

ÉLEN RAMOS NICHELE CAMPOS FERREIRA

**QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE
ROCHAS ALCALINAS E ULTRABÁSICAS DO DOMO DE
LAGES, SC.**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor no curso de Pós-graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Jaime A de Almeida

**LAGES/SC
2013**

F383q Ferreira, Élen Ramos Nichele Campos
Química e Mineralogia de solos desenvolvidos de
rochas alcalinas e ultrabásicas do Domo de
Lages/Elen Ramos Nichele Campos Ferreira.-Lages,
2013.

161p. : il. ; 21 cm

Orientador: Jaime A. de Almeida

Bibliografia: p. 123-139

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em
Manejo do Solo, Lages, 2013.

1. Rochas alcalinas e ultrabásicas.
2. Intemperismo.3. Fatores de formação. 4.Balanço
geoquímico.

I. Ferreira, Elen Ramos Nichele Campos.

II. Almeida, Jaime A. de.III.Universidade do
Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

CDD: 631.4 - 20.ed.

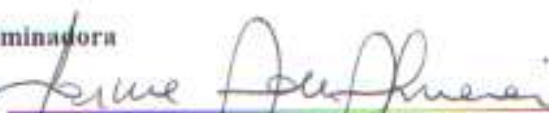
ÉLEN RAMOS NICHELE CAMPOS FERREIRA

QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE
ROCHAS ALCALINAS E ULTRABÁSICAS DO DOMO DE
LAGES, SC.


Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de
Doutor no curso de Pós-graduação em Manejo do Solo do Centro de
Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina
- UDESC.


Banca Examinadora

Orientador:

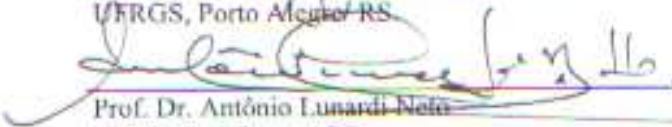

Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida
CAV - UDESC, Lages/SC.

Membros:


Prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque
CAV - UDESC, Lages/SC


Prof. PhD Paulo Roberto Ernani
CAV - UDESC, Lages/SC


Prof. Dr. Alberto Vasconcellos Inda Junior
UFRRS, Porto Alegre/RS


Prof. Dr. Antônio Lunardi Neto
UFSC, Curitiba/SC.

Lages, 20/12/2013

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Jaime Antonio de Almeida pela orientação e ensinamentos repassados, pela confiança e oportunidade de realização do trabalho.

A Bolsista de iniciação científica Samara Testoni pelo empenho na realização das análises.

Ao Dr. Antônio Lunardi Neto pelo apoio nas análises mineralógicas.

Ao colega Eng^o Agro^o Me Rodrigo Teske, pelo auxílio nas coletas de campo.

Aos professores do Curso de Doutorado em Ciência do solo pelo conhecimento compartilhado.

Ao meu marido, Emerson, por tudo que representa pra mim, pela paciência e compreensão nos momentos difíceis, companheirismo e pela ajuda inclusive em algumas análises.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, ao Centro de Ciências Agroveterinárias, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO

FERREIRA, Elen Ramos Nichele Campos. **Química e Mineralogia de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas do Domo de Lages**. 2013. 161f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Programa de Pós-graduação em Manejo do Solo, Lages, 2013.

Na região de Lages, SC, em meio às rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná ocorrem intrusões de rochas magmáticas alcalinas e ultrabásicas que compõem o “Domo de Lages”. Apesar da diversidade geológica, estes afloramentos apresentam pequena expressão geográfica, e por tal motivo ainda não foram convenientemente estudados como materiais formadores de solo. Com o objetivo de avaliar a composição química e mineralógica dos solos desenvolvidos destas rochas e compará-las com a de solos desenvolvidos de basalto presentes na mesma região climática, bem como estimar as perdas e ganhos de elementos durante o intemperismo através do cálculo do balanço geoquímico, efetuou-se a descrição e amostragem de sete perfis representativos de solos ocorrentes na região do Domo e no seu entorno, derivados de fonolito (Perfis P1A e P1B), nefelina sienito (Perfil P2A), olivina melilitito (Perfil P3A), fonolito porfirítico (Perfil P4A) e basalto (Perfis P5A e P6A). Realizaram-se análises físicas e químicas de caracterização básica e análises mineralógicas da fração argila de horizontes representativos de cada perfil. Realizou-se a extração de Si, Al e Fe por ataque sulfúrico e extração dos teores de ferro “livre” com solução ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), sendo a quantificação por espectrofotometria de absorção atômica. Efetuou-se análise química total das rochas e horizontes representativos dos solos, visando estabelecer o balanço geoquímico, utilizando o método do isoalumínio. Com base nos horizontes diagnósticos e demais atributos os solos foram enquadrados nas classes Neossolo Regolítico (P1A), Cambissolo Húmico (P1B, P2A e P6A), Cambissolo Háptico (P4A e P5A) e Chernossolo Háptico (P3A) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Com exceção do perfil P3A, a composição química foi semelhante, apresentando reação ácida, altos teores de alumínio, baixa soma e saturação por bases, portanto bastante lixiviados, evidenciando um grau de intemperismo maior. Estes dados são reforçados pela análise mineralógica que evidencia o predomínio de caulinita de baixa cristalinidade e pequenas proporções de minerais 2:1

na fração argila, sendo estas características semelhantes às de solos desenvolvidos de basalto que ocorrem na região. No entanto, o perfil P3A apresentou pH próximo a neutralidade, alta soma e saturação por bases, com predomínio de Mg no complexo de troca, associado a uma mineralogia com predominância de vermiculitas, esmectitas e interstratificados na fração argila. O balanço geoquímico mostrou-se um instrumento útil para avaliação do intemperismo, evidenciando perdas de bases e Si na maioria dos solos derivados de rochas alcalinas e de basalto. Portanto, os resultados indicam uma formação muito recente do P3A, ocasionado por uma exposição mais posterior deste material de origem, possivelmente por exumação da rocha devida às mudanças climáticas ocorridas durante o Holoceno.

Palavras-chave: Rochas alcalinas e ultrabásicas. Intemperismo. Fatores de formação. Balanço geoquímico.

ABSTRACT

FERREIRA, Elen Ramos Nichele Campos. **Chemical and Mineralogy of soils developed from alkalines and ultrabasic rocks of the “Domo de Lages”**. 2013. 161f. Thesis (Doctorate of Soil Management) - Program of Post-graduation in Soil Management, Lages, 2013.

In the region of Lages, SC, amid of sedimentary rocks from the Bacia Sedimentar of Paraná there are intrusions from the magmatic alkaline and ultrabasic rocks that put together the “Domo de Lages”. Despite the geologic diversity these outcrops show a little geographic expression and for this reason they have not been studied yet as a forming soil. In order to evaluate the chemical and mineralogical composition from the soil developed from these rocks and compare them with soils developed from basalt, which are present in the same climatic region, as well as estimate the losses and gains of elements during weathering by calculating the geochemical balance it was performed the description and sampling of seven representative profile from existing soils in the region of Domo and around it, derived from phonolite (P1A and P1B), nepheline syenite (P2A), olivine melilitite (P3A), porphyritic phonolite (P4A) and basalt (P5A and P6A). There were both physical, chemical analyzes of basic characterization, and mineralogical analyzes from the clay fraction of representative horizons of each profile. It was also carried out the extraction of Si, Al and Fe by sulfuric acid attack and extraction of the contents of "free" iron by dithionite-citrate-bicarbonate sodium solution (CBD). The quantification was by atomic absorption spectrophotometry. We performed total chemical analysis of rocks and soils representative horizons, to establish the geochemical balance using the method of isoaluminium. Based on the diagnostic horizons and other attributes the soils were classified such as Entisol (P1A), Inceptisol (P1B, P2A and P6A) Haplumbrept (P4A and P5A) and Mollisol (P3A) of the Soil Taxonomy. Except the profile P3A, the chemical composition was similar, with acid reaction, high levels of aluminum, low sum and base saturation, so quite leachate, indicating a greater degree of weathering. These data are strengthened by mineralogical analysis which demonstrate the predominance of low crystallinity kaolinite and small proportions of 2:1 minerals in the clay fraction, being those characteristics similar to those soils developed from basalt that occur in the region. However, the P3A profile showed pH near to neutral, high sum and base saturation, with a predominance of Mg on

the exchange complex, associated to mineralogy with a prevalence of vermiculite, smectite and interstratified in the clay fraction. The geochemical balance proved to be a useful tool to evaluate the weathering, showing losses of bases and Si in most soils derived from alkaline and basalt rocks. Therefore, the results indicate a very recent formation of P3A, caused by a more posterior exposure of this source material, possibly because the exhumation of rock due to climate changes during the Holocene.

Key-words: Alkalines and ultrabasic rocks. Weathering. Factors of soils formation. Geochemical balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Localização dos perfis em imagem do servidor Google: P1A e P1B - Fonolito; P2A - Nefelina sienito; P3A Olivina Melilitito; P4A Fonolito porfirítico; P5A e P6A – basalto	37
Figura 02 - Mapa Geológico do Domo Alcalino de Lages	38
Figura 03 - Perfil P1A Neossolo Regolítico Húmico típico (a) e Perfil P1B Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (b) desenvolvidos de fonolito; paisagem de ocorrência dos solos (c), material de origem (d)	46
Figura 04 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P1A.....	48
Figura 05 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P1B.....	49
Figura 06 - Perfil P2A Cambissolo Húmico Alumínico típico desenvolvido de nefelina sienito: Foto do Perfil e do material de origem	51
Figura 07 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P2A.....	53
Figura 08 - Perfil P3A Chernossolo Háplico Órtico típico desenvolvido de olivina melilitito. Imagem do perfil (a) e da rocha (b).....	55
Figura 09 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P3A.....	56
Figura 10 - Perfil P4A Cambissolo Háplico Alumínico típico desenvolvido de fonolito porfirítico. Foto do perfil (a) e paisagem de ocorrência (b)	58
Figura 11 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P4A.....	60
Figura 12 - Perfil P5A Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico desenvolvido de basalto da formação Serra Geral: Foto do local de ocorrência (a) e do perfil (b).....	61

Figura 13 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC _{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P5A	63
Figura 14 - Perfil P6A Cambissolo Húmico Distroférico típico desenvolvido de basalto da formação Serra Geral. Paisagem de ocorrência (a) e perfil (b).....	65
Figura 15 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC _{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P6A	66
Figura 16 - Difractogramas da fração argila do perfil P1A: a) saturação com Mg nos horizontes A e C1; b) Mg e Mg+EG horizonte A e c) Mg e Mg+EG horizonte C1; valores em nm.....	71
Figura 17 - Difractograma da fração argila do perfil P1A saturada com K e aquecimento a 25° C, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte C1; valores em nm.....	72
Figura 18 - Difractograma da fração argila do perfil P1B: a) saturação com Mg nos horizontes A, B, BC e C2; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte C2; valores em nm	73
Figura 19 - Difractograma da fração argila do perfil P1B saturada com K e aquecimento a 25°C, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte B; c) horizonte BC; d) horizonte C2; valores em nm.....	74
Figura 20 - Difractograma da fração argila do perfil P2A. a) Mg nos horizontes A, BA, B e CR; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BA; e) Mg e Mg+EG no horizonte CR; valores em nm	77
Figura 21 - Difractogramas da fração argila do perfil P2A submetida a saturação com K e aquecimento a 25°, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte BA; c) horizonte B; d) horizonte CR; valores em nm	78
Figura 22 - Difractograma da fração argila do perfil P3A: a) Mg nos horizontes A, B, BC e C2; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte C2; valores em nm.....	80
Figura 23 - Difractogramas da fração argila do perfil P3A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de	

