ao Prof. Valderi Dressler e a Acadêmica Francieli pelo apoio quando realização das análises químicas.

Ao Laboratorista Rômulo Aita pela auxílio na confecção das lâminas.

Aos Acadêmicos Vanessa e Gabriel pelo tempo dedicado às análises de raios-x.

Ao Setor de raios X do Departamento de Física.

Ao Secretário Heverton do PPGCS pelos auxílios burocráticos.

Àquelas Pessoas que de um modo ou de outro deram-me sustentação quando da realização deste trabalho.

Finalmente aqueles a quem muito devo e sem os quais a história seria diferente. São aqueles que, além do conhecimento, tornaram meu tempo como doutorando mais fácil. A Eles o reconhecimento como profissionais, colegas e amigos: Prof. Fabrício de Araújo Pedron; Prof. Vitor Paulo Pereira; Prof. Romário Trentin; Laboratorista Renato Oliveira da Costa; Acadêmico Anderson Augusto Volpato Scoti.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **RELAÇÃO ENTRE O CAPEAMENTO PEDOLÓGICO E O SUBSTRATO ROCHOSO-ARENOSO NO OESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

AUTOR: Edgardo Ramos Medeiros

ORIENTADOR: Dalvan José Reinert

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 03 de Agosto de 2012

A superfície oeste do Estado do Rio Grande do Sul, que corresponde a um de seus compartimentos geológico-geomorfológico denominado Cuesta de Haedo, é constituída na sua quase totalidade por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e por sedimentos arenosos da parte superior da Bacia do Paraná. Sob o ponto de vista de uso e ocupação constitui-se numa área frágil e susceptível à ação de processos erosivos, o que faz com que o conhecimento geológico do substrato rochoso, bem como das características pedológicas sobrepostas, sejam condições obrigatoriamente necessárias. Para tanto foram abertos dois perfis sobre os arenitos da Formação Botucatu e três sobre os arenitos da Formação Guará, dos quais foram amostradas todas as camadas que compõem o substrato rochoso e todos os horizontes pedogênicos sobrepostos. Em cada um deles foram realizadas análises físicas, mineralógica/petrográficas e químicas. As análises físicas constaram da separação granulométrica das frações grosseiras e finas, e da descrição morfométrica e de texturas superficiais dos grãos constituintes as análise mineralógicas/petrográficas constaram da identificação das associações minerais presentes, com ênfase na concentração e distribuição de minerais pesados ao longo dos perfis e da classificação petrográfica dos substrato rochosos, com uso de lupa, de microscopia de polarização e de microscopia eletrônica de varredura. A mineralogia da fração argilosa foi determinada com uso de equipamento de raios X. As análises químicas, realizadas com o uso de equipamento de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP), buscaram a determinação da concentração de doze elementos químicos em todas as camadas e horizontes. Destas, em função da mineralogia presente, só foram utilizadas as concentrações do Si, Al, Fe, Ti, Mg e Mn. Nos cinco perfis, o substrato rochoso por ser quase que totalmente quartzoso foi classificado como quartzo-arenito. Um, por apresentar raros feldspatos alterados, mostrou-se no limite para sub-arcósio. Todos os horizontes pedogênicos sobrepostos mostraram relação de filiação variável com o substrato rochoso subjacente, contudo foi a participação alóctone, em quatro dos cinco perfis, a responsável pelo produto pedogênico final. Assim, substratos rochosos quartzo arenosos, petrograficamente similares, pelos menos teoricamente deveriam gerar solos similares como neossolos quartzarênicos, mas a influência do contexto geológico do entorno foi fundamental e decisiva para que tal não ocorresse, impondo características argilosas ao horizonte B em quatro dos cinco perfis, agindo então como uma sexta variável na geração pedológica.

**Palavras Chave:** Substrato arenoso. Pedogênese. Atividade alóctone. Entorno geológico.

## **ABSTRACT**

Doctoral Dissertation  
Doctors degree Soil program  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### **RELAÇÃO ENTRE O CAPEAMENTO PEDOLÓGICO E O SUBSTRATO ROCHOSO-ARENOSO NO OESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

AUTHOR: Edgardo Ramos Medeiros  
SUPERVISING PROFESSOR: Dalvan José Reinert  
Defense Place and Date: Santa Maria, August 03<sup>th</sup> 2012

The western part of Rio Grande do Sul, which corresponds to geomorphological sector Cuesta de Haedo, is almost entirely composed by volcanic rocks from the Serra Geral Formation, and by sandy sediments from the upper part of the Paraná basin. Because the landscape of the region is susceptible to erosive processes, it is thus necessary, from geological point of view, to know the rocky substratum and the pedologic conditions imposed, when considering the occupation and usage of region. In this way, two profiles in the arenite of the Botucatu formation and three in the arenite of the Guará formation, were taken. In each profile all the layers that form the rocky substratum and the superposed pedogenic horizons were sampled, and physical, mineralogical/petrographical, and chemical analysis were carried after. The physical analysis corresponded to the size separation of the granules, and to the morphological and texture description of them. The mineralogical analysis corresponded to the identification of the mineral associations present, with emphasis on the distribution of heavy minerals along the profiles, and the petrographical analysis to the classification of rocky substratum through the usage polarization and scanning electron microscope. The mineralogy of the clay fraction was determined trough the usage of X-ray. The chemical analysis, which was done trough inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP), tried to identify twelve chemical elements present in every layer and horizon, however only the concentrations of Si, Al, Fe, Ti, Mg, and Mn were used. In all five profiles the rocky substratum was classified as quartz-arenite, because it was almost completely composed by quartz. In one of them, rare altered feldspar was found and was on the limit to subarkose. All the superposed pedogenic horizons showed variable relation with the underneath rocky substratum, however in four out five profiles the external participation of geological environment was responsible for final product. Theoretically, the quartz arenite rocky substratum similar petrografically, should generate similar soils, like quartz-arenite neosoils, however the influence of the geological environment was determinant for such thing not to happen, and to impose clay characteristics to the horizon B in four out five profiles, acting then as a sixth variable in the pedologic generation.

**Key words:** Sandy substratum; Pedogenesis; External activity; Geological environment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Mapa de abrangência do oeste do RS (Suertegaray, 1992).....	19
Figura 02 -	Localização dos perfis.....	49
Figura 03 -	Localização detalhada dos perfis. (A) perfil arroio Miracatu; (B) perfis São João I, São João II e Lagoa verde; (C).perfil IFF Alegrete.....	142
Figura 04 -	Perfil Arroio Miracatu.....	51
Figura 05 -	Estratificação em cunha. Fm. Botucatu.....	51
Figura 06 -	Fotomicrografia de estrutura laminada por variação granulométrica. Camada RCr – Microscopia de polarização LN – 80x.....	54
Figura 07 -	Fotomicrografias de dois cristais de magnetita titanífera.....	55
Figura 08 -	Fotomicrografia de clasto de zircão.....	56
Figura 09 -	Fotomicrografia de clasto de rutilo.....	56
Figura 10 -	Retrabalhamento de clastos de quartzo. Camada rochosa RCr – Lupa 35x.....	58
Figura 11 -	Fotomicrografia de clastos de magnetita titanífera (pt1) recoberto por argila, ilmenita (pt2), rutilo (pt3).....	61
Figura 12 -	Fotomicrografia de clasto de psilomelano botrioidal.....	61
Figura 13 -	Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro.Horz. BC. Fração areia grossa. Lupa – 40x.....	62
Figura 14 -	Clastos arredondados na fração areia média e angulares na fração areia fina. Horz.BC – Lupa 35x.....	62
Figura 15 -	Fotomicrografia de clasto de ilmenita.....	63
Figura 16 -	Fotomicrografia de clasto de magnetita titanífera (pt1) com cavidade preenchida por argila (pt2).....	64
Figura 17 -	Perfil IFF Alegrete.....	67
Figura 18 -	Fotomicrografia de laminação por variação granulométrica. Fm.Botucatu. Camada R – Microscopia de polarização - LN 35x.....	70
Figura 19 -	Clastos de zircão (esq.) e rutilo (dir.). Camada R. Fração areia fina. Lupa 35x.....	71
Figura 20 -	Fotomicrografia de clasto de magnetita octaédrica. Camada R – MEV..	71
Figura 21 -	Fotomicrografia de clastos de magnetita titanífera (pt1) e zircão (pt2).....	72
Figura 22 -	Fotomicrografia de clasto de rutilo.....	73
Figura 23 -	Fotomicrografia de clasto de rutilo (pt2) recoberto por argila (pt1).....	75
Figura 24 -	Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro. Camada Cr. Fração areia grossa. Lupa 35x.....	76
Figura 25 -	Clasto de zircão. Horz. C <sub>3</sub> . Fração areia fina. Lupa 35x.....	77
Figura 26 -	Agregados de quartzo cimentados por sílica e óxido de ferro. Horz. C <sub>3</sub> . Fração areia grossa. Lupa 35x.....	78
Figura 27 -	Clastos de zircão (abaixo) e de rutilo (acima).....	79
Figura 28 -	Fotomicrografia de clasto de zircão (pt1), magnetita (pt2), ilmenita (pt3).	80
Figura 29 -	Cristal cúbico de magnetita. Horz. A. Fração areia fina. Lupa 35x.....	82
Figura 30 -	Fotomicrografia de clasto de goethita (pt1) e rutilo (pt2) parcialmente recobertos por argila.....	82
Figura 31 -	Perfil São João I.....	84
Figura 32 -	Fotomicrografia de clasto de rutilo. Gráfico composicional: Ti=95,51%...	88

Figura 33 - Fotomicrografia de clasto de zircão. Gráfico composicional: Zr=77,43%, Si=21,02%.....	89
Figura 34 - Fotomicrografia rutilo recoberto por argila.....	89
Figura 35 - Fotomicrografia de bordas e fraturas de clastos de quartzo preenchidos por óxido de ferro. Camada RCr. Microscopia de polarização - LN 8x3,5	90
Figura 36 - Fotomicrografia de clastos de quartzo com revestimento parcial de óxido de ferro. Ao centro cristal isolado de turmalina.....	91
Figura 37 - Clastos de quartzo evidenciando o grau de retrabalhamento e as marcas de percussão. Fração areia grossa. Camada RCr. Lupa 35x.....	92
Figura 38 - Clastos de quartzo hialinos e foscos, sub-arredondados a sub-angulares e um clasto de granada (centro).....	93
Figura 39 - Agregado de quartzo cimentado por óxido de ferro. Horz. BC. Fração areia grossa. Lupa 35x.....	94
Figura 40 - Fotomicrografia de clastos de rutilo (pt1) e (pt2) e clasto de ilmenita parcialmente recoberta por argilo-mineral (3).....	95
Figura 41 - Clastos de quartzo hialinos e amarelados sub-arredondados a sub-angulares. Alguns com marcas de percussão. Horz. Bi. Fração areia média. Lupa 35x.....	96
Figura 42 - Cristal de rutilo. Horz. A. Fração areia muito fina. Lupa 35x.....	97
Figura 43 - Perfil São João II.....	98
Figura 44 - Fotomicrografia de grão de zircão.....	101
Figura 45 - Fotomicrografia de Película de argila sobre possível grão de magnetita.	102
Figura 46 - Fotomicrografia de óxido de ferro preenchendo microfraturas e revestindo bordos de clastos de quartzo.....	103
Figura 47 - Clastos de quartzo hialino sub-angulares.....	104
Figura 48 - Fotomicrografia de zircão (pt1) e de rutilo parcialmente recoberto por argilo-mineral (pt2).....	105
Figura 49 - Clastos de quartzo hialinos e amarelados. Horz. Ap. Fração areia fina. Lupa 35x.....	108
Figura 50 - Clasto de magnetita titanífera recoberto parcialmente por sílica.....	109
Figura 51 - Perfil da Lagoa Verde.....	110
Figura 52 - Fotomicrografia de um grão de rutilo.....	113
Figura 53 - Fotomicrografia de magnetita titanífera parcialmente revestida por argila.....	114
Figura 54 - Fotomicrografia de grãos de quartzo com bordos parcialmente revestido por óxido de ferro. Camada R – Microscopia de polarização. LN 35x.....	115
Figura 55 - Fotomicrografia de um grão de zircão.....	116
Figura 56 - Foto de grão de zircão. Camada R Lupa 35x.....	116
Figura 57 - Grãos de rutilo (os dois inferiores e o superior) e de zircão (parte média superior). Horz. Bi. Fração areia fina. Lupa 35x.....	118
Figura 58 - Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro. Horz. Bi. Fração areia grossa. Lupa 35x.....	118
Figura 59 - Fotomicrografia de um grão de ilmenita revestido parcialmente por sílica.....	119
Figura 60 - Fotomicrografia de um grão de magnetita titanífera revestido por sílica..	120



## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Apresenta informações referentes a dados taxonômicos e ambientais dos perfis.....	50
Quadro 02 - Distribuição granulométrica das camadas rochosas e horizontes pedogênicos do Perfil Arroio Miracatu – Argissolo Vermelho.....	53
Quadro 03 - Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte do Perfil Arroio Miracatu.....	66
Quadro 04 - Distribuição granulométrica do Perfil IFF Alegrete. Neossolo Quartzarênico.....	69
Quadro 05 - Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte. Valores em microgramas por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....	83
Quadro 06 - Distribuição granulométrica do Perfil São João I – Cambissolo Háplico.....	86
Quadro 07 - Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte. Valores expressos em microgramas por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....	97
Quadro 08 - Distribuição granulométrica, em percentagem, dos intervalos de classe e a classificação textural do Perfil São João II.....	100
Quadro 09 - Concentração dos elementos químicos principais por horizonte. Valores expressos em microgramas por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....	110
Quadro 10 - Distribuição granulométrica, em percentagem, dos intervalos de classe e a classificação textural do Perfil da Lagoa Verde.....	112
Quadro 11 - concentração dos principais elementos químicos por horizonte. Valores expressos em $\mu\text{g / g}$ .....	121
Quadro 12 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil Arroio Miracatu.....	124
Quadro 13 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil IFF Alegrete.....	127
Quadro 14 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil São João I.	129
Quadro 15 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil São João II	131
Quadro 16 - Correlação simples entre os elementos químicos do perfil Lagoa Verde.....	133

## LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 01 - Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes do Perfil Arroio Miracatu.....	143
Grafico 02 - Gráfico composicional: Fe= 54,96%, Ti=31,22, Nb=5,48%. Camada rochosa RCr – MEV.....	55
Grafico 03 - Gráfico composicional: Zr=77,88%, Si=22,12%. Camada rochosa RCr – MEV.....	56
Grafico 04 - Gráfico composicional: Ti=80,39%, Nb=3,77%, Fe=1,27%. Camada rochosa RCr – MEV.....	56
Gráfico 05 - Difratomia de raios X da fração argila; a= Mg a 25°C; b= Mg + etileno glicol; c= K a 25°C, d= K 550°C. Simbologia utilizada: mi= Mica; Kt= Caulinita; qz= Quartzo; hm= Hematita. Perfil Arroio Miracatu.....	57
Gráfico 06 - Gráfico composicional: (pt1): Fe=21,88%, Ti=1,63%, Nb=11,51%, Si=37,15%, Al=27,82% (pt2): Ti=53,39%, Fe=41,38%, Nb=5,23% (pt3): Ti=90,19%, Fe=3,37%, Nb=3,80% - Horz. BC – MEV.....	61
Grafico 07 - Gráfico composicional: Mn=44,7%, Fe=18,8%, Ba=8,32%.Horz. BC – MEV.....	61
Grafico 08 - Gráfico composicional: Ti=48,57, Fe=45,75%, Nb=4,93%. Horz. B <sub>3</sub> – MEV.....	63
Grafico 09 - Gráfico composicional: (pt1):Fe=56,14%, Ti=33,20%, Nb=8,74% (pt2): Si=34,65%, Al:24,81%. Horz.B <sub>3</sub> – MEV.....	64
Grafico 10 - Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes no Perfil IFF Alegrete.....	144
Gráfico 11 - Gráfico composicional: (pt1): Fe=94,34%, Ti=3,33% (pt2): Zr=75,21%, Si=19,85%. Camada R – MEV.....	72
Gráfico 12 - Camada R – MEV.....	73
Gráfico 13 - Difratomia de raios X das argilas. a=Mg a 25°; b=Mg+etileno glicol; c=K a 25°C; d=K 550°. Simbologia utilizada: sm= Esmeclita; Kt= Caulinita; qz= Quartzo; hm= hematita. Perfil IFF Alegrete.....	74
Gráfico 14 - Gráfico composicional: (pt2): Ti=92,85%, Fe=2,63% (pt1): Si=73,43%, Al=10,92%. Camada R – MEV. ....	75
Gráfico 15 - Gráfico composicional: (pt1): Zr=74,29%, Si=21,17% (pt2): Fe=92,90%, Ti=1,05% (pt3): Ti=48,93%, Fe=49,25%. Horz.C <sub>2</sub> – MEV.....	80
Gráfico 16 - Gráfico composicional: (pt1): Fe=65,42%, Si=21,09%, Al=13,48%; (pt2): Ti=70,86%, Fe=8,64%, Si=15,54%, Al=4,19%. Horz. A – MEV.....	82
Gráfico 17 - Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes do Perfil São João I.....	145
Gráfico 18 - Camada RCr – MEV.....	32
Gráfico 19 - Camada RCr – MEV.....	89

Gráfico 20 - Gráfico composicional: Ti=52,22%, Nb=11,53%, Fe=1,29%, Si=21,25%, Al=11,31%. Camada RCr – MEV.....	90
Gráfico 21 - Gráfico composicional: (pt1): Zr=76,67%, Si=21,41% (pt2): Zr=78,27%, Si=21,73%; (pt3): Ti=53,61%, Fe=37,09% Si=5,53% Al=3,77%. Horz. Bi – MEV.....	95
Gráfico 22 - Variação dos intervalos de classe granulométrica ao longo dos horizontes do perfil. ....	146
Gráfico 23 - Gráfico composicional: Zr:81,57%, Si=18,43%. Camada Cr – MEV. ....	101
Gráfico 24 - Gráfico composicional: Si=65,87%, Al=21,88%, Fe=8,14%, Ti=4,11% Camada Cr - MEV. ....	102
Gráfico 25 - Gráfico composicional: (pt1)Zr=81,01%, Si=18,99% (pt2) Ti=99,50%, Si=0,21%, Al=0,30%. Horz. CrC – MEV.....	106
Gráfico 26 - Gráfico Composicional: Si=15%; Ti= 30,70%; Fe= 54,31%. Horz. Ap – MEV.....	109
Gráfico 27 - Horz. C <sub>2</sub> . Fração areia fina. Lupa 35x. ....	147
Gráfico 28 - Gráfico composicional: (pt1) Al=0,82%, Si=3,25%, Ti=93,23 e Fe=2,70%. Camada R – MEV. ....	114
Gráfico 29 - Gráfico composicional: Fe=60,91%, Ti=2,77%, Si=16,97%, Al=17,64%. Camada R – MEV.....	114
Gráfico 30 - Composição de: Si= 21,52 e Zr=78,48%. Camada R – MEV.	116
Gráfico 31 - Composição: Si=1,17%, Ti=51,12 e Fe=47,11%. Horz. A – MEV.....	120
Gráfico 32 - Composição: Al= 7,69%, Si=44,72%, Ti=2,74%, Fe=44,86%. Horz. A - MEV.....	120

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 Hipótese.....	18
1.2 Objetivo.....	18
<b>2 CONSIDERAÇÕES GERAIS E ASPECTOS ESPECÍFICOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL.....</b>	<b>19</b>
2.1 Localização.....	19
2.2 Geologia e Geomorfologia.....	19
2.3 Clima e vegetação.....	31
2.4 Solos e geoquímica do intemperismo.....	34
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS.....</b>	<b>43</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
<sup>4</sup> 4.1 Localização dos perfis.....	47
4.2 Dados ambientais e taxonômicos dos perfis.....	50
4.3 Perfil Arroio Miracatu.....	50
4.3.1 Aspectos geológicos da área do perfil.....	50
4.3.2 Dados granulométricos.....	51
4.3.3 Caracterização do substrato .....	54
4.3.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos....	59
4.3.4.1 Horizonte BC.....	59
4.3.4.2 Horizonte Bt <sub>3</sub> .....	63
4.3.4.3 Horizonte Bt <sub>2</sub> .....	65
4.3.4.4 Horizonte Bt <sub>1</sub> .....	65
4.3.4.5 Horizonte A.....	65
4.3.4.6 Características químicas do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos.....	66
4.4 Perfil IFF Alegrete.....	67
4.4.1 Características geológicas da área do perfil.....	67
4.4.2 Dados granulométricos.....	68
4.4.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica.....	70
4.4.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos....	77
4.4.4.1 Horizonte C <sub>3</sub> .....	77
4.4.4.2 Horizonte C <sub>2</sub> .....	78
4.4.4.3 Horizonte C <sub>1</sub> .....	80
4.4.4.4 Horizonte A.....	81
4.4.4.5 Características químicas do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos.....	83
4.5 Perfil São João I.....	84
4.5.1 Características geológicas da área do perfil.....	84
4.5.2 Dados granulométricos.....	85
4.5.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica.....	87
4.5.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos....	93
4.5.4.1 Horizonte BC.....	93

4.5.4.2 Horizonte Bi.....	94
4.5.4.3 Horizonte A.....	96
4.5.4.4 Horizonte Ap.....	97
4.5.4.5 Características químicas das camadas rochosas e dos horizontes pedogênicos.....	97
<b>4.6 Perfil São João II.....</b>	<b>98</b>
4.6.1 Características geológicas da área do perfil.....	98
4.6.2 Dados granulométricos.....	99
4.6.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica.....	101
4.6.4 Caracterização da fração areia dos horizontes pedogênicos.....	105
4.6.4.1 Horizonte Cr/C.....	105
4.6.4.2 Horizonte Bt <sub>2</sub> .....	106
4.6.4.3 Horizonte Bt <sub>1</sub> .....	107
4.6.4.4 Horizonte A.....	107
4.6.4.5 Horizonte Ap.....	107
4.6.4.6 Características químicas das camadas rochosas e dos horizontes pedogênicos.....	109
4.7 Perfil da Lagoa Verde.....	110
4.7.1 Características geológicas da área do perfil.....	110
4.7.2 Dados granulométricos.....	111
4.7.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica.....	113
4.7.4 Caracterização da fração areia dos horizontes pedogênicos.....	117
4.7.4.1 Horizonte Bi.....	117
4.7.4.2 Horizonte AB.....	118
4.7.4.3 Horizonte A.....	119
4.7.4.5 Características químicas da camada rochosa e dos horizontes pedogênicos.....	121
<b>5 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS.....</b>	<b>122</b>
5.1 Perfis Arroio Miracatu / IFF Alegrete.....	122
5.2 Perfis São João I / São João II / Lagoa Verde.....	127
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>134</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>136</b>
<b>Anexo A - Localização detalhada dos perfis.....</b>	<b>142</b>
<b>Apêndice A – Gráficos dos perfis.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado do Rio Grande do Sul, dentre os demais estados da Federação, pode ser considerado um dos mais desenvolvidos em quase todos os aspectos. Contudo, aspectos inerentes as suas condições naturais impõem restrições que, embora independam da vontade de governantes, tem ligação direta com a maneira como são tratadas.

A parte oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul ocupa uma superfície significativa dentro dos cerca de 283 mil Km<sup>2</sup> de área total do Estado e localiza-se desde as nascentes do Rio Ibicui ao norte e as nascentes do Rio Santa Maria Chico ao sul, até ao limite oeste estabelecido pelas fronteiras com o Uruguai e Argentina. É considerada, no Estado, como uma das áreas menos desenvolvidas, quer sob o aspecto industrial, quer sob o agrícola. É neste espaço que situam-se áreas arenosas destituídas de vegetação, equivocadamente chamadas por uns de áreas de desertificação. Na realidade, elas refletem uma forma acelerada de erosão dos solos, ligada, principalmente, à cabeceira de drenagens, bem como à vertentes convexas junto à parte média de colinas e base de cerros e vinculada a um substrato arenoso pouco coeso. Portanto, constituindo-se numa paisagem extremamente frágil.

Esta grande superfície faz parte, em quase toda sua totalidade, de uma das províncias geológicas-geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul denominada de “Cuesta de Haedo<sup>1</sup>”, termo introduzido por Chebataroff (1954) e proposto como tal por Müller F<sup>o</sup> (1970). Na verdade, a Cuesta de Haedo constitui-se em um relevo de homoclinal com o front (frente) voltado para leste e cujo o reverso decai suavemente em direção ao Rio Uruguai. O front alcança cotas de 200 a 300 metros, como em Santana do Livramento e o reverso, como na jusante do Rio Quarai junto à calha do Rio Uruguai, não alcança os 100 metros. É uma estrutura entalhada por

---

<sup>1</sup> De acordo com o Dicionário Geológico-Geomorfológico de Antonio Teixeira Guerra (1989), CUESTA é uma forma dissimétrica de relevo constituída por uma sucessão alternada das camadas com diferentes resistências ao desgaste e que se inclinam em uma direção, formando um declive suave no reverso e um corte abrupto ou íngreme na chamada “frente de cuesta”. Trata-se de um relevo comum em bacias sedimentares. O relevo de cuesta expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial.

<sup>2</sup> A Bacia do Paraná é uma bacia sedimentar que corresponde, segundo o Dicionário Geológico-Geomorfológico de Antonio Teixeira Guerra (1989), a uma depressão assoreada com detritos das áreas circunvizinhas. Ela ocupa parte do sul e sudeste brasileiro e parte dos territórios uruguaio, argentino e paraguaio, numa superfície total de aproximadamente 1,6 milhões de Km<sup>2</sup> e espessura de depósitos sedimentares próximo a 5.000m.

drenagens conseqüentes, tanto do lado brasileiro quanto do uruguaio e que confluem para o Rio Uruguai. Assim, temos os rios Ibicuí e Quaraí do lado brasileiro e os rios Taquarembó e Negro do lado uruguaio. Torna-se mister salientar, que quando não é considerada a existência da Cuesta de Haedo como uma província geológica-geomorfológica, esta grande área pode ser considerada como fazendo parte da Depressão Periférica e do Planalto Meridional, ambas, como a primeira, províncias geológicas-geomorfológicas de nosso Estado. Fazem parte deste espaço, se não todo, parte dos municípios de São Vicente do Sul, Cacequi, São Francisco de Assis, Manoel Viana, Maçambará, Unistalda, Itaqui, Alegrete, Quaraí, Santana do Livramento e Rosário do Sul.

Em termos litológicos, esta área é constituída por rochas vulcânicas e por rochas sedimentares, especialmente por sequências arenosas de idades e procedências distintas e que respondem de maneira diferente aos processos superficiais, determinando, em última análise, formas distintas de relevo e por conseqüência formas distintas de ocupação. Na realidade, estas últimas litologias fazem parte das sequências sedimentares continentais da parte superior (mesozóica) da Bacia do Paraná<sup>2</sup>.

Sob o ponto de vista de uso e ocupação, a superfície que corresponde ao Estado do Rio Grande do Sul apresenta-se diversificada, diversificação esta, que excluindo aspectos culturais e de infra-estrutura, é cadenciada especialmente pelas condições de relevo, substrato rochoso, características pedogenéticas e de maneira menos relevante pelas condições climáticas e disponibilidade hídrica.

Embora, as três primeiras condições sejam fortemente interligadas, faz-se mister tecer considerações individualizadas, uma vez que ressalta a necessidade de conhecimentos e ações interdisciplinares no sentido de qualificar o uso dos espaços.

Assim, o Estado do Rio Grande do Sul apresenta padrões distintos de relevo, que são enquadrados dentro de compartimentos geomorfológicos característicos: Escudo Sulriograndense, Depressão Periférica, Planalto Meridional, Planície Costeira e Cuesta de Haedo, este nem sempre reconhecido em alguns trabalhos da área. Embora todos compartimentos guardem suas individualidades físicas, talvez seja o Escudo o que mais difere em relação aos demais, diferença esta vinculada à grande variedade de tipos rochosos, especialmente representada por tipos ígneos e metamórficos variados e, também não menos importante, a ocorrência de rochas sedimentares, em geral muito ricas em componentes minerais com alto teor de

sílica. Estas associações, juntamente com a farta presença de uma paleotectônica rúptil e dúctil, impõe um padrão acidentado de relevo, o que em geral é refletido nos seus aspectos pedogenéticos e conseqüentemente no seu uso e ocupação.

A Planície Costeira, parte integrante da Bacia de Pelotas (bacia marginal mais sul do Brasil), além de apresentar um relevo praticamente plano, é constituída por rochas sedimentares de origem marinha, sendo os afloramentos das sequências inferiores praticamente inexistentes em função do relevo plano. Estes atributos, associados a uma boa disponibilidade hídrica, faz com que seja uma área de atividade predominantemente orizícola.

Por outro lado, as características geológicas e geomorfológicas da Depressão Periférica são mais complexas, uma vez que corresponde à borda sul da Bacia do Paraná. Embora este compartimento seja constituído de rochas sedimentares comuns de vários ambientes deposicionais, que tem influência direta no padrão de relevo, bem como na resposta aos processos pedogênicos, é a distribuição destas sequências em superfície, que empresta um certo grau de complexidade. Estas sequências, em geral, tem uma estreita distribuição no sentido N-S e ampla no sentido L-W ao longo da maior parte da Depressão, só mudando quando esta inflete para sul, na altura de Manoel Viana, já na parte oeste do Rio Grande do Sul. Como regra geral, podemos dizer que as sequências sedimentares mais antigas, quase todas de origem marinha, ocorrem bordejando o Escudo Sulriograndense, enquanto que as mais jovens, já de origem continental, aproximam-se da encosta da Serra Geral.

Mesmo tomando estas colocações como regra, existe, quando se compara a distribuição e os tipos de sequências continentais, uma significativa diferença entre as regiões a oeste e a leste de Santa Maria, esta posicionada mais ou menos na parte central do Estado. Na região oeste ocorrem sequências, normalmente arenosas, que inexistem no lado leste. Associa-se a este quadro, a distribuição de uma pacote arenoso, normalmente sem estrutura sedimentar, de espessura variável, que se estende de maneira descontínua por parte da área em questão (Veiga et al., 1987 e Medeiros et al., 1989). Este pacote ainda hoje é motivo de diversas interpretações tanto de origem litológica quanto pedológica.

As condições climáticas que caracterizam a parte mais meridional do Brasil, embora fundamental em termos de uso e ocupação de um espaço, não são



definitivas quando se considera as várias regiões do Rio Grande do Sul, uma vez que não mostram grandes discrepâncias.

Sob o ponto de vista de ocupação e uso, no fim dos anos 60 e início dos 70, o Estado do Rio Grande do Sul teve forte expansão da atividade agrícola, aumentando de modo significativo sua área de plantio, especialmente calcada na monocultura da soja. Com este alargamento novas áreas foram ocupadas, muitas das quais sem uma real aptidão para a prática agrícola, o que ocasionou, em muitos casos, uma degradação ambiental de características praticamente irreversíveis. Estão aí para corroborar tal afirmação o surgimento de grande quantidade de processos erosivos, principalmente o de voçorocamento, que embora seja um processo natural, é incrementado pela ação antrópica, quer pela retirada da vegetação, quer pela atividade agrícola e de pastoreio. Em última instância constitui-se no processo produtor do material arenoso responsável pela geração dos campos de areia (Veiga et al.,1987) tão comuns na parte oeste, bem como para o assoreamento de drenagens, como os rios Ibicuí, Jaguarí, Santa Maria, entre outros.

Assim, quando se visa uma qualificação do uso e aproveitamento de um espaço, torna-se necessário o conhecimento prévio das múltiplas condições que terão influência direta sobre o mesmo, que embora aparentemente possam parecer independentes, normalmente mostram estreita ligação.

Logo, não se pode falar de relevo, de condições pedogenéticas e até mesmo de vegetação, se não levarmos em conta o substrato rochoso. Embora, o conhecimento geológico-geomorfológico da parte oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul já se encontre em um nível de maior detalhamento, através dos muitos trabalhos realizados pela UFSM e pela UFRGS como por Veiga et al. (1987), Medeiros et al. (1989), Suertegaray (1992), Paula e Robaina (2003), Cardoso (2003), Trentin (2007) entre outros, além dos pioneiros Souto (1984) e Müller F<sup>o</sup> (1970), o mesmo não se aplica ao conhecimento das características pedológicas, embora os trabalhos realizados por Klamt (1994), Klamt e Schneider (1995), Azevedo e Kaminski (1995), Streck et al. (2002). Estes, em geral, são trabalhos de maior abrangência em área, porém menos detalhados. Assim sendo, torna-se necessário, pela amplitude e importância da área, que se busque maior conhecimento das características petrográficas das litologias que a compõem, afim de estabelecer o nível de relação rocha-solo, visto ser uma das condições mínima para melhor qualificar seu aproveitamento.

Embora o bom recurso bibliográfico voltado para aspectos petrográficos, geoquímicos, especialmente de superfície sobre rochas duras, principalmente ígneas, torna-se necessário salientar a carência de trabalhos geoquímicos e até mesmo pedológicos, que enfoquem a passagem rocha-solo, sobremaneira quando se trata de rocha sedimentar arenosa. Junta-se a esta situação, a própria falta de detalhamento petrográfico de rochas sedimentares comuns, como arenitos e que constituem a maior parte das sequências continentais da Bacia do Paraná e por conseguinte constituintes de boa parte do substrato rochoso do oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul. Não menos importante também é o contexto geológico, envolvendo aí o conhecimento da distribuição em superfície das litologias circunvizinhas, bem como da influência da tectônica rúptil (falhamentos) no posicionamento das mesmas.

### **1.1 Hipótese**

Com esta sequência de raciocínio pode-se estabelecer como hipótese:

Solos com incremento de argila no horizonte B formados sobre arenitos das Formações Botucatu e Guará, no oeste gaúcho, apresentam contribuição alóctone oriunda da alteração de rochas do entorno.

### **1.2 Objetivo**

Entender a evolução e estabelecer a relação, em termos de filiação, entre a rocha e sua respectiva cobertura pedológica, através de perfis desenvolvidos sobre os substratos arenosos das Formações Botucatu e Guará no oeste do Rio Grande do Sul.

## 2 CONSIDERAÇÕES GERAIS E ASPECTOS ESPECÍFICOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL

### 2.1 Localização

Esta área localizada a oeste do Estado do Rio Grande do Sul corresponde à cerca de 1/6 de sua superfície total, limitada entre as coordenadas 29°00' - 31° 00' de latitude sul e 54° 30' - 58° 40' de longitude oeste, tendo como limite oeste as divisas com os territórios uruguaio e argentino. Inseridas nesta área, estão, se não a totalidade, parte da superfície física de vários municípios gaúchos.

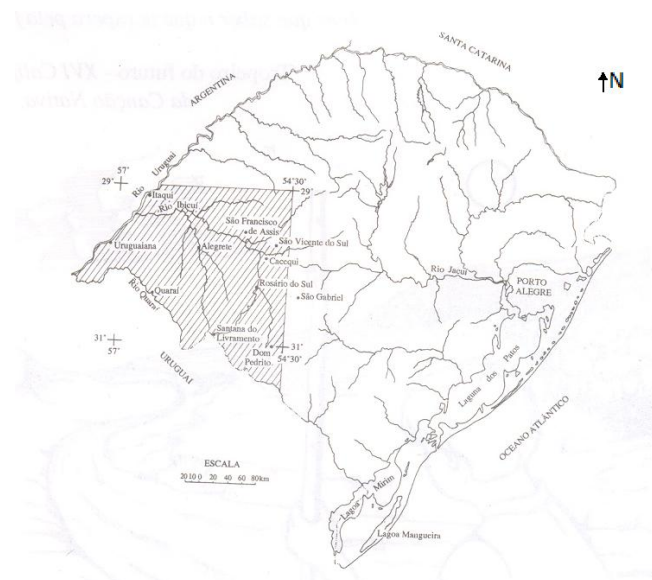


Figura 01 - Mapa de abrangência do oeste do RS (Suertegaray, 1992).

### 2.2 Geologia e Geomorfologia

O Rio Grande do Sul, especialmente sua parte centro-norte, corresponde ao sul de uma paleo-área denominada Bacia do Paraná, cujo o desenvolvimento teve início no Paleozóico médio-inferior (Siluriano – 430Ma), finalizando na parte superior do Mesozóico (Cretácio – 70Ma). Ela situa-se no centro-leste da América do Sul, ocupando uma área de cerca de 1.600.000 km<sup>2</sup>, dos quais mais de 1.000.000 km<sup>2</sup> em território brasileiro (estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais (Triângulo Mineiro), São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Os demais 600.000 km<sup>2</sup> são distribuídos entre o Uruguai, Argentina e Paraguai. No

Rio Grande do Sul ocupa a maior parte de sua superfície, ausentando-se no sudeste (Escudo Sulriograndense) e no leste (Planície Costeira). Faz-se necessário salientar que mesmo sobre o Escudo e a Planície são encontrados resquícios de suas rochas. No primeiro mostrando que foram transgressivos sobre o cristalino e na segunda mostrando que em algum ponto serviram como embasamento para a Planície Costeira. Por se tratar de uma bacia intracratônica, não houveram esforços de compressão capazes de produzirem dobramentos significativos nas rochas constituintes, ficando as deformações estruturais vinculadas à falhas ou à intrusões diabásicas (Petri e Fúlfaro, 1983).

Ao longo de sua história evolutiva foi palco de várias atividades tectônicas e de uma significativa sedimentação, que nas partes mais rebaixadas (corresponde ao centro-oeste do Estado do Paraná e parte leste do Mato Grosso do Sul (Petri e Fúlfaro, 1983), atingiu espessuras próximas a 5.000 metros. As partes basais deste pacote deposicional são constituídas por sedimentos arenosos e finos (folhelhos) de origem marinha; as partes médias por sedimentos marinhos finos (siltitos, arenitos), conglomeráticos e finos (diamictitos) de origem glacial e arenosos de ambiente de transição entre o litorâneo e o marinho. Este último tem como característica econômica as grandes ocorrências de carvão, especialmente na parte sul da Bacia (Rio Grande do Sul e Santa Catarina).

Em território gaúcho, que corresponde a borda sul da bacia, a parte basal pode ser considerada como constituída por sedimentos arenosos carboníferos pertencentes à Formação Rio Bonito, embora localmente e de maneira esporádica, possa aparecer os sedimentos conglomeráticos (tilitos) e finos (varvitos) da Formação Rio do Sul. Estas litologias limitam-se, pelo menos em superfície, a circundar o Escudo Sulriograndense. Já as litologias subseqüentes são constituídas, em geral, por sedimentos finos (folhelhos), muitas delas apresentando bancos/camadas ou somente grandes e pequenas concreções de carbonato. São de origem claramente marinha e distribuem-se ao longo de toda a bacia, mas como as anteriores, limitando-se às proximidades do escudo cristalino.

São sequências de idade permiana, cujo conteúdo fossilífero indica um ambiente deposicional marinho. São sequências que além de gerarem um relevo de coxilhas suaves, pouco convexas, geram, em função de suas características petrográficas, solos com presença de argilas 2:1 (esmectitas), como vertissolos,

chernossolos, entre outros (Streck et al. 2008), comuns em áreas próximas ao escudo cristalino e propícias à produção orizícola.

Durante o Mesozóico (240 a 70 Ma), que abriga as sequências depositadas na parte média e superior da bacia, ocorreu (Petri e Fúlfaro, 1983) uma tendência forte de continentalidade de todas as bacias intracratônicas brasileiras, culminando com a emersão geral de todo o território, gerando um processo erosivo generalizado, que determinou uma pobreza de registro sedimentar no início desta Era. A partir desse momento as sequências depositadas deixam de ser marinhas, passando a continental, culminando com o “fechamento” de toda a bacia quando da atividade vulcânica decorrente da fragmentação do Continente Gondwânico (Juro-Cretácio/Cretácio).

Particularmente, estas últimas sequências rochosas revestem-se de singular importância uma vez que constituem a quase totalidade, em superfície, do substrato litológico presente no oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul. Por sua natureza continental não mostram, em geral, uma distribuição contínua e regular, que associada a uma tectônica quebrável, empresta um carácter de complexidade no estabelecimento do ordenamento estratigráfico, sendo até aos dias atuais motivo de inúmeras discussões de ordem geológica.

O marco inicial para o esclarecimento da estratigrafia da Bacia do Paraná remonta ao início do século passado (1908), quando I.C. White propôs a primeira coluna estratigráfica, caracterizando sua parte superior (mesozóica), a qual atribuiu o nome de Série São Bento, como constituída por:

- Rochas eruptivas da Serra Geral;
- Grés São Bento;
- Camadas vermelhas do Rio do Rasto.

Tempo depois, com o mesmo objetivo, Gordon Jr. (1947) sugeriu uma nova coluna para a Série São Bento:

- Arenito Caiuá (somente no Paraná)/ discordância;
- Formação Serra Geral/ discordância;
- Arenito Botucatu/ discordância;
- Formação Santa Maria (somente no RS)/ discordância.

Muitos outros trabalhos foram desenvolvidos, mas em 1973, Gamermann ao estudar as litologias entre as formações Estrada Nova (permiana) e Botucatu

(jurássica), apresentou uma nova distribuição estratigráfica e formalizou a Formação Rosário do Sul:

- Serra Geral;
- Botucatu
  - Fácies Santa Maria;
- Rosário do Sul:
  - Fácies fluvial.

Logo a seguir, em 1974, Bortoluzzi na região de Santa Maria sugeriu uma nova coluna para o Grupo São Bento:

- Formação Serra Geral discordância;
  - Botucatu ss
- Formação Botucatu:
  - Membro Caturrita discordância;
  - Fácies Alemôa
- Formação Santa Maria:
  - Fácies Passo das Tropas;
- Formação Rosário do Sul.

Na região a leste de Santa Maria (Medeiros, 1980) e Jabur (1979) na região a oeste, em suas respectivas dissertações de mestrado, propõem, em base a coluna estabelecida por Bortoluzzi (1974), a elevação de membro Caturrita para formação, bem como a troca de fácies Alemôa e Passo das Tropas para membros, mantendo a mesma coluna proposta.

Mais adiante, Andreis e Montardo (1982) elevam a Formação Rosário do Sul a Grupo Rosário do Sul, subdividindo-o em Formação Sanga do Cabral, de características predominantemente arenosa, posicionada na sua parte basal e Formação Santa Maria, com os seus dois membros, na parte superior.

Em trabalho de campo nas regiões de Alegrete e São Francisco de Assis, Medeiros et al. (1989) reconhecem grandes extensões de uma sedimentação arenosa cenozóica similar a que ocorre no oeste paranaense e denominada de Formação Paranavaí (Popp e Bigarella, 1985). Sua interpretação é ainda hoje motivo de largas discussões: ora interpretada como neossolos quartzarênicos, ora

como uma sequência sedimentar pouco consolidada, cuja a origem vincula-se, segundo Nakashima (1999), a processos deposicionais colúvio-aluvionares. Associa-se a estes estudos, o reconhecimento pelos autores da existência de um substrato arenoso não compatível com as características da Formação Botucatu, esta até então considerada como a sequência arenosa dominante em toda a área da Cuesta de Haedo. Tal constatação, embora significativa no contexto geológico, não descartou e sim restringiu a ocorrência dos arenitos eólicos da Formação Botucatu na área.

A partir dos anos 90, em função dos processos erosivos intensos nesta parte do Estado, muitos trabalhos de cunho ambiental e estratigráfico foram realizados. De cunho estratigráfico, um dos mais significativos foi o realizado por Lavina e Scherer (1997), que atribuíram ao pacote de arenitos quartzosos esbranquiçados, posicionado entre as formações Sanga do Cabral e Botucatu, a designação informal de Aloformação Guará, proposta formalmente pelos mesmos autores como Formação Guará, em 2005. Limitaram sua ocorrência à margem sul da Bacia do Paraná, na divisa do Rio Grande do Sul com a Argentina e Uruguai e a correlacionaram com a Formação Taquarembó em território uruguaio. No Rio Grande do Sul estende-se de Santana do Livramento a oeste até Jaguarí a leste.

De cunho ambiental, mas sempre enfocando aspectos litológicos e geomorfológicos, muitos trabalhos foram e estão sendo desenvolvidos no Laboratório de Geologia Ambiental do Departamento de Geociências CCNE/UFSM, abrangendo a área oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul. Entre outros citam-se Paula (2002), Cardoso (2003), Paula e Robaina (2003), Paula (2006), De Nardin (2007) e Trentin (2007). Estes trabalhos envolvem aspectos de detalhes sobre a geologia e a geomorfologia de algumas bacias hidrográficas, como as do rio Itu e dos arroios Miracatu, São João, Divisa e Lajeado Grande e podem ser consideradas como representativas, em termos de superfície, do contexto geral da área. Estes trabalhos associados com os desenvolvidos por Medeiros et al.(1989), Lavina e Scherer (1997) e Scherer e Lavina (2005) nos permite afirmar que esta área, que corresponde à Cuesta de Haedo, tem seu substrato rochoso constituído na sua quase totalidade, além das rochas vulcânicas, pelas litologias arenosas das formações Guará e Botucatu.

Por ter sido o escopo principal deste trabalho, o estudo das sequências arenosas e suas relações com a cobertura pedológica, somente estas duas formações foram detalhadas ao longo do mesmo.

A Formação Guará, restrita em sua ocorrência ao oeste do Rio Grande do Sul, teve o seu reconhecimento formal a pouco menos de dez anos. Segundo Scherer e Lavina (2005), ela assenta estratigraficamente sobre a Formação Sanga do Cabral e, eventualmente quando se faz presente, sobre a Formação Caturrita. Por outro lado, encontra-se sotoposta à Formação Botucatu e na ausência deste sob as vulcânicas da Serra Geral. Tem uma espessura que oscila entre os 60 e 100 metros e distribui-se de maneira quase contínua dentro da área.

Litologicamente, segundo os autores, foram identificadas fácies distintas, que dependendo da escala de trabalho, tornam-se difíceis de serem mapeadas. São elas:

- Arenitos finos a grossos, cor creme, de mineralogia quartzo-feldspática, com geometria lenticular e laminação cruzada acanalada de médio porte, com níveis ricos em intraclastos de lutitos;

- Arenitos finos, de mineralogia quartzo-feldspática, cor creme, com laminação cruzada de grande porte. Internamente, a laminação é constituída por marcas onduladas eólicas;

- Arenitos finos, de mineralogia quartzo-feldspática, com laminação horizontal e cruzada de baixo ângulo, as vezes com aspecto maciço. Esporadicamente, as camadas destes arenitos encontram-se intercaladas por níveis centimétricos de lutitos.

Segundo os autores, as cores esbranquiçadas dos arenitos constituintes dos três fácies devem-se à caulinição dos feldspatos.

- Lutitos vermelhos lenticulares maciços e laminados.

As estruturas cruzadas acanaladas de médio porte e de baixo ângulo, associadas à presença de camadas e intraclastos de lutitos, indicam um ambiente deposicional subaquoso, embora sejam também, encontradas deposições subaéreas representadas por arenitos com grandes estratificações verdadeiras, indicando um ambiente eólico.

Já a Formação Botucatu, reconhecida praticamente em toda a bacia e considerada por Almeida (1956) como o maior depósito eólico contínuo do mundo, foi definida e proposta formalmente a muitas décadas passadas. Na realidade, trata-



se de um grande e contínuo lençol de antigas dunas de um ambiente desértico, que se estendeu por quase toda a área da Bacia do Paraná e, segundo Milani et al.(1998), representam a máxima expansão da sedimentação da bacia durante o Mesozóico.

Seu posicionamento estratigráfico é imediatamente abaixo das sequências vulcânicas que determinaram o “fechamento” da Bacia do Paraná, com as quais encontram-se em contato não discordante (temporal), caracterizado pela recorrência de dunas (intertrapp) por sobre as vulcânicas, especialmente sobre os primeiros derrames.

Litologicamente, a Formação Botucatu é constituída por arenitos amarelo-avermelhados, finos a médios, com seleção de regular a boa, com pouca matriz, estratificação cruzada verdadeira (em cunha) de porte médio a grande, com inclinações que atingem até 32º de mergulho. Raramente ultrapassa os 100 metros de espessura, como pode ser exemplificado nos perfis do Cerrito (Santa Maria) e subida para Silveira Martins (Medeiros, 1980), onde a mesma atinge cerca de 90 metros.

Na área de estudo, pelo menos em superfície, a ocorrência desta litologia mantém-se quase que de maneira regular nas proximidades das sequências vulcânicas, das quais pouco se afasta, grosseiramente acompanhando seus contornos. Por este motivo, a sua extensão em superfície é bem menor quando comparada com as litologias da Formação Guará. Em determinadas situações, devido a fatores tectônicos, especialmente falhas de gravidade, aparecem blocos isolados que, lado a lado com outras litologias, aumenta a complexidade quando se objetiva seu mapeamento (geológico, pedológico) e não raramente colocando em xeque o próprio ordenamento estratigráfico.

Em termos de caracterização mineralógica/petrográfica, geoquímica e até mesma sedimentológica, são poucos os trabalhos tanto sobre a Formação Botucatu, quanto sobre a Formação Guará, que objetivem estes aspectos. Entre eles, podemos citar o de Wu e Caetano-Chang (1992) que enfoca e compara aspectos mineralógicos dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu, no centro-oeste paulista.

Neste trabalho foi priorizado o estudo dos minerais detríticos leves e pesados em ambas formações, o que permitiu a identificação de associações mineralógicas que contribuíram para a caracterização genética e para o conhecimento das áreas-

fontes destas sequências deposicionais. É oportuno salientar que a composição da assembléia de minerais detríticos não é controlada somente pela composição mineralógica da rocha fonte, pois os processos operantes no ciclo sedimentar, tais como a seleção física, abrasão mecânica e dissolução são, também, determinantes nesta composição. O trabalho avalia características como o tamanho dos grãos, grau de seleção, arredondamento, maturidades textural e mineralógica, bem como identifica a percentagem de matriz e o tipo de cimento. Portanto, este tipo de estudo reveste-se de singular importância não só no estabelecimento da procedência mineral, mas também por permitir, através da assembléia mineral e de suas características, o acompanhamento da evolução intempérica ao longo de um perfil, constituindo-se em um dos caminhos seguros no acompanhamento da transição rocha-solo.

Dentre os minerais leves, embora o quartzo seja o mais comum formador de rochas sedimentares detríticas tamanho areia, ele pode, segundo alguns autores, dar informações de proveniência. Assim, Mackie, 1896 (apud Pettijohn, 1976), usou as inclusões no quartzo como guia; Krynine, 1940 (apud Pettijohn, 1976) classificou o quartzo em ígneo (plutônico, vulcânico e hidrotermal), metamórfico (quartzo de pressão) e o sedimentar, que pode ter crescimento autigênico ou preencher veios. O feldspato, também comum em algumas rochas sedimentares detríticas, embora tenha sido usado com guia de procedência por Rimsaite, 1967 (apud Pettijohn, 1976), onde o autor definiu a sanidina como de ascendência vulcânica; o ortoclásio e o microclínio, assim como o pertítico, como plutônicos, dificilmente teria aplicação na passagem rocha-solo, uma vez que não conseguiria manter sua integridade química/estrutural na pedogênese, sobremaneira em climas tropical e subtropical, alterando-se para um argilo-mineral.

Segundo Suguio (2003), minerais pesados são aqueles que tem o peso específico superior ao dos minerais mais comuns em rochas sedimentares, tais como o quartzo e o feldspato, ambos em torno de 2,60. São usualmente separados com o uso do bromofórmio, que é um líquido pesado com 2,89 de densidade.

Embora a grande variedade de minerais pesados possíveis de serem encontrados em rochas sedimentares, não mais que 20 são realmente efetivos e, comumente, não excedem 0,1 a 0,5% das frações terrígenas destas rochas. Em arenitos maduros suas assembleias constituem uma ferramenta importante na

determinação da proveniência, visto serem constituídos quase que exclusivamente por quartzo.

A suíte dos minerais pesados encontrados na Formação Botucatu, segundo Wu e Caetano-Chang (1992), mostrou variações em sua distribuição em toda área (foram coletadas amostras em seis pontos distintos como nas rodovias Castelo Branco, Mal. Rondon, Analândia-Brotas). Os minerais ultra-estáveis (ZTR= zircão, turmalina e rutilo), com exceção do rutilo que não aparece, apresentam frequências variáveis de alta a baixa. O zircão distribui-se por toda a área, mas sempre em pequenas quantidades. Por sua vez, a turmalina está presente em todos os locais de coleta e sempre com frequência média a alta.

Dentro ainda da fração pesada, os minerais metaestáveis não-opacos, como a estauroлита, granada, muscovita, cianita e sillimanita, com exceção do primeiro que é encontrado em toda área e em pequenas percentagens, os demais tem ocorrência acidental e quando aparecem são angulares a arredondados. Já os opacos, representados pela magnetita e ilmenita, aparecem de maneira elevada em toda área, enquanto que o leucóxênio, que segundo Deer; Howie e Zussman (1966) corresponde ao produto final da alteração da ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) ou constitui-se em rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) finamente dividido, ocorre de maneira mais escassa, porém sempre presente em todas amostragens. A hematita e a limonita, além de serem escassas, não se fazem presentes em todos os locais amostrados.

Quanto aos minerais leves constituintes, eles são representados, na sua quase totalidade, por quartzo, feldspato e fragmentos de rochas, estes dois últimos sempre presentes, porém com ocorrência de traço (< 1%) a muito frequente para os feldspatos e de traço para os fragmentos. As micas (muscovita) são raras. A distribuição granulométrica dos arenitos é bimodal, com modas nas frações de areia média a grossa e muito fina a fina. Os grãos são arredondados a bem arredondados na fração grossa e subangulares a arredondados na fração fina. O cimento consiste de traços de óxido-hidróxido de ferro e poucas argilas autigências nas superfícies dos grãos. Ocorrem apenas traços de matriz secundária de argilas infiltradas.

Para os autores, segundo classificação de Folk (1954), os arenitos da Formação Botucatu ao longo da área de coleta variam de quartzo-arenitos (dominante) a sub-arcóseos (aumento da presença de feldspatos) de maneira subordinada.

Importante trabalho com foco na proveniência da cobertura pedológica do arenito Caiuá, noroeste do Paraná, a partir do estudo dos minerais pesados, foi realizado por Gasparetto e Santos (2005). Foram coletadas amostras da cobertura pedológica nos seus diferentes horizontes através de perfis ao longo de topossequências. Dentro das características granulométricas dos horizontes foi optado pelo intervalo da areia fina (0,125mm a 0,062mm), por ser este o mais representativo e por concentrar o maior número de minerais pesados em relação aos demais intervalos. A assembléia dos minerais pesados, embora mostre uma pequena diversidade mineralógica entre alguns perfis, é constituída predominantemente por estaurolita, rutilo, turmalina, zircão e opacos. Assim, em base a estes, especialmente os quatro primeiros, foi confirmado o caráter residual da sequência pedológica sobre o arenito Caiuá.

Embora realizado sobre sedimentos arenosos (Grupo Itapecuru) da Bacia Sedimentar São Luis-Grajaú, norte do Brasil (abrange o Estado do Maranhão e o nordeste do Pará), o trabalho realizado por Nascimento e Góes (2007) apresenta relações significativas com a Bacia do Paraná, não só por ser uma bacia cretácea, mas também por assentar em parte sobre o cristalino e ser individualizada quando da abertura do Oceano Atlântico, no contexto da fragmentação do Gondwana, no Mesozóico. Utilizaram como caminho para determinar a proveniência sedimentar, a petrografia de arenitos, com ênfase em minerais pesados e os tipos de grãos de quartzo.

Os minerais pesados não micáceos apresentaram concentração no intervalo granulométrico 0,125-0,062mm. Foi determinado o índice ZTR (zircão, turmalina e rutilo) na identificação do grau de maturidade mineralógica. Os aspectos morfológicos e as texturas superficiais em grãos de minerais pesados e quartzo, assim como as características internas da turmalina e do zircão, vistas em seções polidas, foram reveladas com auxílio da microscopia eletrônica de varredura .

Na análise petrográfica, além das características morfológicas dos grãos de quartzo, salientam que 80% deles representam quartzo monocristalino com extinção oscilatória, constituindo-se em uma propriedade óptica que pode contribuir na determinação da procedência. As assembléias de minerais pesados são basicamente constituídas por turmalina, zircão, estaurolita, rutilo e cianita (silicato aluminoso). O índice ZTR determinado foi elevado em todas as amostras (>70 <95), indicando alta maturidade mineralógica.

Interligado às características mineralógicas/petrográficas, o entendimento geomorfológico de divisão em formas de relevo (landforms) de qualquer área torna-se obrigatório quando se objetiva o levantamento de suas características pedológicas, visto ser este um dos componentes fundamentais no desenvolvimento do solo.

Geomorfologicamente, a parte oeste do Rio Grande do Sul é uma área que mostra padrões geomorfológicos distintos, especialmente amparados nas respostas que os diferentes tipos litológicos ali existentes, vulcânicas e arenosas, oferecem aos processos superficiais de intemperismo e de remoção.

Em décadas anteriores, trabalhos de abrangência mais geral foram feitos especialmente por Rambo (1956), Ab'Saber (1969), (ambos apud: Suertegaray, 1992) e Müller F<sup>o</sup> (1970). Rambo já salientava a presença de um relevo predominantemente convexizado nesta parte oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul, quebrado pela proximidade da coxilha do Caverá (frente da Cuesta de Haedo), tendo em sua parte mais setentrional a predominância de "cerros tabulares". Embora a ocorrência de feições tabulares, para Ab'Saber a topografia dominante é a de colinas pouco convexas, estas de amplo significado morfoclimático e que refletem, por sua vez, a influência de processos subtropicais úmidos que atuaram na região durante o Pleistoceno.

Um dos trabalhos pioneiros com caráter geomorfológico de detalhe foi o realizado por Paula (2002), quando foram propostas unidades geológicas-geomorfológicas para a área de abrangência da bacia do Arroio Lajeado Grande, este tributário da margem esquerda do Rio Ibicuí e geograficamente localizado no Município de Alegrete. Com o mesmo propósito Paula (2006) realizou novo trabalho, desta vez abrangendo as bacias dos arroios São João, Sanga da Divisa, Jacaquá e Itapevi, todos como o primeiro, também tributários do Ibicuí. Além da abrangência espacial destas bacias, esta superfície significativa reveste-se de importância por ser uma área representativa, em termos litológicos e geomorfológicos, senão de toda, de grande parte da área maior.

Nos trabalhos foram definidos dois grandes compartimentos: um de denudação ou dissecação (ação de processos erosivos) e outro de agradação (processos de acumulativos).

No compartimento de dissecação foram individualizadas unidades de colinas, de cerros, de morrotes e de feições superficiais (vinculada à linhas de blocos e matacões), de areais e áreas em processo de arenização e de ravinas e voçorocas.

As colinas, segundo a autora, são as feições mais conspícuas na área, podendo ter o substrato rochoso constituído tanto por arenitos quanto por rochas vulcânicas (basalto). As colinas de arenitos constituem a unidade de maior ocorrência na área e são representadas por arenitos fluviais e eólicos, em geral pouco cimentados (sílica e óxido de ferro). As cotas para esta feições variam de 180 (máxima) a 80 metros, esta junto às planícies de inundação. As declividades oscilam entre 4 e 8%. São locais ou áreas sujeitas a um maior transporte de massa. As colinas de vulcânicas, por sua vez, ocorrem entre as cotas 200 e 70 metros e a declividade varia entre 4 e 8%. São menos susceptíveis aos processos de transporte de massa.

Os cerros, embora nem sempre presentes, foram considerados feições importantes por constituírem ecossistemas muito particulares. São os locais ou áreas com as maiores altitudes, ultrapassando, muitas vezes, a cota de 200 metros. São feições formadas pela resistência diferencial à alteração/erosão entre arenitos. As vertentes apresentam elevadas declividades e tomam aspecto escarpado. De modo característico estas feições de cerros, possivelmente em função da estrutura da rocha do substrato, mostram topos planos. Como exemplo podemos citar o Cerro Palomas (em Santana do Livramento), Cerro do Tigre (em Manoel Viana) entre muitos outros.

Os morrotes são elevações de topos arredondados e vertentes vegetadas, com baixa altitude, com amplitude em torno dos 20 metros e encosta íngreme, superior a 15%. O substrato rochoso é sempre constituído por rochas vulcânicas.

Dentre as feições superficiais, algumas tornam-se mais relevantes em função de seus aspectos ambientais. Assim, as linhas de blocos e matacões (fragmento de rocha  $c/$  diâmetro  $>256\text{mm}$  – Escala de Wentworth) de arenito silicificado afloram na meia encosta de algumas colinas e nas vertentes alguns cerros, formando verdadeiros alinhamentos. É bastante freqüente o desenvolvimento de processos erosivos junto a estes alinhamentos. Já os areais e áreas com processos de arenização são importantes feições que ocorrem em muitas locais do oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul e representam a degradação ambiental e a dificuldade de uso destas terras. Uma terceira feição é representada por ravinas e voçorocas, que como a anterior, são muito freqüentes ao longo de quase toda a área, excetuando-se as ocupadas pelas vulcânicas. Aparecem associadas tanto a cerros, quanto à colinas e em cabeceiras de drenagens.

No compartimento de agradação, as unidades correspondem às superfícies resultantes da deposição das drenagens, que são as planícies de inundação atuais e às áreas vinculadas aos cursos médios de seus canais. Em geral, são áreas com elevada saturação em água, vinculadas a um substrato arenoso e propícias ao desenvolvimento de solos adequados à lavoura irrigada.

### **2.3 Clima e vegetação**

Quando se fala em desenvolvimento pedogênico, a condição mínima necessária passa pela exigência de um processo intempérico anterior sobre um material rochoso pré-existente. Para tanto, a presença de água, sobremaneira na forma líquida, associada a uma temperatura adequada para aceleração do processo químico, juntamente com as características de relevo e de vegetação, são os principais responsáveis pelo desenvolvimento pedológico de qualquer região. Portanto, a avaliação das condições climáticas torna-se imperiosa por serem fortemente ligadas à alteração de minerais e rochas, bem como com a cobertura vegetal e com a própria modelagem da superfície.

Segundo Maluf (2000), o clima da região é classificado como subtropical úmido com possibilidade de seca definida no verão. A temperatura média anual é de 18,6°C e a precipitação anual é de 1574mm.

A chuva no Rio Grande do Sul está condicionada aos sistemas de circulação extratropicais em função de sua latitude. O quadro climático é resultante da dinâmica das massas de ar e suas correntes perturbadas. Segundo Moreno (1961), o regime pluviométrico do Estado, além de sua formação pelo deslocamento de frentes, é acentuado pela orografia. Nas maiores altitudes, as chuvas ocorrem em volumes maiores. O relevo obriga a elevação das massas de ar, que sofrendo resfriamento e condensação, ocasionam as chuvas, razão pela qual a precipitação pluviométrica nas encostas e rebordos do Planalto atinge o máximo.

Com relação às temperaturas, ocorrem variações devido principalmente a altitude e a continentalidade, refletindo o domínio dos Sistemas Atmosféricos. Pela latitude, o ritmo das estações do ano determina o ciclo das temperaturas médias mensais e anuais, que acompanha as alterações na insolação e na entrada de radiação solar (Sartori, 2003).

De acordo com Berlato e Fontana (2003), a região correspondente ao Rio Grande do Sul sofre influência dos fenômenos “El Niño e La Niña”, que ocorrem em alternância com períodos neutros. Estes fenômenos determinam alterações na circulação atmosférica regional, que por sua vez acabam ocasionando modificações hídricas e térmicas, resultando em períodos ora marcados por estiagens, ora por grandes precipitações. “El Niño” é caracterizado por um aumento significativo das precipitações pluviométricas e as temperaturas tendem a superar as médias mínimas dos anos neutros, enquanto que “La Niña” é caracterizada pela diminuição da atividade pluviométrica e as temperaturas tendem a ficar abaixo das médias mínimas.

Trentin (2007) ao compilar dados de temperaturas entre os anos 1970 e 2000 para todo o Estado do Rio Grande do Sul, verificou que os maiores valores ocorrem nos meses de dezembro a janeiro, período em que oscilaram entre 23 a 26 °C. Por outro lado, as menores temperaturas estão relacionadas aos meses de junho a agosto, variando, em média, entre 12 e 16 °C.

Quanto aos dados pluviométricos, o autor, após levantamento das informações, aponta para uma média mensal de 110 a 160mm, apresentando períodos com índices menores, como nos meses de dezembro a fevereiro e períodos com índices maiores como nos meses de março-abril e setembro-outubro.

De Nardin (2007) em sua dissertação de mestrado que versou sobre estudos geoambientais da bacia do Arroio Miracatu, localizada nos municípios de São Francisco de Assis e de Manoel Viana, buscou informações junto à estação meteorológica Ponte do Miracatu sobre as condições de precipitação no intervalo de 1975-2005.

As informações apontaram para os anos 1982, 1986 e 2002 como aqueles com maiores índices pluviométricos (2.399, 2.478 e 2.625mm/ano respectivamente), enquanto que as menores precipitações ocorreram nos anos 1977, 1978 e 2004 (990, 1009 e 963mm/ano respectivamente). As médias para os 30 anos foram de 1.739mm/ano e de 145mm/mês. A análise também apontou abril e agosto como os meses de maior e menor precipitação, respectivamente.

Deste modo, o conhecimento do balanço hídrico associado ao conhecimento de fatores como as variações térmicas, por terem influência significativa, embora lenta, no processo intempérico, incluindo o pedológico, qualificam a projeção da



ocupação agro-pastoril, bem como fornece mecanismos para o entendimento dos processos erosivos, especialmente em solos arenosos.

No tocante à vegetação, os primeiros estudos, segundo Marchiori (2002), datam do século XIX. Dos pioneiros destacam-se as contribuições de Karl Friedrich Phillip Von Martius, Auguste de Saint-Hilaire, Robert Ave-Lallemant, Herman Von Ihering e Carl Axel Magnus Lindman.

A primeira classificação fitogeográfica do Rio Grande do Sul data do início do século XX e foi estabelecida pelo botânico sueco Carl Axel Magnus Lindman. O autor, segundo Alves (2008), dividiu o estado em duas grandes partes: o planalto ao norte, denominado “Cima da Serra” ocupado em sua maior parte por matas e a “Campanha” ao sul, esta com predomínio de vegetação campestre.

Em 1942, o padre jesuíta Balduino Rambo (apud Suertegaray 1992), professor de História Natural, apresentou uma nova classificação fitogeográfica para o Estado, dividindo-o em cinco regiões “fisionômicas naturais”: Litoral Riograndense, Serra do Sudeste, Campanha do Sudeste, Depressão Central e Planalto.

Em 2004, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e o Ministério do Meio Ambiente apresentaram um novo “Mapa de Vegetação do Brasil” tendo por base o esquema proposto pelo Radambrasil, visando a reconstituição da vegetação original em todo o território nacional. Para o Rio Grande do Sul apresentaram sete “regiões fitoecológicas” e duas “áreas ecológicas especiais”. A partir deste mapeamento, os mesmos órgãos elaboraram o “Mapa de Biomas do Brasil”<sup>2</sup>, sendo que para o Rio Grande do Sul foram reconhecidos apenas dois: Mata Atlântica e Pampa.

Mais precisamente em relação ao sudoeste do Rio Grande do Sul, Marchiori (1995) sustenta que, embora substancialmente alteradas na atualidade, as paisagens do sudoeste gaúcho permitem reconhecer com bastante precisão seu estado original. A característica mais notável desta região é a predominância das formações campestres. A vegetação silvática restringe-se praticamente às encostas dos chapadões de arenitos, bem como às faixas que acompanham os cursos d’água. Recentemente, Alves (2008) em sua dissertação de mestrado sobre a fitogeografia na bacia do Arroio Lajeado Grande, região oeste-sudoeste do Rio

---

<sup>2</sup> Bioma – conjunto de vida constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria.

Grande do Sul, concluiu que os campos nativos constituem o principal tipo de vegetação existente na área, ocupando mais de 90% do total. Salienta que tais formações nunca são completamente isoladas, pois é freqüente a presença de subarbustos, arbustos, pequenas árvores e até mesmo árvores associadas à vegetação nativa principal.

Como contribuição importante, o mesmo autor estabeleceu correlações entre as tipologias vegetais presentes e o meio físico, em especial com a disposição dos recursos hídricos, com o relevo (amplitude e inclinação de vertentes), com as litologias e solos derivados, com a exposição à luz e com as condições climáticas. Salientou duas delas em função de suas respectivas freqüências: o curupi (*Sapium haematospermum* Müll.Arg. – Euphorbiaceae) e o espinilho (*Acácia caven* Molina – Leguminosa ou Fabaceae). Ambas são típicas de formações campestres distintas, determinadas por substratos rochosos distintos, uma vez que mostram-se seletivas com as condições lito-pedológicas do ambiente. A primeira relacionada com o substrato arenoso e a segunda com o substrato vulcânico.

## **2.4 Solos e geoquímica do intemperismo**

Embora sejam conceitualmente diferentes, o Solo e a Geoquímica de Superfície tem ligações fortemente intrínsecas, uma vez que o primeiro é decorrente da decomposição química de um ou mais substratos rochosos pré-existentes. Quando um corpo rochoso aflora em superfície, imediatamente torna-se sujeito à ação de agentes atmosféricos e biológicos. Assim, as etapas iniciais para sua transformação em solo passam pela crescente fragmentação física, seqüenciada pelos processos complexos da decomposição química que não dão origem direta ao solo, mas a um manto de intemperismo que constitui o material gerador do solo. Concomitante a esta atividade, alguns de seus componentes solúveis contribuem para a nutrição de microrganismos invasores que, com o passar do tempo, aumentam de vulto e complexidade de forma de vida, crescendo, deste modo, os efeitos que exercem sobre o próprio manto de intemperismo. É sobre este manto de alteração que atuam os processos pedogênicos.

Deve-se a Dokuchayev (apud Bunting, 1971) o conceito de solo como função, em permanente mudança, de cinco fatores principais: clima, material de origem (substrato rochoso), organismos, relevo e tempo de atuação. Seu maior mérito

talvez seja ter considerado os solos como entidades independentes e não apenas como resultado da decomposição de rochas pela ação do clima e dos organismos.

Para Azevedo e Kaminski (1995), *“O solo constitui um sistema aberto onde se processam intercâmbios de energia e de matéria com o ambiente. Assim, de acordo com a lógica sistêmica, a trajetória evolutiva dos solos depende da velocidade e da complexidade dos fluxos através dos quais se realizam as trocas. Perturbações nestes fluxos, que ultrapassam um determinado limite, tendem a se ampliar pelo sistema, modificando o seu funcionamento e produzindo um novo regime”*

Embora a definição proposta por F.W. Clarke (1924) (apud Guimarães, 1963) seja restritiva e insatisfatória, não satisfazendo o campo atual de investigação geoquímica, ela consegue repassar o grau de relação com a geração do solo: *“Cada rocha pode ser considerada como um sistema químico no qual podem se produzir modificações químicas por vários agentes. Todas modificações implicam em perturbações de equilíbrio, com final formação de novo sistema estável sob as novas condições.”*

A Geoquímica tradicional envolve a descrição química da Terra, tratando de descrever a distribuição dos elementos químicos e seus isótopos nas várias camadas que a envolvem e que a constituem: atmosfera, hidrosfera, crosta, manto e núcleo. Já há algum tempo, ela deixou de ser meramente descritiva de fatos para, de forma crescente, conhecer e entender os mecanismos químicos e físico-químicos que estão por detrás destes. Assim, a Geoquímica se dedica, entre outras abrangências, à integração dos processos químicos e dos processos geológicos, sejam eles de profundidade (ígneos e metamórficos), sejam eles de superfície (sedimentares). A geoquímica de superfície, entre outros envolvimento, atua sobre qualquer tipo de rocha, seja ela ígnea, metamórfica ou sedimentar, tanto no sentido de alterá-las, onde inclui-se a fase pedogênica, ou até mesmo reagrupar seus produtos de alteração e formar novas rochas sedimentares.

Os estudos do manto de alteração sobre rochas ígneas são largamente realizados no meio geológico, alguns deles mostram abrangência maior e atingem os processos pedogênicos, retratando a interface rocha-solo. Por outro lado, o conhecimento específico do manto de alteração sobre rochas sedimentares, sobremaneira arenitos, é bastante reduzido, mais ainda quando trata da passagem rocha-solo.

Torna-se mister salientar que o processo geoquímico de alteração mineral em superfície é, em princípio, o mesmo para qualquer tipo rochoso, contudo deve-se levar em conta a composição mineral e as características físicas inerentes a cada tipo .

Em 1938 Goldich (apud Suguio, 1973) estabeleceu uma sequência de estabilidade química em ordem decrescente para os minerais terrígenos comuns: Quartzo, zircão, turmalina e rutilo > sílex > muscovita > microclínio > ortoclásio, albita > hornblenda > piroxênio > olivina.

Quanto à estabilidade química relativa aproximada dos minerais pesados comuns, Pettijohn (1957) estabeleceu :

	-Rutilo;	
Minerais ultra-estáveis:	-Zircão;	-Índice ZTR;
	-Turmalina;	
	-Leucoxênio;	
Minerais estáveis:	-Clorita;	
	- Hematita;	
	-Apatita;	
	-Monazita;	
Minerais semi-estáveis:	-Estauroлита;	
	-Sillimanita;	
	-Cianita;	
	-Grupo do epidoto;	
	-Biotita;	
	-Granada;	
	-Magnetita;	
Minerais instáveis	-Ilmenita;	
	-Hornblenda;	
	-Augita;	
	-Olivina;	

Embora todos os minerais acima relacionados possam ser encontrados originalmente em rochas sedimentares clásticas, situação esta vinculada em grande

parte às condições climáticas do momento deposicional, são poucos os que em superfície mantêm-se incólumes aos ataques químicos em clima tropical e subtropical úmido, em função da severa limitação imposta pela própria instabilidade.

Em 1982, Menegotto em sua tese denominada “Alteração Intempérica de Rochas Ultrabásicas em Clima Subtropical” propõe um modelo evolutivo de alteração a partir de estudos feitos sobre três maciços rochosos de características ultrabásicas. Embora sejam rochas de origem, mineralogia e características físicas distintas de uma rocha sedimentar como um arenito, mas por estarem influenciadas por condições climáticas similares, tornam-se bons exemplos quando enfocada a evolução geoquímica mineral, bem como a perda ou a concentração dos elementos químicos presentes desde a rocha fresca até a fase pedogênica.

Quanto à evolução mineralógica, o autor considerou dois momentos distintos: o endógeno e o supérgeno. O primeiro relacionado a processos de metamorfismo e serpentização e o segundo com processos de superfície. Por questões de relação com ambiente sedimentar, a evolução endógena não será aqui considerada. Assim, segundo o autor, a partir da rocha fresca e como resultado dos fatores climáticos formou-se um manto de alteração contendo as fácies rocha dura, saprólito e solo.

O fácies rocha dura representa o estágio mais incipiente de alteração, afetando apenas parcialmente as fases mineralógicas mais instáveis, com perda reduzida da densidade aparente. Salienta que em torno dos blocos de rocha dura, forma-se uma película mais clara e leve, onde o estágio de alteração está mais evoluído, o *córtex*. O fácies saprólito corresponde ao produto do amolecimento geral da rocha, sem perda da estrutura, indicando alteração mais intensa dos minerais.

Assim, salienta que minerais como a olivina ( $Mg_2SiO_4$  /  $Fe_2SiO_4$ ) são rapidamente hidrolisadas, originando, no caso, nontronita e produtos ferruginosos amorfos dentro do fácies rocha dura, nunca atingindo o fácies saprólito. Similar comportamento é apresentado pelos piroxênios, que raramente atingem o fácies saprólito. Já os anfibólios, com exceção da hornblenda, mostram-se um pouco mais estáveis, atingindo em alguns casos o fácies solo. Os plagioclásios, no caso o termo labradorita ( $Ca > Na$ ), são também rapidamente destruídos, não atingindo o fácies saprólito.

Em termos da geoquímica de elementos, concluiu o autor que a fase sólida correspondente a toda a fase intempérica (incluindo a pedogênese) compõe-se de minerais residuais (resistatos) e minerais produzidos pelo intemperismo

(hidrolisados). Concluiu também que durante o processo intempérico o Mg é o único elemento que teve grande perda em sua concentração inicial, seguindo de maneira bem menos acentuada pelo Ca, Na e K, estes as vezes se reconcentrando no fâcies solo. O Si manteve-se praticamente constante ao longo de todo o processo, enquanto que o Fe e o Al aumentam fortemente suas concentrações, atingindo a máxima no horizonte B do solo. Já os elementos menores e traços como o Mn, Ti, Cr, Co, V e Cu aumentam suas concentrações em sentido ao topo do perfil.

Gasparetto (1990) em sua dissertação de mestrado que versou sobre a alteração intempérica de rochas vulcânicas ácidas, entre outras considerações, salienta a proposta estabelecida por Proust (1976), Meunier (1977) e Ildefonse et al. (1979) (todos apud Gasparetto, 1990) para o entendimento da evolução supérgena de minerais e rochas. Propõem os autores a existência de três microssistemas de alteração: o de contato, o plasmático e o fissural, todos caracterizados por diferentes condições físico-químicas que influenciam diretamente na evolução intempérica.

O microssistema de contato corresponde aos estágios iniciais de alteração, sendo evidenciado na rocha sã, aparecendo como descontinuidades entre minerais. São incluídas neste microssistema as descontinuidades do retículo cristalino, como a clivagem, planos de maclas e até mesmo microfraturas. Nesta fase, a existência de minerais secundários implica numa similaridade composicional com o mineral primário.

O microssistema plasmático implica num estágio mais avançado de alteração, momento em que os minerais primários não resistatos começam a ser transformados em um plasma argiloso. Em geral, o ponto de partida do desenvolvimento deste plasma começa pelas descontinuidades do microssistema de contato. Neste estágio não existem modificações significativas de textura e de estrutura da rocha original, praticamente mantendo-se em condições de isovolume.

Já o microssistema fissural só se desenvolve em rochas profundamente alteradas, em locais onde a água circula livremente, alargando fissuras, fraturas e canais, correspondendo a nível de alterito (material alterado que separa a rocha sã e o solo).

Na determinação petrográfica, o autor constatou que a mineralogia da rocha sã é constituída por pequenos e raros fenocristais e microfenocristais de plagioclásio, pequenos prismas alongados de piroxênio, quartzo e opacos, sendo que toda essa mineralogia está envolvida por um intercrescimento micrográfico de

quartzo e feldspato alcalino. Na evolução intempérica desses minerais, os plagioclásios, mesmo em rocha considerada sã e com a manutenção de suas propriedades ópticas, já apresentavam uma incipiente alteração ocasionada pela rápida liberação do cálcio. A medida que evolui a alteração ocorre um aumento da fissuração e um alargamento das clivagens, realçadas pela deposição de um plasma amarelo, que muitas vezes, envolve esqueletos reliquias do mineral primário. De acordo com Gonçalves, 1987 (apud Gasparetto, 1990), com o uso de microsonda eletrônica no estudo de alteração de basaltos no Estado de São Paulo, constatou que plasma semelhante era um material amorfo constituído por Al-Si, que com a concomitante alteração dos piroxênios e conseqüente liberação de ferro, ocorre uma coloração dos silicatos por óxido de ferro. Afirmou que tal situação, em geral, inibi as possibilidades de identificação de outros minerais, especialmente silicatos de alteração tardia como os feldspatos alcalinos.

Observou que os minerais opacos presentes, especialmente representados por magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) já mostravam transformação nos estágios iniciais da alteração, caracterizadas pela corrosão nas bordas dos cristais. O ferro liberado normalmente tende a penetrar nas microfissuras e clivagens dos minerais circundantes.

Atualmente, a geoquímica mineral é uma importante ferramenta nos estudos de proveniência, principalmente a de minerais pesados, pois além de serem muitas vezes resistentes, apresentam variações composicionais que permitem a identificação de sua fonte.

Barros et al. (2005) em trabalho sobre geoquímica de minerais detríticos no estudo de proveniência, entre outras, ressaltam que muitas fontes e vários ciclos sedimentares podem estar envolvidos nos processos geradores de sedimentos, o que dificulta a identificação e distinção das fontes primárias e imediatas, ou seja, a geradora destes minerais. Por outro lado, por serem minerais com elevada estabilidade química, sua distribuição ao longo do manto de alteração pode ser perfeitamente acompanhada. Salientam que embora um grão mineral possa conter informação essencial para a identificação de sua fonte, é importante a integração de dados, incluindo a composição química de elementos maiores e traços dos minerais detríticos presentes. Para tanto, observam que as análises de grãos minerais realizadas com o uso de microscopia eletrônica varredura, microsonda eletrônica e

outras técnicas, permitem, em função da diversidade existente em uma mesma espécie mineral, que sejam utilizadas em pesquisas desta natureza.

Entre outros minerais, os autores salientam não só o comportamento químico diante de condições intempéricas de minerais como o zircão ( $ZrSiO_4$ ), granada ( $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ - piropo /  $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ - almandina /  $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$ - espessartita  $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ - grossulária), rutilo( $TiO_2$ ), estaurolita ( $Fe^{2+},Mg$ )<sub>2</sub>( $Al,Fe^{3+}$ )<sub>9</sub>( $SiO_4$ )<sub>4</sub>( $O,OH$ )<sub>2</sub>, turmalina [ $Na(Fe,Mn)_3Al_6B_3Si_6O_{27}(O,OH,F)_4$ ] / [ $Na(Li,Al)_3Al_6B_3Si_6O_{27}(OH,F)_4$ ] / [ $NaMg_3Al_6B_3Si_6O_{27}(OH,F)_4$ ], respectivamente as variedades schorlita, elbaíta e dravita, como também variações químicas ocasionadas por substituições catiônicas a nível de estrutura. Assim, o zircão que pode ser visto como um produto intermediário de uma solução sólida de silicatos de Zr e Hf, onde predomina o primeiro, tem suas características geoquímicas utilizadas na identificação de procedência baseadas nos teores de Hf, ETR (Elementos Terras Raras), U, Th, Nb e Y. Consideram a variação da relação Hf/Zr como um dos bons indicadores.

Embora Pettijohn (1954) tenha considerado as granadas como minerais detríticos, quimicamente instáveis; embora possam elas oferecer dificuldades na determinação da rocha dura (ígneas e metamórficas) original em função da existência de diferentes fontes, elas mostram-se eficazes no acompanhamento da evolução intempérica ao longo de um perfil de alteração. Tal acompanhamento pode ser pela presença de uma ou outra variedade (almandina, grossulária, piropo, espessartita) ou até mesmo por variações composicionais devido a substituição catiônica dentro do retículo cristalino.

O rutilo, além de ser um dos minerais mais estáveis em rochas sedimentares, proporciona maior segurança na determinação de sua presença ao longo do perfil de alteração, pela possibilidade de conter em sua composição quantidades razoáveis de Nb e Ta, em função da estreita semelhança entre raios iônicos destes com o do Ti. Desta maneira, esta variação química implica no reconhecimento seguro de que se trata do mesmo mineral ao longo de todo o perfil.