	25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte B; c) horizonte BC; d) horizonte C2; valores em nm	83
Figura 24 -	Difratograma da fração argila do perfil P4A: a) Mg nos horizontes A e BC; b) Mg nos horizontes 2Bi e 2C2; c) Mg e Mg+EG no horizonte A; d) Mg e Mg+EG no horizonte 2Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte 2C2; valores em nm.....	85
Figura 25 -	Difratogramas da fração argila do perfil P4A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte 2Bi; c) horizonte 2BC; d) horizonte 2C2; valores em nm.....	87
Figura 26 -	Difratograma da fração argila do perfil P5A: a) Mg nos horizontes A, Bi e CR; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte CR; valores em nm.....	89
Figura 27 -	Difratograma da fração argila do perfil P6A: a) Mg nos horizontes A, Bi e C; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte C; valores em nm	91
Figura 28 -	Difratogramas da fração argila do perfil P5A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte Bi; c) horizonte CR; valores em nm.....	93
Figura 29 -	Difratogramas da fração argila do perfil P6A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte Bi; c) horizonte C; valores em nm	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Teores de Ferro extraído pelo ataque sulfúrico (Fe_t), pela solução DCB (Fe_d) e relação Fe_d/Fe_t	69
Tabela 02 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P1A e P1B e da litologia subjacente (fonolito).....	95
Tabela 03 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes do perfil P2A e da litologia subjacente (sienito).....	96
Tabela 04 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P3A e P4A e das litologias subjacentes (olivina melilito e fonolito porfirítico).....	97
Tabela 05 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P5A e P6A e da litologia subjacente (basalto).....	98
Tabela 06 - Balanço geoquímico do perfil P1A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	106
Tabela 07 - Balanço geoquímico do perfil P1B, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	107
Tabela 08 - Balanço geoquímico do perfil P2A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	109
Tabela 09 - Balanço geoquímico do perfil P3A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	112
Tabela 10 - Balanço geoquímico do perfil P4A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	116
Tabela 11 - Balanço geoquímico do perfil P5A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.....	118

Tabela 12 - Balanço geoquímico do perfil P6A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados	119
--	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 O DOMO ALCALINO DE LAGES.....	18
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O DOMO ALCALINO DE LAGES	22
2.3 BALANÇO GEOQUÍMICO NA AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DO SOLO	24
2.4 CORRELAÇÃO ENTRE MATERIAL DE ORIGEM E SOLO....	27
3 HIPÓTESES	34
4 OBJETIVOS	35
5 MATERIAL E MÉTODOS	36
5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO E AMOSTRAGEM DOS SOLOS	36
5.2 ANÁLISES FÍSICAS	39
5.2.1 Separação da TFSA e frações grosseiras.....	39
5.2.2 Granulometria	39
5.3 ANÁLISES QUÍMICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	40
5.4 ATAQUE SULFÚRICO.....	41
5.5 FERRO EXTRAÍDO POR DITIONITO-CITRATO-BICARBONATO DE SÓDIO.....	41
5.6 ANÁLISES MINERALÓGICAS.....	42
5.7 ANÁLISE QUÍMICA TOTAL DAS ROCHAS E DOS SOLOS ..	43
5.8 CÁLCULO DO BALANÇO GEOQUÍMICO.....	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	45
6.1.1 Perfis P1A e P1B.....	45
6.1.2 Perfil P2A.....	50
6.1.3 Perfil P3A.....	54
6.1.4 Perfil P4A.....	58
6.1.5 Perfil P5A.....	60
6.1.6 Perfil P6A.....	64
6.2 EXTRAÇÃO DE ÓXIDOS DE FERRO COM DCB.....	67
6.3 MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA ..	70
6.3.1 Perfis P1A e P1B.....	70
6.3.2 Perfil P2A.....	75
6.3.3 Perfil P3A.....	79
6.3.4 Perfil P4A.....	84
6.3.5 Perfis P5A e P6A	88
6.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA TOTAL: ROCHA E SOLO.....	94

6.5 BALANÇO GEOQUÍMICO	103
7 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
APÊNDICES.....	140

1 INTRODUÇÃO

No Planalto Sul de Santa Catarina ocorrem rochas sedimentares e rochas magmáticas extrusivas da formação Serra Geral, pertencentes à Bacia do Paraná. Em meio às rochas sedimentares, ocorrem intrusões de rochas alcalinas e ultrabásicas, que compõem o chamado Domo Alcalino de Lages ou Domo de Lages, compostas de fonolitos, fonolitos porfíricos, nefelina sienitos porfíricos e olivina melilitos (SCHEIBE, 1986).

As rochas ultrabásicas e alcalinas não cobrem grandes extensões na superfície da Terra, mas tem apresentado apreciável interesse na área dos fenômenos da alteração superficial, sobretudo no que diz respeito à geoquímica. As rochas pertencentes ao Domo de Lages, apesar de também apresentarem pequena expressão geográfica, têm despertado a atenção de pesquisadores devido as suas características mineralógicas e geoquímicas, apresentando potencial de utilização em algumas áreas industriais, como na indústria cerâmica e subprodutos da exploração da bauxita. Devido às peculiaridades de composição mineralógica destes materiais e sua rara ocorrência em outros locais do Brasil, o estudo dos solos desenvolvidos a partir das mesmas torna-se importante. Há poucos relatos na literatura enfocando os processos de alteração e pedogênese sobre esses materiais.

Na região estudada, são razoavelmente bem conhecidas as características dos solos desenvolvidos de basalto e de rochas sedimentares, os quais são sempre ácidos, quimicamente pobres em nutrientes, mesmo quando os solos são rasos, e apresentam níveis altos de alumínio trocável, que prejudicam o desenvolvimento normal das plantas cultivadas. Os solos derivados de basalto são geralmente mais profundos e intemperizados do que os de rochas sedimentares. Tais propriedades e comportamento são atribuídos ao clima úmido predominante durante sua evolução, com grande volume e boa distribuição da precipitação ao longo do ano, e às temperaturas baixas que favorecem intenso intemperismo e acentuada lixiviação das bases provenientes do material originário. Isto acontece a tal ponto que, mesmo no caso dos solos desenvolvidos do basalto, rocha máfica rica em minerais facilmente intemperizáveis, os solos apresentem baixa fertilidade natural.

Na região do Domo de Lages, no entanto, ocorrem rochas com características químicas e mineralógicas bastante distintas, com predomínio de feldspatos e feldspatóides nos fonolitos e sienitos e de minerais cálcicos e ferromagnesianos nas ultrabásicas

Na área de abrangência do Domo, nos municípios de Lages, Palmeira e Otacílio Costa, observa-se a presença de solos desenvolvidos por alteração “*in situ*” das referidas rochas, sem que haja qualquer informação sistematizada a respeito de suas características químicas e mineralógicas, e em quais classes se enquadram no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). No levantamento de reconhecimento de solos de SC (UFSM; SUDESUL, 1973), há apenas a menção de uma unidade de mapeamento de solo desenvolvido de fonolito enquadrado na classe Cambissolo Húmico Distrófico álico de textura argilosa desenvolvido em relevo ondulado (EMBRAPA, 2013).

Pressupõe-se que no clima úmido e frio da região, os minerais constituintes das rochas aflorantes no Domo Alcalino de Lages tenham formado solos com propriedades químicas e mineralogia similar às dos solos derivados do basalto e das rochas sedimentares, cuja mineralogia da fração argila é essencialmente caulinítica. Entretanto, é fato conhecido que os fonolitos porfíricos da região da Palmeira formaram depósitos importantes de bauxita, onde os óxidos de Al do tipo gibbsita e norstrandita predominam, fato que sugere terem sofrido intemperismo em grau mais avançado. Por outro lado, estudos conduzidos por Scheibe (1986) sugerem a presença de haloisita nos veios de alteração de fonolitos, argilomineral mais comumente encontrado em ambientes de menor intemperismo. Não há informações sobre os solos desenvolvidos de ultrabásicas.

É importante conduzir este estudo para tentar responder algumas perguntas, tais como: Quais as características mineralógicas da fração argila dos solos formados a partir de fonolitos, sienitos e olivina melilititos? O intemperismo levou a uma uniformização das características destes solos? As distintas composições mineralógicas destas rochas se traduzem em diferenças na composição química dos solos delas formados? Todas essas perguntas não encontram respostas, já que jamais foram conduzidos estudos sistemáticos sobre esses solos.

Em virtude da carência de informações sobre os solos desenvolvidos das rochas do Domo neste ambiente subtropical, bem como da importância de efetuar-se o balanço geoquímico destes materiais é que se propôs o presente estudo, já que apresentam características bem diferenciadas, mas o clima úmido dominante pode ter sido um fator determinante para tornar relativamente uniforme

determinadas características dos solos deles derivados. Desta forma o objetivo deste estudo é caracterizar a composição e a gênese dos solos desenvolvidos diretamente das rochas do Domo de Lages, comparando suas características com as de solos desenvolvidos de basalto da mesma região climática.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O DOMO ALCALINO DE LAGES

A região do Planalto Oriental do Estado de Santa Catarina, do qual faz parte o município de Lages, geologicamente é formada por espessos derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas correspondentes à Formação Serra Geral na porção sul e oeste e de formações sedimentares gonduânicas nas porções norte e leste, todos inseridos na Bacia do Paraná (SILVA; BORTOLUZZI, 1987; SHEIBE, 1986). As formas de relevo predominantes na região são as colinas baixas, onde a drenagem principal é comandada pelo rio Canoas (PELUSO, 1991).

A Formação Serra Geral, inserida no Grupo São Bento juntamente com a Formação Botucatu, teve origem a partir de um intenso magmatismo fissural, correspondendo ao encerramento da evolução gonduânica da Bacia do Paraná. Desta forma sucessivos derrames de lavas extravasados por fissuras e zonas de falhamento foram responsáveis pela formação de rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas, durante a Era Mesozóica, no período Juro-Cretáceo, entre 65 e 190 milhões de anos atrás (MENDES; PETRI, 1975). A sequência básica da Formação Serra Geral ocupa a maior parte do planalto catarinense, onde predominam os basaltos e andesitos (SANTA CATARINA, 1991).

De uma maneira restrita, ao norte-nordeste da cidade de Lages ocorrem intrusões de rochas alcalinas em meio às rochas sedimentares (BUGIN *et al.*, 2000), na forma de uma estrutura dômica conhecida como “Domo de Lages”. Tal domo é constituído de rochas magmáticas, formadas em época posterior à formação Serra Geral. Datações com $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em amostras de fonolito e lamprófito pertencentes ao Domo de Lages forneceram idades entre 75,9 e 73,6 Ma respectivamente. Estes estudos sugerem como indicação a idade de 75 Ma como sendo a época da atividade magmática principal da região (MACHADO; TEIXEIRA, 2008).

Esta formação expõe na sua parte central rochas mais antigas da Bacia do Paraná, e na periferia rochas mais jovens, configurando-se, portanto como uma janela estrutural (MACHADO; TEIXEIRA, 2008). As ocorrências de rochas alcalinas são mais comuns na parte sul do domo, em particular dos corpos maiores (ROLDAN *et al.*, 2010).

Tal Domo teria sido formado através da ascensão de magma alcalino na crosta por meio de diferentes zonas de fraqueza, chegando à

superfície ou se alojando em profundidade em rochas mais antigas (RICCOMINI, *et al.*, 2005).

O Domo situa-se a cerca de 120 km da borda leste da Bacia do Paraná e possui um diâmetro em torno de 40 km, sendo considerado um domo vulcânico estrutural devido ao seu arqueamento. Fazem parte desta intrusão arenitos da formação Botucatu, bem como siltitos, argilitos e folhelhos de várias formações geológicas gonduânicas.

A estrutura regional desta formação geológica propicia a exposição de extensas faixas de afloramentos de arenitos da formação Botucatu, e assim a região é considerada uma das áreas mais importantes de recarga direta do Aquífero Guarani (GOMES *et al.*, 2006).

As rochas descritas na região, que compõem o chamado Domo Alcalino de Lages são agrupadas em dois grandes grupos: um deles engloba as rochas alcalinas leucocráticas, que constituem os corpos maiores e compreendem fonolitos, fonolitos porfiríticos e nefelina sienitos porfiríticos e o outro, rochas ultrabásicas que compreendem as olivina melilitos (ROLDAN, 2007; SCHEIBE, 1984, SCHEIBE, 1986). Destacam-se ainda nesta formação o carbonatito, o kimberlito e diversas brechas de chaminé (SCHEIBE, 1986).

Associado aos fonolitos porfiríticos encontram-se depósitos de bauxita, evidenciando uma ação significativa de processos intempéricos de natureza exógena instalados após período de exumação do domo e exposição destas rochas à superfície (ROLDAN *et al.*, 2010).

Devido as suas características, em relação aos aspectos mineralógicos, petrológicos e geoquímicos e por apresentarem grande potencial de exploração comercial, estas rochas vêm despertando a atenção de pesquisadores, os quais estudam possibilidades de sua aplicação em diversas áreas industriais, tais como na fabricação de cerâmica e vidros.

As rochas alcalinas são rochas ígneas muito ricas em álcalis, apresentando composições mineralógicas com minerais contendo Na e K, sendo que em sua composição química a relação $\text{SiO}_2/(\text{K}_2\text{O}, \text{Na}_2\text{O})$ é menor do que 6 (ROTTA, 1972). Estas rochas contém feldspatóides que são ditos insaturados em sílica. Existem vários tipos de rochas alcalinas e os mais comuns são: traquitos, riolitos, fonolitos, sienitos e nefelina sienitos, sendo que os três últimos estão presentes no Domo de Lages. Já as rochas ultrabásicas se caracterizam por apresentar teor de sílica muito baixo (menos de 45% de SiO_2), um alto teor de ferro e magnésio.

Fonolitos e fonolitos porfiríticos

Os fonolitos são rochas alcalinas formadas pelo extravasamento do magma, sendo, portanto afaníticas, de granulação fina, cor cinza e fratura lisa. São constituídos predominantemente por feldspatos alcalinos, acompanhados ou não de feldspatóides (GERGELY *et al.*, 2000)

O fonolito presente no Domo possui em superfície textura muito fina, constituindo-se de uma matriz composta principalmente por cristais de feldspato sódico-potássicos, nefelina e um pouco de egerina, sodalita e albita (OLIVEIRA, 1985, SCHEIBE, 1986), além de mangano-pectolita, um silicato de cálcio e sódio com manganês e piroxênios. Minerais de Ti-Zr, criolita e fluorita ocorrem como acessórios (AUMOND; SCHEIBE, 1996).

Os fonolitos porfiríticos de Lages formaram-se por cristalização em superfície, apresentam fratura lisa e brilho graxo e seu caráter fortemente alcalino é evidenciado pelos altos teores de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (AUMOND; SCHEIBE, 1996), sendo que os teores de Na_2O variam de 6,2% até 9,2%, o teor de K_2O varia de 4,6% até 7,4% e o teor de SiO_2 , de 51,6% até 56,7% (ROLDAN, 2007). Scheibe (1986) relata a ocorrência de um menor teor de sílica quando comparado ao fonolito, além da presença de fenocristais de salita, que é um clinopiroxênio calci-ferro-magnesiano. Constituem-se de uma matriz composta principalmente por feldspato alcalino formando a assembléia mineral primária, que sofrendo a atuação dos agentes do intemperismo transformaram-se em uma assembléia secundária composta de gibbsita e goethita ou haloisita/caulinita e goethita (SCHEIBE *et al.*, 1984). Apresenta ainda nefelina, piroxênios e sodalita.

Na região de abrangência do fonolito porfirítico ocorre um importante depósito de bauxita, originado da alteração da rocha citada anteriormente. Portanto, o fonolito porfirítico em condições adequadas de temperatura e drenagem, respondeu aos agentes intempéricos, transformado-se em material essencialmente composto por hidróxido de alumínio (OLIVEIRA, 1985).

Nefelina sienito porfirítico

A nefelina sienito porfirítico é uma rocha ígnea alcalina formada no interior da crosta terrestre, proveniente de magma rico em álcalis e deficiente em sílica (VOLKMANN, 2004), formando aluminossilicatos contendo sódio e/ou potássio com ausência de quartzo

livre, constituída essencialmente por minerais félsicos (SAMPAIO; FRANÇA, 2005) dos quais fazem parte os feldspatos alcalinos e feldspatóides, na qual a nefelina é o mais comum. Outros silicatos também presentes em menores proporções incluem os anfibólios e piroxênios, sendo que o piroxênio cálcico ocorre em maior quantidade do que egerina (SCHEIBE *et al.*, 1984).

A nefelina sienito presente no complexo alcalino de Lages sofreu um resfriamento mais lento, que ocorreu em profundidade, onde formaram-se minerais maiores e proporções menores de minerais ferrosos, refletindo em menor percentual de ferro nesta rocha (SCHEIBE, 1986). Na rocha predomina uma matriz félsica (feldspatos alcalinos e feldspatóides), fanerítica fina a afanítica, envolvendo cristais máficos (VOLKMANN, 2004). Os minerais acessórios mais frequentes são o zircão, titanita, apatita, opacos e analcita.

Apresenta teor de Na₂O, variando de 11,5 a 13,0% e teor de K₂O variando de 5,5 até 7,5%. A rocha ocorre em geral na forma irregular em corpos intrusivos de tamanhos variados (AUMOND; SCHEIBE, 1996).

Olivina Melilitito

No domo de Lages, entre as ocorrências de pequenas dimensões, merece destaque especial um extenso dique semi-anelar de olivina melilitito. Com cerca de 1 km de extensão e espessura em torno de 50 m é intrusivo nas rochas sedimentares das formações Irati e Serra Alta. A rocha apresenta cor preta, maciça, densidade elevada e granularidade média a grossa onde se destacam grãos de mica do tipo flogopita, que ocorrem juntamente com fenocristais de olivina, além de melilita, sendo os minerais de maior ocorrência (COMINCHIARAMONTI, *et al.*, 2002; SILVA; BORTOLUZZI, 1987). De acordo com Scheibe (1986), a flogopita é o mineral de maior expressão em termos de volume na rocha, ocorrendo em cristais de até 5 mm, que engloba os demais minerais, ou ainda como cristais com diâmetro de 0,1 mm (SCHEIBE, 1986). A olivina apresenta em sua composição química em torno de 48% de Mg, já a melilita é constituída por aproximadamente 8% de Mg e 33% de Ca.

Devido a exploração desta rocha como fonte de brita para pavimentação, o material apresenta uma ampla frente de exposição onde o efeito do intemperismo fez ressaltar heterogeneidades de natureza mineralógica e texturais que normalmente não são visíveis na rocha fresca.

Basalto

O basalto é uma rocha vulcânica extrusiva, resultante da cristalização rápida do magma em superfície. É uma rocha básica, devido ao baixo teor relativo de sílica (SiO₂) presente no material, permanecendo entre 45 e 52%. Possui granulação fina, textura afanítica, onde a maior parte dos cristais são invisíveis a olho nu (SANTOS, 1976).

Esta rocha é formada por um magma mais rico em minerais ferro-magnesianos, cátions básicos e micronutrientes. Apresenta como principais constituintes minerais primários do grupo dos piroxênios e plagioclásios, que são de fácil intemperismo.

Segundo estudo realizado por CORRÊA (2003), basaltos do sul e oeste do Estado de Santa Catarina apresentam em sua composição mineralógica piroxênios do tipo pigeonita, clinopiroxênios do tipo augita (cálcio e magnésio), plagioclásios com composição variando de albita (sódica) a anortita (cálcica), além de poucos constituintes menores, como quartzo e olivinas.

Quanto à cristalinidade os basaltos podem ser microcristalinos ou vítreo-cristalinos, que é quando parte dos minerais é formada por cristais e o restante é formado por minerais vítreos, os quais não possuem forma cristalina.

A ocorrência de litologias distintas em uma área tão pequena é explicada em função das diferentes condições de resfriamento do magma, atuando sobre a constituição textural e mineralógica de cada derrame. Isto originou uma sucessão de rochas com diferentes graus de resistência a alteração (SARTORI; GOMES, 1980).

2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O DOMO ALCALINO DE LAGES

O clima é um fator de grande importância na formação do solo vai influenciar na intensidade e no tipo de intemperismo (FANNING: FANNING, 1989). Expressivas variações climáticas ocorreram em diversos períodos geológicos no planeta Terra, sendo que as mudanças mais importantes do ponto de vista da formação dos solos ocorreram durante o Quaternário (WHITE, 2009).

O período Quaternário, que se divide em Pleistoceno e Holoceno é de extrema importância para a compreensão da gênese atual dos solos e da paisagem presente atualmente, fato este que se deve a ocorrência de mudanças climáticas caracterizadas pelas glaciações e interglaciações. Tanto os períodos glaciais como os interglaciais são

marcados por mudanças de temperaturas, oscilando entre períodos extremamente secos e épocas muito úmidas, além de frio muito intenso (QUINN, 1957). As oscilações de temperatura comprovam a dinâmica do clima, que se encontra em constante mudança. As transformações climáticas podem ser de longa duração, ocorrendo em escalas geológicas de milhares de anos ou de curta duração, que ocorrem em um período de tempo perceptível na escala humana.

Segundo Salgado-Leaboriau (2007) o período Quaternário apresentou grandes oscilações climáticas, com longos intervalos de temperaturas baixas, intercalando-se com fases mais quentes, semelhantes ao presente.

O Pleistoceno, período compreendido entre 2,5 milhões e 11 mil anos AP, foi marcado por várias fases frias, com a última glaciação registrada entre 14-24 mil anos A.P., chamada nos EUA de glaciação Wisconsin e na Europa de glaciação de Wurm (TARDY, 1997; SANT'ANA NETO; NERY, 2005). Ao final desta, as alterações climáticas são marcadas pelo aumento da temperatura, ao mesmo tempo ocorria o recuo das geleiras aos pólos.

Estas mudanças condicionaram a ocorrência do intemperismo físico, nas épocas de seca intensa, e o intemperismo químico nas épocas úmidas (LEDRU, 1993).

A sucessão de tempo seco para úmido provoca um aumento na precipitação e no escoamento superficial, elevando a capacidade de formação de sedimentos até que a vegetação tenha se restabelecido suficientemente para retardar a erosão. Durante o clima seco a vegetação se tornava escassa, com baixa densidade de cobertura superficial, promovendo maior intensidade no intemperismo físico, com ações físicas e mecânicas da erosão (BIGARELLA *et al.*, 1965). Já durante o clima úmido intensificava-se o intemperismo químico, como consequência do grande desenvolvimento vegetal, provocando desta forma o aprofundando do perfil de solo. Esta condição é favorecida pela proteção da cobertura vegetal e da drenagem vertical eficiente ao longo do perfil, permitindo menor escoamento superficial. Assim, entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno ocorreu a estabilização da paisagem, dando início neste período a formação e o desenvolvimento de muitos solos (BIGARELLA *et al.*, 1965), Neste caso os solos iniciaram seu desenvolvimento diretamente a partir da rocha ou do saprólito. Entretanto, muitos solos já formados no Pleistoceno médio, por estarem em superfícies mais estáveis resistiram mais a ação dos processos erosivos que ocorreram, continuaram seu desenvolvimento à partir de um material já fortemente alterado. Ressalta-se também, que

muitos solos tiveram sua evolução a partir de mantos de alteração já previamente formados. Outros solos tiveram sua formação a partir de colúvios transportados e redepositados devido a estes processos de erosão ocorridos durante os períodos de mudanças climáticas.

Segundo estudos após os derrames de lavas a região de Lages foi muito afetada pelas mudanças climáticas ocorridas em função das eras glaciais e interglaciais (BEHLING, 2002; NAKATA; COELHO, 1986), influenciando de maneira substancial a formação dos solos da área. A influência de mudanças climáticas na região do Domo de Lages também são evidenciadas pela ocorrência de depósitos de bauxita associados ao fonolito porfirítico. Para que argilas com alta concentração de óxidos de alumínio e de ferro sejam formadas por processos intempéricos, o intemperismo químico da rocha deve ser intenso, promovendo lixiviação praticamente completa da sílica e das bases, com acumulação residual dos referidos óxidos, pouco solúveis, processo comumente referido como *alitização* (MELFI; PEDRO, 1977). Isto exige um longo tempo de exposição das rochas ao intemperismo, além de clima úmido e quente. Durante a maior parte do Holoceno, entretanto, predominaram fases mais secas, intercaladas com pequenos intervalos de aumento da umidade. Somente ao final do Holoceno, houve um aumento na precipitação pluviométrica, com incremento das temperaturas (BEHLING *et al.*, 2002, BEHLING *et al.*, 2005; TARDY, 1997). Desse modo, os depósitos de bauxita da região do Domo de Lages devem ter sido formados em condições pretéritas mais úmidas e quentes, sendo, portanto frutos de eventos mais antigos, anteriores à última glaciação (DANI, 1988).