Por outro lado, os minerais do grupo das turmalinas, embora a elevada estabilidade química, apresentam uma composição relativamente complexa. Contudo, esta estabilidade quando associada à variedade presente pode fornecer maior confiabilidade no acompanhamento da evolução do perfil intempérico.



Quanto ao solo propriamente dito, o Rio Grande do Sul já tem o reconhecimento de sua cobertura desde a década de 60, quando Lemos et al.(1967) realizaram o primeiro levantamento geral do Estado, trabalhando numa escala de 1:750.000. A este seguiram-se outros como o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Sul (Brasil,1973), também na mesma escala; IBGE (1986) na escala 1:1.000.000.

Concomitante a estes trabalhos, outros de abrangência mais local e em escala de maior detalhe e com enfoques diversos foram realizados, alguns em áreas localizadas no oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul. Klamt e Schneider (1995), numa área situada ao norte de Manoel Viana compreendida na longitude 55° 20' e latitudes 29° 30' e 29° 40' realizaram o mapeamento e a descrição dos solos, com um produto final na escala 1:50.000. Admitem que o substrato rochoso responsável pela fonte de sedimentos na área, seja representado por arenitos eólicos da Formação Botucatu e por arenitos da fácies fluvial da Formação Rosário do Sul. Sobre eles, por pedogênese, desenvolveu-se solos arenosos com diferentes características e classes taxonômicas. Segundo os autores foram encontradas as classes de Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa (LE) e textura média (LEm), Podzólico Vermelho Escuro textura argilosa (PE) e média/argilosa (PEm), Planossolos (PL), Associação Cambissolos-Solos Litólicos (C-R), Glei Húmico (HGH), Areias Quartzosas distróficas (AQd), Solos Orgânicos (H) e os tipos de terreno areais (A) e mais afloramentos de rochas (Af). Relacionam os Latossolos com a alteração de basalto (LE) e com o Arenito Botucatu (LEm). Já os Podzólicos Vermelho Escuro também relacionam com a alteração de basalto (PE) e o PEm tanto com a alteração de basalto, quanto dos arenitos da Formação Botucatu. Os Planossolos estão relacionados aos sedimentos fluviais associados à planície de inundação do Arroio Miracatu. Relacionam a Associação Cambissolos-Solos Litólicos com áreas mais dissecadas, com relevo ondulado a forte ondulado e com substrato basáltico.

Azevedo e Kaminski (1995) no trabalho "Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul" relacionam a região dos núcleos de arenização não só com a unidade de mapeamento Cruz Alta (Latossolo Vermelho Escuro com ocorrência de Areias Quartzosas), mas também com os solos Podzólicos das unidades São Pedro e Santa Maria.

Embora o conhecimento sobre a distribuição, física, química, mineralogia e biologia dos solos seja amplo, representado pela grande quantidade de trabalhos realizados em todo o território brasileiro, muitos aspectos ainda são destituídos de um maior conhecimento, entre eles a relação detalhada entre o substrato rochoso e sua cobertura pedológica. Além deste, padecem de um maior conhecimento a influência de variações laterais tanto da mineralogia quanto de estrutura da rocha de origem, bem como da participação alóctone.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E TÉCNICAS ANALÍTICAS

Os procedimentos metodológicos foram tomados de acordo com os objetivos do trabalho, constando de uma fase de campo e de uma fase laboratorial.

A fase de campo constituiu-se de um prévio levantamento das condições de ocorrência e de geomorfologia das litologias constituintes das Formações Guará e Botucatu. Neste momento foram escolhidos cinco afloramentos (três da Formação Guará e dois da Formação Botucatu) em quatro colinas (Paula, 2002) representativas das condições geológicas/geomorfológicas mais comuns da área de trabalho (os perfis SJ I e SJ II foram abertos sobre a mesma colina). Associado a estas considerou-se a necessidade da exposição de um perfil de alteração adequado ao desenvolvimento do trabalho, ou seja, que mostrasse as fases rocha sã<sup>3</sup> (quando possível), saprólito<sup>4</sup> e solo. Seqüencialmente foi aberto uma trincheira por afloramento de modo a expor, através do perfil, toda a evolução do processo intempérico e pedogênico.

Em cada perfil foram amostrados todos os horizontes de solo e as <sup>3</sup>camadas saprolítica<sup>4</sup> e de rocha sã<sup>3</sup> (quando possível) que constituem o substrato rochoso, neste trabalho denominadas de camadas Cr, CrR, RCr e R, conforme EMBRAPA (2006) e Pedron et al. (2010). As duas primeiras constituem a camada saprolítica e as duas últimas a camada rocha sã ou parcialmente alterada. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, estas orientadas no sentido vertical e restritas ao substrato rochoso, com um formato cúbico com cerca de 10 cm de lado e revestidas com parafina para preservação de suas características físicas originais.

Os procedimentos laboratoriais subseqüentes constaram de análises físicas, envolvendo especialmente a determinação granulométrica; análises mineralógicas/ petrográficas, neste caso buscando o conhecimento da composição mineral, incluindo a determinação de argilo-minerais, e a conseqüente classificação petrográfica, bem como a determinação das características macro e micromorfométricas e de textura superficial dos grãos minerais constituintes, tanto leves quanto pesados.

---

<sup>3</sup>Rocha sã – segundo Menegotto, 1982 é a rocha inalterada ou com incipiente alteração, afetando apenas parcialmente as fases minerais mais instáveis.

<sup>4</sup>Saprólito – segundo o mesmo autor, corresponde ao produto do amolecimento geral da rocha sem perda da estrutura, indicando alteraç

Em termos químicos, todos os horizontes e camadas de cada perfil foram avaliados individualmente para 12 elementos. Entretanto foram utilizados somente o Si, Al, Fe, Ti, Mg e Mn em razão da mineralogia presente. Embora o zircão e até mesmo a turmalina ocorram em alguns horizontes, a percentagem de zircônio e de boro (nas turmalinas) foram insuficientes para serem detectados na análise. Os demais elementos, principalmente Ca, Na, K e P não foram considerados em razão da possibilidade de ocorrerem valores anômalos oriundos de correção e adubação do solo, visto algumas áreas serem de antigas lavouras ou até mesmo lavouras atuais. A abertura das amostras deu-se pela associação de  $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{HF}$ . As determinações dos elementos foram feitas por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) no Departamento de Química da UFSM.

Inicialmente todas as amostras foram secas ao ar e levemente destorroadas, para posteriormente serem quarteadas, de modo a garantir reserva técnica para qualquer imprevisto. Do material pétreo/pedológico utilizado, parte (cerca de 120g) foi destinada para a análise granulométrica, com a separação de finos e grosseiros em seus vários intervalos de classe e parte destinada para análises químicas.

A separação granulométrica utilizada baseou-se na MB-32 (Suguio, 1973), que foi substituída pela ABNT-NBR-7181 de dezembro de 1984.

A parte utilizada da amostra foi destorroada cuidadosamente com gral de porcelana e pistilo com ponta revestida de borracha e posteriormente passada na peneira de 2,0mm. Do material que passou, foram retidas cerca de 120g e 50g para determinação da granulometria e da umidade higroscópica, respectivamente.

A porção destinada à granulometria foi colocada em suspensão, sendo a ela adicionada 125ml de defloculante do tipo hexametáfosfato de sódio a 4,79% por cerca de 12 horas e posteriormente passada em um agitador por cerca de 10 minutos. Logo após, o material foi transferido para uma proveta graduada, sendo o volume completado com água destilada para um volume de 1,0 litro.

A seguir foram feitas pipetagens nos seguintes tempos/profundidades: 1'56"/10cm – 7'44"/10cm – 31'00"/10cm – 2h03'/10cm – 8h10'/10cm – 16h21'/5cm – 65h25'/5cm, onde os intervalos entre 1'56"-2h03' e 8h10'- 65h25' correspondem, respectivamente as frações silte e argila. O volume de cada pipetagem foi de 20ml. Após a pipetagem, o material restante na proveta foi passado na peneira 0,062mm (1/16). O material que passou, foi retido, seco e pesado para posterior uso nos

cálculos de percentagem. O material retido (areia) na peneira foi seco e passado nas peneiras 1,0 – 0,5 – 0,250 – 0,125 e 0,062mm. Com estes dados e mais os dados dos finos foram efetuados os cálculos percentuais da distribuição granulométrica.

Para a análise mineralógica/petrográfica foram utilizados procedimentos e técnicas analíticas distintas, definidos principalmente pelo grau de friabilidade do substrato rochoso e pela necessidade do reconhecimento mineral.

As amostras indeformadas correspondentes ao substrato rochoso, em virtude da possibilidade de desagregação, foram impregnadas com resina Araldite GY 1109 e endurecedor HY 951 na proporção 10:1 e mais corante Azul de Ceres na proporção 3%. Foram acrescentados cerca de 5% de acetona objetivando a diminuição da viscosidade da resina para melhor penetração nas amostras. Subseqüentemente ficaram 8h sob pressão negativa, com o auxílio de uma bomba de vácuo. Após, permaneceram na estufa por cerca de 24h, com temperatura de 50°C para secagem e eliminação da acetona. Posteriormente foram laminadas e analisadas em microscopia de luz transmitida, buscando a determinação da constituição mineral e a conseqüente classificação petrográfica. Para tanto foi utilizado microscópio petroográfico de polarização marca Zeiss com 4 objetivas e uma ocular de 8x.

A constituição mineralógica e os aspectos morfométricos, como o arredondamento e a textura superficial dos grãos do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos, foram determinados, também, com o uso de lupa binocular, marca Olympus, com zoom progressivo e aumento maior de 40x. Para maior qualificação das informações, uma das oculares tanto do microscópio quanto da lupa foi frequentemente substituída por uma ocular digital de alta resolução Option TA-0124-A, visando o registro fotográfico de aspectos mineralógicos e texturais importantes.

Para uma maior segurança na determinação dos minerais, especialmente dos opacos, além da microscopia comum, foi utilizado a microscopia eletrônica de varredura. O aparelho utilizado é da marca JEOL, modelo JSM-5800 pertencente ao Centro de Microscopia Eletrônica-CME da UFRGS, que pode produzir imagens com alta resolução e ampliação significativa (de até 300.000x). Este equipamento emite finos feixes de alta energia, onde parte do feixe é refletida e coletada por detector que converte este sinal em imagem de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electrons-BSE) ou a amostra emite elétrons, produzindo uma imagem de Elétrons

Secundários (Secondary Electrons-SE). Ocorre, também, a emissão de raios X que são detectados pelo Sistema de Espectroscopia de Energia Dispersiva (Energy Dispersive Spectroscopy-EDS), que fornecem a composição química de um ponto ou região da superfície da amostra.

Para a preparação das amostras foi realizada a separação dos minerais leves e pesados dos horizontes pedogênicos e das camadas que compõem o substrato rochoso de cada perfil. Após estas frações foram montadas sobre "stubs" (porta amostras), que são pequenos (<1,0cm) cilindros de aço e posteriormente foram cobertas por uma fina camada de material condutivo (ouro), objetivando a qualificação da observação.

As amostras para difração de raios X foram preparadas de acordo com (EMBRAPA 1997). A fração argila das amostras, saprólito e solo foram analisados em lâminas orientadas. As amostras de argila foram saturadas com  $K^+$  e analisadas antes ( $K^+$  a temperatura ambiente) e após tratamentos térmicos ( $K^+$  a  $550^{\circ}C$ ), saturados com etileno glicol. O equipamento utilizado foi um difratômetro de raios X, operando com filtro de níquel. A velocidade de varredura é de  $1,2^{\circ} 2\theta \text{ min}^{-1}$ , faixa de varredura de  $3^{\circ}$  a  $45^{\circ} 2\theta$ , com tensão de aceleração de 30 Kv e corrente de 30 mA.

Por se tratar de rochas sedimentares clásticas, a classificação petrográfica aqui adotada foi baseada na proporção dos principais tipos de grãos observados em lâmina delgada (quartzo, feldspato e fragmentos de rochas), segundo Folk (1974).

Segundo esta classificação, os arenitos podem ser divididos em:

- Quartzo-arenitos- Mostram 95% ou mais, em volume, da fração detrítica constituída por quartzo. Em geral, mostram elevada maturidade mineralógica, ou seja, representam o produto final da diferenciação física e química da rocha fonte em direção aos produtos mais estáveis;

- Arcósios- Mostram 25% ou mais de feldspatos (F) e menores quantidades de fragmentos de rocha (FR). São mineralogicamente imaturos;

- Arenitos líticos- Mostram 25% ou mais de fragmentos de rocha (FR). São igualmente mineralogicamente imaturos.

As características de arredondamento estabelecidas por comparação visual, bem como o grau de seleção dos constituintes detríticos das rochas sedimentares foram baseadas em Sgarbi (2007).

## 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Buscando-se uma maneira prática e de melhor visualização na apresentação dos resultados, optou-se por apresentá-los individualmente por perfil, mas vinculando-os ao mesmo substrato rochoso. Assim, os dois primeiros perfis foram agrupados por terem sido coletados sobre os arenitos da Formação Botucatu, enquanto que os três últimos por terem sido coletados sobre os arenitos da Formação Guará.

Neste capítulo são apresentados as características inerentes as camadas rochosas e aos horizontes pedogênicos de cada perfil, identificadas como:

- Perfil Arroio Miracatu – Camadas RCr - Cr / Horizonte BC - Bt<sub>3</sub> - Bt<sub>2</sub> - Bt<sub>1</sub> - A;
- Perfil IFF Alegrete – Camadas R - Cr / Horizonte C<sub>3</sub> – C<sub>2</sub> – C<sub>1</sub> – A;
- Perfil São João I – Camadas RCr - Cr / Horizonte BC - Bi - A - Ap;
- Perfil São João II<sup>3</sup> – Camadas Cr - Cr/R / Horizonte Cr/C - Bt<sub>2</sub> - Bt<sub>1</sub> - A – Ap;
- Perfil Lagoa Verde – Camadas R - RCr / Horizonte Bi - AB - A.

### <sup>4</sup>4.1 Localização dos perfis

Os perfis (Figura 3 – Anexo A) estão geograficamente localizados nos municípios de Manoel Viana e Alegrete (Figura 2), sendo um no primeiro e quatro no segundo, respectivamente.

O Perfil Arroio Miracatu, determinado pelas coordenadas 29°35'17"S 55°25'02"W, localiza-se na margem direita da estrada que liga as sedes dos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana, cerca de 500m da ponte sobre o Arroio Miracatu. Seu substrato rochoso corresponde aos arenitos eólicos da Formação Botucatu.

O Perfil IFF Alegrete (Instituto Federal Farroupilha), determinado pelas coordenadas 20°43'46"S e 55°32'54"W, situa-se à margem esquerda da rodovia que liga o Município de Manoel Viana à Alegrete, cerca de 3km a oeste do IFF Alegrete. Seu substrato rochoso, assim como o anterior, corresponde aos arenitos eólicos da Formação Botucatu.

---

<sup>4</sup> No Perfil São João II, a inversão da sequência das camadas rochosas Cr e Cr/R deve-se ao fato do nível mais inferior do substrato rochoso mostrar-se mais intemperizado que o nível imediatamente acima.

O Perfil São João I, determinado pelas coordenadas 29°43'40''S e 55°28'32''W, situa-se na estrada vicinal que dá acesso ao Distrito de São João, município de Alegrete, cerca de 4km da rodovia RS-377 e a 33 e 16km, respectivamente, das sedes dos municípios de Alegrete e Manoel Viana. Seu substrato rochoso é constituído pelos arenitos fluviais da Formação Guará.

O Perfil São João II, determinado pelas coordenadas 29°43'54''S e 55°28'22''W, situa-se muito próximo ao perfil São João I, mais precisamente na base da mesma colina, cerca de 100m do entroncamento da estrada vicinal de acesso ao Distrito de São João com a vicinal que dá acesso à Lagoa Verde, ao sul. Seu substrato rochoso é o mesmo do Perfil São João I.

O Perfil Lagoa Verde, determinado pelas coordenadas 29°46'18''S e 55°28'17''W, localiza-se ao longo da estrada vicinal que liga o Distrito de São João à BR-290, passando pela Lagoa Verde, ao sul dos perfis São João I e II. O substrato rochoso é constituído pelos arenitos fluviais da Formação Guará.



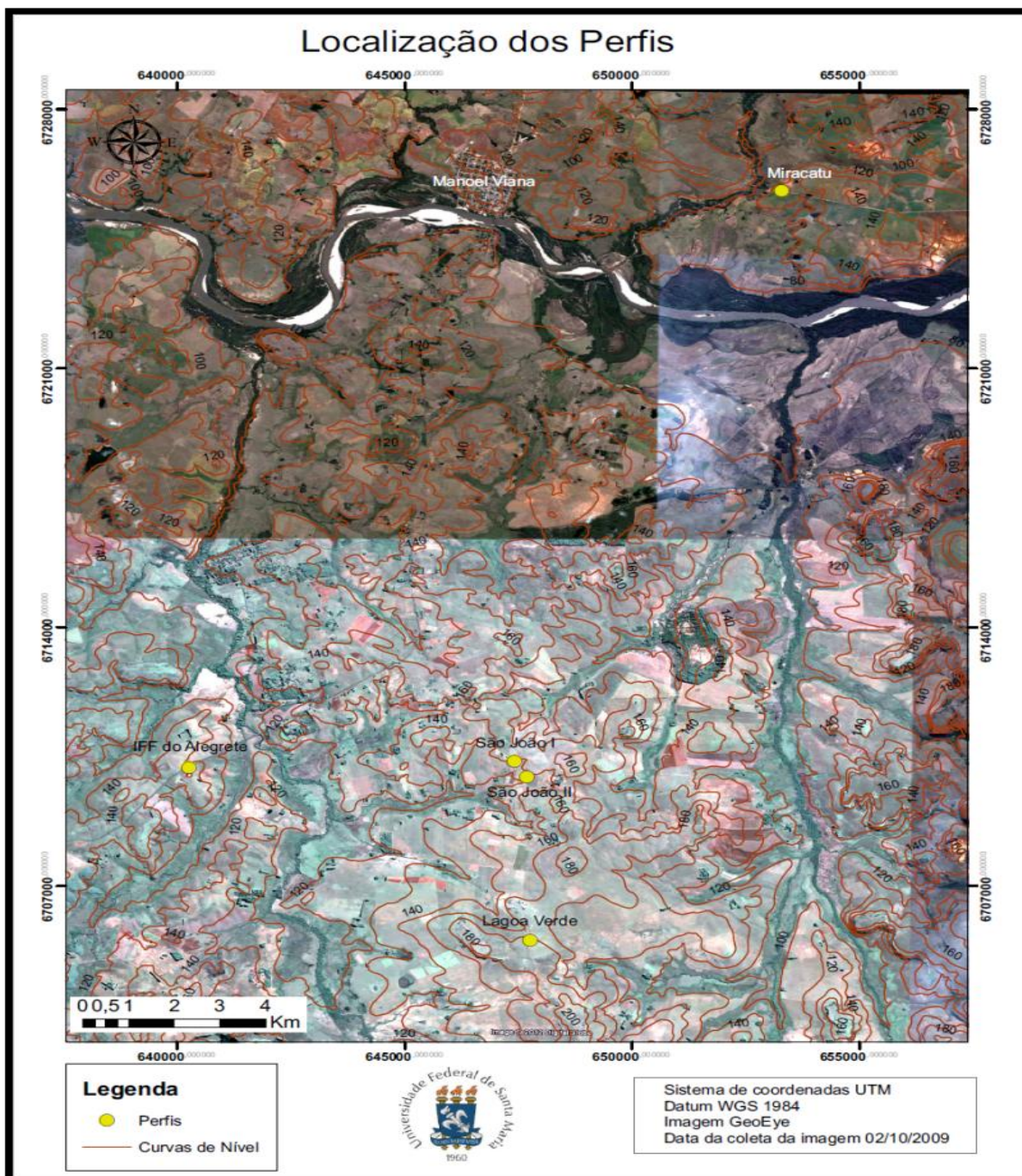


Figura 02 – Localização dos perfis.

## 4.2 Dados ambientais e taxonômicos dos perfis

Perfil	Declividade (%)	Posição paisagem	Altitude (m)	Classificação taxonômica	Coordenadas
Arroio Miracatu	5	Meia encosta	100	Argisolo vermelho	29°35'17"S 55°25'02"W
IFF Alegrete	5	Topo	120	Neossolo Quartzarênico	20°43'46"S 55°32'54"W
São João 1 (SJ1)	8	Meia encosta	150	Cambissolo Háplico	29°43'40"S 55°28'32"W
São João 2 (SJ2)	5	Encosta inferior	140	Argissolo Vermelho	29°43'54"S 55°28'22"W
Lagoa Verde (LV)	4	Topo	180	Cambissolo Háplico	29°46'18"S 55°28'17"W

Quadro 01 - Apresenta informações referentes a dados taxonômicos e ambientais dos perfis.

Em todos os perfis, por se tratar de relevo de colina, a declividade apontada refere-se à inclinação da superfície do terreno entre a parte superior do ponto de abertura da trincheira e a base da colina. Em nenhuma situação ultrapassou a 8%.

## 4.3 Perfil Arroio Miracatu

### 4.3.1 Aspectos geológicos da área do perfil

Esta área apresenta um relevo de colinas pouco convexas (<10% de inclinação) e de baixa altitude (cerca de 100m), com seu entorno pouco marcado por processos erosivos de ravinas e voçorocamentos. O perfil foi aberto sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu (Figura 04), não mais que 50m do contato com a Formação Serra Geral. As estruturas (Figura 05) cruzadas verdadeiras e uma fina estratificação, comuns e características nesta seqüência arenosa, se fazem presentes ao longo do afloramento.



Figura 04 – Perfil Arroio Miracatu.

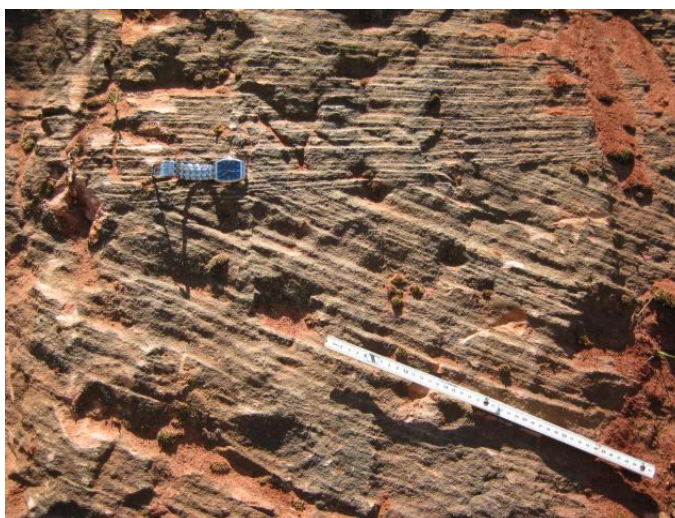


Figura 05 – Estratificação em cunha. Fm. Botucatu

#### 4.3.2 Dados granulométricos

Observando-se o (Quadro 02), nota-se que ao longo de todo o perfil, dentro do intervalo areia, predominam as classes de areia média e areia fina, com significativas variações em termos percentuais, especialmente a primeira, motivada

pelo aporte da fração silte/argila a partir do horizonte pedogênico BC. O teor de argila nas camadas rochosas oscila em 7% e de atinge seu pico de alta no horizonte Bt<sub>2</sub>, onde alcança 46,5%, diminuindo paulatinamente em direção ao topo do perfil, chegando a 16,14% no horizonte A. A fração areia fina aparece de maneira subordinada e praticamente mantém-se constante em termos percentuais, desde o substrato rochoso até o horizonte pedogênico superior. As demais frações arenosas são muito pouco representativas. Interessante notar a característica praticamente bimodal do intervalo areia nas duas camadas do substrato rochoso.

De acordo com a classificação de Lemos & Santos (1984), a textura varia desde areia nas camadas rochosas, até argila arenosa nos horizontes Bt<sub>3</sub> e Bt<sub>2</sub> e findando no horizonte A como franco arenosa.

Perfil	Cam/Horz	Profundidade/cm	Granulometria: ocorrência em % - tamanho em mm							Textura
			2a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,250	0,250 a 0,125	0,125 a 0,062	Silte	Argila	
Arroio Miracatu	A	0 - 20,0	0,09	1,03	25,04	29,92	11,06	16,72	16,14	Fr.Aren*.
	Bt <sub>1</sub>	20,0 - 55,0	0,13	0,85	20,29	26,26	10,94	10,59	30,94	Fr.Arg.Ar**.
	Bt <sub>2</sub>	55,0 -100,0	0,37	0,65	12,46	20,72	9,18	10,12	46,5	Arg.Aren***.
	Bt <sub>3</sub>	100,0 -150,0	0,18	0,59	16,2	21,2	9,46	11,98	40,37	Arg.Aren.
	BC	150,0 - 210,0	0,31	0,82	18,65	23,85	9,11	11,15	36,11	Fr.Arg.Ar
	Cr	210,0 - 240,0	0	1,09	56,36	21,8	11,81	2,02	6,91	Areia
	RCr	240,0 - 400,0	0,03	8,21	48,58	23,36	9,76	2,6	7,45	Areia

\*Franco Arenosa; \*\*Franco Argila Arenosa; \*\*\*Argila Arenosa.

Quadro 02 – Distribuição granulométrica das camadas rochosas e horizontes pedogênicos do Perfil Arroio Miracatu – Argissolo Vermelho.

#### 4.3.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

O substrato rochoso, aqui considerado, inclui as camadas RCr e Cr. A parte inferior deste substrato, que corresponde à camada RCr diz respeito a uma rocha sedimentar clástica, que varia de moderadamente a bem selecionada. Quando vista em lâmina delgada orientada, mostra-se claramente laminada, com intercalações de finas lâminas de clastos grosseiros ( $<1,0 >0,250\text{mm}$ ) e finos ( $<0,250\text{mm}$ ), sempre de modo paralelo (Figura 06).

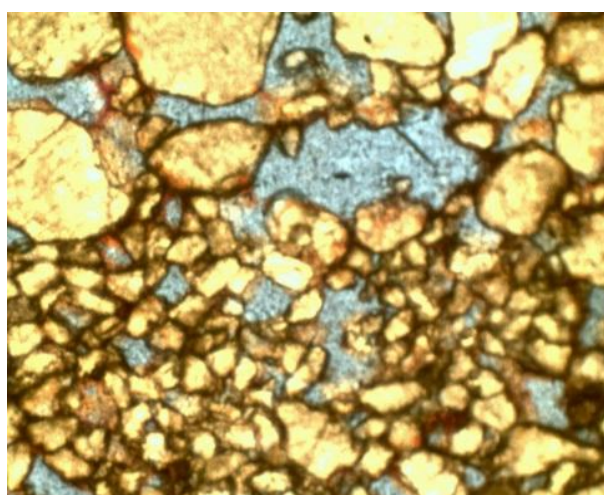


Figura 06 – Fotomicrografia de estrutura laminada por variação granulométrica. Camada RCr – Microscopia de polarização LN – 80x.

Os grãos são constituídos na sua quase totalidade por quartzo monocristalino, em geral pouco fraturados, reconhecidos microscopicamente pela ausência de clivagem, baixa birrefringência, por vezes extinção ondulante e por apresentar, quando em luz convergente, características uniaxiais positivas. Completam a mineralogia pesados como a magnetita titanífera (Figura 07/Gráfico 02), raros zircões (Figura 08/Gráfico 03) e o rutilo (Figura 09/Gráfico 04), identificados composicionalmente na microscopia eletrônica de varredura. Interessante observar a presença de nióbio na na estrutura do rutilo, onde aparece substituindo o titânio por similaridade de raio iônico (Deer, Howie & Zussman, 1965). A magnetita além de ser identificada pela composição, o foi também por seu hábito cúbico (Figura 07/Gráfico 02). Não foram identificados feldspatos e nem fragmentos de rochas.

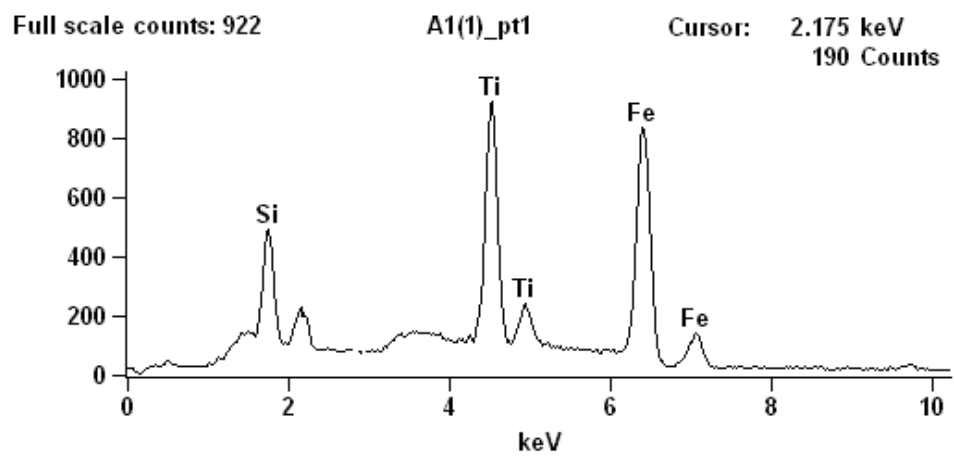
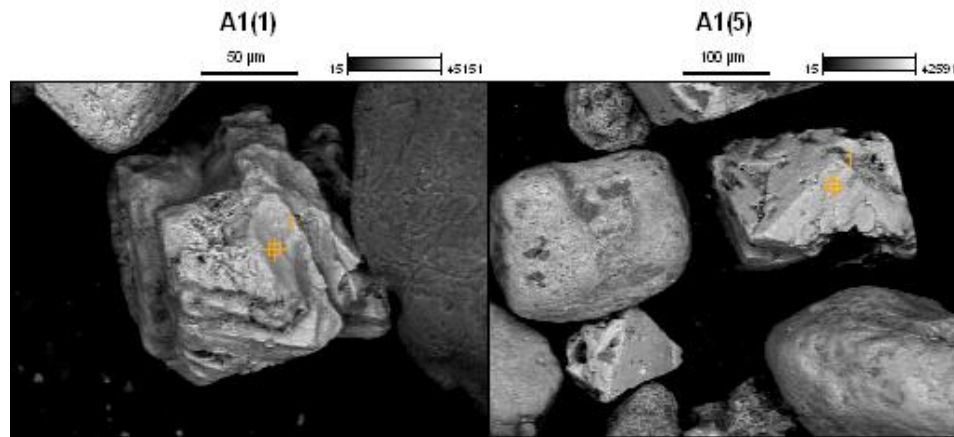
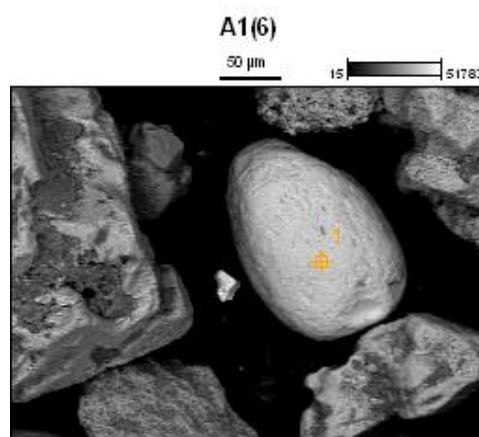


Figura 07/Gráfico 02 – Fotomicrografias de dois cristais de magnetita titanífera /Gráfico composicional: Fe= 54,96%, Ti=31,22, Nb=5,48%. Camada rochosa RCr – MEV.



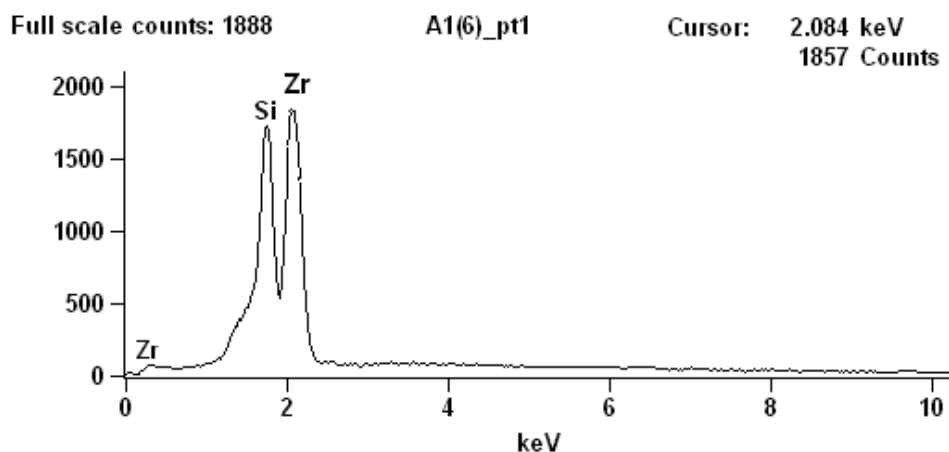


Figura 08/Gráfico 03 – Fotomicrografia de clasto de zircão. Gráfico composicional: Zr=77,88%, Si=22,12%. Camada rochosa RCr – MEV.

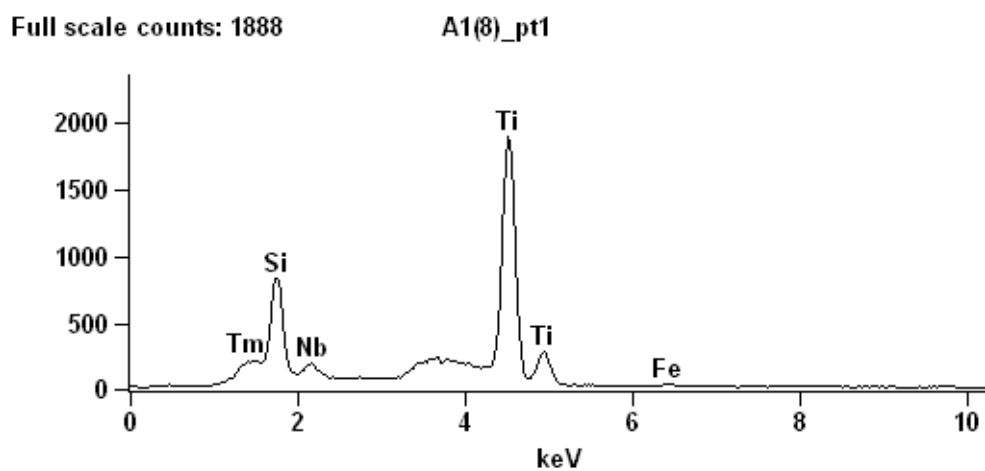
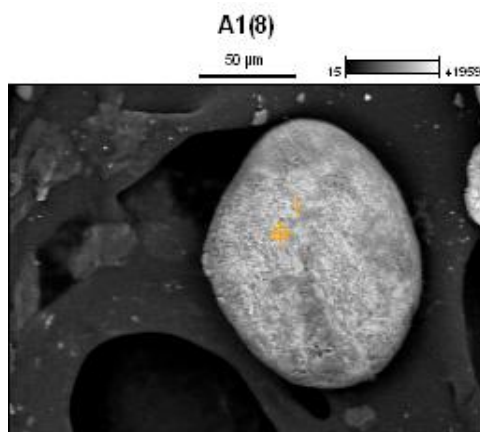


Figura 09/Gráfico 04 – Fotomicrografia de clasto de rutilo. Gráfico composicional: Ti=80,39%, Nb=3,77%, Fe=1,27%. Camada rochosa RCr - MEV



Completam a constituição mineralógica, só que na fração argila, a caulinita (7,13 – 3,56 – 2,37Å) e traços de hematita (2,68 – 2,51 Å), determinadas por difração de raios-X (Gráfico 05).

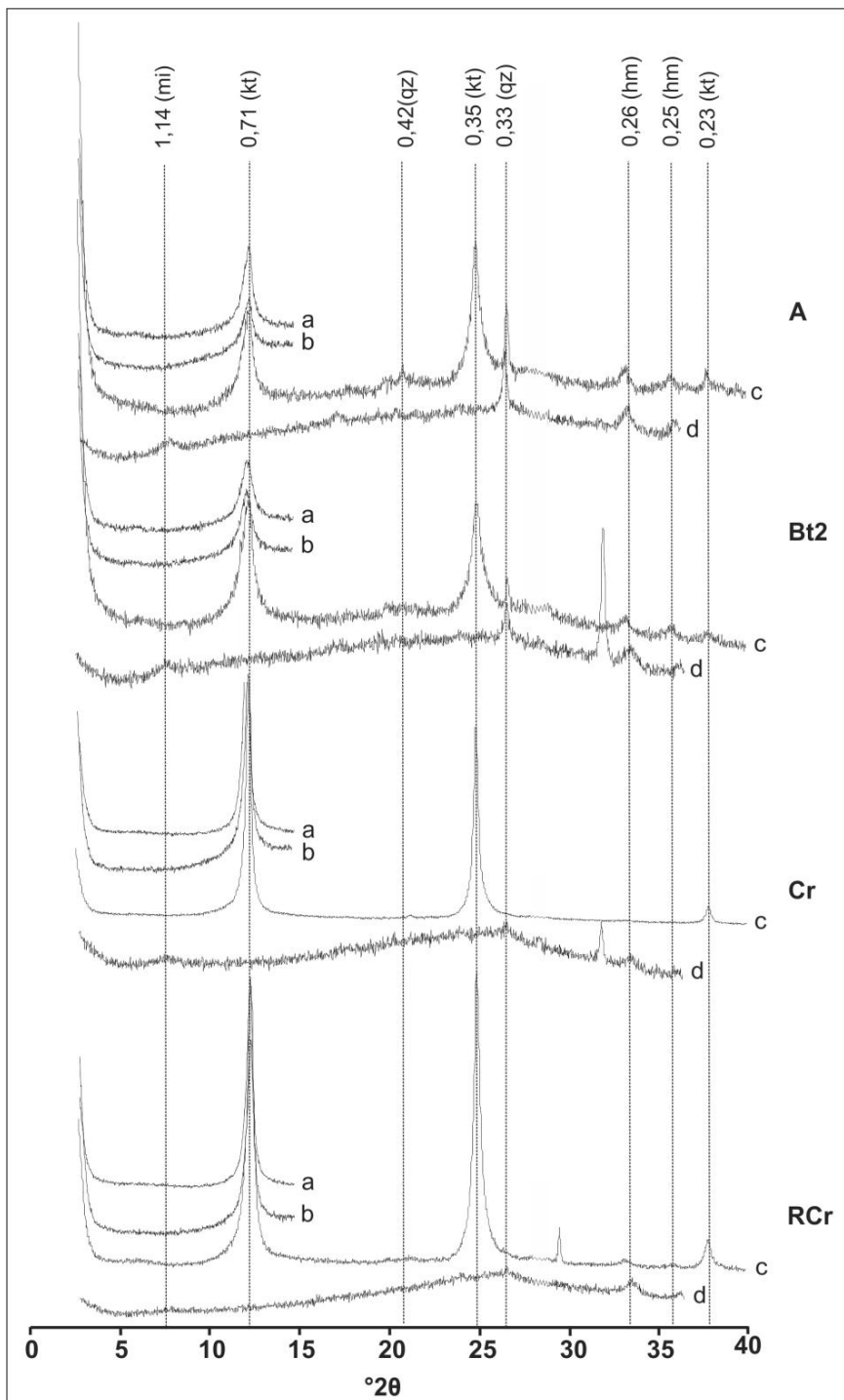


Gráfico 05 - Difratometria de raios X da fração argila; a= Mg a 25°C; b= Mg + etileno glicol; c= K a 25°C, d= K 550°C. Simbologia utilizada: mi= Mica; Kt= Caulinita; qz= Quartzão; hm= Hematita. Perfil Arroio Miracatu.

Alguns clastos mostram recobrimento parcial de uma fina película de material argiloso. Quando depositada entre grãos, é identificada ao microscópio de polarização pela baixa birrefringência e por sua distribuição irregular entre os mesmos. Já na microscopia de varredura, a identificação é feita pela característica composicional e distribuição irregular sobre grãos. Da mesma maneira que argila, muitos clastos mostram bordos e fraturas revestidos por óxido de ferro, este reconhecido em luz natural (microscopia) por suas tintas de coloração avermelhadas e macroscopicamente pelo aspecto vermelho amarelado que impõe aos clastos de quartzo.

Esta camada, com características granulométricas praticamente bimodal, é constituída no intervalo areia pelas frações areia média e areia fina, subordinadamente pelas frações areia muito fina e grossa (Figura 10). Quanto ao retrabalhamento, os clastos tendem a ser mal trabalhados em direção aos de menor diâmetro, onde predominam os sub-angulares a angulares e arredondados na fração areia grossa.

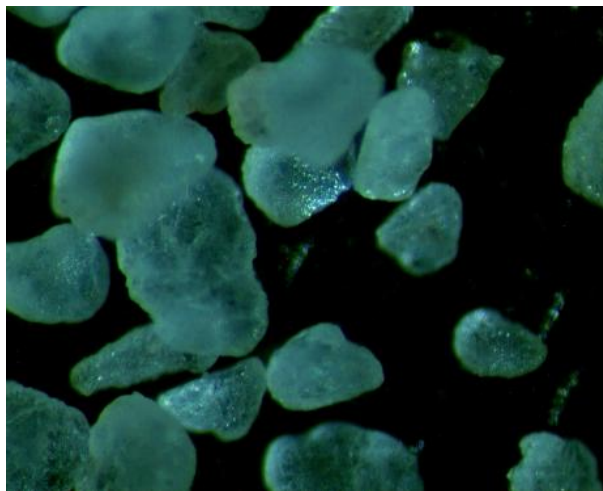


Figura 10 – Retrabalhamento de clastos de quartzo. Camada rochosa RCr – Lupa 35x.