2.3 BALANÇO GEOQUÍMICO NA AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DO SOLO

A ciência do solo dispõe de várias ferramentas para prever a formação do solo e estas se baseiam na avaliação das suas características morfológicas, físico-químicas e mineralógicas, resultantes da pedogênese (EMBRAPA, 1999), constituindo-se em produto das alterações no material de origem, sendo uma avaliação qualitativa.

A ciência tem procurado estabelecer métodos de quantificação da formação do solo. Desta forma, buscando avaliar-se quantitativamente as perdas e ganhos durante a pedogênese procede-se o cálculo do balanço geoquímico. Os estudos geoquímicos permitem estimar e quantificar o fluxo de elementos durante o intemperismo, o processo de lixiviação, e os ganhos e perdas em relação ao material de

origem (CHADWICK *et al.*, 1990). Além disto, através do estudo da composição química dos solos há possibilidade de se obter informações sobre as características da área de origem ou das rochas fonte e das condições químicas, intempéricas, climáticas e tectônicas dominantes.

Este tipo de estudo é um importante aliado na avaliação da pedogênese, pois através dele é possível entender os processos de alteração que ocorrem ao longo da evolução pedológica. Pode avaliar-se o comportamento dos elementos químicos a partir da distribuição, retirada ou concentração destes elementos do sistema, além de descrever as reações químicas envolvidas ao longo do processo evolutivo, que vai desde a alteração da rocha fresca até a formação do solum (LACERDA *et al.*, 2002). Através do balanço geoquímico podem-se avaliar as transferências de um elemento químico de reservatório geológico para outro, sendo que estas transferências ocorrem por meio de vários processos geológicos, entre eles o intemperismo (TARDY, 1997).

As variações na composição dos horizontes do solo tendem a ser maiores com a intensificação dos processos intempéricos, os quais promovem mudanças de massa, desta forma causando o enriquecimento daqueles elementos considerados imóveis e empobrecimento daqueles considerados móveis (MIGUEL; SILVA, 2009).

Inicialmente, a maioria dos estudos através do balanço geoquímico servia para dar suporte a prospecção mineral, sendo relacionados principalmente aos depósitos de Ni e bauxita (OLIVEIRA; TRESCASSES, 1985; OLIVEIRA, 1985). No entanto, recentemente esta ferramenta tem sido utilizada para entender a gênese do solo, destacando-se os trabalhos de Pinto e Kämpf (1996), Michelon (2006) e Silveira (2006).

Existem vários métodos para avaliar as alterações, especialmente os ganhos e as perdas de elementos químicos, que podem ocorrer durante o desenvolvimento de um solo. Os cálculos geralmente são baseados em estimativas dos constituintes do solo em relação à quantidade de pelo menos um elemento considerado imóvel.

Geralmente se utilizam em balanços geoquímicos elementos que ocorrem em minerais resistentes ao intemperismo. Tais elementos, especialmente a razão entre dois deles, permitem estabelecer índices de intemperização, constituindo um meio de aferir a uniformidade original dos materiais. Baseado nesses elementos, com a assunção de que são verdadeiramente resistentes, é possível reconstituir quantitativamente as perdas e ganhos ocorridos durante a pedogênese.

Baseado no fato de que alguns constituintes do solo são pouco afetados pelos processos intempéricos, tem-se utilizado da distribuição

dos mesmos ao longo do perfil como índice de avaliação do estado de evolução do solo.

Os elementos mais móveis são os mais rapidamente liberados dos minerais primários mais instáveis e são, por último, aprisionados em minerais secundários; inversamente, os elementos menos móveis são os retidos em minerais primários resistentes ou que, por serem menos solúveis, são rapidamente aprisionados em minerais secundários (LELONG *et al.*, 1976).

Na estimativa do avanço do intemperismo são importantes as informações sobre a composição do material de origem, assim pode-se escolher um determinado mineral particularmente estável aos processos de formação atuantes no perfil do solo, onde se espera que sua presença seja mais constante ao longo do perfil (RESENDE, *et al.* 2007). Tais minerais são denominados de minerais índices.

Os minerais zircão e rutilo são de grande estabilidade, por esta razão os elementos Zr e Ti tem sido utilizados como indicadores da quantidade de material de origem que foi intemperizado para produzir determinado volume do solo (MOREIRA; OLIVEIRA, 2008). Diversos autores, entretanto, constatarem melhores resultados com o uso de quartzo e zircão como minerais índices (SANTOS, 1984).

A escolha do mineral índice pode variar de um solo para outro de acordo com a composição mineralógica do material de origem (BARSHAD, 1964). O autor recomenda que a determinação do mineral índice seja realizada em mais de um tamanho de partícula do solo, em função dos erros experimentais de fracionamento, e a possibilidade de tal mineral estar presente em quantidade muito pequena.

Outra forma de realizar o cálculo é utilizando um elemento químico pouco móvel como índice ao invés de um mineral. Michelon (2006) utilizando o Al como elemento índice ao estudar o balanço geoquímico de solos desenvolvidos de basalto, granito, arenito, argilito e siltito, observou que este demonstrou certa mobilidade no perfil influenciando nas quantidades dos demais elementos, tornando-se inadequado para este estudo. A mobilidade do Al foi atribuída às condições climáticas e geoquímicas dos solos estudados, pois dependendo das condições dominantes a solubilidade do Al torna-se bastante variável. Desta forma o autor considerou o titânio como o elemento mais adequado para uso como elemento índice no cálculo do balanço geoquímico.

Entretanto Demattê *et al.* (1991), ao estudarem a evolução do intemperismo em solos desenvolvidos de diabásio em São Paulo consideraram o alumínio como um bom elemento índice. Pinto e Kämpf

(1997) estudando solos desenvolvidos de rochas básico-ultrabásicas no Rio Grande do Sul procederam ao cálculo do balanço geoquímico por meio do cálculo isoquímico, que estabelece a razão de concentração dos elementos, considerando como referência o alumínio, o qual atribuíram como de mobilidade muito baixa. Moniz *et al.* (1973) também consideraram o titânio e o alumínio como elementos estáveis ao avaliarem a mobilidade dos constituintes de solos provenientes de rochas básicas no estado de São Paulo.

Creach *et al.* (1992) estudando o escarnito cuprífero de Santa Blandina (Itapeva – SP) resultado de um batólito granítico em uma lente calcária realizaram o balanço geoquímico entre a rocha fresca e as diferentes fácies de alteração presentes utilizando o cálculo isovolume, que considera as diferenças de densidade entre os materiais estudados. Os autores constataram uma exportação significativa de MgO da rocha fresca para a fácies de alteração e moderada de SiO₂ e CaO. Já o Al₂O₃ e Fe₂O₃ variaram pouco.

As rochas ultrabásicas e alcalinas apesar de não cobrirem grandes extensões na superfície da terra, tem apresentado apreciável interesse por parte de pesquisadores no que se refere aos fenômenos de alteração superficial, sobretudo naqueles aspectos relacionados à geoquímica. Desta forma para a realização do cálculo do balanço geoquímico é necessário estabelecer o melhor elemento para ser utilizado como índice, levando-se em consideração fatores como o material de origem e o clima predominante na região de estudo.

2.4 CORRELAÇÃO ENTRE MATERIAL DE ORIGEM E SOLO

Os solos são produtos da ação combinada dos agentes do intemperismo sobre as rochas e os seus minerais. A gênese dos diferentes solos é controlada pela ação de cinco fatores principais: material de origem, que apresentará uma resistência diferenciada à ação do intemperismo em função de seus constituintes; clima, expresso pela distribuição das chuvas e variação da temperatura; biosfera, que contribui com o fornecimento de matéria orgânica; relevo, que influencia na percolação e drenagem das águas e tempo de exposição aos agentes do intemperismo (DOKUCHAEV, 1898; JENNY, 1941; VIEIRA, 1975; TOLEDO *et al.*, 2001). Dessa forma, cada tipo de solo apresenta uma morfologia própria resultante de uma combinação única de clima, seres vivos, material de origem, topografia e tempo de ação. Assim, solos provenientes de uma rocha com características idênticas podem ser totalmente diferentes quando formados em ambientes

climáticos distintos (OLIVEIRA, 1972; VIEIRA, 1975; ZIMBACK, 2003), assim como rochas com composições e textura diferentes podem dar origem ao mesmo tipo de solo com uma composição característica dos minerais de argilas quando submetidos ao mesmo clima (LEINZ; AMARAL, 2001) e outros fatores de formação atuantes.

A formação do solo segue um ciclo evolutivo constituído basicamente de duas fases, sendo a produção e acumulação do material que dará origem ao solo seguido da diferenciação dos horizontes (SIMONSON, 1967). No início, em sua gênese, ocorrem os processos de intemperização das rochas, aonde a sua desintegração vai formando lentamente partículas cada vez mais reduzidas que constituirão a matéria prima bruta da massa de solo. Estas partículas podem ser depositadas sobre a própria rocha de origem, formando o solo “in situ”, ou serem transportadas e depositadas em outros locais, originando os solos transportados (VIEIRA, 1975). Na segunda fase, a pedogênese, ocorrem processos que promovem a conversão dos materiais intemperizados em solos ordenados e dispostos em camadas ou horizontes que diferem entre si por sua natureza física, química, mineralógica e biológica (WHITE, 2009).

A ação dos agentes formadores do solo ocorre com maior ou menor intensidade sobre o material de origem em espaços de tempo variáveis, controlando a ação intempérica, de acordo com as características de cada fator de formação (OLIVEIRA, 1972), provocando mudanças no saprólito, em decorrência dos processos pedogenéticos, tais como, adições, perdas, translocações e transformações (SIMONSON, 1959; TOLEDO *et al.*, 2001). Portanto, a velocidade com que o solo será formado depende do material de origem e do seu intemperismo (LEPSCH, 2002).

No processo de formação do solo, o material de origem pode assumir papel fundamental, tendo grande importância no que diz respeito à gênese do solo, visto que as propriedades e características do solo, tais como textura, cor, composição química e mineralógica dependem, em primeiro lugar, da composição da rocha mãe (JENNY, 1941; VIEIRA, 1975). Algumas características da rocha, como a composição química e mineralógica, resistência dos minerais à alteração (PORTO, 2010), grau de consolidação e textura estão diretamente ligadas à formação do solo, influenciando o seu desenvolvimento.

Durante o processo de formação do solo, a presença da matéria orgânica em suas diversas formas e estágios de decomposição são fundamentais para o início da pedogênese (VIEIRA, 1975), atuando de forma significativa, direta ou indiretamente neste processo.

O fator principal que determina a variação do intemperismo, regulando o tipo e sua intensidade atuando na gênese do solo é o clima (FANNING; FANNING, 1989). Desta forma a taxa de intemperismo depende diretamente da atuação dos elementos do clima (WHITE, 2009), dentre os quais a temperatura e a precipitação pluvial são aqueles que mais interferem na formação dos solos (JENNY, 1941; PALMIERI; LARACH, 2010). A temperatura regula a ação da água, desta forma pode acelerar as reações químicas, aumentar a evaporação, afetando assim a lixiviação de produtos (VIEIRA, 1988), pode ainda afetar os processos biológicos de crescimento e decomposição (WHITE, 2009). Portanto, dependendo dos componentes mineralógicos presentes na rocha, dos fatores climáticos atuantes, a topografia e condições locais que favoreçam maior ou menor taxa de fluxo lixivante, serão os principais fatores influentes no intemperismo químico e nos tipos de argilominerais e/ou óxidos formados. A situação topográfica reflete diretamente sobre o clima e sobre a dinâmica da água, regulando seus movimentos e agindo sobre seu regime hídrico. Atua sobre a percolação, lixiviação e transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido (OLIVEIRA, 2005).