As frações silte/argila são pouco representativas e não chegam a constituir uma matriz típica. Em termos de alteração e de participação alóctone, a camada já mostra sinais incipientes representados pela presença de óxido de ferro como revestimento e preenchimento de fraturas em clastos.

Quanto a classificação petrográfica, a elevada presença do intervalo granulométrico areia constituído predominantemente por quartzo, sem feldspatos e

fragmentos de rochas, permite classificar a rocha, segundo Folk (1974) como quartzito arenoso. Assim sendo, trata-se de uma rocha mineralogicamente simples, com os clastos cimentados em geral por sílica e com elevada maturidade mineral.

Já a camada Cr diz respeito a um estágio pouco mais avançado de alteração intempérica, representado pela destruição total do aspecto laminar verificado na camada subjacente RCr, o que empresta à rocha um aspecto de melhor seleção granulométrica, embora um menor aporte de óxido de ferro. A mineralogia continua formada por clastos de quartzo com praticamente a mesma distribuição granulométrica da camada inferior RCr, bem como por rutilo e magnetita titanífera. Na fração argila aparece somente caulinita (7,13 – 3,56 – 2,37 Å). A morfometria dos clastos nesta camada não varia em relação à camada subjacente.

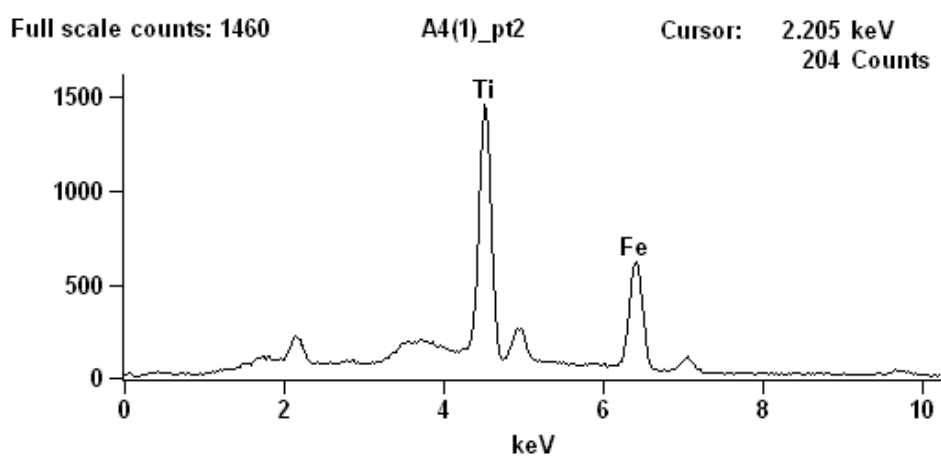
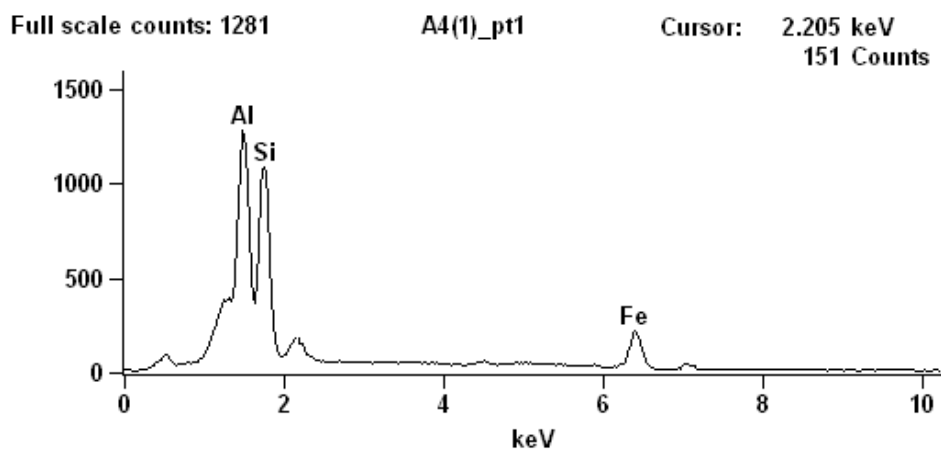
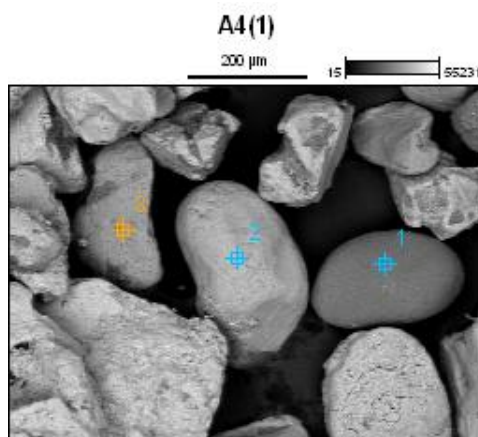
#### 4.3.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos

##### 4.3.4.1 Horizonte BC

As frações granulométricas tamanho areia mais significativas deste horizonte são a areia média e a areia fina e de maneira subordinada a areia muito fina. Nesta passagem do substrato rochoso para os horizontes pedogênicos ocorreu um aporte significativo da fração argila, que passou de um valor entorno de 7% para cerca de 36,11%, concomitante com a perda da fração areia média, que passou de 56,36% para 18,65%. No intervalo areia, a mineralogia é dominada por quartzo monocristalino, hialino, as vezes com textura superficial fosca. Na fração areia fina e muito fina ocorre uma maior concentração de minerais pesados, representados por rutilo, ilmenita, pouca magnetita (Figura 11/Gráfico 06) e pela presença de manganês sob forma de psilomelano ( $\text{Ba Mn}^2 \text{Mn}^4_8 \text{O}_{16}(\text{OH})_4$ ), determinado por sua composição e por seu hábito botrioidal (Figura 12/Gráfico 07).

Por outro lado, na fração argila já aparece de maneira significativa caulinita (7,13 – 3,56 – 2,37 Å) e hematita (2,68 – 2,51 Å), o que corroborada pelo também aumento significativo da concentração de alumínio e ferro, respectivamente, bem como o aparecimento de mica (9,8 Å) e de argila expansiva (13,5 Å). A argila possivelmente encontra-se revestindo alguns clastos, como por exemplo a magnetita titanífera (Figura 11/Gráfico 06/pt.1) Nas frações mais grosseiras são encontrados

raros agregados de quartzo de granulação mais fina, cimentados por óxido de ferro (Figura 13).



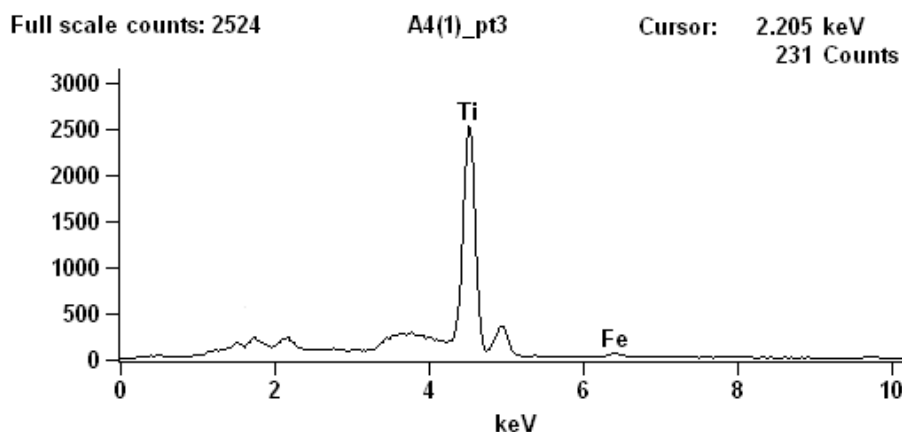


Figura 11/Gráfico 06 – Fotomicrografía de clastos de magnetita titanífera (pt1) recoberto por argila, ilmenita (pt2), rutilo (pt3). Gráfico composicional: (pt1): Fe=21,88%, Ti=1,63%, Nb=11,51%, Si=37,15%, Al=27,82% (pt2): Ti=53,39%, Fe=41,38%, Nb=5,23% (pt3): Ti=90,19%, Fe=3,37%, Nb=3,80% - Horz. BC – MEV

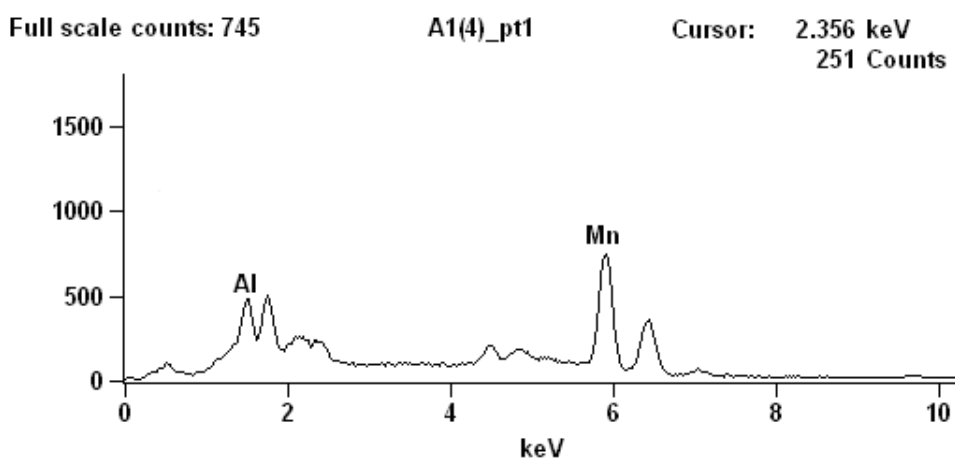
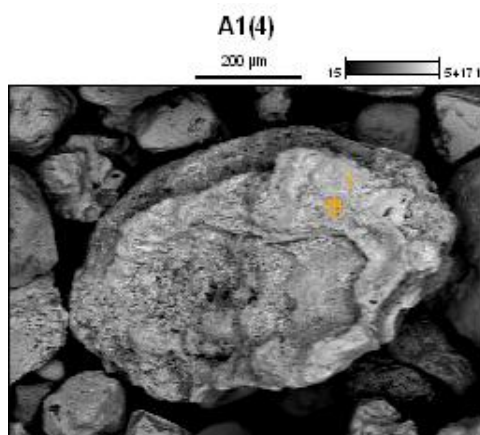


Figura 12/Gráfico 07 – Fotomicrografía de clasto de psilomelano botrioidal. Gráfico composicional: Mn=44,7%, Fe=18,8%, Ba=8,32%. Horz. BC – MEV



Figura 13 – Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro.Horz. BC. Fração areia grossa. Lupa – 40x

Em termos de arredondamento, os clastos da fração areia muito grossa são sub-arredondados a arredondados. Já a partir da fração areia grossa, além dos clastos sub-arredondados aparecem uma grande quantidade de clastos mal retrabalhados, com características sub-angulares a angulares, parecendo indicar mais de uma área fonte. A mesma situação repete-se na fração areia média. As frações fina e muito fina são predominantemente angulares, embora os clastos maiores dentro do intervalo granulométrico possam mostrar maior arredondamento (Figura 14).

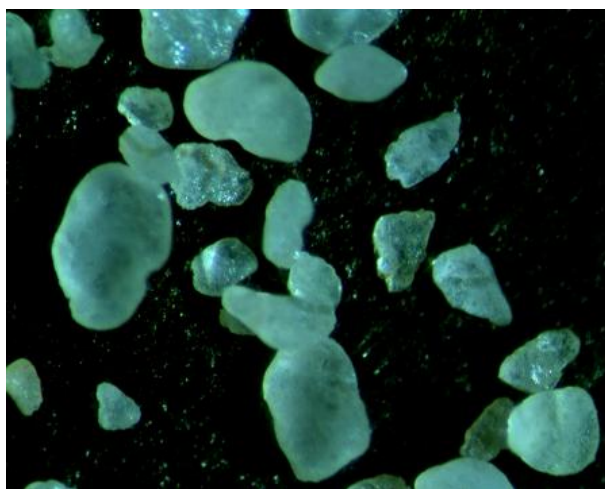


Figura 14 – Clastos arredondados na fração areia média e angulares na fração areia fina. Horz.BC – Lupa 35x

#### 4.3.4.2 Horizonte Bt<sub>3</sub>

Da mesma forma que o anterior, este horizonte é constituído granulometricamente pelas frações areia média e areia fina, que dominam o intervalo areia, porém com mais um aumento no teor de argila, que passou de 36,11% para 40,37%, alterando deste modo a classificação textural do horizonte que passa de franco argilo arenosa para argilo arenosa.

A mineralogia é predominante quartzosa monocristalina, hialina e com textura fosca em muitos grãos. Nas frações areia fina e muito fina tem-se uma concentração de minerais pesados, representados por rutilo, ilmenita (Figura 15/Gráfico 08) e pouca magnetita. A fração argila é constituída por caulinita (7,13 – 3,56 – 2,37Å) e por hematita (2,68 – 2,51Å). O argilo mineral, por vezes, preenche cavidades de alguns grãos minerais (Figura 16/Gráfico 09/pts. 1 e 2). Nas frações mais grossas são encontrados agregados de quartzo de diâmetro menor, cimentados por óxido de ferro.

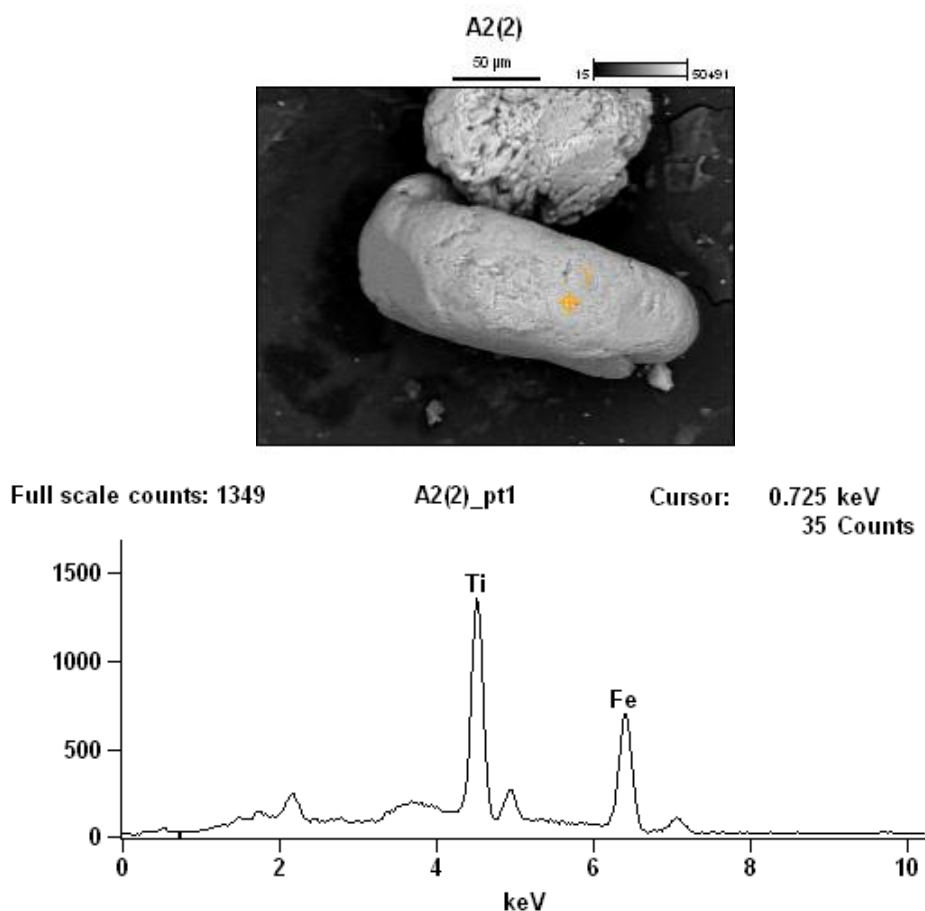


Figura 15/Gráfico 08 – Fotomicrografia de clasto de ilmenita/ Gráfico composicional: Ti=48,57, Fe=45,75%, Nb=4,93%. Horz. B<sub>3</sub> - MEV

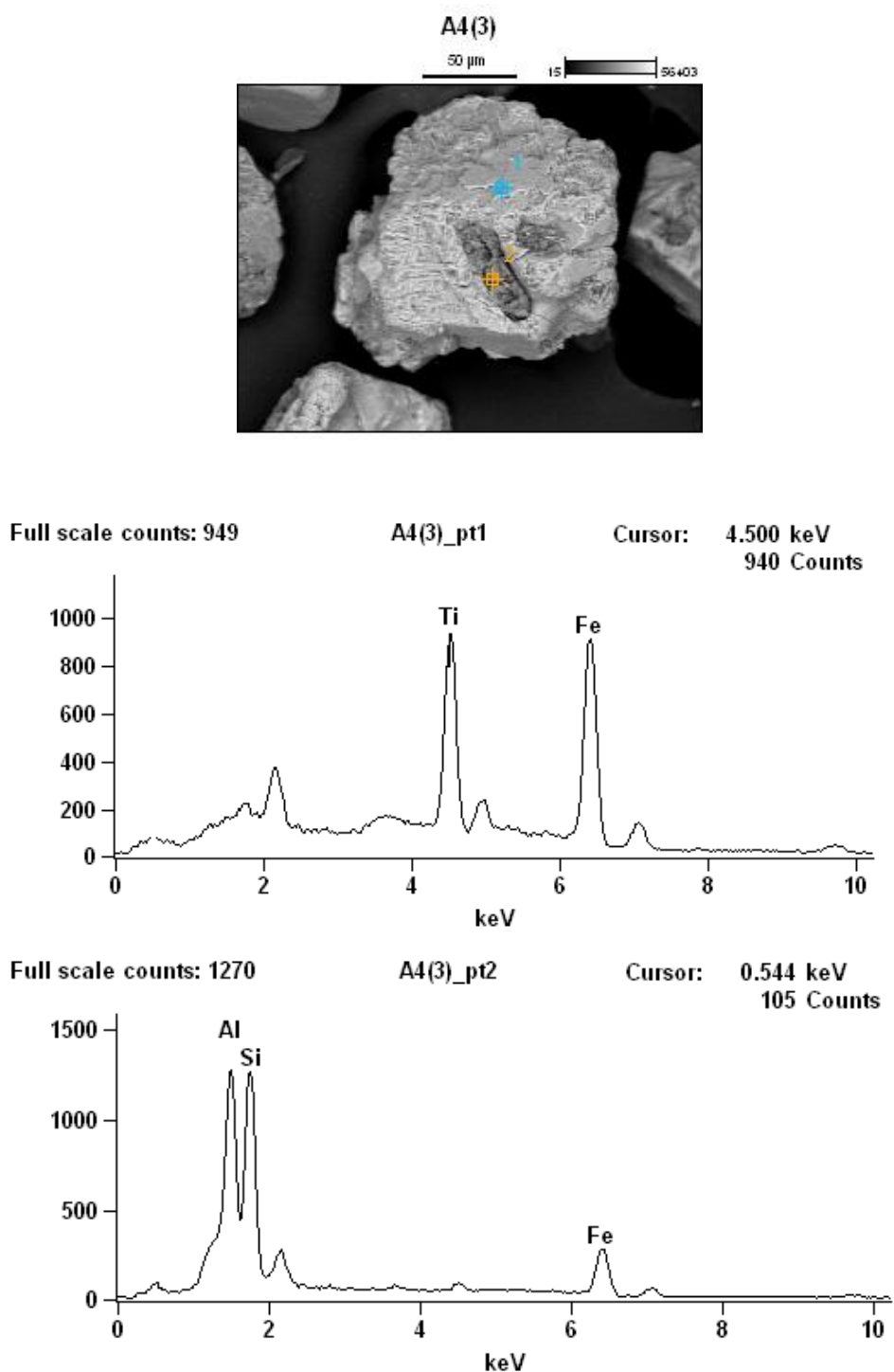


Figura 16/Gráfico 09 – Fotomicrografia de clasto de manetita titanífera (pt1) com cavidade preenchida por argila (pt2). Gráfico composicional: (pt1):Fe=56,14%, Ti=33,20%, Nb=8,74% (pt2): Si=34,65%, Al:24,81%. Horz.B<sub>3</sub> – MEV.



O grau de retrabalhamento é variável, onde as frações grossas, pouco representativas, são em geral arredondadas a sub-arredondadas, tornando-se menos retrabalhados em direção às frações granulométricas mais finas.

#### 4.3.4.3 Horizonte Bt<sub>2</sub>

Este horizonte não difere muito, tanto em termos granulométricos, quanto em termos mineralógicos e de grau de retrabalhamento, do horizonte subjacente Bt<sub>3</sub>. A mineralogia é constituída por quartzo, rutilo, magnetita e ilmenita. É relevante salientar que neste horizonte ocorre o pico mais negativo da fração areia média (12,46%), concomitante com o pico mais positivo da fração argila (46,5%), que da mesma forma que o horizonte anterior é constituído por caulinita e hematita (Gráfico 05). Texturalmente, o horizonte mantém-se classificado como argilo arenoso.

#### 4.3.4.4 Horizonte Bt<sub>1</sub>

Em relação ao horizonte anterior, este não apresenta modificações significativas, a não ser o crescimento do percentual das frações areia média e areia fina. Concomitante ocorre a redução da fração argila esta constituída por caulinita e hematita, que faz com que a classificação textural do horizonte passe de argilo arenoso para franco argilo arenoso.

#### 4.3.4.5 Horizonte A

Neste horizonte, a fração areia torna-se mais representativa, perfazendo um total de quase 70%. As frações areia média e areia fina mantém-se como as mais significativas e a fração argila, constituída por caulinita e hematita (Gráfico 05) reduz-se a 16,14%, fazendo com que a classificação textural do horizonte passe de franco argilo arenoso para franco arenoso. A mineralogia mantém-se quartzosa, tendo como acessórios rutilo, magnetita e ilmenita. Acrescenta-se novamente a ocorrência de psilomelano como no horizonte BC.

#### 4.3.4.6 Características químicas do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos

Embora o Zr e o B sejam elementos químicos fundamentais na composição química do zircão e da turmalina, respectivamente, as concentrações de ambos por serem muito baixa ao longo de todos os horizontes, não foram detectadas na análise. Os demais elementos Na, Ca, P e K foram desconsiderados pela possibilidade de apresentarem valores anômalos, oriundos de correção/adubação de solo, visto algumas áreas terem sido antigas lavouras ou mesmo atuais ou por apresentarem concentração insignificante como o sódio.

	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Mn
RCr	219397	12000	3701	446	87	62
Cr	448086	11000	2969	517	98	11
BC	211457	44000	25659	5980	601	2611
Bt3	207636	49000	27649	5919	796	175
Bt2	198000	58451	30702	5835	811	177
Bt1	213000	36708	20244	4403	578	148
A	468642	23418	19845	4209	2058	337

Quadro 03 – Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte do Perfil Arroio Miracatu. Valores expressos em micrograma por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Observando-se o (Quadro 03), nota-se que o silício, elemento mais abundante no perfil, tem dois picos de alta, um na camada Cr e outro no horizonte A. Já o titânio, a partir dos horizontes pedogênicos, mostra elevada concentração, sobremaneira nos horizontes BC, Bt<sub>3</sub> e Bt<sub>2</sub>, diminuindo em direção ao topo do perfil.

O alumínio e o ferro, em termos de concentração, acompanham proporcionalmente a elevação do titânio ao longo dos mesmos horizontes. Embora o mesmo aconteça com o magnésio, este mostra um pico de alta no horizonte A, possivelmente vinculado, em parte, a procedimentos de correção de pH do solo, visto o quadro químico/mineral não justificar tal crescimento anômalo.

O manganês inicia, tal como o magnésio, baixo no substrato rochoso e mostra dois picos de alta, um no horizonte BC e outro no A. Em suma, os cinco elementos considerados, praticamente apresentam as maiores concentrações nos mesmos

horizontes intermediários, o que é refletida na mineralogia presente tanto nos acessórios das frações areia fina e muito fina, quanto na fração argila.

#### 4.4 Perfil IFF Alegrete

##### 4.4.1 Características geológicas da área do perfil

O relevo local é composto de colinas pouco convexas (< 5% de inclinação) e a altitude oscilando entre 100 e 150m, em geral apresentando afloramentos do tipo lajeado.

O perfil (Figura 17) foi aberto sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu na cota 120m, no terço superior de uma coxilha suave, cuja o topo alcança 140m. Como anteriormente comentado, a área de exposição da Formação Botucatu acompanha de maneira grosseiramente paralela os contornos das vulcânicas básicas da Formação Serra Geral, do qual pouco se afasta. Portanto, a Formação Botucatu na área do perfil tem como limite sul e oeste as vulcânicas em uma cota levemente superior e a norte e a leste os arenitos da Formação Guará, que em muitas situações, devido a processos tectônicos, ficam realçados em relação a ela.



Figura 17 – Perfil IFF Alegrete

#### 4.4.2 Dados granulométricos

Observando-se o (Quadro 04) e o (Gráfico 10), nota-se que o intervalo granulométrico areia domina os constituintes do substrato rochoso e de todos os horizontes pedogênicos, com variações percentuais, em geral, pouco significativas. As frações areia mais representativas ao longo de todo o perfil são a areia média, a fina e a muito fina. A primeira é a única que, em termos gerais, mostra um declínio em direção ao topo do perfil. As outras duas oscilam, respectivamente, de valores 15,51% e 22,34%, na base do substrato rochoso, a 21,21% no horizonte C<sub>1</sub> e 23,68% no horizonte C<sub>2</sub>. A percentagem de argila que no substrato rochoso gira em torno dos 13%, o que lhe confere a característica textural de areia franca, segundo Lemos & Santos (1984), diminui em direção aos horizontes pedogênicos, passando no horizonte C<sub>1</sub> à textura areia, voltando à areia franca no horizonte A, quando atinge pouco mais de 11%. A fração silte, de todas as frações, proporcionalmente é a única que tem forte pico positivo no horizonte A, onde atinge acima de 19%. Nos demais horizontes e no substrato rochoso oscila entre 4% e 6%.

Perfil	Cam/Horz	Profundidade/cm	Granulometria: ocorrência em % - tamanho em mm							Textura
			2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,250	0,250a 0,125	0,125 a 0,062	Silte	Argila	
IFF Alegrete	A	0 - 18,0	0	0,2	29,09	19,12	20,75	19,24	11,59	Are.Fr*.
	C <sub>1</sub>	18,0 - 50,0	0	0,24	36,95	25,21	23,02	5,47	9,1	Areia
	C <sub>2</sub>	50,0 - 85,0	0	0,2	35,44	23,58	23,68	6,89	10,21	Are.Fr.
	C <sub>3</sub>	85,0 - 115,0	0,57	0,3	36,29	24,48	22,07	6,58	9,7	Are.Fr.
	Cr	115,0 - 130,0	0,12	0,17	44,77	18,36	17,27	5,61	13,68	Are.Fr.
	R	130,0 - 200,0	0	0,18	44,66	15,51	22,34	4,25	13,18	Are.Fr.

\* Areia Franca.

Quadro 04 – Distribuição granulométrica do Perfil IFF Alegrete. Neossolo Quartzarênico.

#### 4.4.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

O substrato rochoso aqui considerado, formado pelas camadas R e Cr, constitui uma rocha sedimentar clástica que na camada R, quando vista ao microscópio, mostra uma laminação aproximadamente definida, com bandas de areia média intercaladas com bandas de areia fina a muito fina (Figura 18). Os clastos da fração areia muito fina, além de se posicionarem em lâminas, por vezes ocupam espaço entre grãos maiores, comportando-se como matriz. Pode ser considerada bem selecionada com caráter bimodal, comum em sedimentos eólicos.

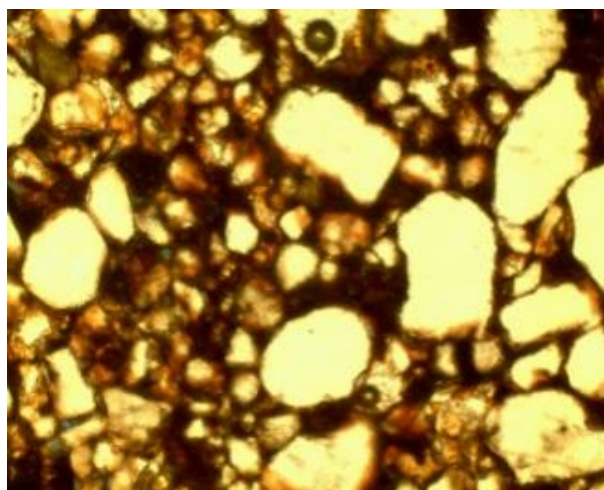


Figura 18 – Fotomicrografia de laminação por variação granulométrica. Fm.Botucatu. Camada R – Microscopia de polarização - LN 35x.

A mineralogia é constituída na sua quase totalidade por quartzo monocristalino, com raros feldspatos, sem fragmentos de rochas e por minerais acessórios pesados como zircão, rutilo (Figura 19) e magnetita, esta proporcionalmente abundante. O quartzo foi reconhecido ao microscópio de polarização pela ausência de clivagem, baixa birrefringência e seu caráter uniáxico positivo quando em luz convergente. A magnetita foi reconhecida por ser opaca e por apresentar hábito cúbico/octaédrico, tanto na microscopia de polarização, quanto na microscopia de varredura (Figura 20), enquanto que o zircão o foi pela sua forma tetragonal, alto relevo, birrefringência elevada e extinção reta na microscopia de polarização e por sua característica composicional na microscopia de varredura (Figura 21/Gráfico11/pt.2).

O rutilo por foi reconhecido na microscopia de polarização pelo seu alto relevo e cor castanho avermelhada, levemente pleocróico em luz natural e por suas características composicionais no microscópio de varredura (Figura 22/Gráfico 12). Tanto o rutilo quanto o zircão foram também identificados macroscopicamente. O primeiro por seu brilho adamantino e cor castanho avermelhada e o segundo por seu aspecto cristalino, cor castanho esverdeado e por seu brilho adamantino (Figura 19).

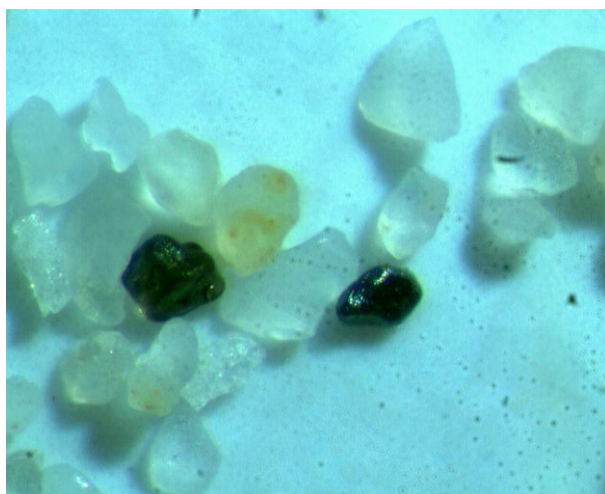


Figura 19 – Clastos de zircão (esq.) e rutilo (dir.). Camada R. Fração areia fina. Lupa 35x.

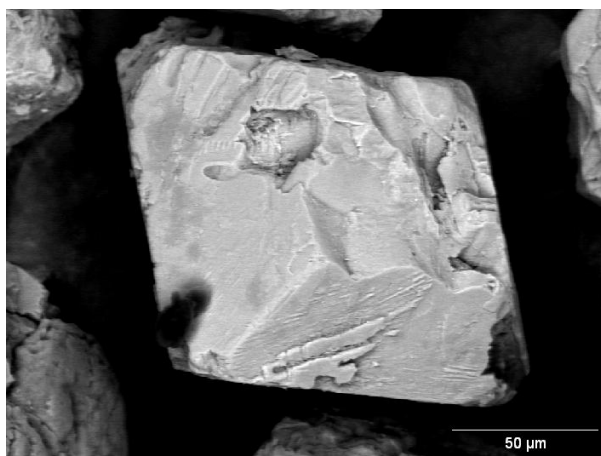


Figura 20 – Fotomicrografia de clasto de magnetita octaédrica. Camada R – MEV

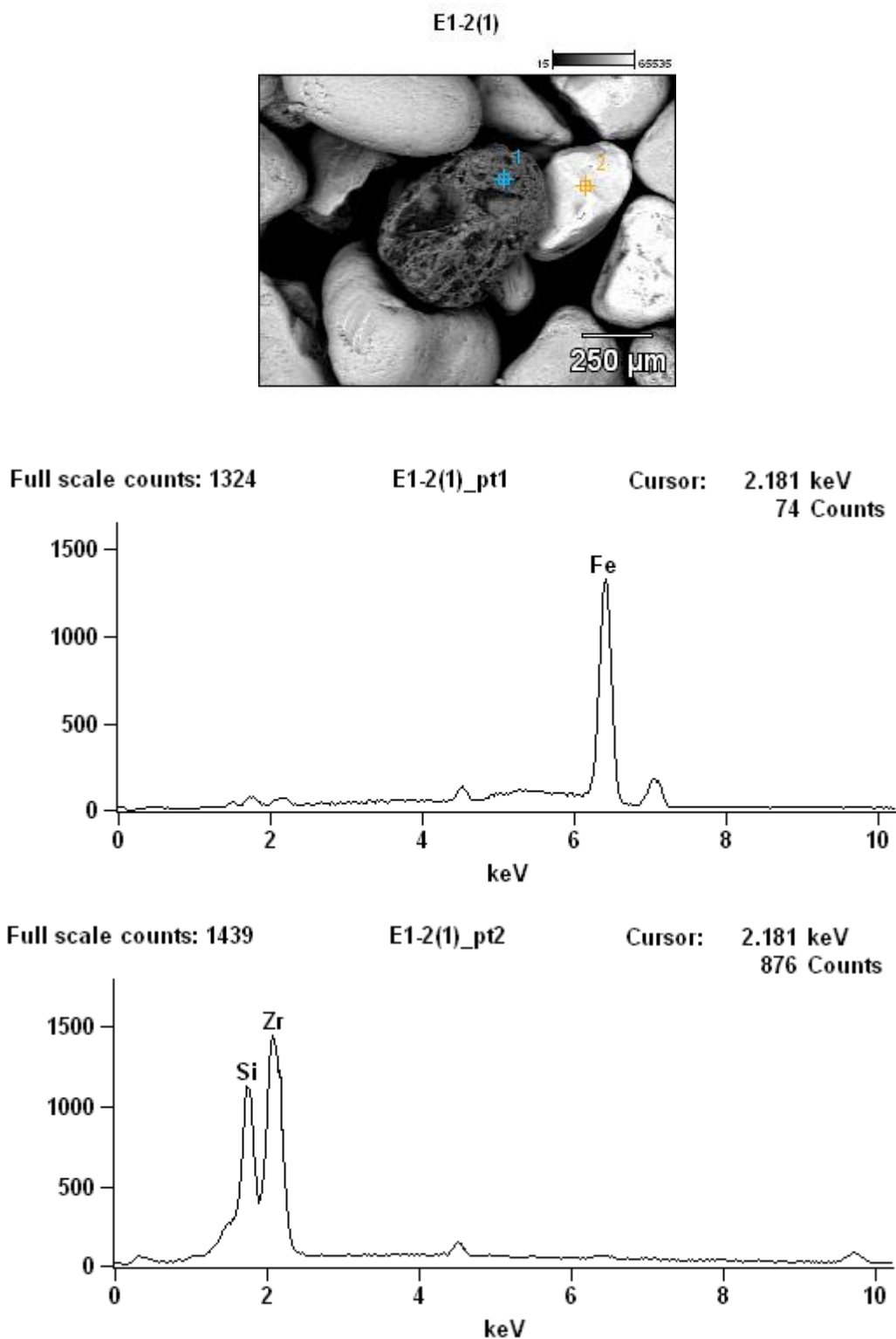


Figura 21/Gráfico 11 – Fotomicrografia de clastos de magnetita titanífera (pt1) e zircão (pt2). Gráfico composicional: (pt1): Fe=94,34%, Ti=3,33% (pt2): Zr=75,21%, Si=19,85%. Camada R – MEV



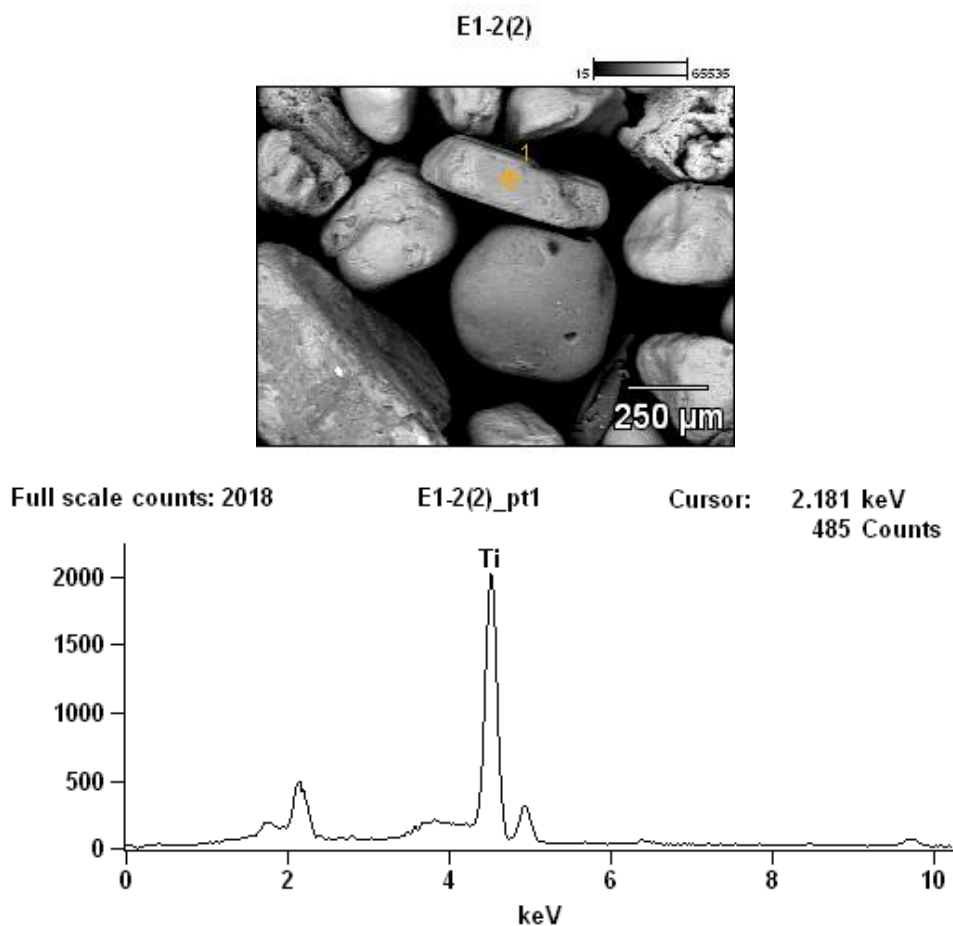


Figura 22/Gráfico 12 – Fotomicrografia de clasto de rutilo. Camada R – MEV

Completam ainda a mineralogia, a presença na fração argila de caulinita (7,13 – 3,56 Å), quartzo (4,25 – 3,34 Å), hematita (2,68 – 2,51 Å) e argila 2:1 possivelmente esmectita, visto que no tratamento Mg + glicerol acusou (17,0 Å) (Gráfico 13). É frequente a presença da fração argila recobrando parcialmente clastos de quartzo ou até mesmo de alguns minerais pesados (Figura 23/Gráfico 14).

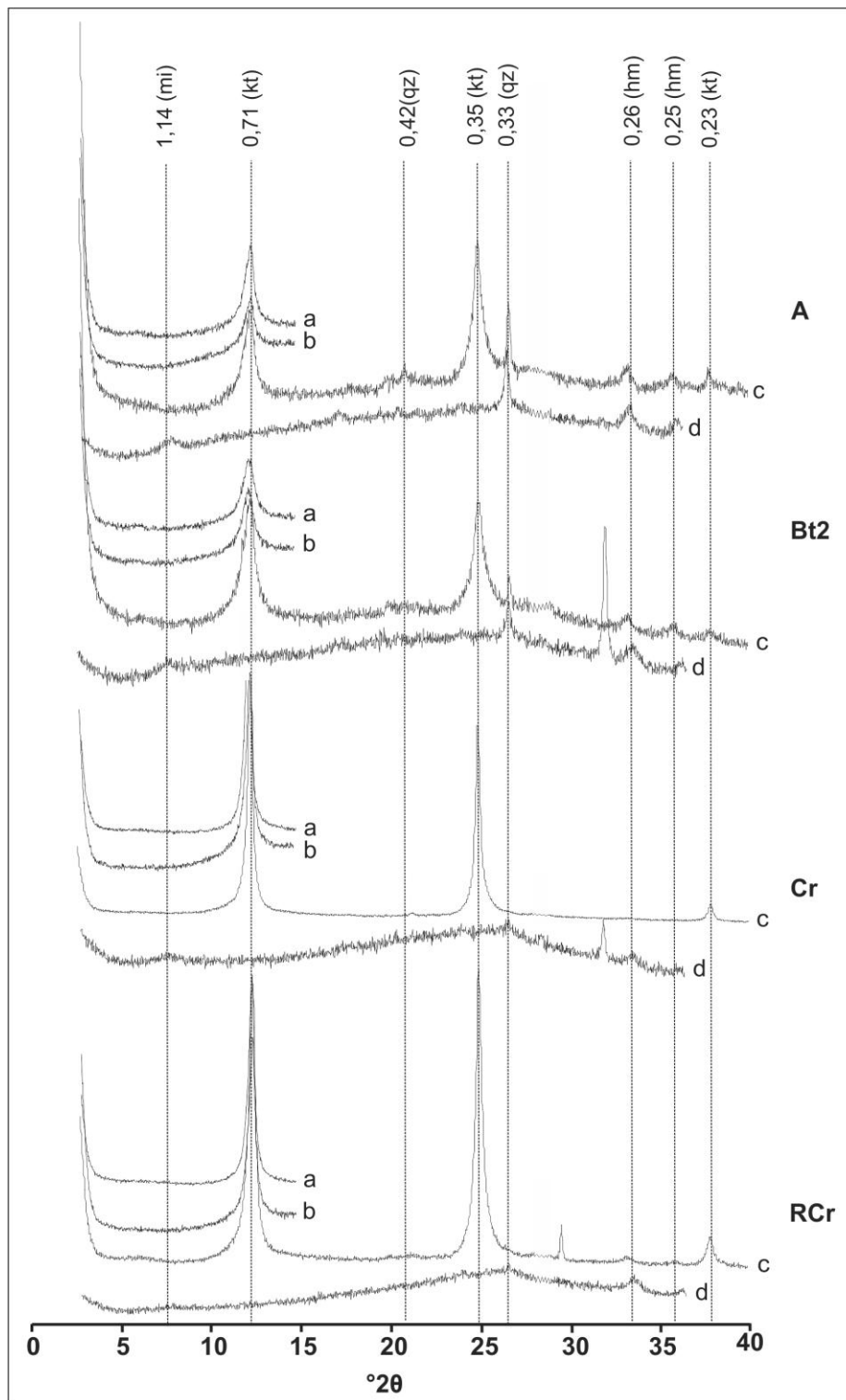


Gráfico 13 - Difractometria de raios X das argilas. a=Mg a 25°; b=Mg+etileno glicol; c=K a 25°C; d=K 550°. Simbologia utilizada: sm= Esmeclita; Kt= Caulinita; qz= Quartzo; hm= hematita. Perfil IFF Alegrete.