O clima, através de seus componentes como a chuva, temperatura, radiação solar e vento, direciona os processos intempéricos e desempenha importante papel na formação do solo, que quando ainda jovem guarda evidentes características da rocha matriz, mas com o passar do tempo acaba perdendo e adquirindo uma estreita ligação com o clima e vegetação dominantes no local (GUERRA; CUNHA, 2010). Assim, conforme o ambiente de formação, o solo refletirá particularidades em relação aos elementos do clima atuantes, diferenciando características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas.

A vegetação pode exercer papel importante na taxa de formação e estabelecimento do solo, sendo que o tipo de cobertura pode definir o predomínio de percolação vertical ou horizontal de água, influenciando na atenuação dos efeitos erosivos (RESENDE *et al.*, 2002). A vegetação também pode atuar pela ação de raízes, além da ação dos microrganismos que associados a determinadas espécies vegetais podem intensificar o intemperismo químico ao longo dos anos através da exsudação de compostos como os ácidos orgânicos (ROBERT; BERTHELIN, 1986; PALMIERI; LARACH, 2010).

Nas regiões tropicais e subtropicais, após a ação do intemperismo físico que conduz à desagregação dos materiais rochosos, causando a fragmentação das rochas e de seus constituintes

mineralógicos, o intemperismo químico age com maior intensidade, e o mecanismo essencial de alteração é a hidrólise (MELFI; PEDRO, 1977). De acordo com a intensidade da hidrólise e a lixiviação ocorrida, didaticamente podemos dividi-la em três graus: bissialitização, monossialitização e alitização. Quando ocorre a hidrólise parcial, e a lixiviação é fraca, a dessilicação é limitada, mantendo silício suficiente no sistema para a formação de argilominerais 2:1, nos quais parte dos cátions básicos permanece no sistema, ocupando as entrecamadas do argilomineral; a este processo denomina-se bissialitização ou margalitização. Ocorrendo hidrólise parcial com lixiviação mais forte permitindo uma dessilicação moderada, o silício remanescente formará argilominerais do tipo 1:1, processo este chamado de monossialitização ou caulinitização. Sendo o ambiente de formação do solo com fluxo de percolação vertical intenso ocorre uma lixiviação muito forte permitindo a dessilicação completa, mantendo no sistema somente o alumínio que precipitará na forma de óxidos, posteriormente cristalizando na forma de gibbsita; este processo de perda drástica de cátions básicos é denominado alitização (MELFI; PEDRO, 1977; RESENDE *et al.*, 2002). Assim, quanto maior a disponibilidade de água (pluviosidade total) e mais freqüente sua renovação (distribuição), mais intensas serão as reações do intemperismo. Portanto, considerando a variada gama de composição mineral das rochas que originaram os solos da região estudada, espera-se que um ou mais dos processos citados possa ter influenciado na composição mineralógica dos solos.

Menegotto e Gasparetto (1987) estudando perfis derivados de rochas efusivas básicas e ácidas na região de Santa Maria no Rio Grande do Sul, concluíram que o processo intempérico principal que ocorre na área é a bissialitização. Porém a formação de caulinita a partir de feldspato alcalino sugere também o processo de monossialitização parcial.

Normalmente as rochas silicáticas possuem quantidades variáveis de diversos nutrientes que podem apresentar-se na forma de compostos com maior ou menor facilidade de solubilização, dependendo do teor total e da cinética de dissolução destes minerais (MACHADO *et al.*, 2005).

Na literatura são encontradas várias referências sobre as características de solos originados de diferentes rochas com composições químicas diversas. Dessa forma sabe-se que o basalto é uma rocha básica, considerada como um importante material de origem de solos, podendo contribuir para a sua fertilidade em função do predomínio de minerais facilmente intemperizáveis e ricos em cátions,

destacando-se os feldspatos calco-sódicos e piroxênios (RESENDE *et al.*, 2002). A ação de elementos atmosféricos altera a composição destes minerais, onde o produto desta decomposição pode ser uma argila que origina solos que tendem a ser potencialmente eutróficos, ricos em bases e com fertilidade natural alta (RESENDE *et al.*, 2002). Entretanto, sob condições de forte fluxo lixiviante e maior tempo de exposição da rocha à ação do intemperismo, em superfícies mais estáveis, também podem ser formados desses materiais solos profundos e com fertilidade baixa.

As rochas sedimentares, de maneira geral, são também muito importantes na formação de solos, porém apresentam uma reserva mineral relativamente menor, característica geralmente herdada da rocha mãe. Solos oriundos de argilitos, de modo geral, têm teores altos de argila e são normalmente rasos. Os originários de arenitos apresentam textura arenosa, com fertilidades diferentes em função do cimento característico de cada um. Quando esse cimento é silicoso forma-se um solo residual extremamente arenoso, já quando o cimento é argiloso aparece no solo residual de arenito uma pequena proporção de argila. Os solos provenientes de siltitos podem apresentar uma textura média ou argilosa.

Muitas são as referências existentes na literatura sobre as características de solos desenvolvidos de rochas basálticas, bem como das rochas sedimentares, no entanto ainda não se tem grande conhecimento sobre os solos desenvolvidos de rochas alcalinas, em especial do domo de Lages, provavelmente devido à pequena extensão geográfica dessas litologias.

Sabe-se que rochas leucocráticas, como os sienitos e fonolitos, podem pela sua desintegração formar solos relativamente ricos (VIEIRA, 1975), pois apresentam em sua composição feldspatos sódicos e potássicos os quais se decompõem com relativa facilidade, podendo formar teoricamente solos ricos em argila e com maior teor de potássio. Entretanto, considerando as condições de alta pluviosidade na qual estes solos estiveram submetidos durante sua evolução, aliado a sua posição na paisagem, favorecendo em maior ou menor extensão os fluxos verticais, é possível que tais solos estejam em grau mais avançado de intemperismo, com baixa reserva mineral.

Pinto e Kämpf (1996) estudando solos derivados de rochas ultrabásicas em ambiente subtropical no Rio Grande do Sul, constataram a presença de solos com perfis de pequena espessura, características de pH próximo à neutralidade, alta CTC e saturação por bases, elevada reserva de ferro nos minerais primários, indicando solos pouco lixiviados, semelhantes aos de regiões temperadas, onde a imaturidade

genética foi confirmada pela composição mineralógica, relatando a ocorrência de anfíbólios e clorita nas frações areia e silte, e clorita, clorita-esmectita e esmectita na fração argila. Os autores atribuem esta imaturidade do solo a uma exposição mais recente, rejuvenescimento por adições superficiais de material pouco intemperizado e tamponamento da solução do solo por íons liberados no intemperismo das frações grosseiras.

Rochas ultrabásicas tendem a formar solos ricos em Mg, Fe, Ni, Cr e pobres em Ca, Al, K e Na. Os minerais comuns são clorita, esmectita, talco, magnetita e olivina (KÄMPF; CURI, 2012). Os elementos essenciais destas rochas são silício, magnésio e ferro.

A olivina melilitito, pela sua riqueza em minerais ricos em Ca, Mg, Fe e K, este proveniente de micas do tipo flogopita presente nesta rocha, pode eventualmente originar solos quimicamente mais férteis, já que seu conteúdo em cálcio e magnésio é cerca de duas vezes superior ao do basalto. Devido a estas características peculiares, tais rochas vêm sendo pesquisadas por organismos oficiais de outros estados como fontes de nutrientes para as plantas, sendo o pó destas rochas utilizadas em sistemas agroecológicos (DALCIN, 2008; OSTERROHT, 2003, ALVES, 2006).

A intemperização das rochas está diretamente relacionada com o teor de ferro existente na sua composição mineralógica. Quanto maior a porcentagem de ferro, maior será o teor de elementos ferromagnesianos na sua constituição e maior será sua riqueza química, porque associado a estes, estão outros minerais de importância agrícola, como os plagioclásios, horblenda e augita. Por isso rochas melanocráticas originam geralmente solos ricos do ponto de vista químico. De uma maneira geral a riqueza dos solos está relacionada com a acidez da rocha. Quanto menos ácida for a rocha tanto mais férteis serão os solos dela derivados (VIEIRA, 1988).

Considerando a importância de se conhecer com profundidade as características químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas, para contribuir na determinação dos processos que levaram a transformação do material em solo e a carência de informações na literatura a respeito de solos desse material de origem, é que se propõe o presente trabalho.

Desta maneira objetiva-se estudar, avaliando com maior nível de detalhe o comportamento químico, físico e mineralógico dos solos derivados de rochas alcalinas e ultrabásicas pertencentes ao Domo Alcalino de Lages, procurando estabelecer a relação entre as litologias com a mineralogia, química e fertilidade dos solos derivados destas

rochas em ambiente subtropical. Para tanto foram estudados os solos derivados da alteração “*in situ*” de fonolitos, fonolitos porfíricos, sienitos nefelínicos e olivina melilitos, comparando-se suas características com a de solos desenvolvidos de basalto da região ao seu entorno. O estudo torna-se importante tanto cientificamente, quanto para sua aplicação na pesquisa de melhor uso do solo.

3 HIPÓTESES

Os solos formados a partir de sienitos, olivina-melilititos e fonolitos da região do Planalto Catarinense apresentam propriedades químicas e mineralógicas que refletem as diferenças na composição destes materiais de origem.

O clima frio e úmido da região uniformizou as características dos solos desenvolvidos das diferentes litologias, sendo estas semelhantes às do basalto presente na mesma região climática.

4 OBJETIVOS

- Estudar o comportamento químico e mineralógico de solos provenientes de rochas alcalinas e ultrabásicas em ambiente subtropical (sienitos, fonolitos e olivina melilitos) pertencentes ao Domo Alcalino de Lages.
- Comparar as características e propriedades destes solos com a de solos provenientes do basalto ocorrente na mesma região climática.
- Realizar o cálculo das perdas e ganhos de elementos durante a pedogênese através do balanço geoquímico no conjunto rocha - solo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO E AMOSTRAGEM DOS SOLOS

O Domo Alcalino de Lages localiza-se no sudoeste do Planalto Oriental do Estado de Santa Catarina, em meio a rochas efusivas básicas e ácidas da Formação Serra Geral e das sedimentares, que fazem parte da Bacia Sedimentar do Paraná (SILVA; BORTOLUZZI, 1987). Abrange os municípios de Lages, Palmeira, Otacílio Costa e Correia Pinto.

Entre as rochas alcalinas e ultrabásicas que ocorrem no Domo Alcalino objeto deste estudo estão Fonolitos, Fonolitos Porfíricos, Nefelina Sienitos e Olivina Melilitos (SCHEIBE, 1986).

Segundo a classificação de Köppen o clima da região enquadra-se como Cfb, mesotérmico úmido, temperado, sempre úmido, sem estação seca definida. A temperatura média anual situa-se em torno de 15,6 °C, sendo que no mês mais quente do ano a temperatura média é inferior a 22° C, e no mês mais frio apresenta média de 10° C (SANTA CATARINA, 1986).

A precipitação pluviométrica anual na região permanece em torno de 1700 mm (SANTA CATARINA, 1986), com 120 a 130 dias anuais de chuvas, bem distribuídos ao longo de todo o ano, com maior concentração na primavera, não havendo estação seca definida. A umidade relativa média do ar situa-se entre 75 a 80%.

Na área estudada a altitude média fica em torno de 900 m, com presença de relevo ondulado, cuja vegetação se enquadra dentro da classificação fitogeográfica de campos gerais associados à floresta subcaducifólia subtropical com mata de araucária (UFSM; SUDESUL, 1973). Ocorre o predomínio de gramíneas de baixo e médio porte, cespitosas e rizomatosas, sendo que no estrato arbóreo está presente a araucária (*Araucária angustifolia*) acompanhada de imbuia (*Ocotea porosa*), canela lageana (*Ocotea pulchella*), bracinga (*Mimosa scabrella*), aroeira (*Schippus molle*), goiabeira serrana (*Feijoa sellowiana*) e erva mate (*Illex paraguayensis*), entre outras (SANTA CATARINA, 1986).