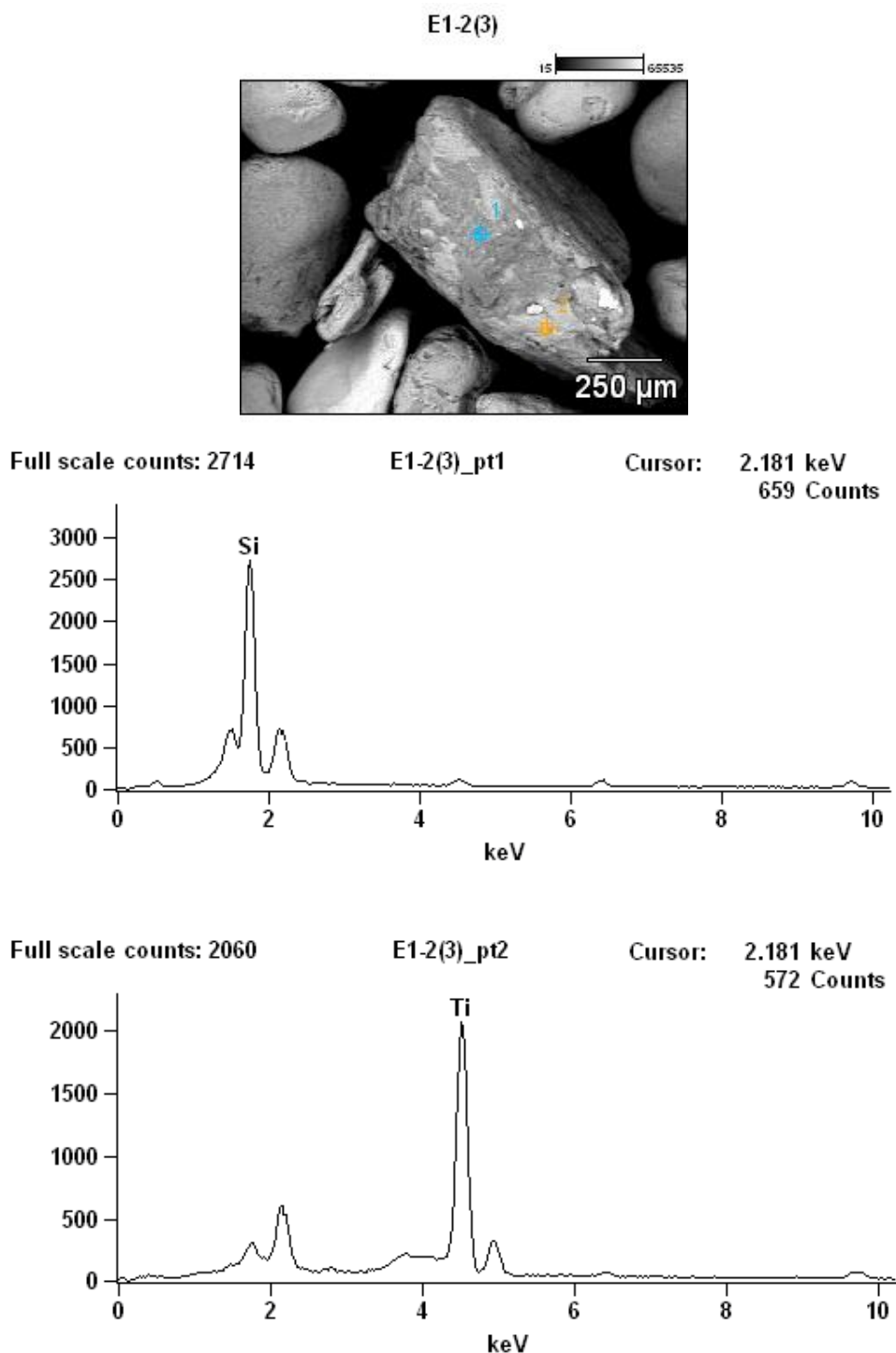


Figura 23/Gráfico 14 – Fotomicrografia de clasto de rutilo (pt2) recoberto por argila (pt1). Gráfico composicional: (pt2): Ti=92,85%, Fe=2,63% (pt1): Si=73,43%, Al=10,92%. Camada R – MEV.

Em razão do maior percentual da fração argila associada a raros feldspatos, faz com que o substrato rochoso, segundo Folk (1974), possa ser enquadrado como um quartzito-arenito já na passagem para sub-arcócio.

A camada rochosa superior Cr, embora preserve ainda a estrutura laminada original, já mostra registro de atividade alóctone representada pela presença de cimento de óxido de ferro, possivelmente hematita (Gráfico 13), que pouco expressivo na camada rochosa subjacente acha-se agora cimentando agregados de grãos mais finos de quartzo, bem como revestindo bordas de clastos ou mesmo precipitando-se entre eles. Corrobora esta atividade alóctone, a presença de sílica como cimento de agregados de grãos de quartzo (Figura 24) mais finos. Quanto à mineralogia, não existe alteração significativa da camada quando comparada com a subjacente.



Figura 24 – Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro. Camada Cr. Fração areia grossa. Lupa 35x.

Em termos granulométricos, o substrato rochoso no intervalo areia mostra predomínio das frações areia média com cerca de 44%, areia muito fina com cerca de 20% e areia fina com cerca de 17%. Já nos intervalos silte e argila mostra em média valores de 5% e 13%, respectivamente. A morfometria indica que os clastos maiores, pouco expressivos no total, são os mais retrabalhados e normalmente mostram-se arredondados com textura superficial fosca e marca de percussão. Já em direção às frações mais finas, os clastos são menos retrabalhados, o que se reflete numa morfometria sub-arredondada à sub-angular, embora possam aparecer de maneira subordinada clastos arredondados com textura superficial fosca e marcas de percussão.

#### 4.4.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos

##### 4.4.4.1 Horizonte C<sub>3</sub>

A granulometria neste horizonte é caracterizada pelo decréscimo da fração areia média e o concomitante crescimento, embora pequeno, dos teores de areia fina, muito fina e silte, que de modo geral, tendem a crescer em direção ao topo do perfil. A fração argila, na passagem do substrato rochoso para os horizontes pedogênicos, sofre retração, passando de cerca de 13,68% para cerca de 9,7% e oscilando levemente para cima e para baixo em direção ao topo do perfil (Quadro 04).

A mineralogia é constituída por quartzo monocristalino, tendo como acessórios minerais pesados como a magnetita, rutilo, zircão (Figura 25) e ilmenita, estes com maior concentração nas frações areia fina e areia muito fina. A presença de magnetita mantém-se proporcionalmente significativa. Nas frações granulométricas areia muito grossa e areia grossa, embora pouco expressivas, são comuns agregados de grãos de quartzo de menor diâmetro cimentados tanto por óxido de ferro, quanto por sílica (Figura 26). Já a fração argila é constituída por caulinita (7,13 – 3,56 Å), quartzo (4,25 – 3,34 Å) e por hematita (2,68 – 2,51 Å). A presença de argila 2:1 não foi confirmada no tratamento Mg + glicerol. Em termos de retrabalhamento, os clastos de maior diâmetro, em geral, apresentam-se melhor retrabalhados, mostrando-se arredondados, frequentemente fosco e com marcas de percussão. Em direção às frações granulométricas mais finas diminui o grau de retrabalhamento, chegando até sub-angular a angular na fração areia muito fina.

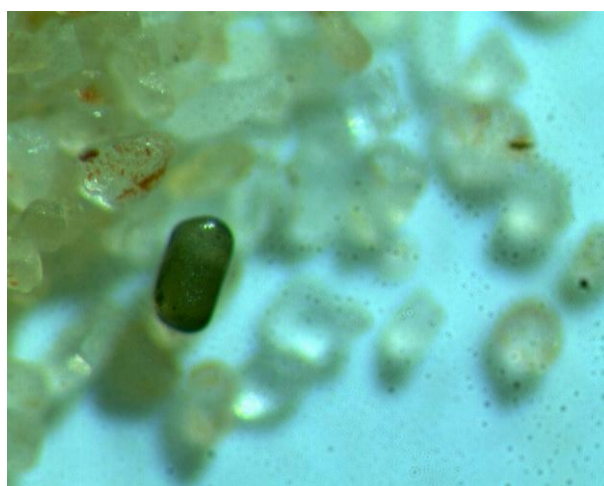


Figura 25 – Clasto de zircão. Horz. C<sub>3</sub>. Fração areia fina. Lupa 35x



Figura 26 – Agregados de quartzo cimentados por sílica e óxido de ferro. Horz. C<sub>3</sub>. Fração areia grossa. Lupa 35x.

#### 4.4.4.2 Horizonte C<sub>2</sub>

Em comparação com o horizonte subjacente, a distribuição granulométrica deste horizonte não apresentou variação, somente um leve incremento proporcional na fração argila, que passou 9,7% para 10,21%. A mineralogia permanece constituída predominantemente por quartzo, com predomínio da textura fosca, tendo como acessórios a magnetita, rutilo, zircão e ilmenita, estes com concentração na fração areia fina e muito fina (Figura 27 e Figura 28/Gráfico15).

A fração argila ao raios X é constituída por caulinita (7,13 – 3,56 Å) e quartzo (4,25 – 3,34 Å) (Gráfico 13). A presença de magnetita e de óxido de ferro cimentando agregados é frequente na fração areia grossa, embora esta seja pouco expressiva. Quanto ao retrabalhamento, os clastos das frações de maior diâmetro são em geral arredondados, tornando-se menos trabalhados em direção às frações areia fina e muito fina.

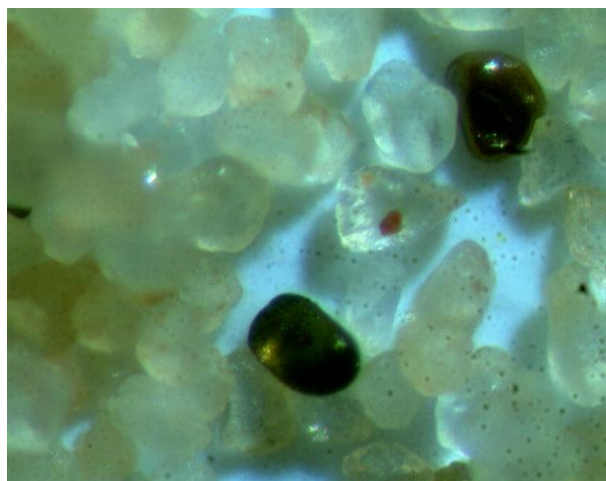
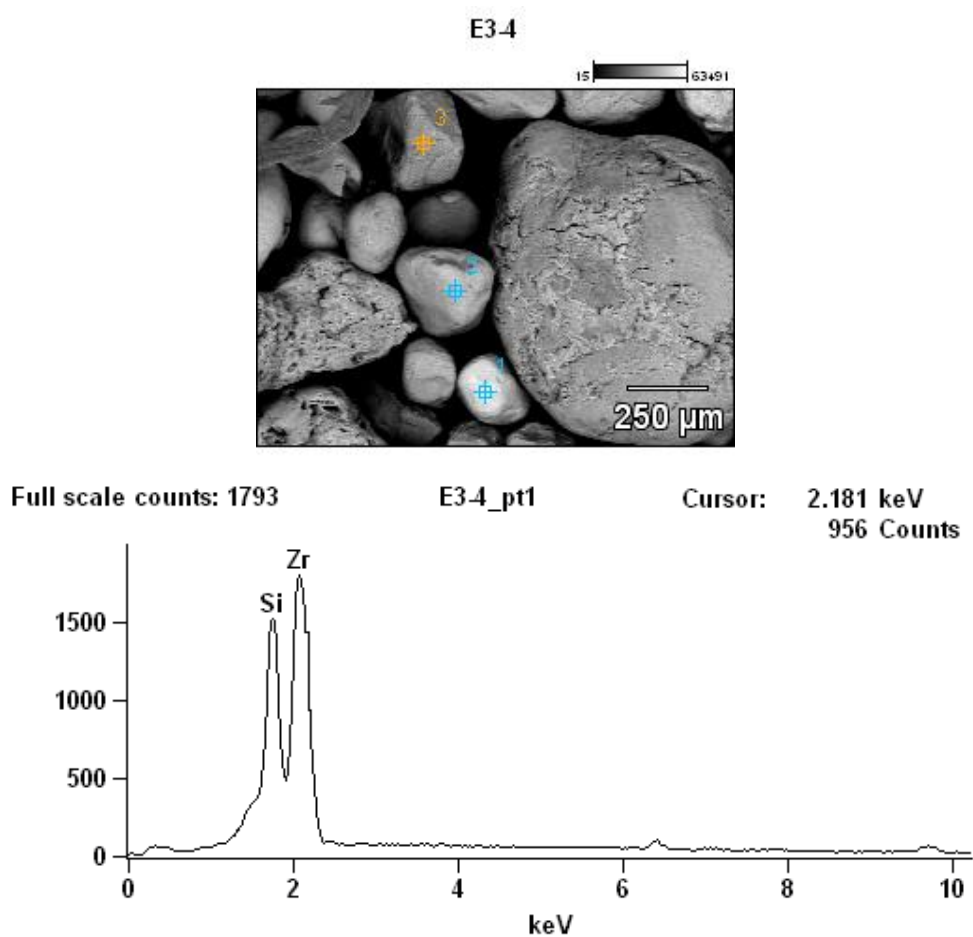


Figura 27 – Clastos de zircão (abaixo) e de rutilo (acima). Horz. C<sub>2</sub>. Fração areia fina. Lupa 35x.



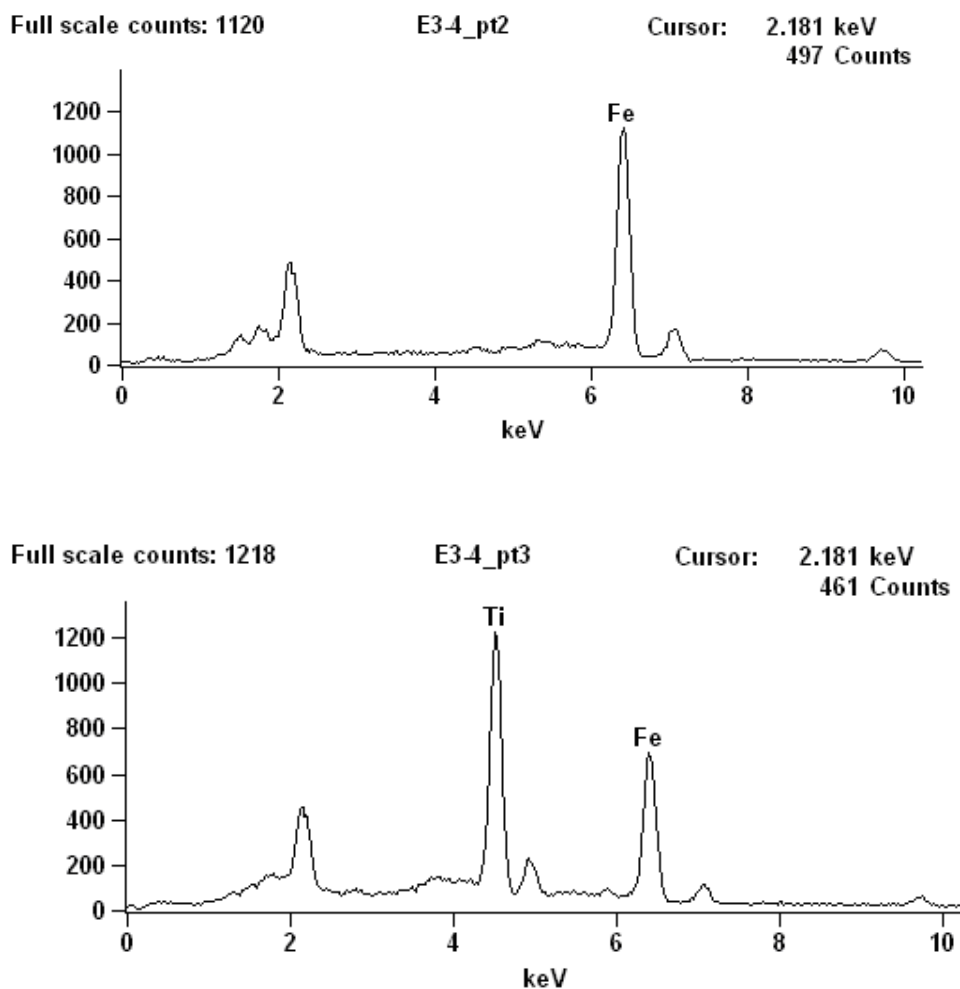


Figura 28/Gráfico 15 – Fotomicrografia de clasto de zircão (pt1), magnetita (pt2), ilmenita (pt3). Gráfico composicional: (pt1): Zr=74,29%, Si=21,17% (pt2): Fe=92,90%, Ti=1,05% (pt3): Ti=48,93%, Fe=49,25%. Horz.C<sub>2</sub> - MEV

#### 4.4.4.3 Horizonte C<sub>1</sub>

A distribuição granulométrica deste horizonte é pouco alterada quando comparada com o horizonte C<sub>2</sub>, excetuando-se um pequeno decréscimo da fração argila, que faz com que sua classificação textural passe de areia franca à areia. A mineralogia continua quartzosa de grãos predominantemente foscas, especialmente nas frações granulométricas mais grosseiras, tendo como acessórios a magnetita, esta frequentemente com hábito cúbico e em menor concentração quando comparada com o horizonte subjacente, mais rutilo, zircão e pouca ilmenita. A fração argila é composta, tal como no horizonte anterior, por caulinita e quartzo. Os agregados de grãos de quartzo cimentados por óxido de ferro são raros. A



morfometria segue a mesma do horizonte C<sub>2</sub>, onde os clastos mais grossos são em geral mais retrabalhados.

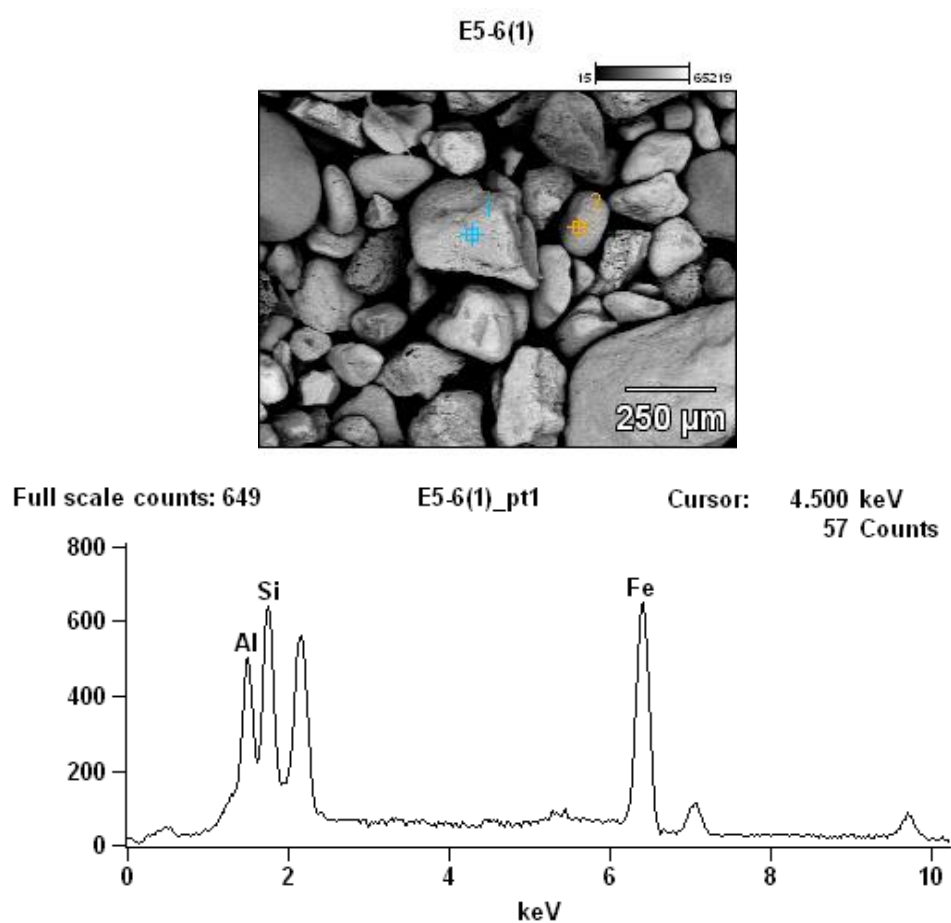
#### 4.4.4.4 Horizonte A

Este horizonte, em termos granulométricos, mostra-se distinto quando comparado com os demais horizontes pedogênicos. No intervalo areia, todas as frações granulométricas sofreram redução com a concomitante elevação dos teores das frações silte e argila, que passaram, respectivamente, de 5,47% e 9,1% para 19,24% e 11,59%. A mineralogia é constituída por quartzo e acessórios como o rutilo, zircão e muitos octaedros/cubos de magnetita (Figura 29), especialmente na fração areia muito fina.

A magnetita foi reconhecida pelo hábito e pelo magnetismo. Acompanha ainda dentro do intervalo areia mineral opaco de ferro, reconhecido na lupa por suas tintas castanho avermelhadas, como possível goethita (HFeO<sub>2</sub>). Na microscopia de varredura, possivelmente o mesmo tipo de cristal, mostra uma percentagem de 65% de ferro) (Figura 30/Gráfico 16/pt1), condizente com o teor médio no mineral, segundo Dana (1978). Este mineral, segundo a mesma fonte, pode conter teores de manganês acima de 5%. Completam ainda a mineralogia, na parte tocante à fração argila, caulinita (7,13 – 3,56 Å), quartzo (4,25 – 3,34 Å), traços de hematita (2,68 Å) e argila 2:1 (12,0 – 11,0 Å) (Gráfico 13). As frações granulométricas mais grosseiras mostram agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro. A morfometria é variável, desde clastos bem retrabalhados na fração areia grossa, até clastos subangulares nas frações mais finas.



Figura 29 – Cristal cúbico de magnetita. Horz. A. Fração areia fina. Lupa 35x



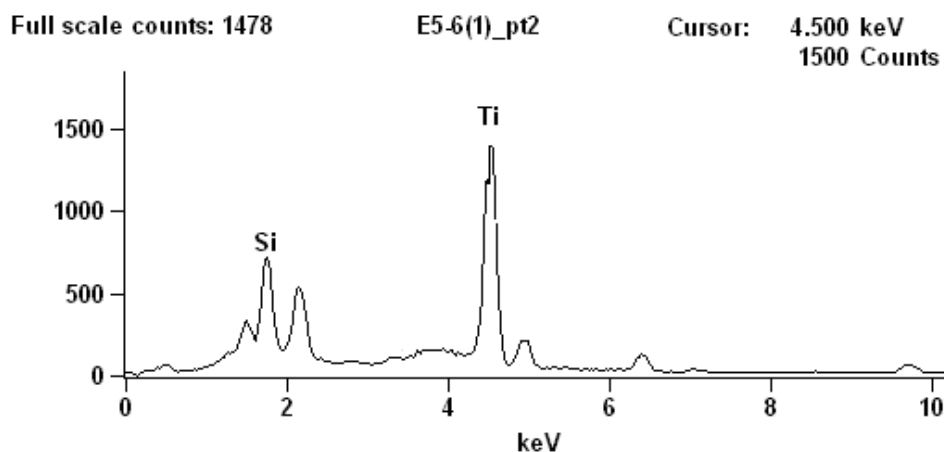


Figura 30/ Gráfico 16 – Fotomicrografia de clasto de goethita (pt1) e rutilo (pt2) parcialmente recobertos por argila. Gráfico composicional: (pt1): Fe=65,42%, Si=21,09%, Al=13,48%; (pt2): Ti=70,86%, Fe=8,64%, Si=15,54%, Al=4,19%. Horz. A – MEV

#### 4.4.4.5 Características químicas do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos

Foram utilizados os elementos constantes na tabela abaixo, sendo que os demais foram desconsiderados ou por concentração muito baixa ou pelo fato da existência de adubação/corretivo de solo na área. O magnésio, embora sua presença em mármore usados para corretivo, foi considerado por normalmente fazer parte das estruturas da magnetita e ilmenita, onde substitui ao ferro ferroso.

	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Mn
R	294000	15655	5402	882	755	209
Cr	288000	19646	8350	1133	641	54
C <sub>3</sub>	292000	10526	10964	2729	300	118
C <sub>2</sub>	292000	9999	8565	2845	325	132
C <sub>1</sub>	444789	11000	8526	904	337	150
A	377720	16000	27745	909	2842	544

Quadro 05 – Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte. Valores em microgramas por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Observando-se o (Quadro 05), nota-se que o teor de silício apesar de manter-se aproximadamente constante, mostra um pico de alta no horizonte C<sub>1</sub>. O quadro químico/mineralógico, pelo menos aparentemente, não justifica tal crescimento. Já o

alumínio, o ferro e em parte o titânio mostram-se, especialmente os dois primeiros, com concentrações significativas no substrato rochoso. Tanto o magnésio quanto o manganês mostram-se razoavelmente concentrados no substrato rochoso. Diminuem em direção ao meio do perfil e retomam com dois picos de alta no horizonte A. Esta elevação do teor de magnésio talvez esteja vinculada, pelos menos em parte, com processos de correção de pH do solo com a utilização de mármore dolomítico moído.

#### 4.5 Perfil São João I

##### 4.5.1 Características geológicas da área do perfil

Este perfil aberto sobre os arenitos da Formação Guará (Figura 31) ocupa a parte média inferior de uma coxilha pouco convexa (declividade <10%), de aproximadamente 165m de cota, bastante representativa do padrão geomorfológico geral da área. Os processos erosivos, representados por voçorocamentos, são significativos e se fazem presentes na meia encosta.

Cerca de 3 km a oeste do local do perfil, de acordo com Paula (2002), os arenitos da Formação Guará estão em contato direto com as rochas básicas da Formação Serra Geral, enquanto que os arenitos da Formação Botucatu, mesmo nas proximidades, situam-se mais a noroeste.



Figura 31 – Perfil São João I

#### 4.5.2 Dados granulométricos

O (Quadro 06) mostra a constituição granulométrica do perfil, retratando o conteúdo percentual dos vários intervalos de classe em cada horizonte, de modo a permitir o enquadramento de cada um deles em uma classe textural. O perfil, ao longo de suas duas camadas e quatro horizontes, mantém, de maneira constante, uma maior concentração da fração areia fina, seqüenciada pela fração média, sem contudo caracterizar uma distribuição bimodal. A fração argila, percentualmente pouca significativa no substrato rochoso, varia no sentido crescente em direção ao topo do perfil.

Em termos texturais, a classe predominante, de acordo com Lemos & Santos (1984), é a areia franca, restringindo a classe areia às duas camadas rochosas.

Perfil	Cam./Hor.	Profundidade (cm)	Granulometria: ocorrência em % - tamanho em mm							Textura	
			2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,250	0,250 a 0,125	0,125 a a0,062	Silte	Argila		
São João I	Ap	0 - 26,0	0,03	0,47	18,25	52,98	13,86	3,93	10,46	Areia Fr*	
	A	26,0 - 60,0	0,14	1,23	28,61	42,78	8,85	5	13,38	Areia Fr	
	Bi	60,0 - 98,0	0,11	0,9	20,34	44,63	12,9	3,7	17,42	Areia Fr	
	BC	98,0 - 185,0	0,16	1,2	24,7	43,18	10,15	5,09	15,52	Areia Fr	
	Cr	185,0 - 260,0	0,02	0,18	40,83	50,38	0,75	1,4	6,43	Areia	
	RCr	260,0 - 350,0	0	0,05	27,93	67,02	0,66	1,06	3,28	Areia	

\* Areia Franca.

Quadro 06 - Distribuição granulométrica do Perfil São João I – Cambissolo Háplico

Na camada RCr, a areia média aparece com 27,93%; a areia fina com 67,02% e a argila com 3,28%. Os demais intervalos de classe, mesmo juntos, são pouco representativos em termos de percentagem granulométrica.

Na camada Cr, embora seu decréscimo, existe uma predominância da areia fina (50,38%) sobre a areia média, que apresentou, por sua vez, um crescimento para 40,83%. Tal variação no horizonte rochoso possivelmente esteja vinculado à área fonte e/ou a capacidade de transporte no momento da deposição da rocha, o que pode determinar o aparecimento de laminações, as vezes pouco perceptíveis. Este mesmo raciocínio, pela ausência de feldspato na constituição original da rocha, vale também para explicar a variação da fração argila que passa dos 3,28% para 6,43% na parte superior da camada rochosa.

Observando-se a tabela acima, é significativo notar a diminuição constante, a partir da camada rochosa, do teor das frações arenosas mais proeminentes (AF e AM) em sentido ao topo do perfil, mostrando o pico de mínimo no horizonte Bi. Concomitante a este decréscimo ocorre um acréscimo, no mesmo sentido, da fração argila, que passa de 6,43% na camada Cr para 17,42%, apresentando seu pico de máximo no mesmo horizonte Bi.

Nos horizontes superiores, o teor de argila diminui de maneira constante até o horizonte Ap, onde representa 10,46%. Por outro lado, há um crescimento, na mesma direção do perfil, das frações areia fina e muito fina que atingem, respectivamente, 52,98% e 13,86% no mesmo horizonte.

#### 4.5.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

O substrato rochoso aqui considerado incluiu a rocha parcialmente alterada, mais a parte considerada como saprólito, correspondendo, respectivamente, às camadas RCr e Cr na descrição do perfil.

Trata-se de uma rocha sedimentar clástica, de um modo geral bem selecionada, que mesmo em lâmina delgada orientada não mostra nenhum tipo de orientação na distribuição de seus clastos. A mineralogia é quase que totalmente quartzosa, com grãos monocristalinos. O reconhecimento do quartzo ao microscópio de polarização baseou-se na ausência de clivagem, na baixa birrefringência, na extinção ondulante de muitos grãos e por serem uniáxicos positivos. Tanto os minerais pesados opacos quanto os transparentes, pelo menos microscópicamente,

não são de ocorrência significativa na rocha, restringindo-se à presença de poucos grãos de rutilo e zircão, estes identificados com uso do microscópio eletrônico de varredura (Figura 32/Gráfico 18 e Figura 33/Gráfico19). Não foram encontrados feldspatos, nem fragmentos de rochas.

Muitos grãos mostram um recobrimento parcial de uma fina película de material sedimentar de característica argilosa, constada pela presença quase que exclusiva de alumínio e silício como elementos químicos constituintes, estes determinados com o uso de microscopia de varredura (Figura 34/Gráfico 20). A sua identificação ao microscópio de polarização foi determinada pela baixa birrefringência e por distribuir-se de modo irregular em alguns dos espaços entre os grãos, não chegando, deste modo, a constituir uma típica matriz.

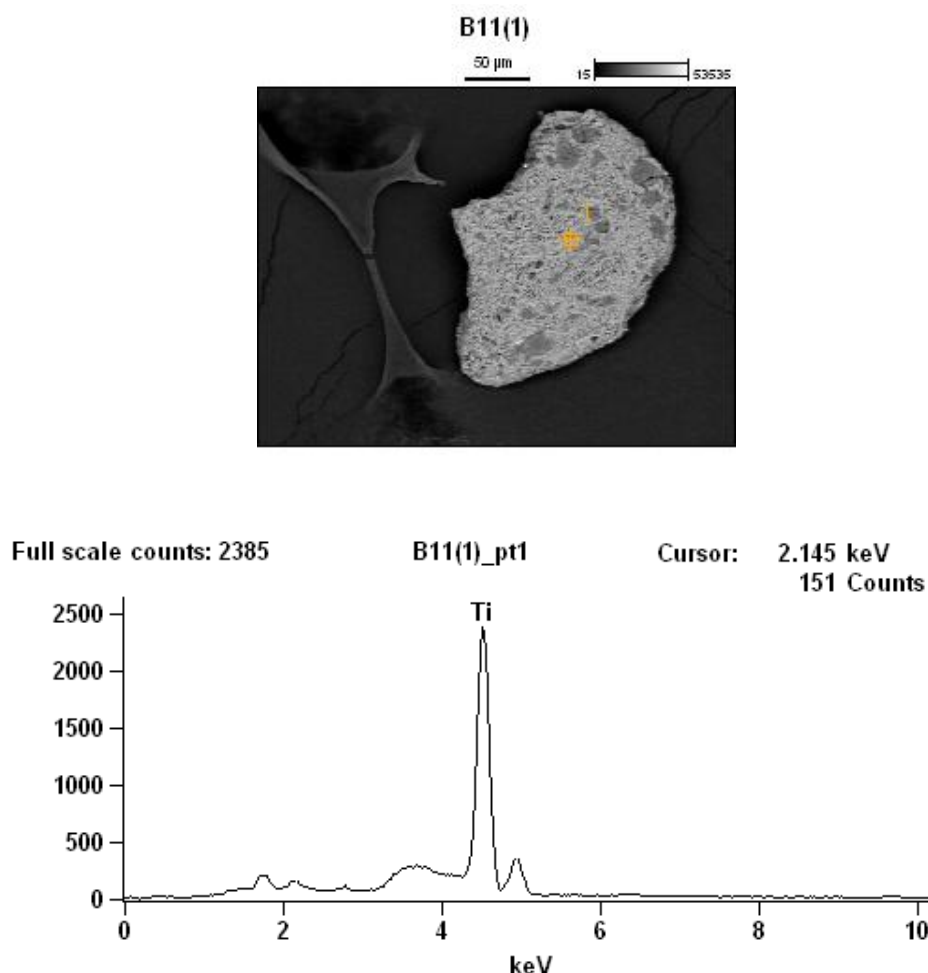


Figura 32/Gráfico 18 – Fotomicrografia de clasto de rutilo. Gráfico composicional: Ti=95,51%. Camada RCr - MEV



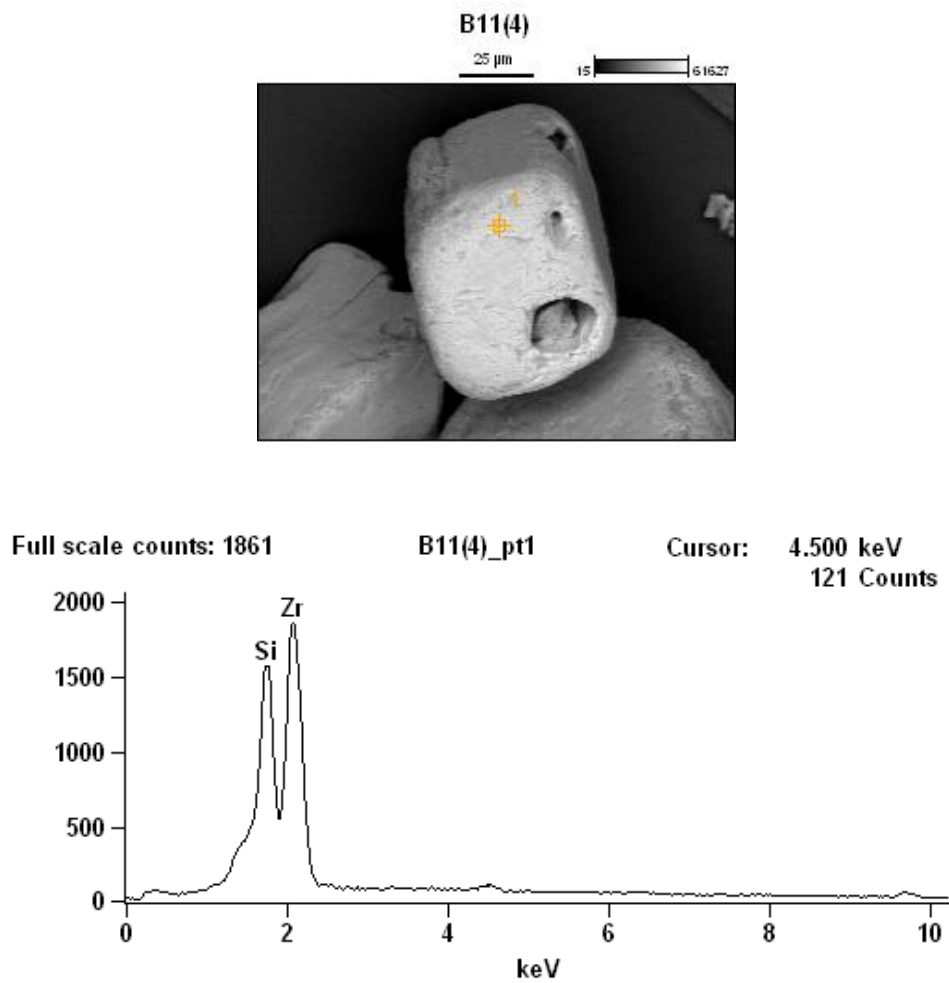
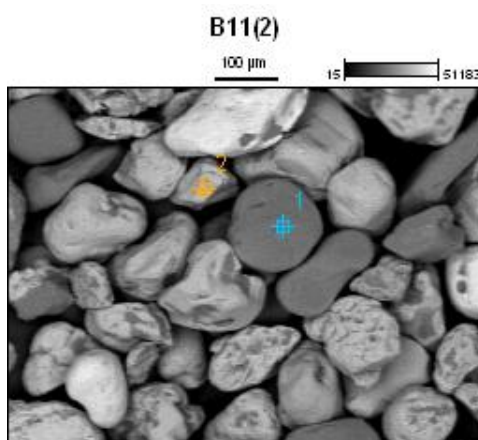


Figura 33/Gráfico 19 – Fotomicrografia de clasto de zircão. Gráfico composicional: Zr=77,43%, Si=21,02%. Camada RCr - MEV



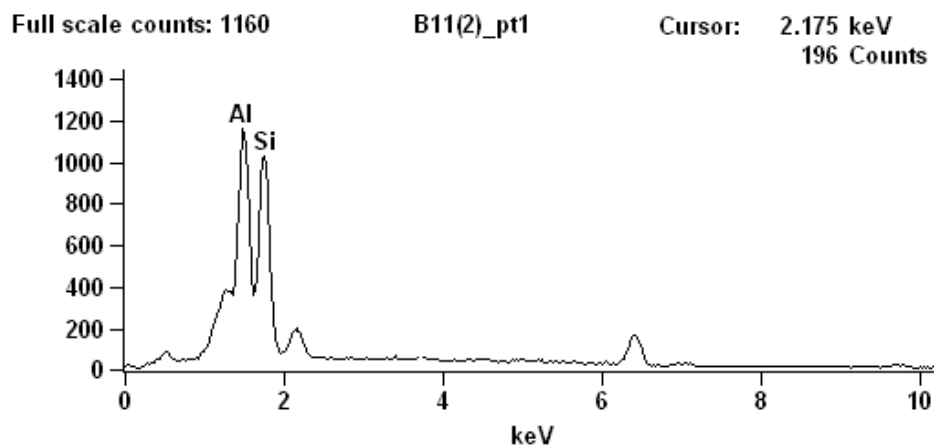


Figura 34/Gráfico 20 – Fotomicrografia rutilo recoberto por argila. Gráfico composicional: Ti=52,22%, Nb=11,53%, Fe=1,29%, Si=21,25%, Al=11,31%. Camada RCr – MEV.

A presença de óxido de ferro, juntamente com a argila, já indicam uma incipiente ação intempérica. O primeiro limita-se a preencher microfaturas de alguns clastos ou precipita-se em bordas, no contato entre eles (Figura 35).

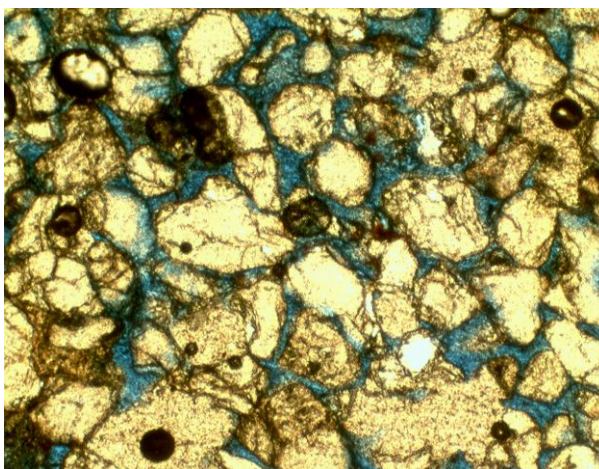


Figura 35 – Fotomicrografia de bordas e fraturas de clastos de quartzo preenchidos por óxido de ferro. Camada RCr. Microscopia de polarização - LN 8x3,5

Praticamente, os clastos incluem-se em dois intervalos granulométricos seqüenciais de classe, não tendo deste modo grandes variações de tamanhos. Em geral são pouco trabalhados, variando entre sub-angular e sub-arredondado, esporadicamente angulares. Mesmo entre os raros clastos maiores (>0,5mm), o grau de arredondamento é baixo. São relativamente comuns grãos alongados de quartzo. A matriz é praticamente ausente.

Quanto à classificação petrográfica, a percentagem elevada (>95%) de quartzo, associada à ausência de feldspato e de fragmentos de rochas, permite enquadrar a rocha como um quartzo-arenito (Folk 1974).

A camada sobrejacente, identificada na descrição do perfil como Cr, apresenta um grau mais avançado de alteração, identificado tanto pela maior ocorrência de óxido de ferro, especialmente precipitado sobre os bordos de muitos grãos, quanto pelo aumento de argila, tanto como fina película recobrendo grãos, quanto distribuída de maneira irregular entre os mesmos, sem contudo constituir-se em matriz. Assim como na camada subjacente RCr, a mineralogia não varia, sendo constituída na quase totalidade por quartzo monocristalino. Um único cristal de turmalina foi encontrado, sendo identificado por seu pleocroísmo azul esverdeado e a extinção reta (Figura 36). Não foram encontrados nem feldspatos, nem fragmentos de rochas. Os minerais pesados, além da turmalina, restringem-se a poucos grãos de rutilo e raros zircões.

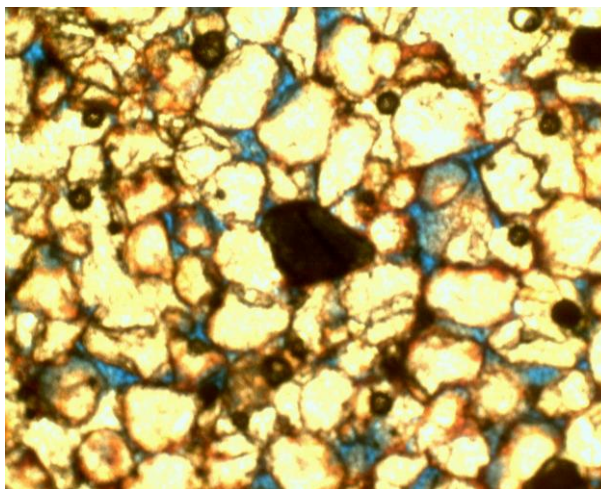


Figura 36 – Fotomicrografia de clastos de quartzo com revestimento parcial de óxido de ferro. Ao centro cristal isolado de turmalina. Camada Cr. Microscopia de polarização – LN 8x3,5.

Do mesmo modo que a camada subjacente, os grãos são pouco trabalhados, mostrando-se entre sub-angulares a angulares. Os arredondados e os bem arredondados são pouco freqüentes. Microscopicamente, a não ser por atividade intempérica representada pela maior presença de argila e de tintas de óxido de ferro, a camada não mostra sinais de uma participação externa significativa.

Macroscopicamente, as duas camadas (RCr e Cr) que compõem o substrato rochoso, embora sejam de modo predominante constituídas por dois intervalos de classes granulométricas, areia média e areia fina, delas fazem parte classes granulométricas percentualmente pouco significativas, mas que ajudam no entendimento da evolução do perfil.

Na rocha parcialmente sã, os clastos são constituídos quase na sua totalidade por quartzo monocristalino, hialino, sub-arredondado a arredondado nas frações granulométricas mais grossas, tornando-se sub-arredondados a sub-angulares nas frações mais finas. Nos clastos melhor trabalhados são frequentes as marcas de percussão (Figura 37).

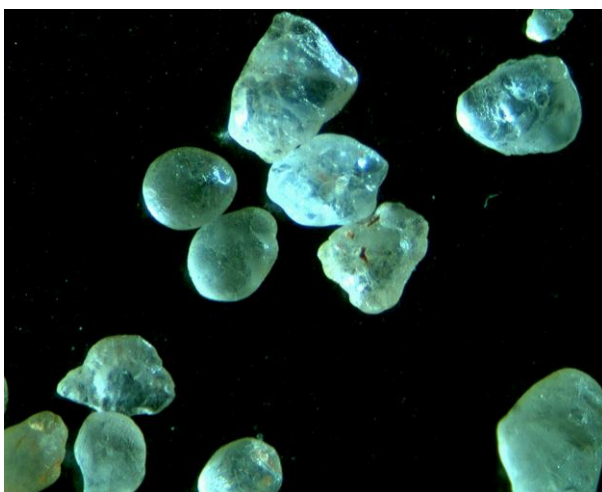


Figura 37 – Clastos de quartzo evidenciando o grau de retrabalhamento e as marcas de percussão. Fração areia grossa. Camada RCr. Lupa 35x.

Os minerais acessórios concentram-se nas frações areia fina e muito fina e são representados por rutilo e raras granadas (Figura 38).

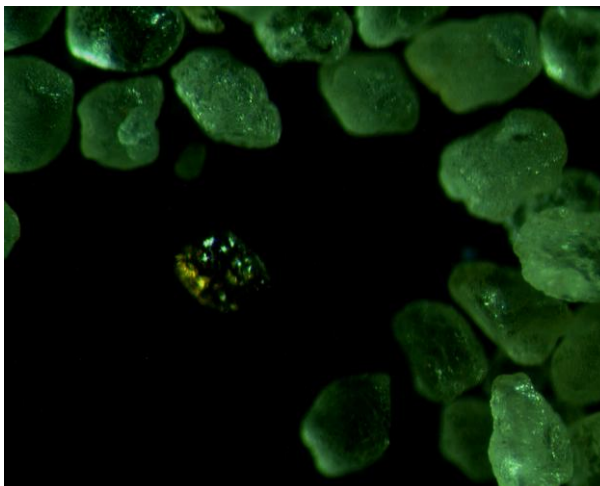


Figura 38 – Clastos de quartzo hialinos e foscas, sub-arredondados a sub-angulares e um clasto de granada (centro). Camada RCr. Fração areia fina. Lupa 35x.

Na camada Cr, a mineralogia permanece a mesma da camada subjacente, predominantemente quartzosa, com clastos hialinos e foscas, arredondados nas frações mais grosseiras e sub-angulares nas mais finas. Os acessórios são representados por minerais pesados, especialmente rutilo. Embora de maneira incipiente, já aparecem agregados de quartzo de granulometria mais fina cimentados por óxido de ferro. Nos clastos maiores e mais retrabalhados são comuns as marcas de percussão.

#### 4.5.4 Caracterização das frações areia e argila dos horizontes pedogênicos

##### 4.5.4.1 Horizonte BC

Os componentes arenosos deste horizonte são constituídos na quase totalidade por clastos da fração fina e média, com a presença percentualmente pouco expressiva de outras frações. A mineralogia em todos os intervalos de classe é basicamente constituída por quartzo monocristalino, hialino, com muitos grãos amarelados nas frações arenosas mais finas. Os minerais pesados concentram-se na fração areia fina, embora possam aparecer em menor quantidade na fração areia média e muito fina. São constituídos por rutilo, zircão (raro) e uma maior ocorrência de ilmenita. Todos determinados com o uso do microscópio de varredura. Muitos

clastos mostram revestimento parcial de argilo-mineral, do mesmo modo determinado na microscopia de varredura.

Na fração areia grossa (>0,5mm) são encontrados raros agregados constituídos por finos grãos de quartzo, cimentados por óxido de ferro (Figura 39).



Figura 39- Agregado de quartzo cimentado por óxido de ferro. Horz. BC. Fração areia grossa. Lupa 35x.

Em termos de arredondamento, as frações granulométricas mais finas sempre mostram um grau menor de retrabalhamento, predominando neste caso os grãos sub-angulares a angulares, com poucos sub-arredondados. Os grãos com maior grau de arredondamento praticamente fica restrito a fração areia grossa, onde são observadas marcas de percussão.

#### 4.5.4.2 Horizonte Bi

Este horizonte granulometricamente é caracterizado pelo domínio das frações areia fina e areia média, subordinadamente areia muito fina. A mineralogia é na sua quase totalidade quartzosa, hialina, com muitos grãos amarelados. Os minerais pesados estão concentrados nas frações areia fina e muito fina e são representados por turmalina preta, rutilo, raros grãos de zircão e maior ocorrência de ilmenita, esta por vezes parcialmente recoberta por argilo-mineral (Figura - 40/Gráfico - 21), A turmalina foi determinada com uso da lupa e os demais na microscopia de varredura. O arredondamento é variável, predominando o sub-arredondado a sub-

angular. Os grãos com maior grau de arredondamento mostram freqüentes marcas de percussão e muitas fraturas côncavas (Figura 41).

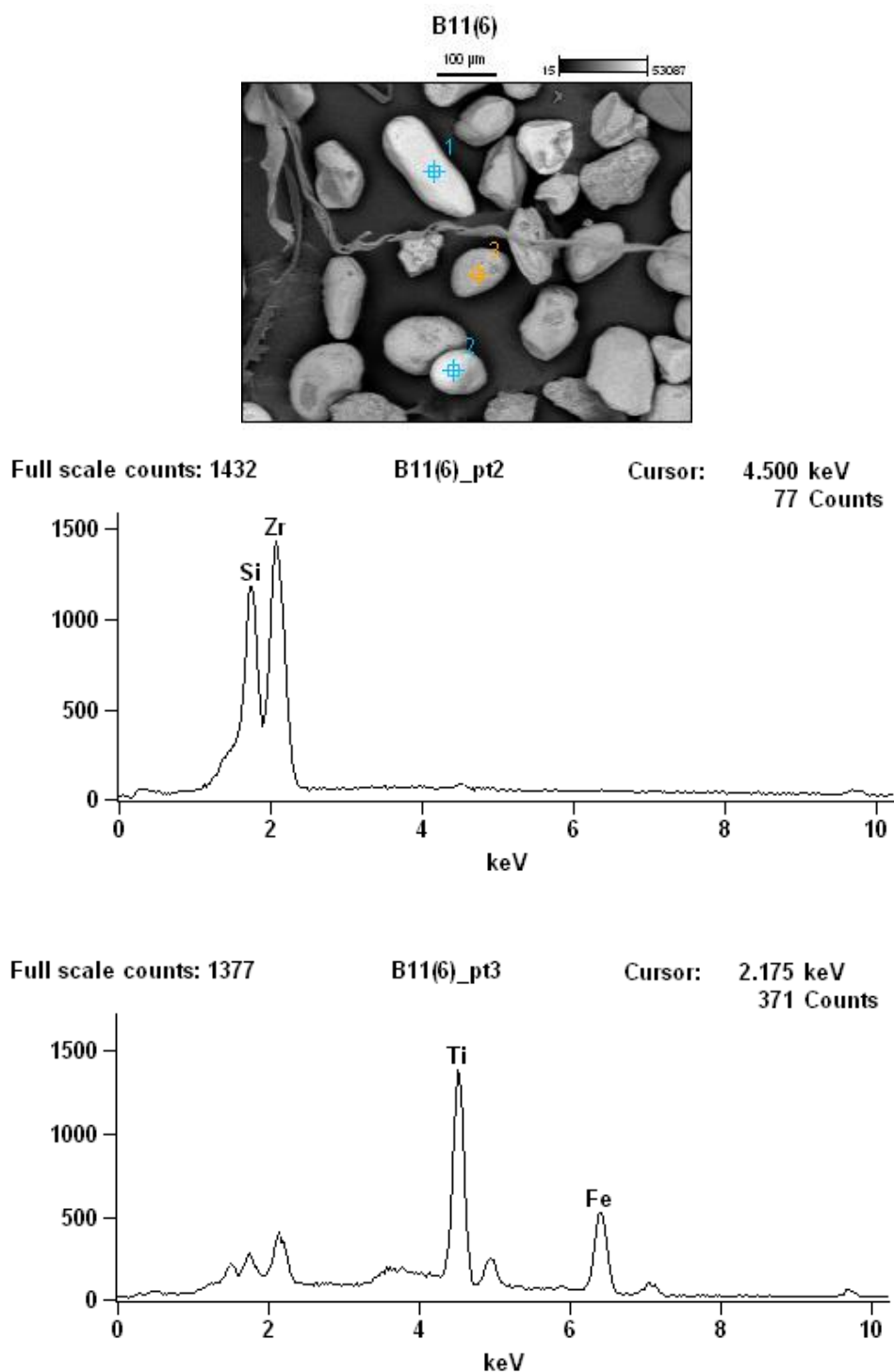


Figura 40/Gráfico 21 – Fotomicrografia de clastos de rutilo (pt1) e (pt2) e clasto de ilmenita parcialmente recoberta por argilo-mineral (3). Gráfico composicional: (pt1): Zr=76,67%, Si=21,41% (pt2): Zr=78,27%, Si=21,73%; (pt3): Ti=53,61%, Fe=37,09% Si=5,53% Al=3,77%. Horz. Bi – MEV.

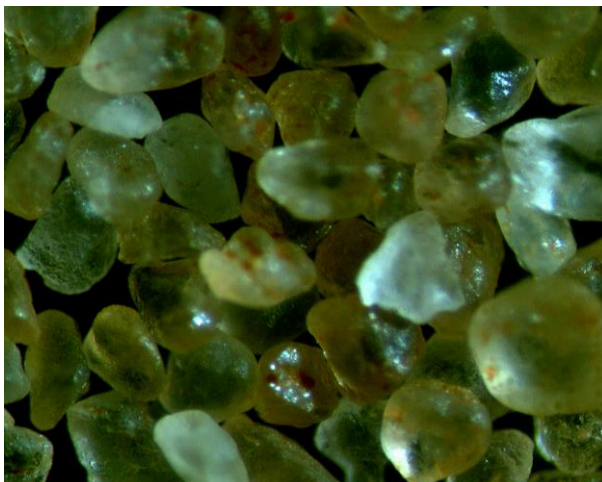


Figura 41 - Clastos de quartzo hialinos e amarelados sub-arredondados a sub-angulares. Alguns com marcas de percussão. Horz. Bi. Fração areia média. Lupa 35x.

#### 4.5.4.3 Horizonte A

Granulometricamente o horizonte A, do mesmo modo que o anterior, é formado na sua também quase totalidade pelas frações areia fina e areia média, de modo subordinado por areia muito fina. As frações mais grosseiras não são representativas. Em todas, a composição mineral é basicamente quartzo hialino e amarelado nas frações dominantes. Os minerais pesados são significativos na fração areia fina, onde são encontrados rutilo, zircão e ilmenita. O rutilo além de ser identificado macroscopicamente pela sua cor castanha e brilho intenso (Figura - 42), foi, juntamente com os demais, identificados na microscopia de varredura.

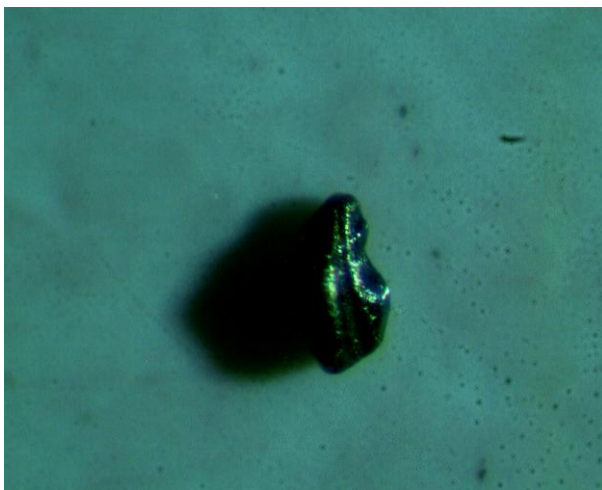




Figura 42 – Cristal de rutilo. Horz. A. Fração areia muito fina. Lupa 35x.

Os grãos são sub-angulares a angulares nas frações granulométricas dominantes e arredondados na fração 0,5mm. Nesta são freqüentes as marcas de percussão e as fraturas côncavas.

#### 4.5.4.4 Horizonte Ap

Este horizonte é caracterizado pelo decréscimo das frações areia média e argila e pelo crescimento das frações areia fina e muito fina. A mineralogia continua predominantemente quartzosa hialina e amarelada. Os minerais acessórios, tal qual o horizonte subjacente, continuam representados pelo rutilo, zircão e por um acréscimo no teor de ilmenita. Associa-se o revestimento de argila sobre muitos grãos.

#### 4.5.4.5 Características químicas das camadas rochosas e dos horizontes pedogênicos

Embora o zircão e até mesmo a turmalina ocorram em alguns horizontes, a percentagem de zircônio e de boro (nas turmalinas) foram insuficientes para serem detectados na análise. Os demais elementos, principalmente Ca, K e P não foram considerados em razão da possibilidade de ocorrerem valores anômalos oriundos de correção e adubação do solo, visto algumas áreas serem de antigas lavouras ou até mesmo lavouras atuais.

	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
RCr	288660	395	2646	902	81	0
Cr	268753	435	9375	3778	190	0
BC	277667	2689	21283	10376	303	84
Bi	266600	2366	27693	10735	383	79
A	254497	1805	19098	14610	325	100
Ap	254867	3021	16400	9099	522	126

Quadro 07 - Concentração dos elementos químicos principais por camada/horizonte. Valores expressos em microgramas por grama ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Os valores do (Quadro 07) mostram um crescimento significativo do Ti, Fe e Al a partir da camada rochosa RCr e Cr, com picos entre os horizontes BC e Bi. O titânio após recuar no horizonte A, torna a crescer no horizonte Ap. O silício praticamente se mantém constante ao longo de todo o perfil.

#### **4.6 Perfil São João II**

##### **4.6.1 Características geológicas da área do perfil**

O perfil foi aberto sobre os arenitos da Formação Guará (Figura 43). Os processos erosivos de voçorocamento no entorno do perfil são reduzidos. Da mesma maneira que o perfil anterior, seu posicionamento em superfície é bastante próximo (cerca de 3km ao norte e nordeste) das ocorrências das vulcânicas da Formação Serra Geral e dos arenitos da Formação Botucatu.



Figura 43 – Perfil São João II

#### 4.6.2 Dados granulométricos

De acordo com (Quadro 08) pode-se observar que, nas duas camadas e nos cinco horizontes do perfil, há uma predominância significativa das frações granulométricas correspondentes à areia fina e à areia média, praticamente mostrando um caráter bimodal de distribuição. Nas duas camadas rochosas Cr e Cr/R, a fração areia é formada quase que totalmente pela areia fina e areia média e de maneira bem menos expressiva (2,67 e 3,83% respectivamente) de areia muito fina. As três frações areia, juntamente com a fração argila, praticamente mantêm-se com valores constantes nas duas camadas rochosas.

A partir da camada CrR, em sentido ao topo do perfil, há um decréscimo no teor tanto da areia fina quanto da areia média, com recuperação parcial da primeira no horizonte Ap, atingindo 42,4%. A fração argila, que é relativamente baixa nos horizontes rochosos, mostra um acentuado crescimento nos horizontes superiores, tendo o pico de máxima nos horizontes Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>1</sub>, diminuindo em direção ao topo do perfil.

Assim, a partir da camada Cr, o teor de argila passa de 7,09 para 13,27, 24,76 e 22,53%, respectivamente nos horizontes Cr/C, Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>1</sub>, indicando, pela ausência de feldspato no substrato rochoso, uma aporte externo de material fino.

Em termos texturais, segundo Lemos & Santos (1984), predomina a textura areia, mas com o aporte de argila nos horizontes Bt<sub>2</sub>, Bt<sub>1</sub> e A, a textura passa à franco argilo arenosa nos dois primeiros e à areia franca no terceiro, voltando à areia no horizonte Ap.

Perfil	Cam./Hor.	Profundidade (cm)	Granulometria: ocorrência em % - tamanho em mm							Textura
			2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,250	0,250 a 0,125	0,125 a 0,062	Silte	Argila	
São João II										
	Ap	0 - 22,0	0,08	1,4	33,86	42,4	8,35	3,84	10,07	Areia
	A	22,0 - 90,0	0,08	1,89	38,16	34,55	2,38	9,39	13,55	Areia Fr*
	Bt <sub>1</sub>	90,0 - 140,0	0,19	1,64	29,36	33,36	6,53	6,38	22,53	Fr.Arg.Ar**
	Bt <sub>2</sub>	140,0 - 230,0	0,19	1,61	26,02	32,33	7,63	7,46	24,76	Fr.Arg.Ar
	Cr/C	230,0 - 270,0	0,1	1,09	45,2	34,12	3,96	2,25	13,27	Areia Fr
	CrR	270,0 - 310,0	0,01	0,1	38,38	48,32	3,83	1,23	7,09	Areia
	Cr	310,0 - 340,0	0,11	1,54	39,69	46,37	2,67	1,77	7,65	Areia

\*Areia Franca; \*\*Franco Argilo Arenosa.

Quadro 08 – Distribuição granulométrica, em percentagem, dos intervalos de classe e a classificação textural do Perfil São João II

#### 4.6.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

Esta caracterização inclui as camadas que compõem a rocha parcialmente alterada e o saprólito, aqui identificadas como camadas Cr e Cr/R. Microscopicamente trata-se de uma rocha clástica, moderadamente a bem selecionada, que quando vista em corte vertical (amostra orientada), mostra uma grosseira laminação com intercalação não muito definida de níveis de areia média e areia fina.

Os clastos da camada Cr são constituídos quase que exclusivamente por quartzo monocristalino, frequentemente fraturado, reconhecido na microscopia de polarização pela ausência de clivagem, baixa birrefringência, extinção ondulante freqüente e pelo caráter uniaxial positivo. O quartzo polimicrocristalino é raro. Não foram identificados feldspatos e fragmentos de rochas. Freqüentes grãos de rutilo, zircão e magnetita foram identificados no microscópio eletrônico de varredura (Figura 44/Gráfico 23).

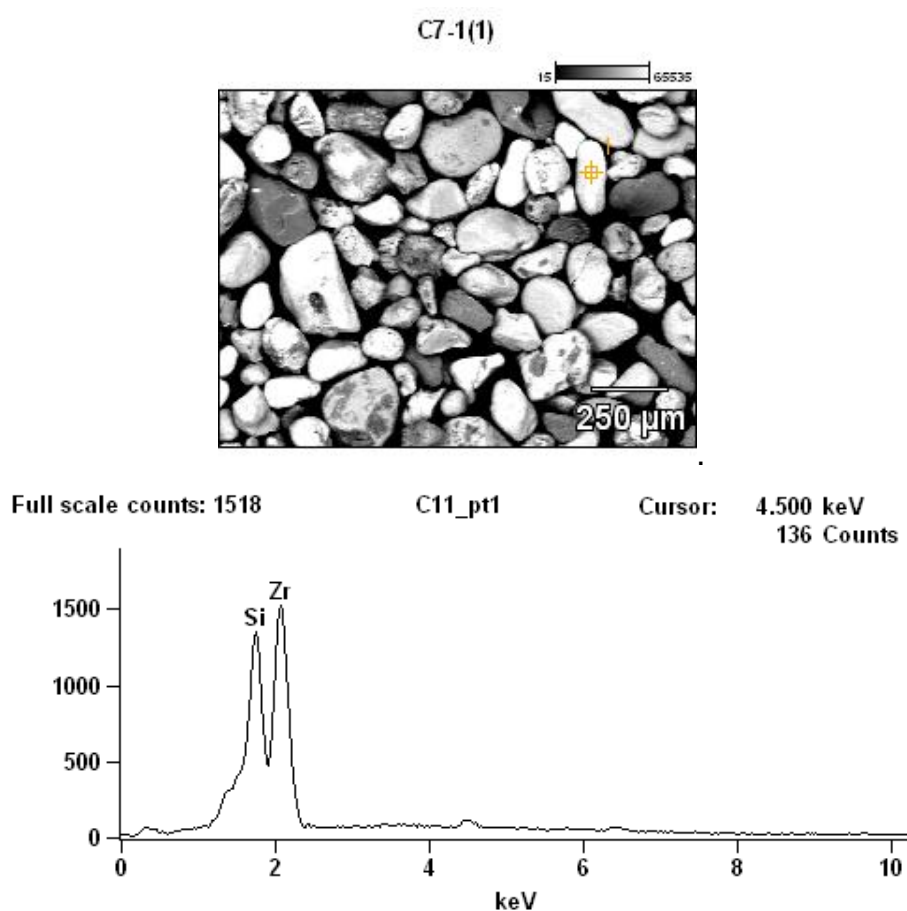


Figura 44/Gráfico 23 - Fotomicrografia de grão de zircão. Gráfico composicional: Zr:81,57%, Si=18,43%. Camada Cr – MEV.

Em lâmina orientada na vertical é nítida a evolução da ação intempérica da parte superior para a inferior, representada pelo recobrimento parcial ou total por argila, de muitos grãos, bem como pela sua distribuição irregular entre os mesmos, contudo não constituindo uma verdadeira matriz. Embora a presença de argila possa, em parte, ser reconhecida na microscopia comum, especialmente pelo aspecto de “sujeira” sobre os grãos e por sua baixa birrefringência, ela foi também identificada quando do reconhecimento de grãos minerais na microscopia de varredura, neste caso pela concentração parcial, mais raramente total, de silício e alumínio sobre os mesmos (Figura 45/Gráfico 24).

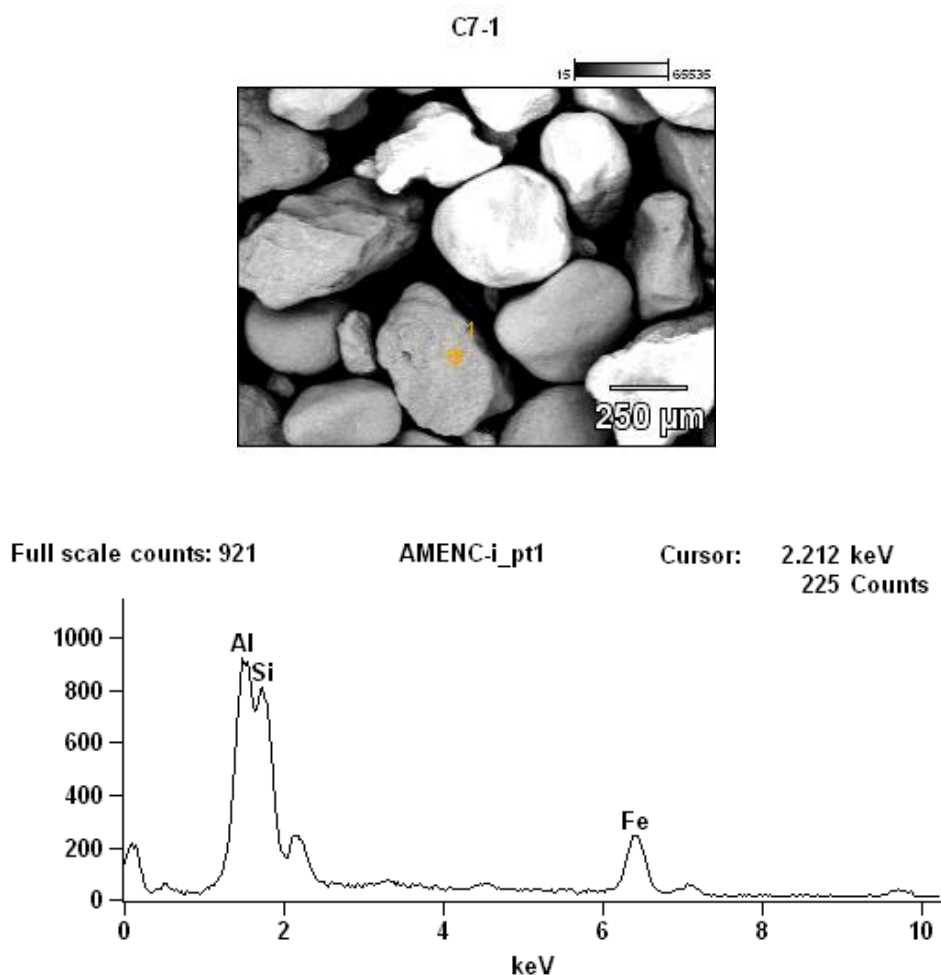


Figura 45/Gráfico 24 -.Fotomicrografia de película de argila sobre possível grão de magnetita. Gráfico composicional: Si=65,87%, Al=21,88%, Fe=8,14%, Ti=4,11% Camada Cr - MEV.

Reafirma esta ação intempérica, a presença de fina película de óxido de ferro revestindo especialmente os bordos de muitos grãos minerais e cuja frente de ação diminui para as partes basais do perfil, como é constata em lâmina orientada (Figura 46).

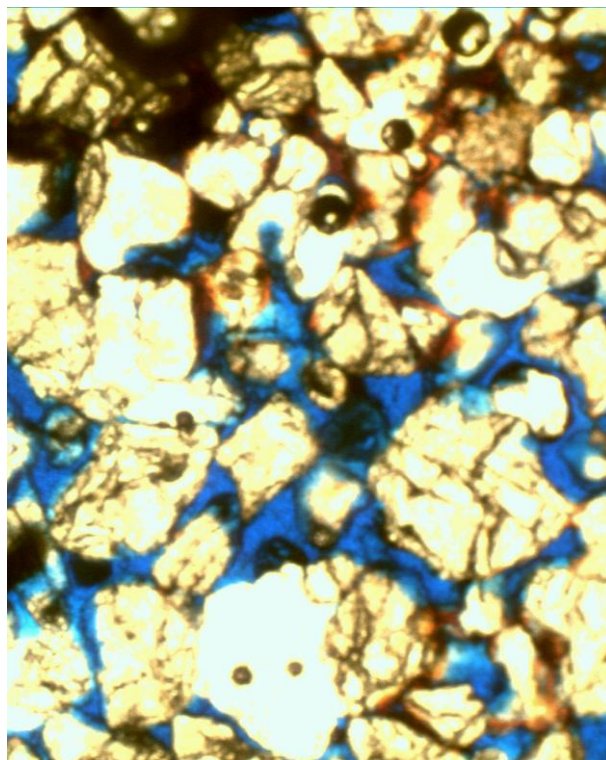


Figura 46 – Fotomicrografia de óxido de ferro preenchendo microfraturas e revestindo bordos de clastos de quartzo. Camada Cr - Microscopia de polarização – LN 35x.

Os intervalos granulométricos predominantes são de areia média e areia fina, com clastos sub-angulares a angulares. Os clastos de diâmetro maior são pouco representativos e em geral arredondados a sub-arredondados. Muitos cristais de quartzo mostram-se como prismas alongados e arredondados.

Em função da mineralogia predominantemente quartzosa (>95%), aparentemente sem feldspatos e sem fragmentos de rochas, a rocha foi classificada como um quartzo-arenito. A camada sobrejacente Cr/R, assim como a anterior, é constituído predominantemente por quartzo monocristalino e caracteriza um estágio mais avançado da ação intempérica, identificado pela manutenção da presença de argila e pelo aumento do número de grãos recobertos por óxido de ferro. A difusa estrutura laminada, presente no horizonte subjacente, foi totalmente destruída neste horizonte.

Quanto às classes granulométricas e os graus de arredondamento presentes, os clastos mantêm as mesmas características do horizonte anterior. Aparentemente, a não ser pela ação intempérica, não foi identificada atividade alóctone significativa no substrato rochoso.

Os constituintes granulares das camadas Cr e Cr/R após serem separados, apresentaram vários intervalos de classes granulométricas. Alguns deles embora pouco representativos, tornam-se importantes na correlação rocha-solo. Assim, na camada Cr os clastos retidos nas peneiras 1,0 e 0,5mm, em conjunto pouco representativos (<2%), são constituídos por quartzo hialino e fosco sub-arredondados a arredondados. Os de maior retrabalhamento mostram marcas de percussão. Não foram registrados opacos e nem agregados.

Os pesados, neste intervalo, resumem-se a raros grãos de turmalina, estes identificados pelo seu aspecto prismático de seção transversal típica. Os clastos são predominantemente sub-angulares, em geral com muitas arestas. Os intervalos areia fina e areia muito fina são, no conjunto, as frações mais significativas. São, na sua quase totalidade, quartzosas, hialinas, raramente foscas. A fração granulométrica mais fina mostra alguns grãos de magnetita, identificada por seu hábito e magnetismo e raros grãos de rutilo, estes reconhecidos pela cor castanho escuro e o forte brilho. Quanto ao grau de retrabalhamento são predominantemente sub-angulares com muitas arestas (Figura 47).

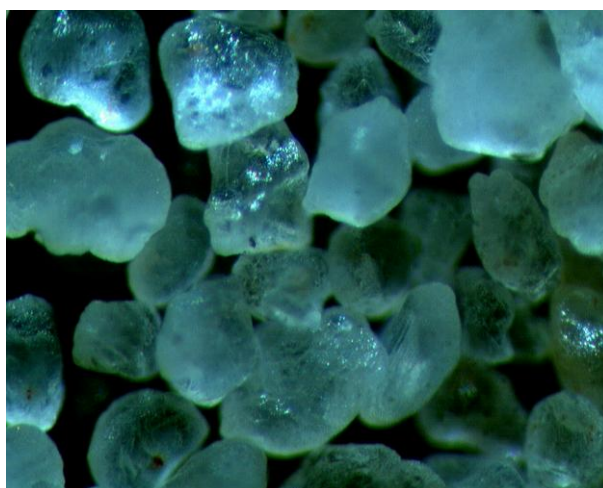


Figura 47 - Clastos de quartzo hialino sub-angulares. Camada Cr. Fração areia fina. Lupa 35x.



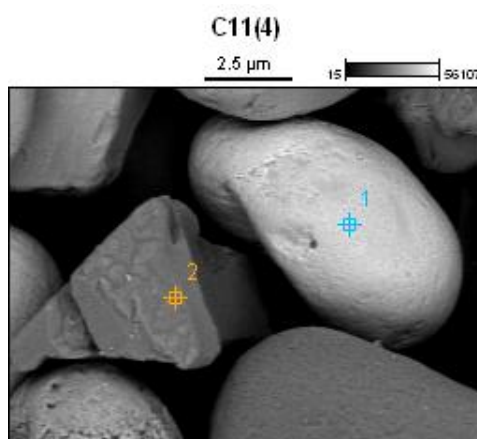
Na camada sobrejacente Cr/R, a fração areia grossa (0,5mm) percentualmente pouco significativa (2%), é constituída por quartzo hialino, pouco fosco, com grau de arredondamento variável desde arredondado até sub-angular. Nos mais arredondados são visíveis as marcas de percussão.

Os clastos retidos nas peneiras 0,125 e 0,062 são, em conjunto, os mais representativos. A constituição mineral é basicamente formada por quartzo hialino, raramente amarelado. Presença pequena de grãos de rutilo e de zircão, este determinado na microscopia de varredura por suas características composicionais. São pouco retrabalhados, com domínio dos grãos sub-angulares a angulares e com muitas arestas.

#### 4.6.4 Caracterização da fração areia dos horizontes pedogênicos

##### 4.6.4.1 Horizonte Cr/C

Horizonte formado basicamente pelas frações areia média e areia fina, constituídas na quase totalidade por quartzo hialino, com aumento dos grãos amarelados em sentido às frações mais finas. Na fração areia média são encontradas raras turmalinas, reconhecidas pelo aspecto prismático e seção transversal triangular arredondada, enquanto que na fração areia fina aparecem, além do quartzo, rutilo e zircão (Figura 48/Gráfico 25). Morfomètricamente predominam os grãos sub-angulares. Nos poucos grãos arredondados das frações mais grosseiras é comum as marcas de percussão.



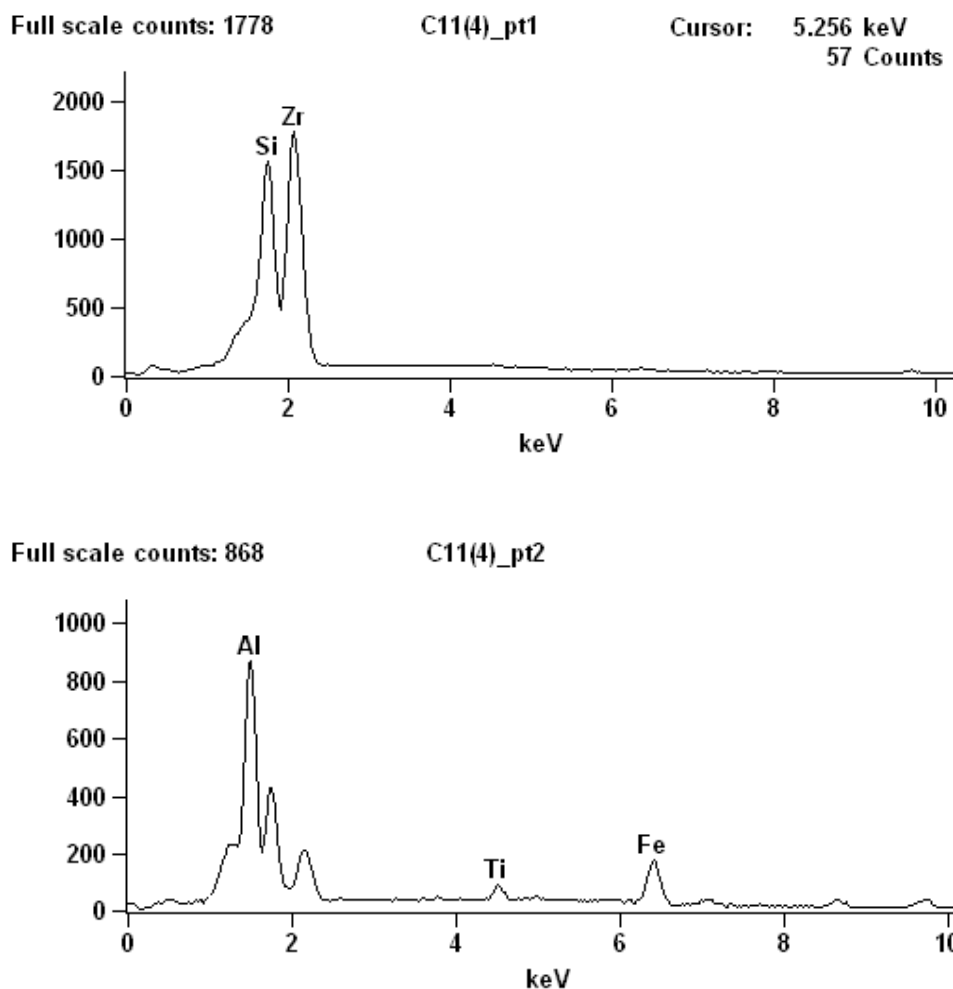


Figura 48/Gráfico 25 – Fotomicrografia de zircão (pt1) e de rutilo parcialmente recoberto por argilo-mineral (pt2). Gráfico composicional: (pt1)Zr=81,01%, Si=18,99% (pt2) Ti=99,50%, Si=0,21%, Al=0,30%. Horz. CrC – MEV

#### 4.6.4.2 Horizonte Bt<sub>2</sub>

Este horizonte é caracterizado pela predominância das frações areia fina e areia média com incremento significativo (24,76%) de argila. A base mineralógica é de quartzo hialino com aumento do teor de amarelados em sentido às frações mais finas. As duas frações mais finas, além do quartzo, mostram a presença de grãos de rutilo, ilmenita e raras turmalinas. Quanto ao grau de arredondamento predominam os grãos sub-angulares sobre os sub-arredondados.

Nos poucos grãos melhor retrabalhados, vinculados à fração areia grossa, são freqüentes as marcas de percussão. Na mesma fração ocorrem raros agregados de grãos mais finos de quartzo, cimentados por óxido de ferro.

#### 4.6.4.3 Horizonte Bt<sub>1</sub>

Da mesma maneira que no horizonte anterior predominam as frações areia fina e areia média, com elevado teor de argila (22,53%). As demais classes granulométricas, com exceção do silte (6,38%), são pouco expressivas. A mineralogia predominante é de quartzo hialino em todas as frações, com aumento paulatino e significativo de quartzo amarelado em direção ao topo do perfil. Os minerais pesados são representados por turmalina, raras granadas, rutilo, muita ilmenita e raros zircões nas frações areia fina e areia muito fina. Em termos de grau de arredondamento predominam os grãos sub-angulares. As frações areia grossa e areia muito grossa mostram um maior grau de arredondamento e poucas marcas de percussão. Inclusos nestas frações aparecem raros agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro.

#### 4.6.4.4 Horizonte A

Este horizonte é constituído predominantemente pelas frações areia média e areia fina, subordinadamente por argila (13,55%) e silte (9,39%). As demais frações, como nos horizontes anteriores, são pouco expressivas. O quartzo é o mineral principal. É hialino em todas as frações, aumentando o teor dos grãos amarelados em direção ao topo do perfil. Os minerais pesados são representados pela magnetita, reconhecida pelo forte magnetismo, rutilo, muita ilmenita, raros zircões, vinculados às frações areia fina e areia muito fina.

Os grãos são predominantemente sub-angulares diminuindo o grau de arredondamento em direção aos mais finos e aumentando em direção as frações mais grosseiras. Nestas, os grãos mais retrabalhados mostram freqüentes marcas de percussão e recobrimento parcial por uma fina película de óxido de ferro.

#### 4.6.4.5 Horizonte Ap

Horizonte caracterizado pela predominância das frações areia fina e areia média, subordinadamente argila (10,07%). A mineralogia é quartzosa, com grãos hialinos e com aumento dos amarelados em direção às frações mais finas (Figura 49).