Para este estudo foram selecionados perfis representativos de solos desenvolvidos diretamente da alteração “in situ” de Fonolito (Perfil P1A e P1B), Nefelina Sienito (Perfil P2A), Olivina Melilitito (Perfil P3A), Fonolito Porfírico (Perfil P4A), além do Basalto da Formação Serra Geral (Perfil P5A e P6A) (Figura 1). O mapa geológico

da região de ocorrência do Domo de Lages é apresentado na figura 2. Os solos de basalto ocorrentes na região circunvizinha ao domo foram utilizados para comparação com os demais solos, visto que suas características químicas e mineralógicas já são razoavelmente bem conhecidas. Para os solos desenvolvidos de basalto e de fonolito foram selecionados dois perfis, sendo os de basalto provenientes de locais diferentes e para o fonolito um perfil raso e um profundo presente lado a lado, num mesmo barranco de estrada. Quanto às demais litologias coletou-se apenas um perfil.

Figura 01 - Localização dos perfis em imagem do servidor Google: P1A e P1B - Fonolito; P2A - Nefelina sienito; P3A Olivina Melilitito; P4A Fonolito porfirítico; P5A e P6A - basalto.

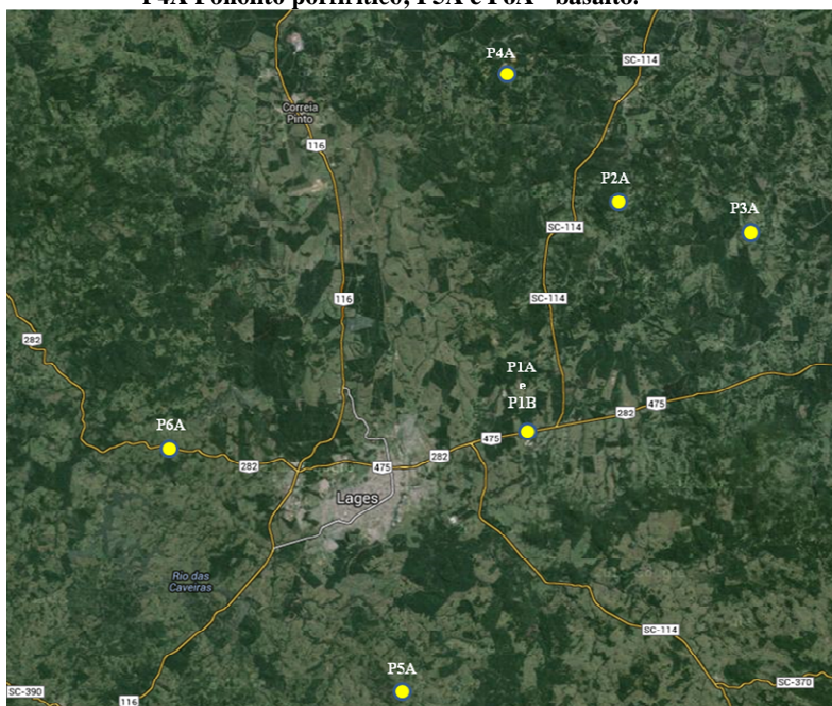
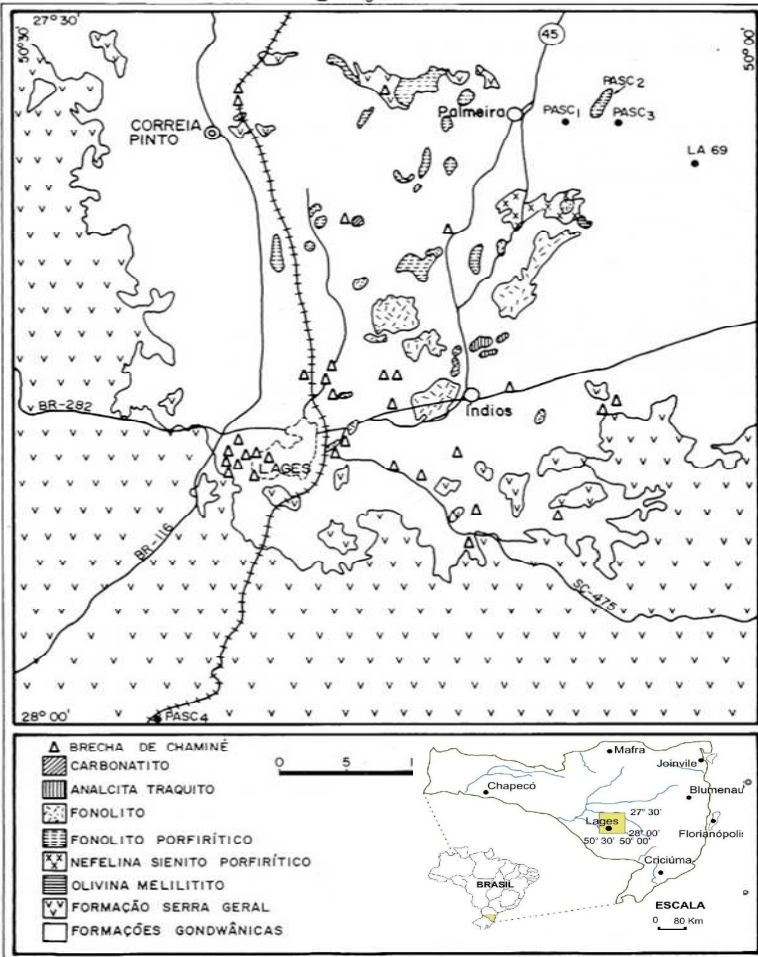


Figura 02 - Mapa geológico do Domo Alcalino de Lages.



Fonte: (SILVA; BORTOLUZZI, 1987).

Os perfis foram descritos e amostrados em corte de barranco de estrada, em locais sob vegetação natural de campo ou de mata. As análises de caracterização, como a descrição da paisagem local e regional, relevo, vegetação, além da descrição morfológica dos perfis foram realizadas de acordo com Lemos e Santos (2002) no local de coleta das amostras. Informações detalhadas da descrição geral e morfológica encontram-se no Apêndice 1.

Amostras de rochas intactas foram coletadas para realização de análise química total de elementos. Amostras de solo foram coletadas nos horizontes para realizar análises físicas, químicas e mineralógicas.

5.2 ANÁLISES FÍSICAS

5.2.1 Separação da TFSA e frações grosseiras

Após a coleta, as amostras foram secas em estufa a 60°C durante 48 hs, sendo após a secagem retirada uma amostra de 200 g de terra para determinação das frações grosseiras. O restante do material foi destorroado e passado em peneira de 2 mm de abertura para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

A amostra de 200 g de cada horizonte foi destorroada com rolo metálico evitando a quebra dos fragmentos grosseiros. Realizou-se o peneiramento em malha 2 mm, obtendo-se a fração terra fina seca ao ar (TFSA). No material retido na peneira (fração grosseira) efetuou-se a lavagem para eliminação do silte e da argila aderidos; a fração grosseira foi colocada em latas de alumínio e seca em estufa de 60°C durante 24 hs. Realizou-se os cálculos das proporções de frações grosseiras e de TFSA existentes nos 200 g iniciais. A fração grosseira ainda passou por peneira de 2 cm para separação da fração cascalho e calhaus (EMBRAPA, 1997).

5.2.2 Granulometria

Para a análise textural foram pesadas 50 g de TFSA colocadas em frascos snap-cap de 150 ml, juntamente com 12,5 ml de NaOH 1M, 75 ml de água e duas esferas de acrílico. Após agitação horizontal por 4 horas a 220 rpm, a fração areia foi separada em peneira de malha 0,053 mm e quantificada por pesagem após seca em estufa. A argila foi determinada pelo método do densímetro de Boyoucus e o silte por diferença (EMBRAPA, 1979). O silte + argila foi armazenado em garrafas pet para separação da argila do silte e realização posterior das análises mineralógicas.

Determinou-se também a argila dispersa em água, utilizando-se 50 g de TFSA em 100 ml de água, juntamente com duas esferas de acrílico. Após agitação horizontal da amostra por 4 horas a 220 rpm, separou-se a fração areia em peneira de 0,053 mm. O teor de argila foi determinado utilizando-se o método do densímetro. Com o teor de argila

total e argila dispersa em água foi calculado o grau de floculação através da fórmula (EMBRAPA, 1979):

$$GF = 100 (\text{Argila total} - \text{Argila dispersa em água}) / \text{Argila total.}$$

A relação silte/argila foi determinada pela razão entre o teor de silte e o da argila encontrados usando os valores obtidos de argila total e silte total da análise com dispersante químico NaOH.

5.3 ANÁLISES QUÍMICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Na TFSA determinou-se o pH em água e em solução de KCl 1M L^{-1} , na relação solo:líquido 1:1 através da potenciometria (TEDESCO *et al.*, 1995). A acidez potencial (H+Al) foi determinada através da extração com acetato de cálcio $0,5\text{M L}^{-1}$ tamponado a pH 7,0 e quantificado por titulometria de neutralização com solução de NaOH $0,02\text{M L}^{-1}$, segundo EMBRAPA (1997).

Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1M L^{-1} sendo os dois primeiros quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, e o alumínio por titulometria de neutralização utilizando-se NaOH $0,025\text{ mol L}^{-1}$ e fenolftaleína como indicador (TEDESCO *et al.*, 1995). Sódio e potássio foram extraídos com acetato de amônio e posteriormente quantificados por fotometria de chama (TEDESCO *et al.*, 1995).

O carbono orgânico foi determinado após oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio ácido, titulando-se com solução de sulfato ferroso amoniacal utilizando-se ferroín como indicador (TEDESCO *et al.*, 1995).

Com base nesses parâmetros foram calculadas a CTC a pH₇, soma de bases (S), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) segundo EMBRAPA (1997).

De acordo com o método proposto por Bennema (1966) estimou-se a contribuição do carbono orgânico e da fração argila na CTC. Para isto converteu-se os teores de carbono e da CTC a pH₇ para 100 g de argila em cada horizonte do perfil. Após, os valores foram plotados em um gráfico xy, e calculada uma regressão linear entre estes valores, sendo que o eixo x representa o teor de carbono e o eixo y a CTC a pH₇. Da equação resultante: $CTC\ pH_7 = a \times (\% \text{ Carbono}) + b$, o parâmetro *a* representa a contribuição do carbono e o parâmetro *b* representa a contribuição média da fração argila para a CTC a pH₇ para cada solo.

5.4 ATAQUE SULFÚRICO

Os teores de silício, alumínio e ferro totais na TFSA foram obtidos através do ataque sulfúrico, utilizando-se 1 g de solo e 20 ml de H_2SO_4 na diluição 1:1, aquecendo-se em bloco digestor durante 30 minutos contados a partir do início da fervura. Após o resfriamento, as amostras foram filtradas e diluídas para o volume de 250 ml. O resíduo da filtragem do procedimento anterior foi submetido a ataque básico com NaOH 30% em copo de teflon com aquecimento até levantar fervura. Após o resfriamento realizou-se a diluição para 200 ml e posteriormente procedeu-se a filtragem para quantificação do Si.

A quantificação dos elementos foi realizada por meio de espectrofotometria de absorção atômica de chama, utilizando-se de mistura de ar-acetileno para quantificação do ferro e de óxido nitroso-acetileno para o alumínio e silício. Os teores de cada elemento foram convertidos para a forma de óxidos multiplicando-se os valores obtidos pelos fatores 1,43, 1,89 e 2,14 para o Fe, Al e Si, respectivamente.

Baseado na quantificação de Fe, Al e Si foi realizado o cálculo das relações Al_2O_3/Fe_2O_3 e SiO_2/Fe_2O_3 e dos índices Ki e Kr conforme EMBRAPA (1997) através das seguintes fórmulas:

$$Ki = \% SiO_2 \times 1,70 / \% de Al_2O_3$$

$$Kr = (\% SiO_2/0,60) / (\% Al_2O_3/1,02) + (\% Fe_2O_3/1,60)$$

$$Al/Fe = \% Al_2O_3 \times 1,57 / \% Fe_2O_3$$

$$Si/Fe = \% SiO_2 \times 2,67 / \% Fe_2O_3$$

Após a descrição das características morfológicas dos perfis de solos e das análises físicas e químicas, procedeu-se a classificação dos solos seguindo-se as chaves propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de solos (EMBRAPA, 2013).

5.5 FERRO EXTRAÍDO POR DITIONITO-CITRATO-BICARBONATO DE SÓDIO (DCB).

Os óxidos de ferro pedogênicos foram extraídos com solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) (Fe_d), segundo Mehra; Jackson (1960).

Para a extração com DCB as amostras foram trituradas em almofariz de ágata até atingir diâmetro inferior a 0,125 mm. Utilizou-se 4 g de TFSA para as amostras que continham até 9% de Fe e 2 g para aquelas que continham até 18% de Fe. Após a pesagem efetuou-se três adições sucessivas de 45 ml de solução seguida dos seguintes procedimentos: as amostras foram colocadas em tubos de centrífuga e adicionou-se 45 ml de solução CB (citrato de sódio 0,27 M e bicarbonato de sódio 0,11 M), sendo após acondicionadas em banho-maria na temperatura de 75°C. Adicionou-se 1 g de ditionito de sódio, dividido em três adições consecutivas a cada 5 minutos. Após foram adicionados 10 ml de solução saturada de KCl, e mantidas em banho-maria por mais 5 minutos. As amostras foram centrifugadas a 1800 rpm por 5 minutos. O sobrenadante foi transferido para recipiente identificado de 250 ml e sobre o resíduo das amostras repetiu-se a operação mais duas vezes. Após este procedimento o volume do recipiente foi completado a 250 ml com água destilada. Alíquota dos sobrenadantes oriundos das três extrações foi utilizada para a quantificação do Fe por espectrofotometria de absorção atômica utilizando chama de ar/acetileno.

5.6 ANÁLISES MINERALÓGICAS

As frações argila e silte foram separadas por decantações sucessivas, sendo o tempo de decantação do silte calculado com base na Lei de Stokes.

Após a separação do silte, a argila foi submetida à extração dos óxidos de ferro através do uso de ditionito-citrato-bicarbonato (DCB). Para eliminação do excesso de sais procedeu-se repetidas lavagens com álcool etílico 20% e água destilada com posterior centrifugação.

A argila total de horizontes selecionados de cada perfil foi analisada por DRX após ter sido submetida à saturação com potássio usando-se solução de KCl 1M L⁻¹ a temperatura ambiente e depois do aquecimento em temperatura de 110, 350 e 550°C. Outra parte da amostra foi analisada após tratamento de saturação com magnésio usando-se solução de MgCl₂ 1M L⁻¹ e após saturação com vapor de etileno glicol. As amostras da fração argila foram analisadas na forma de lâminas de argila orientada.

Nestas análises utilizou-se um difratômetro de raios-X Philips, modelo PW 1830, dotado de tubo de Cu, goniômetro vertical, filtro de níquel e monocromador de grafite, ângulo de compensação de $\theta/2\theta$, com variação angular de 3 a 42 ° 2 θ . A velocidade angular foi de 0,02° 2 θ /s,

em modo por passos (step), com tempo de 0,5 segundos de leitura por passo.

A interpretação dos difratogramas para identificação dos minerais constituintes da fração argila e silte foi realizada com base nos parâmetros descritos por Brown e Brindley e Whitig e Allardice (1980).

A semi-quantificação dos argilominerais 2:1 presentes em cada amostra foi realizada com base no software APD (Automatic Powder Diffraction) que opera e comanda o equipamento, utilizando-se o recurso fitprofile, onde plotou-se os picos de argilominerais 2:1 e 1:1, sendo que a partir destes o programa calculou matematicamente as áreas de cada pico, dividindo a área dos picos 2:1 pela área total.

5.7 ANÁLISE QUÍMICA TOTAL DAS ROCHAS E DOS SOLOS

Amostras de cada rocha e de TFSA de horizontes representativos de cada perfil de solo foram enviadas para o laboratório AcmeLabs (Canadá) para serem analisadas quimicamente para quantificação dos elementos totais, visando estabelecer o balanço geoquímico dos elementos. O laboratório possui controle de qualidade internacional, contando com duas amostras NYST por batelada de amostras, assim como dois padrões internos de referência para todos os elementos.

Os principais óxidos e outros elementos menores foram analisados em uma amostra de 0,2 g através da fusão total com metaborato/tetraborato de lítio e digestão nítrica com posterior quantificação por Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado - ICP.

Os seguintes elementos maiores foram determinados: Si, Al, Fe, Ti, P, Ca, Mg, K, Na, Mn, C, S, Cr. Entre os elementos menores quantificados estão B, Cl, Cu, Fe, Mo, Zn, Co, Cd, Ag, Au, Co, Ni,

Metais preciosos também foram analisados através de digestão de 0,5 g de amostra pelo método água régia ($\text{HCl} + \text{HNO}_3$) e quantificação por espectrometria de massa com fonte de plasma induzido.

A perda ao fogo (P.F.) foi determinada pela perda de peso da amostra por aquecimento, a uma temperatura de 1000°C.

5.8 CÁLCULO DO BALANÇO GEOQUÍMICO

Existem várias propostas para este cálculo, que levam em conta não só as transformações químicas, mas também modificações nas

relações volumétricas dos materiais do solo, saprólito e no material de origem.

Com base nos resultados das análises químicas totais realizou-se o cálculo do balanço geoquímico dos elementos maiores e menores utilizando o método isoelemental (CARVALHO, 1995), onde considerou-se o Al como elemento referência, denominado portanto, de isoalumínio. Para tal recalculou-se as percentagens dos elementos multiplicando-se o teor do elemento nos diferentes horizontes analisados pela razão isoalumínio (teor de Al_2O_3 na rocha/ Al_2O_3 no solo). A soma da percentagem dos elementos recalculados fornece a quantidade percentual remanescente no solo em relação ao material de origem.

Posteriormente o balanço de elementos foi calculado pela diferença entre o valor reajustado pelo isoalumínio e o teor no material de origem. Assim estimou-se o percentual de perdas dos elementos, representados pelos valores negativos, e ganhos, representados pelos valores positivos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

6.1.1 Perfis P1A e P1B

Os solos desenvolvidos a partir de fonólito, correspondentes aos perfis P1A e P1B, foram descritos e coletados às margens da BR 282, sentido Lages-Florianópolis, no topo de elevação, com declive aproximado de 20%, em cota altimétrica de 970 m. A descrição geral, morfológica, resultados das análises físicas e químicas encontram-se no apêndice A (perfil P1A) e B (perfil P1B).

Estes solos ocorrem sob cobertura de campo subtropical, em terreno bem drenado, sendo o uso atual com pastagem. Nas Figuras 3a e 3b pode observar-se aspectos da morfologia destes perfis, tais como cor, profundidade e espessura de horizontes. Já, nas Figuras 3c e 3d observa-se a paisagem de ocorrência e o material de origem.

Os perfis ocorrem lado a lado, e apesar de encontrar-se em uma distância muito pequena dentro de um mesmo segmento de paisagem diferenciam-se em aspectos como profundidade e sequência de horizontes, fazendo com que se enquadrem em diferentes classes de solos, compreendendo desta forma uma alternância de Neossolo Regolítico Húmico típico, A húmico, Tb, textura argilosa e Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (EMBRAPA, 2013), A proeminente, Tb, textura argilosa/franco argilosa. Estão presentes em relevo forte ondulado tanto no local, quanto regionalmente, sem evidência aparente de erosão.

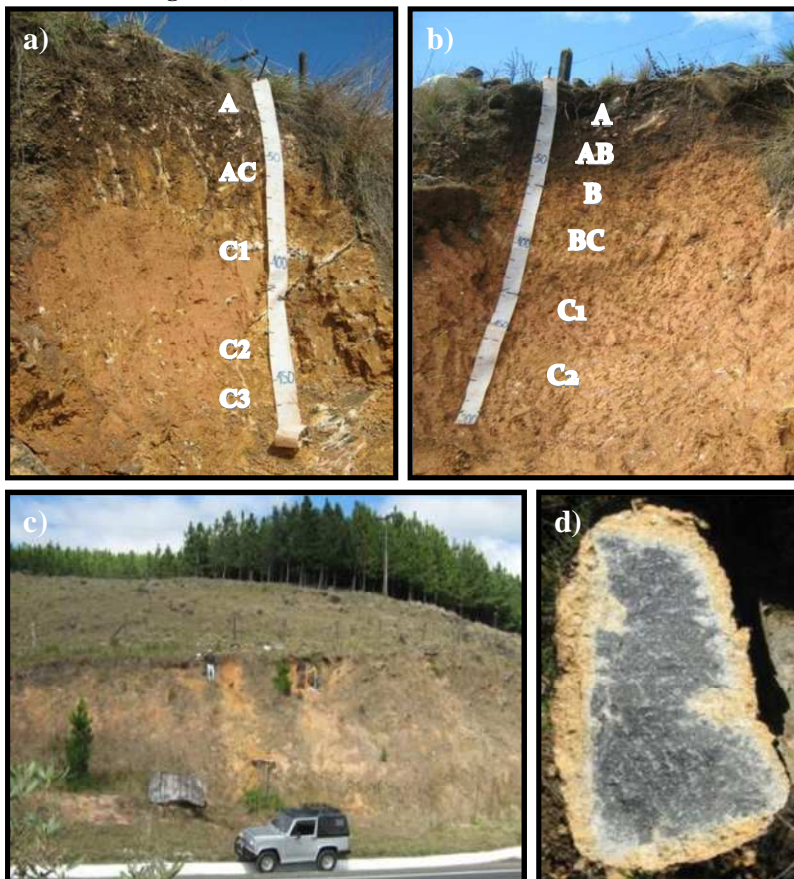
Silveira (2006) estudando solos da área do Batólito Pelotas, RS, relata dois solos desenvolvidos a partir do mesmo material de origem que ocorrem lado a lado, sendo um solo raso e um profundo, enquadrados nas classes Neossolo e Argissolo, respectivamente. O autor observou a presença de veios de rocha em disposição aproximadamente vertical, o que gera uma maior resistência ao intemperismo, alternando, desta forma uma sequência de solos rasos e mais profundos.

O Neossolo apresenta sequência de horizonte A, AC, C1, C2 e C3 e o Cambissolo A, AB, B, BC, C1 e C2.

Apresentam cores brunadas em superfície e bruno-amareladas em subsuperfície, com presença de mosqueados. Esta coloração brunada ou bruno-amarelada é atribuída ao clima frio e úmido, associado ao acúmulo de matéria orgânica, o que favorece a formação de goethita em detrimento de hematita (KÄMPF; SCHWERTMANN, 1983). As cores

amareladas indicam a presença de goethita e a virtual ausência de hematita. Refletem condições de boa drenagem, mas são mais frequentes em áreas de condições climáticas pretéritas, ou atuais, mais úmidas, sem estação seca pronunciada (RIBEIRO *et al.*, 2012).

Figura 03 - Perfil P1A Neossolo Regolítico Húmico típico (a) e Perfil P1B Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (b) desenvolvidos de fonolito; paisagem de ocorrência (c) dos solos, material de origem (d).



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A estrutura do horizonte A do perfil P1A apresenta-se como granular de grau moderado, tamanho pequeno a médio. Já no horizonte

A do PIB a estrutura é moderada granular e fraca, média blocos sub-angulares. Neste perfil a transição é gradual e ondulada entre os horizontes. Em relação à granulometria os dados indicam que a contribuição dos fragmentos grosseiros em relação à fração total foi expressiva em ambos os solos, especialmente a fração cascalho. Ambos os solos apresentam textura argilosa e muito argilosa, com teores de argila que variam de 370 a 640 g kg⁻¹ ao longo de todo o perfil, com presença de cascalho no horizonte A. Os teores de argila dispersa em água são nulos nos horizontes subsuperficiais, indicando que 100% da argila encontra-se floculada nestes solos.

O perfil P1A apresenta espessura de até 60 cm até o horizonte C1, já o PIB é mais espesso, possuindo 125 cm até o horizonte BC.