Os minerais pesados restringem-se às frações areia fina e areia muito fina e são representados por rutilo, muita ilmenita, magnetita (Figura 50/Gráfico 26) e raras turmalinas.

Relativo ao grau de retrabalhamento, predominam os grãos sub-angulares sobre os sub-arredondados, tornando-se sub-angulares e angulares na fração areia muito fina. É comum a ocorrência de uma fina película de óxido de ferro ou até mesmo de sílica recobrimo, de modo indistinto grãos de todas os tamanhos. Nos clastos mais arredondados das classes de maior granulometria são comum as marcas de percussão.

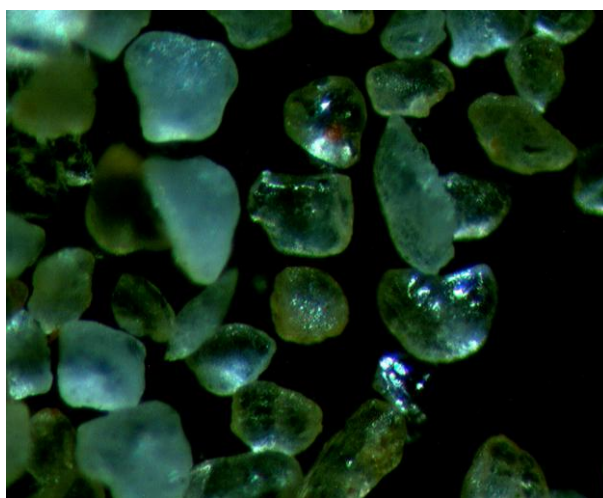
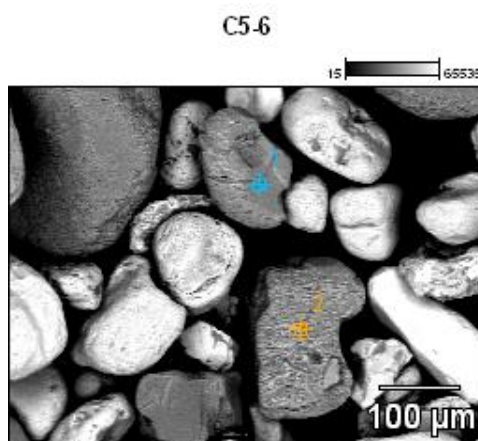


Figura 49 - Clastos de quartzo hialinos e amarelados. Horz. Ap. Fração areia fina. Lupa 35x



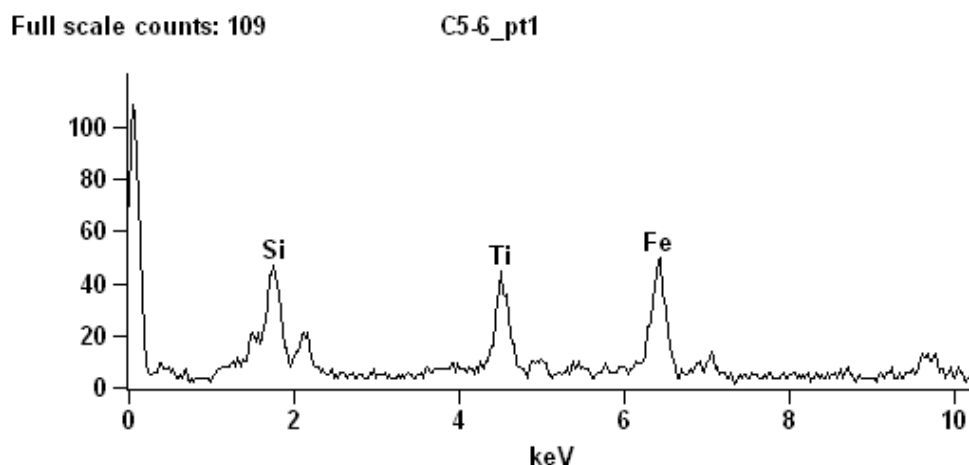


Figura 50/Gráfico 26 – Clasto de magnetita titanífera recoberto parcialmente por sílica. Gráfico Composicional: Si=15%; Ti= 30,70%; Fe= 54,31%. Horz. Ap – MEV

#### 4.6.4.6 Características químicas das camadas rochosas e dos horizontes pedogênicos

Embora o zircão e a turmalina ocorram em alguns horizontes, a percentagem de zircônio e de boro (nas turmalinas) foram insuficientes para serem detectados na análise.

Os demais elementos, principalmente Ca, K e P não foram considerados em razão da possibilidade de ocorrerem valores anômalos oriundos de correção e adubação do solo, visto algumas áreas serem de antigas lavouras ou até mesmo lavouras atuais.

	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Cr	300493	620	9560	3231	247	54
Cr/R	290408	559	13079	4613	369	0
CrC	274873	802	14208	5029	408	68
Bt <sub>2</sub>	255010	2107	31185	13750	132	691
Bt <sub>1</sub>	264333	2615	36473	13047	79	383
A	269807	1539	18441	8392	171	409
Ap	276050	1705	11708	6134	171	341

Quadro 09 - Concentração dos elementos químicos principais por horizonte. Valores expressos em microgramas por gramas ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

O (Quadro 09) mostra um crescimento proporcional significativo a partir das camadas rochosas e do horizonte pedogênico CrC dos elementos Ti, Fe e Al, com picos de alta nos horizontes Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>1</sub>. O magnésio tem um pico de alta no horizonte CrC, enquanto que o manganês o tem no horizonte Bt<sub>2</sub>. O silício mantém-se praticamente constante ao longo de todo o perfil

#### 4.7 Perfil da Lagoa Verde

##### 4.7.1 Características geológicas da área do perfil

Este perfil topograficamente ocupa um divisor de águas, com pouco mais de 180m de cota. O relevo é de colina pouco convexa. O substrato rochoso corresponde aos arenitos da Formação Guará (Figura 51). Nas proximidades, tanto ao sul quanto a noroeste, os arenitos e as vulcânicas das formações Botucatu e Serra Geral, respectivamente, se fazem presentes. As atividades erosivas do tipo voçorocamento não são encontradas no entorno da área do perfil.



Figura 51 – Perfil da Lagoa Verde

#### 4.7.2 Dados granulométricos

O quadro 10 e o gráfico 27 mostram a distribuição das classes granulométricas no perfil da Lagoa Verde. Em termos gerais, a granulometria tamanho areia é dominada pelas frações areia média e areia fina, subordinadamente areia muito fina. Contudo, há uma oscilação significativa entre os teores arenosos principais em direção ao topo do perfil. Nas duas camadas rochosas R e RCr existe uma predominância expressiva da areia média sobre a areia fina, sendo o teor de argila baixo em ambos (5,59% e 7,4 respectivamente). Na passagem da camada RCr para o Bi é notável, na fração areia média, a redução de seu teor, que passa de 77,54% para 18,19%. Concomitante, há um acréscimo significativo das frações areia fina e muito fina, bem como de silte e argila. Esta passa de 7,4% na camada RCr para 27,17% no horizonte Bi, correspondendo a seu pico de máxima, tornando a regredir percentualmente em direção ao horizonte A, onde chega a 15,12%. Esta situação, em função da ausência de outra mineralogia que não quartzo e/ou minerais pesados resistentes, indica a remoção inicial de areia média e o aporte alóctone de material mais fino, especialmente de argila.

Perfil	Cam./Hor.	Profundidade (cm)	Granulometria (mm/%)							Textura
			2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,250	0,250 a 0,125	0,125 a 0,062	Silte	Argila	
Lagoa Verde	A	0 - 23,0	0,08	1,06	21,51	40,28	13,14	8,63	15,12	Areia Fr*
	AB	23,0 - 55,0	0,04	1,01	22,3	34,65	12,61	9,59	19,76	Areia Fr
	Bi	55,0 - 95,0	0,13	0,84	18,19	29,89	13,38	10,4	27,17	Fr.Arg.Ar**
	RCr	95,0 - 150,0	0	2,04	77,54	10,12	1,94	0,95	7,4	Areia
	R	150,0 - 200,0	0,09	5,28	68,8	17,24	1,47	1,53	5,59	Areia

\* Areia Franca; \*\*Franco Argilo Arenosa.

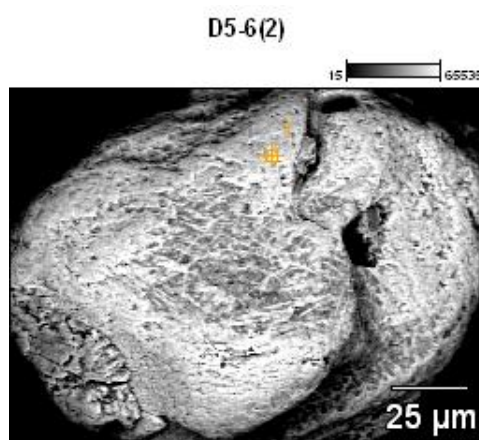
Quadro 10 - Distribuição granulométrica, em percentagem, dos intervalos de classe e a classificação textural do Perfil da Lagoa Verde.



#### 4.7.3 Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

O substrato rochoso aqui descrito corresponde à rocha sã e parcialmente alterada, identificadas no perfil como camadas R e RCr, respectivamente. Trata-se de rocha clástica bem a muito bem selecionada, com um padrão quase que homogêneo de tamanho de grãos. Mesmo em lâmina oriunda de amostra orientada, não foi constatado nenhum tipo de estrutura na rocha. Em termos minerais é constituída na sua quase totalidade por quartzo monocristalino (>95%), raras turmalinas e freqüentes opacos, entre eles magnetita, reconhecida pelo hábito octaédrico e rutilo (Figura 52/Gráfico 28). O quartzo foi reconhecido pela ausência de clivagem, baixa birrefringência, extinção ondulante em muitos grãos e por sua característica uniaxial positiva. A turmalina foi identificada pelo seu pleocroísmo azul esverdeado e extinção reta. Os clastos são, em geral, sub-angulares, raros sub-arredondados. Alguns grãos de quartzo mostram-se com hábito prismático alongado.

O teor de material argiloso, reconhecido ao microscópio de polarização por sua baixa birrefringência e na microscopia de varredura pelo elevado teor de silício e alumínio, é baixo e restringe-se a recobrir parcialmente alguns clastos (Figura 53/Gráfico 29). O grau de alteração ainda é incipiente, identificado pela presença de argila como revestimento, assim como pela presença de óxido de ferro, como fina película, sobre os bordos de alguns grãos (Figura 54).



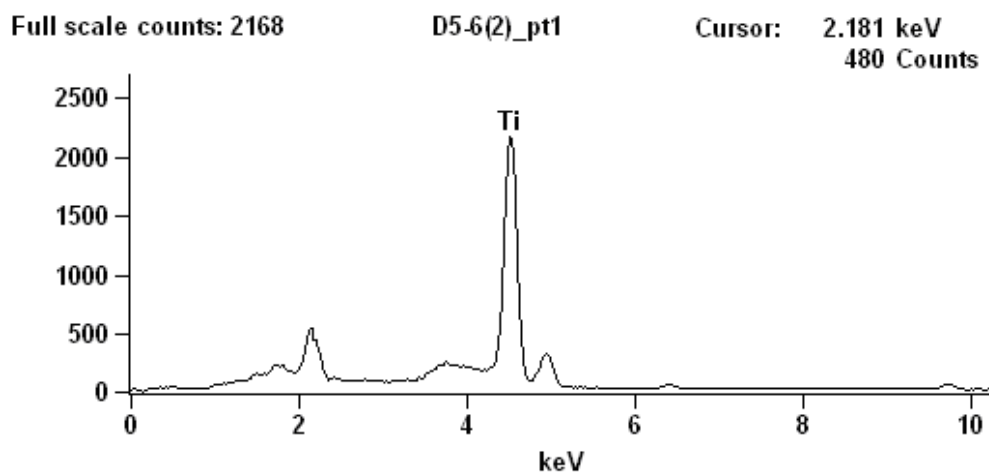


Figura52/Gráfico28: Fotomicrografia de um grão de rutilo. Gráfico composicional: (pt1) Al=0,82%, Si=3,25%, Ti=93,23 e Fe=2,70%. Camada R – MEV.

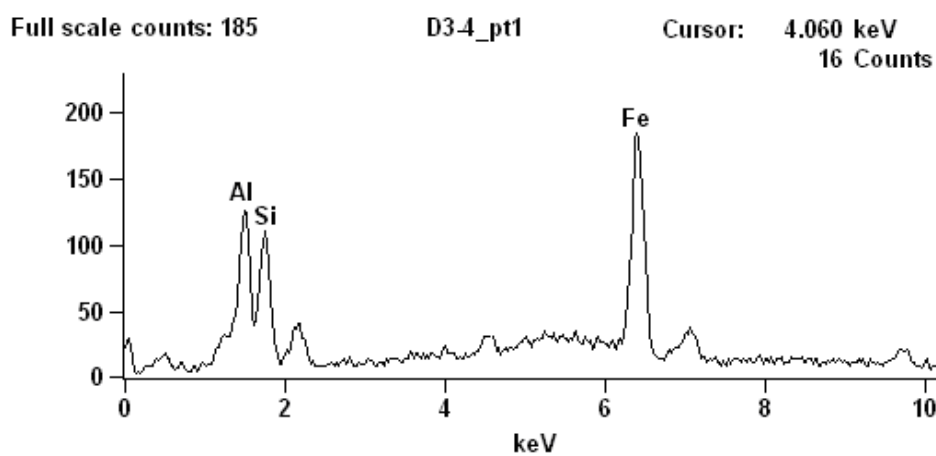
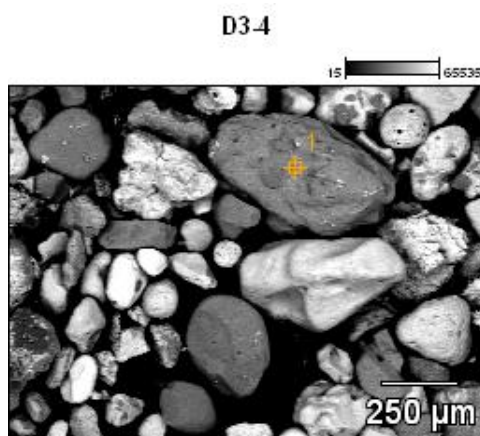


Figura 53/Gráfico29 - Fotomicrografia de magnetita titanífera parcialmente revestida por argila. Gráfico composicional: Fe=60,91%, Ti=2,77%, Si=16,97%, Al=17,64%. Camada R – MEV

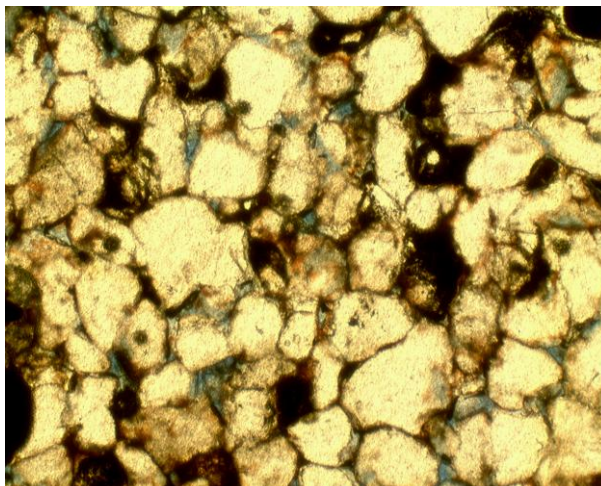


Figura 54 - Fotomicrografia de grãos de quartzo com bordos parcialmente revestido por óxido de ferro. Camada R – Microscopia de polarização. LN 35x

A parte parcialmente alterada, que corresponde a camada RCr do perfil, do mesmo modo que a camada anterior, é constituída por clastos de quartzo, com um leve aumento na percentagem dos opacos, possivelmente hematita identificada por suas tintas avermelhadas.

As classes granulométricas principais e o grau de retrabalhamento são os mesmas da camada R. Os grãos de quartzo com hábito prismático alongado continuam freqüentes. Ocorreu acréscimo no teor de argila, que além de cobrir parcialmente alguns grãos, distribui-se também de maneira irregular por entre os clastos, sem contudo constituir uma matriz típica.

Macroscopicamente, a camada R é caracterizada pelo predomínio da fração areia média, secundada pela fração areia fina que no total perfazem cerca de 86%. De maneira pouco expressiva aparecem areia grossa e areia muito fina. A mineralogia é basicamente quartzosa, hialina, raros grãos amarelados, com a presença freqüente de rutilo, mais raramente zircão (Figura 55/Gráfico 30) e magnetita, concentrados nos intervalos areia fina e areia muito fina. O rutilo foi reconhecido pela cor castanho de forte brilho, alguns com terminações bipiramidais e estrias verticais; o zircão pela sua cor enfumaçada, transparente (Figura 56) e a magnetita pelo seu forte magnetismo. Concomitantemente, presença destes pesados foram também identificados na microscopia de varredura. Quanto a grau de arredondamento predominam nas frações dominantes os grãos sub-angulares, embora apareçam de maneira subordinada grãos melhores retrabalhados.

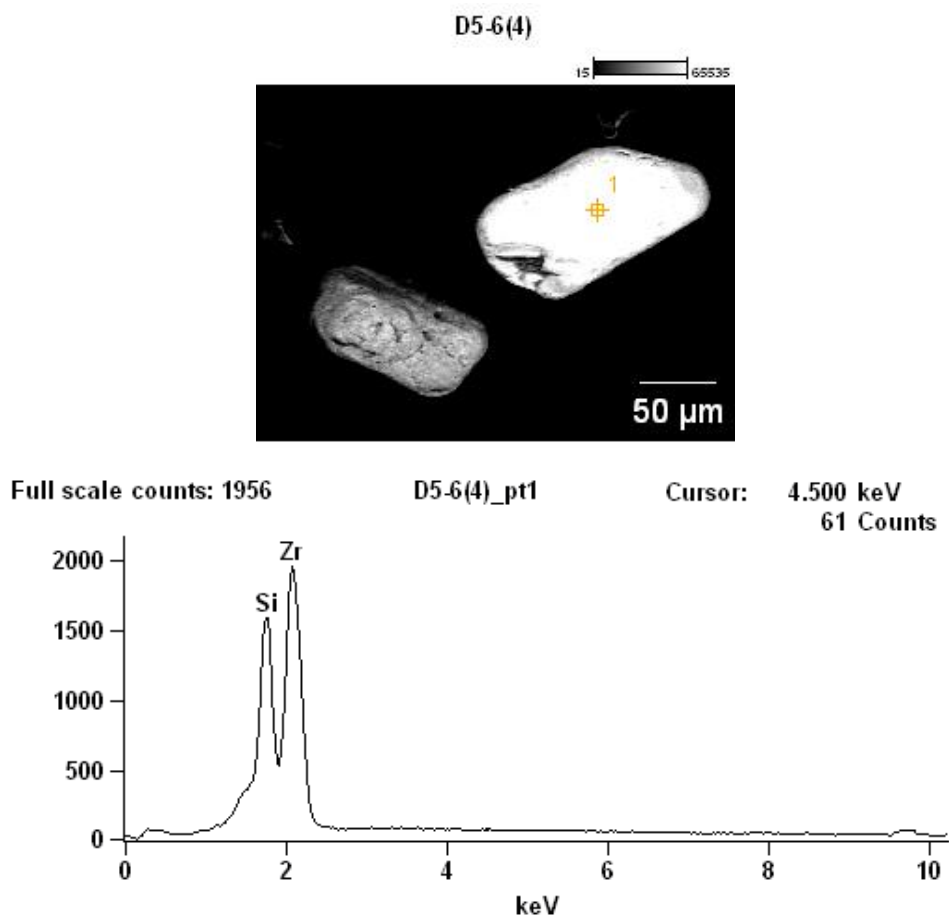


Figura 55/Gráfico 30 - Fotomicrografia de um grão de zircão. Composição de: Si= 21,52 e Zr=78,48%. Camada R – MEV

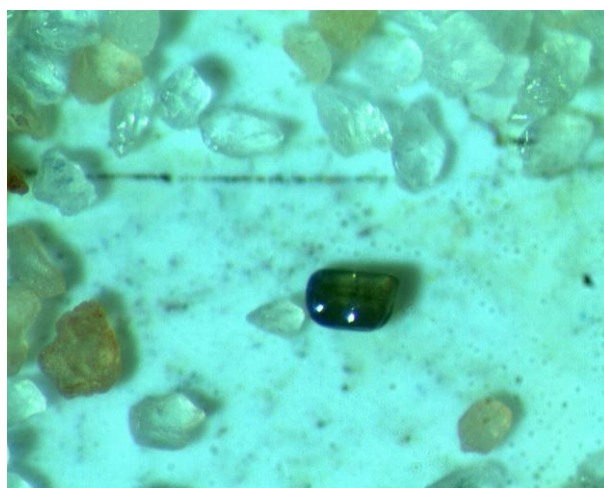


Figura 56 - Foto de grão de zircão. Camada R Lupa 35x.

Do mesmo modo que a anterior, na camada RCr há predomínio das frações areia média e areia fina, especialmente a primeira que atinge 77,54% e juntas

87,66%. De maneira muito subordinada aparecem as demais classes. A mineralogia é constituída predominantemente por quartzo hialino, poucos amarelados. Os minerais pesados aparecem a partir da areia média, incrementando para as frações mais finas. São representados por rutilo (dominante) e zircão de maneira subordinada. O arredondamento dos grãos é em geral subangular, especialmente nas frações mais finas. Nas frações mais grossas, os clastos são melhor retrabalhados e mostram frequentes marcas de percussão.

#### 4.7.4 Caracterização da fração areia dos horizontes pedogênicos

##### 4.7.4.1 Horizonte Bi

Este horizonte é caracterizado pela participação dominante de três classes granulométricas: areia fina, média e muito fina. É significativo a queda percentual da fração areia como um todo em detrimento do crescimento, também significativo, da fração argila. A mineralogia é constituída predominantemente por quartzo hialino, com crescimento dos amarelados a partir da fração areia grossa. Os minerais pesados são representados pela ilmenita, rutilo e poucos zircões (Figura 57). Todos aparecem na fração areia média e apresentam incremento nas frações mais finas, especialmente na areia fina. As frações mais grossas (areia grossa e muito grossa), embora pouco representativas, mostram freqüentes agregados de quartzo mais fino cimentados por óxido de ferro (Figura 58).

O grau de arredondamento varia de sub-arredondado nas frações mais grosseiras até sub-angular à angular nas frações mais finas.



Figura 57 - grãos de rutilo (os dois inferiores e o superior) e de zircão (parte média superior). Horz. Bi. Fração areia fina. Lupa 35x.

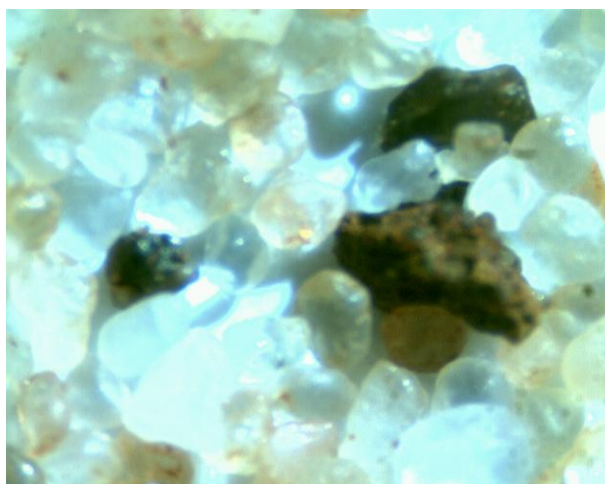


Figura 58 - Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro. Horz. Bi. Fração areia grossa. Lupa 35x.

#### 4.7.4.2 Horizonte AB

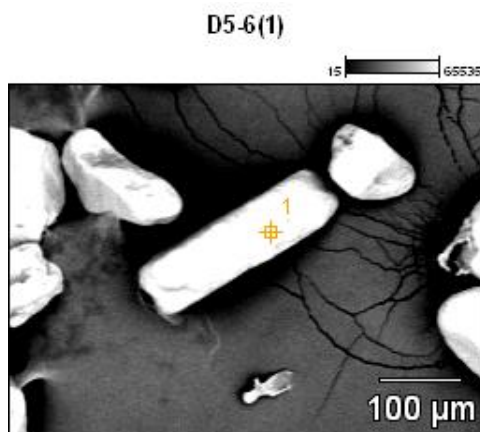
Horizonte formado predominantemente por areia fina e média, de modo subordinado pela areia muito fina. O teor de argila teve um decréscimo em relação ao horizonte anterior. As frações mais grossas são pouco representativas. A mineralogia é quartzosa, hialina, raros amarelados. Os minerais pesados restringem-se às frações areia fina e muito fina, sendo representados por muita ilmenita, rutilo, raros zircões e magnetita titanífera e possivelmente raras goethitas, estas

identificadas pela cor vermelho amarelada e hábito botroidal. Quanto ao retrabalhamento predominam os grãos sub-angulares até angulares nas frações mais finas e até sub-arredondados nas frações mais grossas.

#### 4.7.4.3 Horizonte A

Tal como o horizonte anterior, predominam as frações areia fina, média e muito fina. O teor de argila praticamente mantém-se constante em relação ao horizonte anterior. A mineralogia é constituída por quartzo hialino em todas as classes granulométricas e minerais pesados como a ilmenita, rutilo, raros zircões e magnetitas nas frações areia fina e muito fina. Alguns grãos de minerais pesados encontram-se parcial ou totalmente revestidos por fina película de argila ou por sílica (Figura 59/Gráfico 31 e Figura 60/Gráfico 32).

Em geral, predominam os grãos sub-angulares, especialmente nas frações mais finas e sub-arredondados nas frações mais grossas. Nestas, os clastos melhor retrabalhados mostram freqüentes marcas de percussão.



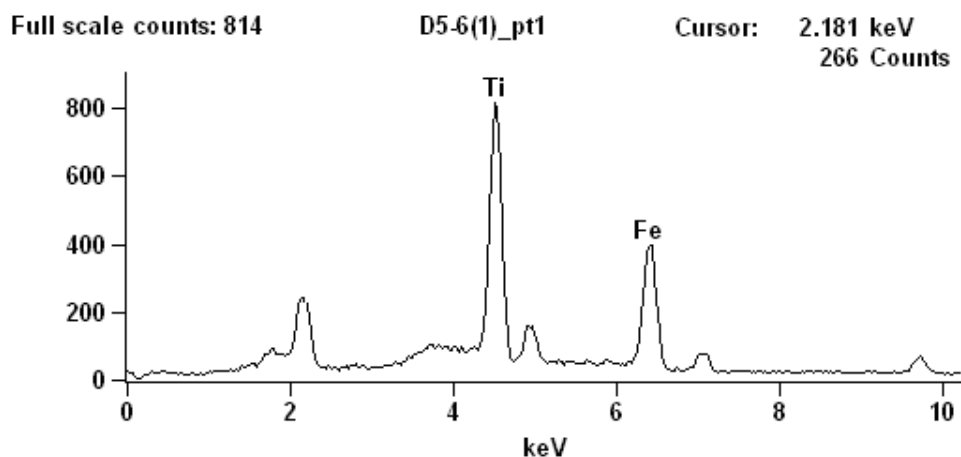


Figura 59/gráfico 31 - Fotomicrografia de um grão de ilmenita revestido parcialmente por sílica. Composição: Si=1,17%, Ti=51,12 e Fe=47,11%. Horz. A – MEV

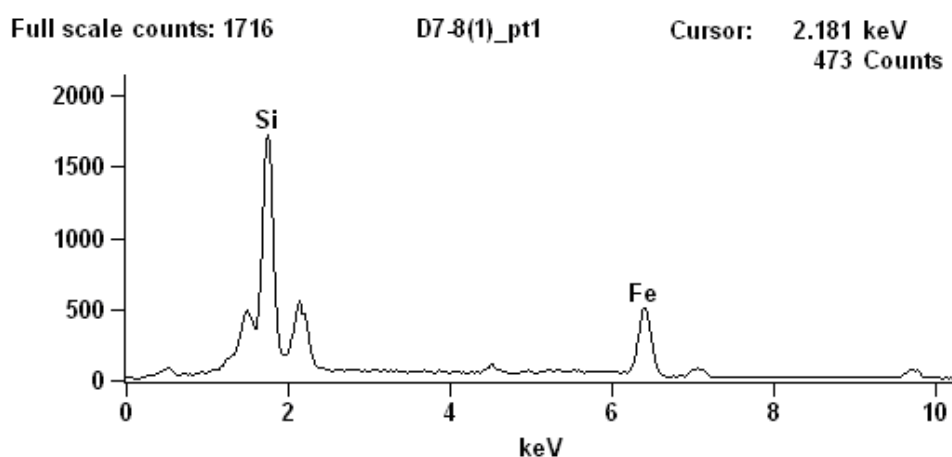
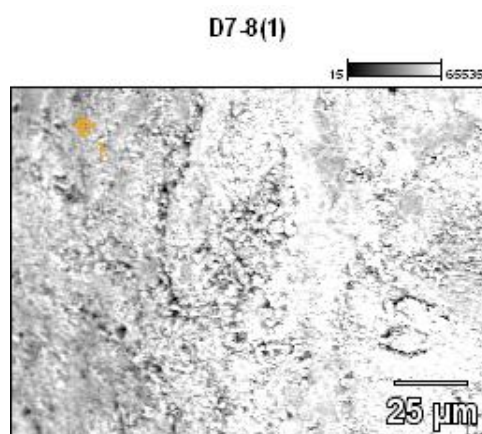


Figura 60/Gráfico 32 - Fotomicrografia de um grão de magnetita titanífera revestido por sílica. Composição: Al= 7,69%, Si=44,72%, Ti=2,74%, Fe=44,86%. Horz. A - MEV



#### 4.7.4.5 Características químicas da camada rochosa e dos horizontes pedogênicos

Embora, o zircão e até mesmo a turmalina ocorram em alguns horizontes, a percentagem de zircônio e de boro (nas turmalinas) foram insuficientes para serem detectados na análise. O sódio, por sua ocorrência anômala, não foi considerado.

Os demais elementos, principalmente Ca, K e P não foram considerados em razão da possibilidade de ocorrerem valores anômalos oriundos de correção e adubação do solo, visto algumas áreas serem de antigas lavouras ou até mesmo lavouras atuais.

	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
R	291440	527	6812	2498	167	28
RCr	301830	789	10539	3709	219	25
Bi	248197	2864	40840	15226	660	97
AB	280597	3359	28512	12285	577	143
A	283554	1923	19347	9253	444	117

Quadro 11 - Concentração dos principais elementos químicos por horizonte. Valores expressos em ug / g.

Observando-se o (Quadro 11), nota-se um crescimento proporcional significativo dos elementos Ti, Fe, e Al a partir dos horizontes rochosos, tendo os picos de alta entre os horizontes Bt e AB. A variação do teor de silício não é expressivo ao longo do perfil.

## 5 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

### 5.1 Perfis Arroio Miracatu / IFF Alegrete

Embora os dois perfis tenham sido abertos sobre os arenitos da Formação Botucatu, o substrato rochoso de ambos mostra, em termos proporcionais, uma relativa diferença em seus respectivos teores do intervalo argila. Enquanto no primeiro (Arroio Miracatu) gira entre 6 e 7%, no segundo (IFF Alegrete) atinge cerca de 13%, que faz com que a classificação textural varie de areia no primeiro, para areia franca no segundo.

Em termos de classificação petrográfica, ambos são classificados, segundo Folk (1974), como quartzo-arenito, sendo que o Perfil IFF Alegrete já se encontra no limite para sub-arcósio em função do leve decréscimo no teor de quartzo e da presença, embora rara, de feldspato alterado, que associados ao aumento no teor de argila, impõem esta tendência. Esta variação do teor de argila entre os dois substratos rochosos tem respaldo tanto químico quanto mineralógico. Assim, a concentração de alumínio, que no Perfil Arroio Miracatu oscila entre 11000 e 12000  $\mu\text{g g}^{-1}$ , no IFF Alegrete varia entre 15000 e 19646  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Tal concentração é justificada pela presença de caulinita em ambos perfis, mas com valor mais alto no segundo em função da também ocorrência de argila 2:1, possivelmente esmectita, que é ausente no primeiro.

Ainda em termos de diferenças entre os substratos dos dois perfis, pode-se salientar as variações nos teores de ferro e titânio, que tem concentrações mais elevadas no perfil IFF Alegrete, onde o ferro oscila entre 5402 e 8350  $\mu\text{g g}^{-1}$  e o titânio entre 882 e 1133  $\mu\text{g g}^{-1}$ , do que no perfil Arroio Miracatu, onde o ferro oscila entre 3701 e 2969  $\mu\text{g g}^{-1}$  e o titânio entre 446 e 517  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Tal variação reflete-se na maior ocorrência de magnetita/ magnetita titanífera e rutilo no Perfil IFF Alegrete. As variações das concentrações de magnésio e manganês está, em princípio, diretamente vinculadas a capacidade de substituírem o ferro ferroso na estrutura da magnetita. Já a presença de zircão, que é um acessório constante em ambos substratos rochosos, não mostra variações significativas entre os mesmos.

Nos horizontes pedogênicos, os dois perfis passam a mostrar diferenças significativas tanto na distribuição granulométrica, sobretudo na fração argila, quanto

na concentração dos elementos químicos principais, que se refletem muito pouco em termos de variedade mineral e muito mais no teor de ocorrência dos mesmos.

Assim, no Perfil Arroio Miracatu, na passagem do substrato rochoso para os horizontes pedogênicos, ocorre um acréscimo expressivo da fração argila, que passa de cerca de 7% na camada Cr para 36% no horizonte BC, atingindo o pico de 46% no horizonte B<sub>2</sub>, diminuindo em direção ao topo do perfil, quando passa para 16%. Concomitante ocorre o decréscimo das frações areia média e areia grossa, esta pouco representativa no total. Análises e interpretações de raios X indicam que a fração argila é constituída por caulinita, quartzo e hematita, o que por si só, já justifica as elevações das concentrações de alumínio e ferro que passam, respectivamente, de 11000  $\mu\text{g g}^{-1}$  e 2969  $\mu\text{g g}^{-1}$  na camada Cr para 44000  $\mu\text{g g}^{-1}$  e 25659  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte BC, atingindo o pico de máxima no horizonte Bt<sub>2</sub>, quando chegam a 58451  $\mu\text{g g}^{-1}$  e 30702  $\mu\text{g g}^{-1}$ , respectivamente.

Por sua vez, o titânio a partir da camada Cr, onde a concentração é de 517  $\mu\text{g g}^{-1}$ , passa para cerca de 5900  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos horizontes sobrejacentes BC, Bt<sub>3</sub> e Bt<sub>2</sub>, diminuindo para cerca de 4300  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos horizontes Bt<sub>1</sub> e A. Esta elevação na concentração de titânio se traduz-se no aporte significativo de ilmenita nestes horizontes e cuja a identificação final foi feita com o uso da microscopia de varredura.

O magnésio apresenta teores proporcionalmente mais elevados nos mesmos horizontes, apresentando um pico de alta, 2058  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte A. O magnésio acompanha geoquimicamente ao ferro ferroso, a quem pode substituir de maneira isomórfica tanto na magnetita, quanto na ilmenita, contudo o pico de alta, ao que tudo indica, parece ser anômalo e muito mais vinculado a processo antrópico de correção de pH de solo, do que substituindo o ferro em estrutura mineral.

Já o manganês tem seu pico de alta no horizonte BC, aparentemente de maneira excessiva, visto passar de 11  $\mu\text{g/g}$  na camada Cr para 2611  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte BC, diminuído em direção ao horizonte Bt<sub>1</sub> (148  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e tendo um pico moderado de alta, 337  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte A. Embora possa também substituir ao ferro ferroso na estrutura da magnetita e da ilmenita, estes dois picos do Mn podem ser parcialmente explicados pelo aparecimento de psilomelano ( $\text{Ba M}^2 \text{Mn}^4_8 \text{O}_{16} (\text{OH})_4$ ), justamente nos horizontes BC e A. Segundo Krauskopf (1972), trata-se de um mineral supergênico, cujo o manganês é oriundo da decomposição de rochas

pré-existentes, acompanhando geoquimicamente o ferro ferroso até antes de sua precipitação como óxido.

Estabelecendo-se uma correlação simples de um elemento químico com outro (Spiegel, 1974), a única correlação expressiva (forte positiva) que aparece (Quadro 12) é entre o ferro e o titânio, com valor próximo a 1 (0,98807), indicando que o crescimento da concentração de ambos está fortemente interligado. Este duplo crescimento de concentração pode ser explicado pelo aporte de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) ao longo dos horizontes pedogênicos.

Por outro lado, o aumento da concentração de manganês, ao que indica o quadro de correlação, não está vinculado ao aumento/retração da concentração de outro elemento, o que pode ser justificado pelo aparecimento isolado de psilomelano nos horizontes BC e A, justamente os dois horizontes com os maiores picos de concentração do elemento.

Assim, além da influência do substrato rochoso, evidenciada pela manutenção do quartzo, em geral preservando seus aspectos morfométricos e por seus minerais acessórios que se repetem ao longo de todos os horizontes pedogênicos sobrepostos, a significativa variação tanto no teor de argila, quanto na concentração dos elementos químicos principais presentes, retratada num aumento significativo de argilo-minerais e da participação de minerais acessórios, bem como pelo surgimento de uma mineralogia alheia ao substrato rochoso (ilmenita e psilomelano), indicam a forte participação alóctone no desenvolvimento pedogênico, cujo o material, por questões de vínculo original, parece estar ligado à alteração das rochas vulcânicas básicas do entorno.

Perfil Arroio Miracatu						
	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Si	1					
Ti	-0,439	1				
Al	-0,172	0,4033	1			
Fe	-0,458	0,9881	0,5011	1		
Mg	0,3957	0,4858	0,33956	0,4857	1	
Mn	-0,233	0,443	-0,27133	0,3442	0,0307	1

Quadro 12 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil Arroio Miracatu

Já o Perfil IFF Alegrete, em geral, mostra um comportamento distinto do Perfil Arroio Miracatu. No tocante a distribuição granulométrica, as variações mais significativas dizem respeito a uma diminuição paulatina da fração areia média em direção ao topo do perfil, onde constitui cerca de 29,09% do horizonte A e ao crescimento abrupto da fração silte neste mesmo horizonte, quando atinge 19,24%.

Com exceção da fração argila, que apresenta um decréscimo no horizonte C<sub>1</sub>, as demais variações são pouco expressivas. A variação da fração argila mostra estreita ligação com a variação do alumínio, visto este fazer parte da composição química dos minerais argilosos como a caulinita e argila 2:1, possivelmente esmectita, presentes nesta fração. Assim, o alumínio que tem concentração de 19646  $\mu\text{g g}^{-1}$  na camada rochosa Cr, vinculada aos 13,68% de sua fração argilosa, responde de maneira similar, só que em sentido inverso, no horizonte C<sub>3</sub>. Neste e nos demais horizontes, exceto no horizonte A, a redução da fração argila é acompanhada pela redução da concentração de alumínio, indicando a remoção de parte do argilo-mineral presente.

Já o aumento na concentração de titânio que passa de 1133  $\mu\text{g g}^{-1}$  na camada Cr para cerca de 2800  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos horizontes C<sub>3</sub> e C<sub>2</sub> e do ferro que de forma menos expressiva passa de 8350  $\mu\text{g g}^{-1}$ , na camada rochosa, para 10964 e 8565  $\mu\text{g g}^{-1}$  nestes mesmos horizontes, tem seus aportes vinculados a elevação na concentração de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) e de magnetita ( $\text{Fe}^{2+} \text{Fe}^{3+}_2 \text{O}_4$ ), ambas produto da atividade alóctone e cuja procedência está vinculada às rochas vulcânicas básicas das proximidades.

A concentração de magnésio mostra um comportamento um tanto ambíguo, visto estar presente no substrato rochoso na concentração média de 698  $\mu\text{g g}^{-1}$ , possivelmente ligado à estrutura da magnetita, onde pode substituir o ferro ferroso ( $\text{Mg}^{2+} = 0,66\text{Å} / \text{Fe}^{2+} = 0,74\text{Å}$ ). Contudo, o seu crescimento é negativo nos horizontes C<sub>3</sub> e C<sub>2</sub>, horizontes estes que apresentam um crescimento de ilmenita. Como tal poderia ser esperado um aumento na concentração de Mg e Mn substituindo ao ferro ferroso, o que não foi verificado, como pode ser comprovado pelo rebaixamento do teor de magnésio, que passou de cerca de 600  $\mu\text{g g}^{-1}$  no substrato rochoso para 300  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos horizontes pedogênicos intermediários. O manganês por sua vez passou de cerca de 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  para cerca de 130  $\mu\text{g g}^{-1}$  nos mesmos horizontes.

O desenvolvimento do horizonte pedogênico superficial A é marcado pela participação alóctone significativa do entorno geológico. A passagem do horizonte C<sub>1</sub> para o A é caracterizada, entre outras, pelo crescimento significativo de 5,47% para 19,24% da fração silte, bem como do teor de alumínio que passa de 11000  $\mu\text{g g}^{-1}$  para 16000  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Este crescimento possivelmente vinculado ao aumento da fração argila, constituída por caulinita (7,13 – 3,56 Å), quartzo (4,25 – 3,34 Å) e traços de hematita (2,68 Å), ainda acrescida de argila 2:1. Esta última deve ter sua origem atrelada à decomposição do plagioclásio cálcico (labradorita?) das rochas básicas, num nível intempérico ainda de pouca remoção de sílica.

As variações mais significativas neste horizonte dizem respeito ao crescimento das concentrações de ferro, magnésio e manganês, que no horizonte C<sub>1</sub> apresentam valores respectivos de 8526 / 337 / 150  $\mu\text{g g}^{-1}$ , passando para 27745 / 2842 / 544  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte A.

A elevação na concentração de ferro possivelmente esteja vinculada ao aporte alóctone de magnetita, esta em geral muito pouco retrabalhada (mantém o hábito cúbico/octaédrico), indicando uma maior proximidade com a área fonte, bem como pela presença possível de goethita, cujo o ferro constituinte deve ter sua origem vinculada à decomposição do piroxênio dos basaltos.

Já as concentrações do magnésio e do manganês passam respectivamente para 2842 / 544  $\mu\text{g g}^{-1}$  no horizonte A, mostrando proporcionalmente um crescimento anômalo, sobremaneira o magnésio que tem uma elevação igual a nove vezes. Parcialmente, estas elevações podem ser explicadas pela possibilidade de substituição isomórfica do ferro ferroso da magnetita tanto por magnésio, quanto por manganês. O manganês bivalente acompanha, no ciclo geoquímico de superfície, ao ferro ferroso, com o qual permanece junto em solução (Krauskopf, 1972). Assim, é de se esperar também presença de manganês na estrutura da goethita que pode chegar, segundo Dana (1978), a mais de 5%. Por outro lado, o crescimento anômalo do magnésio talvez esteja mais vinculado à atividade antrópica de correção do pH de solo, com o uso de mármore dolomítico moído em lavouras circunvizinhas, do que substituindo ao ferro ferroso em estrutura mineral.

Estabelecendo-se uma correlação simples entre duas variáveis (elementos químicos), verifica-se no (Quadro13) que existem somente quatro valores expressivos, sendo três forte positivos e um forte negativo. Os de correlação positiva, ou seja, aqueles que tiveram suas variações de crescimento associadas

entre si, são o Fe/Mg, Fe/Mn e Mg/Mn. O de valor negativo diz respeito a correlação entre o silício e o alumínio, que implica no crescimento inverso de um relação ao outro. As demais correlações são pouco a quase nada expressivas, ou seja, elementos químicos tem oscilações independentes, não tendo ligações com as oscilações do elemento comparado.

Perfil IFF Alegrete						
	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Si	1					
Ti	-0,506	1				
Al	-0,856	0,1505	1			
Fe	0,3457	-0,196	-0,60607	1		
Mg	0,2763	-0,454	-0,44299	0,9244	1	
Mn	0,3869	-0,382	-0,61564	0,8987	0,9506	1

Quadro 13 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil IFF Alegrete

## 5.2 Perfis São João I / São João II / Lagoa Verde

Os três perfis foram abertos sobre as sequências arenosas da Formação Guará.

No perfil São João I, a camada rochosa RCr mostra um predomínio das frações areia fina e areia média. Já em direção ao topo da camada rochosa Cr, as duas frações crescem inversamente, com crescimento positivo para a areia média e negativo para a areia fina. Concomitantemente neste intervalo ocorre um leve aumento no teor de argila, que juntamente com a presença de óxido de ferro preenchendo fraturas e recobrando parcialmente bordos de alguns grãos, especialmente de quartzo, já aponta para uma participação externa.

A partir da camada Cr em direção aos horizontes pedogênicos BC e Bi há um crescimento da fração argila, que passa de 6,44% para 15,52% e 17,42%, respectivamente, indicando o aporte externo de material fino. A afirmação é corroborada pela inexistência de minerais instáveis (feldspatos, anfibólios...) no

substrato rochoso, que uma vez alterados, poderiam contribuir com o aumento do teor de argila. Ainda no aspecto granulométrico contribui também para reafirmar a influência alóctone, o crescimento seqüencial da fração areia muito fina em direção ao topo do perfil, uma vez que inicia de um teor próximo a zero (0,66% e 0,75%) nas camadas rochosas até atingir (10,15% e 12,9%) nos horizontes BC e Bi, chegando no horizonte A com 13,86%. Assim, embora ao longo de todo o perfil a fração areia seja representada basicamente por areia média e areia fina e subordinadamente por areia muito fina, existe uma grande variação percentual ao longo dos horizontes.

Quanto as características mineralógicas, o substrato rochoso é classificado como quartzo-arenito, portanto constituído por quartzo e praticamente destituído de feldspatos e de fragmentos de rochas. A mineralogia acessória é representada principalmente por minerais pesados como o rutilo (principal), zircão, turmalina, todos praticamente vinculados às frações areia fina e muito fina. Esta mineralogia, associada à mineralogia básica quartzosa, repete-se, de um modo geral, ao longo de todo o perfil, neste caso ligando geneticamente os horizontes pedogênicos ao substrato rochoso. Contudo, torna-se mister salientar o aporte, a partir do horizonte BC, de uma mineralogia alheia ao substrato rochoso e representada principalmente por ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ). Este mineral pode apresentar uma significativa variação na relação Fe:Ti e ao mesmo tempo o ferro ferroso pode ser substituído isomorficamente por Mg e Mn, o que justifica o aparecimento destes elementos na composição de muitas ilmenitas. A ilmenita, de acordo com Pettijohn (1957), é quimicamente instável em climas tropical e sub-tropical úmidos, o que dificilmente lhe permitiria passar incólume pelo ciclo sedimentar que antecedeu a deposição dos sedimentos da Formação Guará. Por outro lado, a ilmenita é um mineral acessório comum em muitas rochas, entre elas vulcânicas como basaltos. Como este tipo de rocha faz parte do contexto geológico da área, além de ser estratigraficamente posicionado acima dos arenitos da Formação Guará, é de se esperar que produtos minerais oriundos de sua alteração sejam carreados e passem a fazer parte de um novo condicionamento geológico.

Em termos químicos é notória a relação entre o aporte de ilmenita e argila no perfil, que ocorre a partir do horizonte BC e a resposta que este aporte impõe à composição química original do substrato rochoso. Assim, elementos químicos como Fe, Ti, Mg, Mn e Al que fazem parte da composição química destes minerais, tem um forte incremento nas suas respectivas concentrações, como mostra a (Quadro 08).



O teor de silício praticamente mantém-se constante (oscila dentro do desvio padrão) ao longo de todo o perfil, não mostrando correlação significativa com os demais elementos, indicando que sua participação no substrato rochoso e nos horizontes pedogênicos constitui-se, de modo geral, numa ação isolada ou seja, faz parte da rocha e mantém-se como tal ao longo dos horizontes pedogênicos. Por outro lado, existem correlações significativas entre o Ti/Mg, Ti/Mn, Fe/Mn e de modo bem menos importante entre o Ti/Fe (Quadro 14). As duas primeiras correlações tem vínculo estreito entre elas, uma vez que são forte positiva, indicando um crescimento conjunto em termos de concentração. Tal situação tem vínculo direto com a ilmenita, visto que tanto o Mg quanto o Mn substituem o ferro ferroso em sua estrutura. O crescimento dos teores de Fe e de Mg, além da presença na ilmenita, deve-se também a liberação de ambos da estrutura dos piroxênios (augita e/ou hiperstênio), constituintes fundamentais na composição de basaltos.

Este mesmo raciocínio vale também para a relação Fe/Mn. Já a correlação Ti/Fe que deveria dar forte negativa, em função de crescerem inversamente na composição da ilmenita, mostra-se moderada positiva, possivelmente devido ao crescimento da concentração do ferro, oriundo da alteração dos piroxênios e responsável pelo cimento de agregados e pelo revestimento, como película, de muitos clastos nos horizontes pedogênicos.

Perfil São João I						
	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Si	1					
Ti	-0,51015	1				
Al	-0,49797	0,784371	1			
Fe	-0,70811	0,730506	0,841881	1		
Mg	-0,78566	0,897821	0,705895	0,693909	1	
Mn	-0,71533	0,932615	0,720838	0,843572	0,916815	1

Quadro 14 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil São João I.

Já o perfil São João II tem seu intervalo areia praticamente ocupado pelas frações areia média e areia fina e de maneira bem subordinada pela fração areia

muito fina. O substrato rochoso, composto pelas camadas Cr e CrR, mostra uma textura areia segundo Lemos & Santos (1984), onde as três frações arenosas principais somam cerca de 88,73% e 90,53% respectivamente. A partir da camada rochosa superior ocorre um incremento no teor de argila, que passa de 7,09% para 13,27%, 24,76% e 22,53%, respectivamente nos horizontes pedogênicos Cr/C, Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>1</sub>, diminuindo em direção ao topo do perfil. Concomitante ocorre um acréscimo no teor da areia muito fina, que passa de 3,83% na camada Cr para 7,63% no horizonte Bt<sub>2</sub> e 6,53% no Bt<sub>1</sub>. Os dois horizontes pedogênicos Bt<sub>2</sub> e Bt<sub>1</sub> passam à textura franco argilo arenosa.

As frações areia média e areia fina tem seus percentuais de ocorrência variando ao longo de todo o perfil, sendo que ambas tem seus picos de mínima no horizonte Bt<sub>2</sub> concomitante com a maior concentração de argila, caracterizando, deste modo, a participação de material sedimentar alheio ao perfil. Tal afirmação, baseada no aporte significativo de argila, é reafirmada, entre outras, pela ausência de uma mineralogia no substrato rochoso que possa, uma vez alterada quimicamente, produzir material do tipo argilo mineral. Corroborando a afirmação, o aumento de cimento ferruginoso que é praticamente ausente na camada basal do substrato rochoso, chegando a recobrir parcial ou totalmente e preencher fraturas de muitos clastos nos horizontes superiores ou, até mesmo, cimentar agregados de quartzo de diâmetro menor nas frações areia grossa e muito grossa destes mesmos horizontes.

A mineralogia é basicamente constituída por quartzo ao longo de todo o perfil. Nas camadas rochosas, os minerais acessórios são representados, principal, por rutilo, magnetita e zircão, que do mesmo modo que o quartzo, repetem-se praticamente em todos os horizontes sobrejacentes. Embora o aumento no horizonte pedogênico CrC já se faça sentir, é a partir do Bt<sub>2</sub> que o incremento de ilmenita torna-se significativo. Atinge seu ápice de ocorrência no horizonte Bt<sub>1</sub>, diminuindo em direção ao topo do perfil, deste modo corroborando a já afirmada, quando da análise da distribuição granulométrica, participação alóctone, principalmente oriunda de rochas básicas circunvizinhas.

Em termos da variação da concentração de elementos químicos, desde o substrato rochoso até aos horizontes sobrejacentes, é significativa a relação entre estes e a alteração da constituição mineralógica nos horizontes (Quadro 15). Assim, o Ti e o Fe que nas camadas rochosas apresentam um teor médio em torno de 600

$\text{ugg}^{-1}$  e  $4.000 \text{ ugg}^{-1}$  respectivamente, passam a apresentar crescimento nos horizontes pedogênico. O titânio passa para  $2.615 \text{ ugg}^{-1}$  no horizonte  $\text{Bt}_1$  e o ferro  $13.750 \text{ ugg}^{-1}$  no horizonte  $\text{Bt}_2$ , concomitante com o maior crescimento alóctone no teor de ilmenita e argila nestes horizontes. Respalda o forte aporte da ilmenita o crescimento da fração areia muito fina, que juntamente com a areia fina são as portadoras principais dos minerais pesados nos horizontes.

O manganês, que acompanha o ferro ferroso da ilmenita, do mesmo modo que o Ti e o Fe, tem suas maiores concentrações nos horizontes  $\text{Bt}_2$ ,  $\text{Bt}_1$  e A. Da mesma forma, o crescimento do teor de Al que apresenta concentração de  $13.079 \text{ ugg}^{-1}$  na camada Cr, tem seu pico de concentração no horizonte  $\text{Bt}_1$ , coincidente com o forte aporte alóctone de argila no perfil.

Embora o teor de silício, especialmente sob a forma de quartzo, mantenha-se quase que constante, ele apresenta uma oscilação negativa justamente nos horizontes  $\text{Bt}_2$  e  $\text{Bt}_1$ , que corresponde ao maior aporte de ilmenita, óxido de ferro e argila, justificando a correlação forte negativa (-0,82), (-0,89) e (-0,79) com o titânio, ferro e com o alumínio, caracterizando o crescimento inverso entre o silício e estes elementos. Da mesma forma, a correlação Si/Mn é também forte negativa (-0,86) uma vez que o manganês substitui ao ferro na estrutura da ilmenita. Já a correlação Ti/Fe é forte positiva visto crescerem juntos com o aporte da ilmenita, embora a proporção de crescimento do ferro seja maior devido ao seu aporte também como cimento ferruginoso.

Perfil São João II						
	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Si	1					
Ti	-0,82552	1				
Al	-0,79529	0,861565	1			
Fe	-0,89241	0,910469	0,960413	1		
Mg	0,56336	-0,88274	-0,67563	-0,75604	1	
Mn	-0,86456	0,835598	0,709551	0,873961	-0,80198	1

Quadro 15 - Correlação simples entre elementos químicos do Perfil São João II.

O Perfil Lagoa Verde tem todos os seus horizontes caracterizados no intervalo de classe areia pela predominância das frações areia média e areia fina, mas apresentando significativas variações percentuais ao longo deles. As camadas rochosas R e RCr tem neste intervalo valores próximos aos 90%, onde a areia média corresponde a 68,8% e 77,56% respectivamente, sendo secundada pela areia fina e subordinadamente pela areia grossa. O teor do intervalo argila é de 5,78% na camada rochosa basal e de 7,4% na superior. A partir desta camada em direção ao horizonte Bi, o perfil sofre uma profunda modificação em sua distribuição granulométrica, caracterizada pela retração da fração areia média que passa de 77,54% para 18,19%, com a concomitante elevação percentual das frações areia fina, areia muito fina e principalmente da fração argila, que passa de 7,4% para 27,17%. Estas variações apontam claramente para o aporte de material sedimentar externo à evolução original do perfil, sobremaneira a fração argila, uma vez que, tal qual os perfis anteriores, a composição mineralógica das camadas rochosas não concentram uma mineralogia que, uma vez alterada quimicamente, pudesse produzir argilo minerais suficientes para estabelecer tal crescimento. A textura que nas camadas rochosas era classificada, segundo Lemos & Santos (1984) como areia, passa bruscamente para franco argilo arenosa no horizonte Bi, sem grandes contrastes, em termos de croma, quando da passagem de um horizonte para o outro.

Quanto às características mineralógicas, o substrato rochoso é constituído basicamente por quartzo, sendo classificado petrograficamente como quartzo-arenito, tendo como minerais acessórios o rutilo (principal), zircão e magnetita titanífera associados às frações areia fina e muito fina. Em geral, esta associação mineral das camadas rochosas repete-se pelos horizontes sobrejacentes, deste modo, vinculando geneticamente o substrato rochoso aos horizontes pedogênicos. Por outro lado, é significativo o aporte de ilmenita no horizonte Bi, até então mineral alheio ao perfil. Juntamente com a ilmenita há um acréscimo de óxido de ferro sob a forma de cimento recobrimo e preenchendo fraturas de grãos de quartzo ou cimentando agregados quartzosos nas frações areia grossa e muito grossa ou como precipitado, formando possivelmente goethita. Tal como mencionado nos perfis anteriores, é de se esperar que tanto a ilmenita e o óxido de ferro quanto a argila acrescidas ao perfil, sejam oriundas de processos intempéricos sobre rochas

vulcânicas básicas circunvizinhas, cuja a mineralogia básica comporta além de plagioclásios (feldspatos) e piroxênios, também acessórios como a ilmenita.

Em base à constituição química do substrato rochoso e dos horizontes pedogênicos é notável a relação entre sua variação e o reflexo na constituição mineral do horizonte. Assim, os elementos químicos Ti, Fe, Mg, Mn e Al tem um crescimento proporcional significativo na passagem do substrato rochoso para os horizontes pedogênicos, especialmente o Bi como mostra o **quadro11**, sendo deste modo coincidente com o aporte de ilmenita, argila e cimento ferruginoso.

Em termos de correlação, cabe ressaltar as correlações forte negativas Si/Al e Si/Fe como mostra a (Quadro 16) mostrando crescimento negativo da concentração de silício e positivo das concentrações do alumínio e do ferro, a partir da camada rochosa RCr, coincidente com o aporte de ilmenita, argila e cimento ferruginoso. A correlação positiva Ti/Mg e Ti/Mn com o crescimento da concentração dos cátions Mg e Mn, está diretamente ligada à possibilidade de substituição isomórfica, na estrutura da ilmenita, do ferro ferroso por estes elementos.

Perfil Lagoa Verde						
	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Mn
Si	1					
Ti	-0,69477	1				
Al	-0,91949	0,890623	1			
Fe	-0,87001	0,943573	0,981227	1		
Mg	-0,84303	0,959568	0,970928	0,998376	1	
Mn	-0,50745	0,913469	0,700447	0,822296	0,849974	1

Quadro 16 - Correlação simples entre os elementos químicos do perfil Lagoa Verde

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi estabelecer, em termos de filiação, a relação entre o substrato rochoso e os horizontes subjacentes. Para tanto fizeram parte do mesmo o estabelecimento das características físicas, mineralógicas / petrográficas e químicas inerentes a todos os componentes rochosos e pedogênicos dos perfis.

Todas mostraram-se plenamente satisfatórias, sobretudo quando inter-relacionadas. Assim, o conhecimento da constituição mineral, em especial a dos minerais pesados e da constituição química do substrato rochoso são condições mínimas necessárias como ponto de partida na determinação da relação de filiação rocha/solo.

Das características físicas, a distribuição granulométrica ao longo de todos os perfis mostrou-se eficiente, em especial quando associada com a mineralogia e com as características químicas, porém os aspectos morfométricos como o grau de arredondamento e as texturas superficiais como marcas de percussão e padrão de fratura em clastos, não se mostraram adequados, visto a dificuldade de separação entre os clastos oriundos do substrato rochoso e aqueles de origem alóctone, uma vez que, além de pertencerem as mesmas frações granulométricas, são muito parecidos.

Os cinco perfis, embora dois deles tenham sido feitos sobre os arenitos da Formação Botucatu e três sobre os arenitos da Formação Guará, tem em comum o substrato rochoso classificado como quartzo-arenito, sendo que o IFF Alegrete encontra-se no limite para sub-arcósio. Salienta-se neste perfil, quando comparado com os demais, a maior concentração da fração argila que atinge cerca de 13% no substrato rochoso, enquanto que nos demais a fração é sempre menor que 7,5%. Acrescenta-se às características de similaridade o fato dos cinco perfis serem destituídos de componentes minerais que, uma vez alterados quimicamente, gerem produtos do tipo argilo-minerais. Portanto, pelo menos teoricamente, era de se esperar que os mesmos evoluíssem a neossolos quartzarênicos, o que na realidade não aconteceu.

Dos cinco perfis, quatro tiveram um aporte significativo da fração argila nos seus respectivos horizontes B, o que apesar dos baixos teores de argila em seus respectivos substratos rochosos, não foi impedimento para que evoluíssem para cambissolo (São João I e Lagoa Verde) e argissolo (Arroio Miracatu e São João II),

desta maneira validando a hipótese inicial. O quinto perfil, IFF Alegrete, embora a remoção da fração argila, teve participação alóctone moderada nos horizontes C<sub>3</sub> e A, representada respectivamente pelo aporte de ilmenita e de magnetita/argila, possivelmente oriundas, como nos demais perfis, da alteração das vulcânicas básicas do entorno.

Embora a influência do substrato rochoso nos cinco perfis tenha sido evidente, representada pela manutenção, ao longo dos horizontes pedogênicos, de seus minerais acessórios, foi a participação alóctone, pelo menos em quatro deles, a variável fundamental no produto pedogênico final.

Em termos de uso e ocupação pode-se dizer que as áreas em torno dos perfis que tiveram aporte de argila no horizonte B, respeitando-se aspectos geomorfológicos, apresentam-se mais resistentes ao desenvolvimento de processos erosivos do tipo voçoramentos e/ou ravinamento.

Finalmente, podemos afirmar que quando do uso de uma área de terra, sobremaneira com objetivo agrícola, faz-se mister, entre outras necessidades, a identificação e interpretação de uma sexta variável pedogênica denominada informalmente de contexto geológico do entorno (rochoso e de posicionamento em superfície), uma vez que sua participação no desenvolvimento pedogênico é inegável e fundamental.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. Províncias Geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia** nº 20, Universidade de São Paulo, SP., 1970.
- ANDREIS, R. R.; MONTARDO, D. K. Paleossolos na formação Caturrita (triássico Superior) Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul-Brasil. **Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia**. Camburiu, SC.
- ALMEIDA, F.F.M. de. **O planalto basáltico da bacia do Paraná**. Bol. Paulista de geografia nº 24. Out. 1956.
- ALVES, F.S. **Estudos Fitogeográficos na Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande – Oeste do RS**. 2008. 102p. Dissertação de Mestrado, PPGGG-Universidade Federal de Santa Maria.
- AZEVEDO, A. C. & KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**. 11:65-70, 1995.
- BARCELOS, J.H. & SUGUIO, K. Estudos Sedimentológicos da Formação Areado, Cretáceo da Bacia Sanfranciscana, MG. **Revista Brasileira de Geociências** 11(4): 247-256, 1981.
- BARROS, C.E. ; NARDI, L.V.S. & DILLEMBURG, S.R. Geoquímica de Minerais Detríticos em Estudos de Proveniência: Uma Revisão. Porto Alegre. UFRGS/ Instituto de Geociências. **Pesquisas em Geociências** 32(1): 3-15. 2005.
- BERLATO, M.A. & FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110p.
- BORTOLUZZI, C.A. Contribuição à Geologia da Região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Instituto de Geociências-UFRGS, 1974. 4:7-86.
- BORTOLUZZI, E.C. & al. Seção II – Química e Mineralogia do Solo. Alterações na Mineralogia de um Argissolo do Rio Grande do Sul Submetido à Fertilização Potássica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29: 327-335, 2003.
- BRASIL**, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife: DNPEA-MA, 1973. 431p. (Boletim Técnico N° 30).
- BUNTING, B.T. **Geografia do Solo**. Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1971.
- CARDOSO, C.B. **Mapeamento Geomorfológico: Bacias Hidrográficas Arroio São João e Sanga da Divisa, no Município de Alegrete-RS**. Monografia (Graduação em Geografia), Santa Maria: UFSM, 2003. 85p.
- COELHO, M.R. et al. Química e Gênese de Solos Desenvolvidos Sob Vegetação de Restinga no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34:1951-1964, 2010.



CHEBATAROFF, J. **Regiones naturales del Rio Grande del Sur y del Uruguay**. Anais da associação dos Geógrafos Brasileiros. Vol. 6, São Paulo, 1954.

DANA, J. D. **Manual de Mineralogia**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1978. 642p.

DE NARDIN, D. **Estudos Geoambientais no Oeste do Rio Grande do Sul: Mapeamento da Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu**. Monografia (Graduação em Geografia), Santa Maria: UFSM, 2007. 1126p.

DEER, W. A. ; HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas – uma introdução**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 1966. 558p.

DUARTE, L.C. et al. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: Exemplos Brasileiros (BSE and EDS analysis applied to gema research: brazilian examples). Porto Alegre. UFRGS/Instituto de Geociências. **Pesquisas em Geociências** 30(2): 3-15, 2003.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1997. 212p.

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 2006. 306p.

FOLK, R.L. The distinction between grain-size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. **Journal of Geology**, 1954. 62(4):344-359.

FOLK, R. L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin/Texas: Hemphill Publishing Co, 1974. 182p.

GAMERMANN, N. Formação Rosário do Sul. **Pesquisas**, Instituto de Geociências-UFRGS, 1973. 2:5-35.

GASPARETTO, N.V.L. **As Formações Superficiais do Noroeste do Paraná e sua Relação com o Arenito Caiuá**. Tese de Doutorado. 1999. 161p. PPGGG-USP.

GASPARETTO, N.V.L. & SANTOS, M.L. O Emprego de Minerais Pesados como Indicador de Proveniência da Cobertura Pedológica do Arenito Caiuá na Região Noroeste do Paraná. Porto Alegre. UFRGS/Instituto de Geociências. **Pesquisas em Geociências** 32(1): 63-67, 2005.

GASPARETTO, N.V.L. **Alteração Intempérica de Rochas Vulcânicas Ácidas na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de Mestrado. 1990. 119p. Curso de Pós-Graduação em Geociências – UFRGS.

GOLDSTEIN, J. I.; NEWBURRY, D. E.; ECHLIN, P.; JOY, D. C.; ROMIG JR., A. D.; LYMAN, C. E.; FIORI, C.; LIFSHIN, E. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. 2 ed. New York: Plenum Press, 1992. 820p.

GOMES, J.B.V., et al. Mineralogia, Morfologia e Análise Microscópica de Solos do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28: 679-694, 2004.

GORDON Jr., M. Classification of the Gondwanic Rocks of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul. **Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia – DNPM**. Rio de Janeiro, 1947. 38:1-19.

GUERRA, A.T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 7ª ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

GUIMARÃES, D. **Súmula Geoquímica**. Rio de Janeiro 1963. Ministério de Minas e Energia.

IBGE. **Geografia do Brasil**. Região Sul. Rio de Janeiro. 1986.

JABUR, I. C. **Paleocorrentes da Formação Botucatu entre os graus de Jaguari e São Francisco de Assis e algumas considerações estratigráficas sobre o Grupo São Bento-RS**. Dissertação de Mestrado. 1979.115p. Curso de Pós-Graduação em Geociências – UFRGS.

KLAMT, E. **Solos arenosos da região da campanha do RS**. In: PEREIRA, V. P. et al., ed Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal, São Paulo: Soc. Bras.ciencia do solo 1994. P. 19-37.

KLAMT, E. & SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**. 11:70-80, 1995

KRAUSKOPF, K. B. **Introdução à Geoquímica II**. São Paulo: Polígono, Editora da USP, 1972. 311p.

LAVINA, E. L. & SCHERER, C. M. S. Formação Pirambóia e Sanga do Cabral: um episódio de desertificação na Bacia do Paraná ao final do Permiano? Simpósio de Cronoestratigrafia da Bacia do Paraná, I, 1997. Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos Expandidos**. Rio de Janeiro. p 94-95.

LEMOS, R. C. D. de et al. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul: primeira etapa**. Planalto Rio-grandense. Pesquisa agropecuária brasileira. Rio de Janeiro, Vol. 2, 209p;.1967.

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

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Agrometeorologia**, 8:141-150, 2000.

MARCHIORI, J.N.C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: enfoque histórico e sistemas de classificação**. Porto Alegre: Ed. EST, 2002.

MARCHIORI, J.N.C. **Vegetação e Areais no Sudoeste Rio-Grandense**. Ciência e Ambiente. Santa Maria: Imprensa Universitária. UFSM. Vol. 11. p.81-104. 1995.

MEDEIROS, E.R. **Estratigrafia do Grupo São Bento na Região de Santa Maria e Paleocorrentes da Formação Botucatu**. Dissertação de Mestrado. 1980. 135p. Pós-Graduação em Geociências-UFRGS.

MEDEIROS, E. R.; MÜLLER F<sup>o</sup>, I. L.; VEIGA, P. O Mesozóico no oeste do Rio Grande do Sul (São Francisco de Assis e Alegrete). **Acta Geológica Leopoldensia**. 29:49-60, 1989.

MEDEIROS, E. R.; ROBAINA, L. E. S.; CABRAL, I. L. L. Degradação ambiental na região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**. 11:53-64, 1995.

MENEGOTTO, E. Alteração Intempéria das Rochas Básicas Faneríticas de Pedras Pretas, São Sepé, RS. **Acta Geológica Leopoldensia** 23: 115-162, 1986.

MENEGOTTO, E. **Alteração Intempérica de Rochas Ultrabásicas em Clima Subtropical** – Evolução Mineralógica e Geoquímica em Alguns Maciços Ultrabásicos do Rio Grande do Sul – Brasil. Tese de Doutorado. 1982, 356p. Curso de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS.

MICHELON, C. R.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, J. L. & JESUS, S. L. Causes of morphological discontinuities in soils of Depressão Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Sci. Agric.**, 67:319-326, 2010.

MILLANI, J., E. **Geologia do Rio Grande do Sul**. UFRGS Porto Alegre, 2000. 444 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, RS, 1961. 42p.

MÜLLER F<sup>o</sup>, I. L. **Notas para o estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil**. Publicação Especial nº 1. Santa Maria: Imprensa Universitária - UFSM. 1970. 39p.

NAKASHIMA, P. **Sistemas Pedológicos da Região Noroeste do Estado do Paraná**: Distribuição e subsídios para o controle da erosão. Tese de Doutorado. 1999, 162p. Departamento de Geografia da FFLCH-USP. São Paulo.

NASCIMENTO, M.S. & GÓES, A.M. Petrografia de arenitos e minerais pesados de depósitos cretáceos (Grupo Itapecuru), Bacia de São Luis-Grajaú, norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências** 37(1): 50-63, março 2007.

NIMER, R. **Clima. Geografia do Brasil**. Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. p. 35-79.

PAULA, P.M. **Mapeamento geológico-geomorfológico na Bacia do Lajeado Grande, Alegrete – RS**. Monografia (Graduação em Geografia), Santa Maria: UFSM 2002. 61p.

PAULA, P. M. & ROBAINA, L. E. S. Mapeamento de unidades geológicas-geomorfológicas da bacia do Arroio Lajeado Grande. **Geociências**. 22:175-184, 2003.

PAULA, P.M. **Mapeamento de Unidades Geomorfológicas em Bacias Hidrográficas com processos de Arenização, Alegrete-rs.** Programa de Pós graduação em Geografia-UFRGS. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, 2006.

PEDRON, F. de A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D. & AZEVEDO, A. C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 34:1941-1950, 2010.

PETRI, S. & FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil.** São Paulo: T. A. Queiroz: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1983. 631p.

PETTIJOHN, F. J. Persistence of heavy minerals and geology age. **Journal of Geology**, 49:610-625 1941.

PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks.** New York: Harper, 1957. 718p.

PETTIJOHN, F. J. **Rocas Sedimentarias.** Buenos Aires: Editorial Universitária, 1976. 731p.

POPP, J. H. & BIGARELLA, J. J. Formações cenozóicas do noroeste do Paraná. **Anais da Acad. Brasileira de Ciências**, 47:465-472, 1975.

RAMBO, B.S.J. **Fisionomia do Rio Grande do Sul.** Jesuítas no sul do Brasil. Apud: SUERTEGARAY, D.M.A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia.** 1992. 71p.

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

SARTORI, M.da G.B. **A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul:** indução empírica e conhecimento científico. São Paulo: Terra Livre, v.1 n°20, 2003. p.27-49.

SCHERER, C.M.dos S.; FACCINI, U.F.; LAVINA, E.L. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. **Geologia do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Ed. UFRGS. 2002. 444p.

SCHERER, C. M. S. & LAVINA, E. L. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guar´ Formation, southern Brazil. **Sedimentology**, v. 32 p.1323-1341. 2005.

SGARBI, N. C. C. **Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas.** Belo Horizonte, Editora da UFMG, 2007. 557p.

SOUTO, J. P. **Desertos uma ameaça? Estudo do Núcleo de Desertificação na Fronteira Sudoeste do RS.** Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 1984. 172p.

SPIEGEL, M. R. **Estatística.** São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda. 1974. 580p

STRECK, E.V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Editora: UFRGS. 2002.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E. & PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1992.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1973. 317p.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 2003. 399p.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul**. 2007. 140p. Dissertação de Mestrado. PPGGG- UFSM.

VEIGA, P.; MEDEIROS, E.R.; SUERTEGARAY, D.M.A. Gênese dos campos de areia no município de Quaraí-RS. I Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário: **Anais**, 1987.

WHITE, I.C. **Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1908. Apud: MEDEIROS, E.R. Estratigrafia do Grupo São Bento na Região de Santa Maria e Paleocorrentes da Formação Botucatu. 1980.

WU, F.T. & CAETANO-CHANG, M.R. Estudo Mineralógico das Formações Pirambóia e Botucatu no Centro-Leste do Estado de São Paulo. **Rev. do Instituto de Geociências – USP**. São Paulo, 1992. 13(1): 58-68.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30: 377-392. 1922.

## Anexo A - Localização detalhada dos perfis

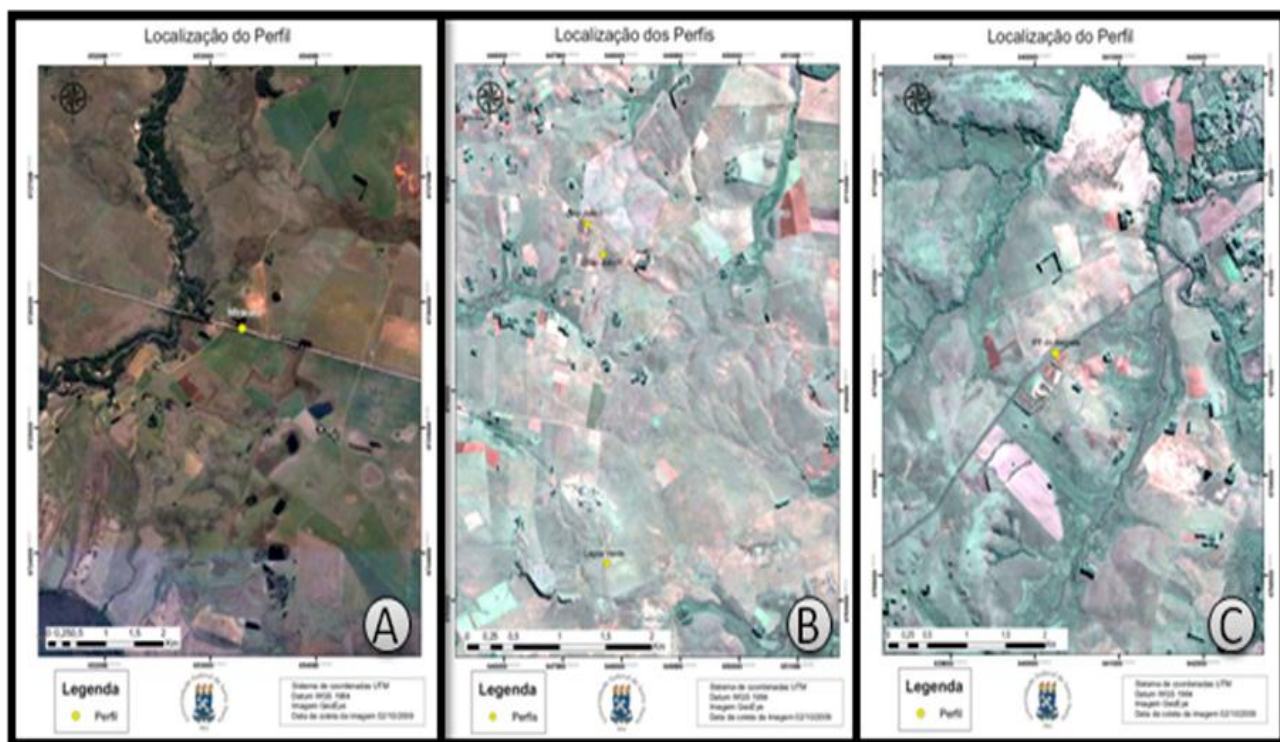


Figura 03 – Localização detalhada dos perfis. (A) perfil arroio Miracatu; (B) perfis São João I, São João II e Lagoa verde; (C).perfil IFF Alegrete.

## Apêndice A – Gráficos dos perfis

No gráfico 01 tornam-se didáticas as variações percentuais abruptas positivas para a fração argila e negativa para a fração areia média, na passagem da parte superior do substrato rochoso para os horizontes pedogênicos, notadamente para o horizonte BC. Concomitante pode-se observar que as demais frações, exceto a silte, mostram pequenas variações ao longo de todo o perfil.

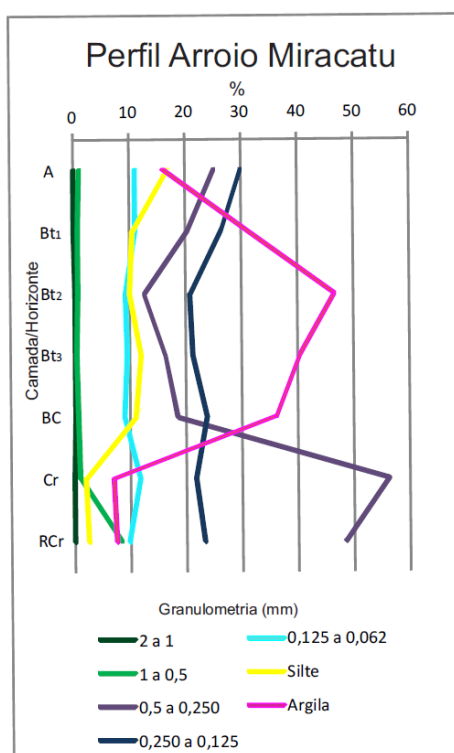


Gráfico 01 – Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes do Perfil Arroio Miracatu

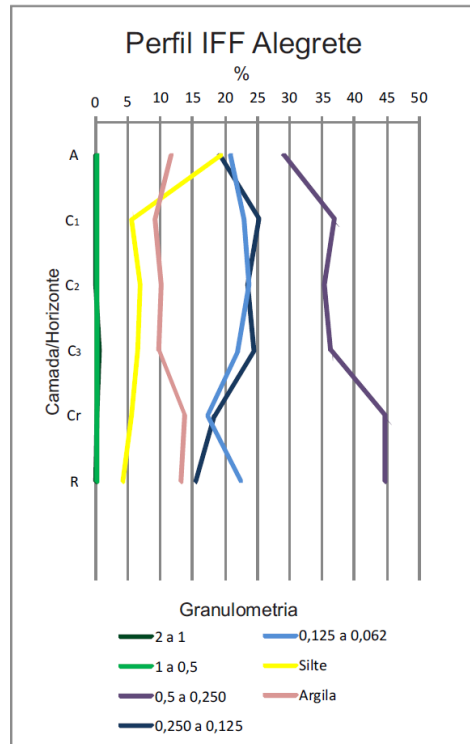


Gráfico 10 – Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes no Perfil IFF Alegrete



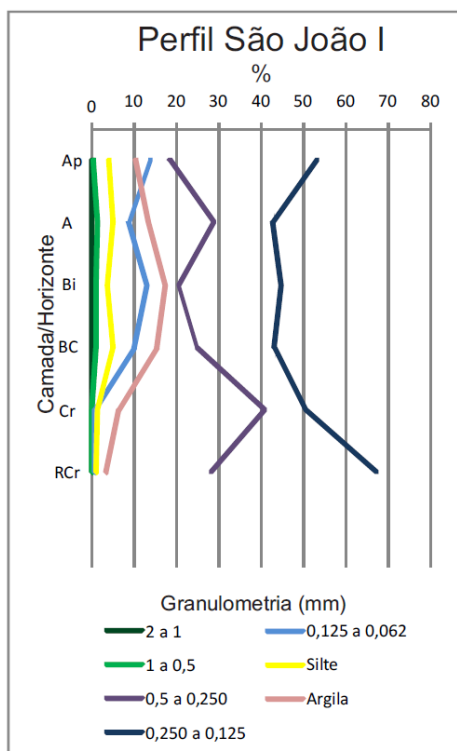


Gráfico 17 – Distribuição e variação granulométrica ao longo das camadas e horizontes do Perfil São João I.

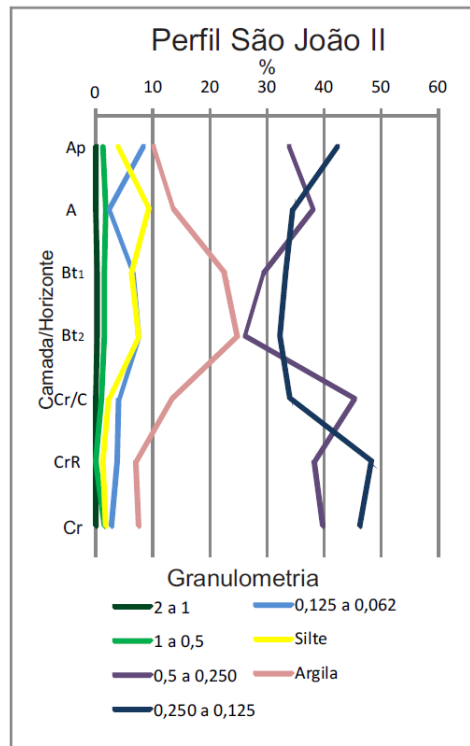


Gráfico 22 - Variação dos intervalos de classe granulométrica ao longo dos horizontes do perfil.

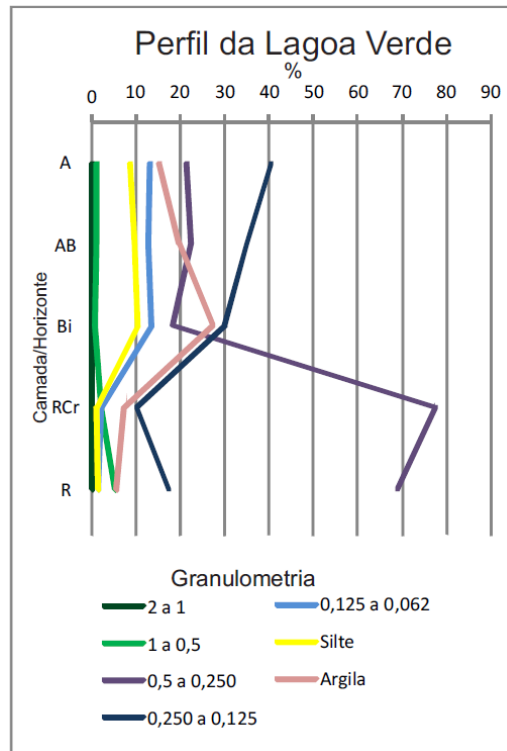


Grafico27 - Variação dos intervalos de classe granulométrica ao longo das camadas e horizontes do perfil Lagoa Verde.