São solos de reação fortemente ácida, com pH em água ao longo do perfil entre 4,4 e 4,6, sendo sempre superiores aos valores de pH em sal, indicando predomínio de carga superficial líquida negativa em todo o perfil (Apêndices A3 e B3). O pequeno teor de cátions básicos, como cálcio, magnésio, potássio e sódio no material de origem ou a perda destes através de processos pedogenéticos relaciona-se diretamente com a acidez dos solos (CATANI; GALLO, 1985). De acordo com Sposito (1989), em condições naturais e em regiões de clima úmido, existe uma tendência constante para acidificação do solo pelo suprimento contínuo de íons H⁺, que se originam principalmente da dissociação do ácido carbônico, formado pela dissolução do CO₂ do ar e do solo e pela entrada de ácido carbônico pelas águas das chuvas.

A soma e a saturação por bases são baixas em todos os horizontes, caracterizando-os como distróficos, mostrando a baixa reserva de nutrientes nestes solos, revelando solos já bastante lixiviados.

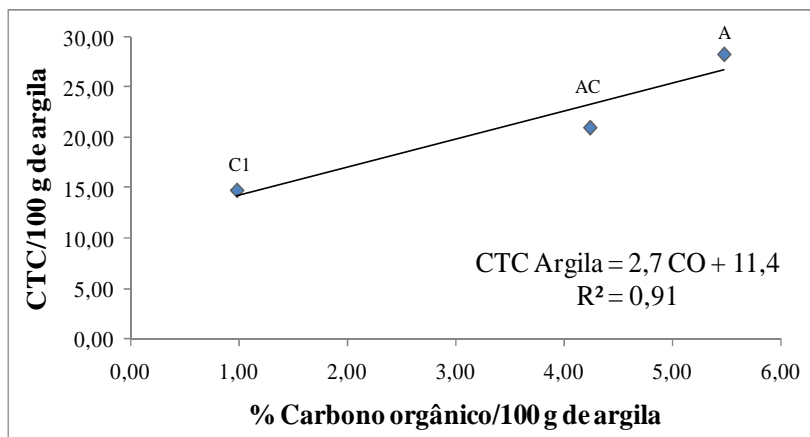
A acidez potencial é alta, evidenciada pelos teores de Al⁺³ e H⁺ ocupando a maior parte das cargas negativas, resultando na saturação por alumínio superior a 50%. Nas regiões tropicais a hidrólise dos silicatos causa a eliminação dos cátions básicos, aliada a saída parcial ou total da sílica e permanência do alumínio (MELFI, 1974). Tanto no perfil P1A quanto no PIB a CTC encontra-se em grande parte ocupada por H⁺+Al³⁺, e com teores de bases trocáveis muito baixos.

A atividade da fração argila é baixa no horizonte AC do perfil P1A (21,0 cmol_c kg⁻¹) e no horizonte B do perfil PIB (24,8 cmol_c kg⁻¹). Os teores de C orgânico no horizonte A ficam em torno de 29,6 g kg⁻¹ no perfil P1A e 22,2 g kg⁻¹ no PIB, diminuindo em subsuperfície. Estes teores são atribuídos ao clima predominante na região, onde as temperaturas mais baixas favorecem seu acúmulo no solo.

Em relação à contribuição individual do carbono orgânico e da argila para a CTC do solo, usando o método de Bennema (1966), a equação demonstra que para o Neossolo a fração argila contribui em média com 11,4 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na CTC do solo, e cada 1% de carbono orgânico contribui em média com 2,7 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 4). Já para o Cambissolo (P1B) não ocorre contribuição do teor de carbono na CTC deste solo, e a argila contribui com 25,7 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 5). Deve haver diferenças mineralógicas na composição dos solos que influem na sua CTC.

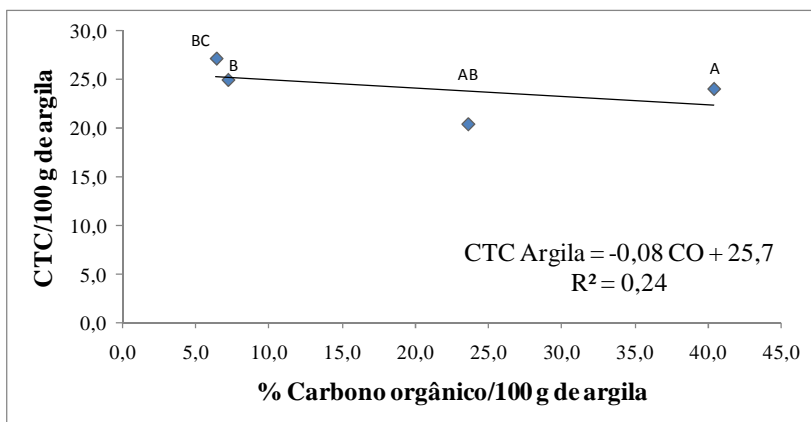
Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 aumentam do topo para a base do perfil, portanto maior é o conteúdo destes óxidos à medida que se aproxima da rocha. Em relação ao Fe_2O_3 no perfil P1A ocorre aumento até o horizonte C1 e diminui no C2 (Apêndice A3). No P1B o teor deste óxido diminui até o horizonte BC, sofre um ligeiro aumento no C1 e volta a diminuir no horizonte C2 (Apêndice B3). Estes solos apresentam menos de 80 g kg^{-1} de Fe_2O_3 pelo ataque sulfúrico, sendo classificados como hipoférricos (EMBRAPA, 2013).

Figura 04 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a $\text{CTC}_{\text{pH}7}$ convertidos para 100 g de argila para o perfil P1A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Figura 05 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P1B.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Os valores de K_i estão acima de 2,2 em todos os horizontes de ambos os perfis. O índice K_i é um indicador do processo de dessilificação, sendo uma medida indireta do grau de intemperismo do solo. Portanto, solos mais intemperizados apresentam valores de K_i inferior a 2,2 (KEHRIG, 1949). Já o índice K_r é usado para diferenciar solos oxídicos, quando o K_r é menor que 0,75, de solos cauliniticos, quando o K_r é maior que 0,75 (KEHRIG, 1949; OLIVEIRA, 2005). Desta forma os valores de K_r destes solos indicam tratar-se de solos cauliniticos, provavelmente com alguma participação de argilominerais de camada 2:1, especialmente nos horizontes inferiores, onde a permanência de mais Si em relação ao Al, que ocorre em função da menor percolação vertical de água favorece a formação destes argilominerais (MELFI; PEDRO, 1977). Nos horizontes superficiais como o intemperismo é maior, a formação de caulinita é mais favorecida.

O estágio de intemperismo também pode ser avaliado através da relação silte/argila, sendo que solos que apresentam esta relação inferior a 0,6-07 indicam maior intensidade dos processos intempéricos que atuaram na formação do solo. Valores acima e abaixo destes, no horizonte B podem ser utilizados (auxiliarmente), respectivamente, para distinguir o horizonte B incipiente do B latossólico (EMBRAPA, 2013). A relação está acima da unidade apenas nos horizontes C1 e C2 do perfil P1B.

O pequeno teor de bases nestes solos pode ser decorrente da intensa lixiviação sofrida no ambiente úmido da região. A relação silte/argila com valores baixos evidencia tratar-se de solos cujos minerais primários já foram bastante intemperizados, apesar de estarem enquadrados em classes de solos jovens, porém os valores de K_i , entre 2 e 3 nos horizontes Bi e C, indicam um estágio de intemperismo intermediário, podendo apontar uma presença significativa de argilominerais 2:1 associados com a caulinita. Entretanto a presença expressiva de frações grosseiras ao longo do perfil pode ser um indicativo de processos de erosão ocorridos durante a formação destes solos, caracterizando certa imaturidade nos processos de formação.

Algumas características podem ser levadas em consideração para explicar o desenvolvimento lado a lado de um perfil raso e um profundo a partir do mesmo material de origem, como aspectos estruturais que envolvem fraturas ou falhas ocorrentes na rocha, favorecendo um intemperismo diferencial em função das diferenças nos fluxos hídricos, ou ainda a erosão diferencial em função de variações na litologia, o que não parece ser o caso. Além disso, algumas propriedades do terreno podem propiciar diferentes capacidades de retenção e condutividade de água, gerando desta forma solos de mesma idade, mas com desenvolvimento diferente.

6.1.2 Perfil P2A

O perfil 2, cuja descrição completa, análises físicas e químicas encontram-se no apêndice C, é desenvolvido a partir da rocha alcalina nefelina sienito, intrusiva intermediária, e foi classificado como Cambissolo Húmico Alumínico típico (EMBRAPA, 2013), A húmico, Tb, textura argilosa a muito argilosa.

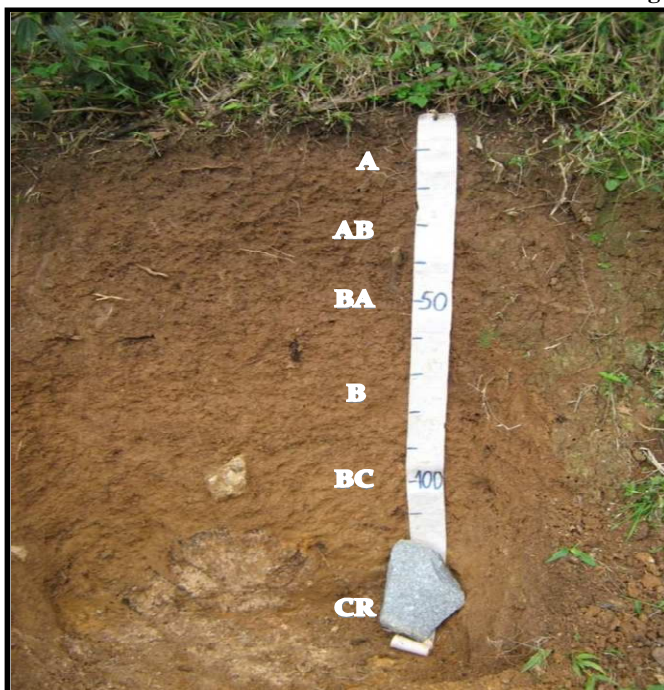
Na Figura 6 é possível observar aspectos do perfil, como cor, profundidade, sequência de horizontes, além do material de origem.

Este solo foi coletado no interior do município de Lages/SC, na localidade de Cadeados em área com altitude de 923 m, no terço superior da encosta, próximo ao topo de elevação, com declividade média de 12%, sob cobertura vegetal de xaxins, araucárias, amora e goiaba serrana. O relevo, tanto local quanto regional é ondulado, sendo o solo bem a moderadamente drenado, sem erosão aparente (Apêndice C1).

A estrutura no horizonte B é em blocos subangulares de grau fraco a moderado e granular, de tamanho pequeno e grau fraco a moderado, transição gradual entre os horizontes e coloração bruno

amarelado no matiz 10YR. Ocorrem poucas raízes no BA e B, e são raras no BC. Apresenta alguns fragmentos de sienito semi-alterados misturados à massa de solo do perfil, principalmente nos horizontes B e BC. Há presença de cerosidade fraca e pouca nos horizontes BA e B.

Figura 06 - Perfil P2A Cambissolo Húmico Aluminítico típico desenvolvido de nefelina sienito: Foto do Perfil e do material de origem.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A análise física indica a predominância da fração terra fina, com no máximo 10 g kg^{-1} de cascalho na fração total do horizonte A e a partir do B em profundidade (Apêndice C3). O solo formado no local é enquadrado como profundo, com espessura de 135 cm até o horizonte CR, porém encontra-se em posição da paisagem, terço superior da encosta, onde geralmente a profundidade é média a rasa. Como está mais próximo de outro segmento da paisagem, que é o ombro acaba sofrendo um pouco mais a ação de processos erosivos. Apresenta valor de carbono orgânico no horizonte A de 39 g kg^{-1} , diminuindo nos demais horizontes até chegar a $6,0 \text{ g kg}^{-1}$ no CR. Este teor de carbono

propicia o escurecimento do horizonte superficial, o qual apresenta cor bruno escuro.

O teor de argila é elevado, variando de 460 a 660 g kg⁻¹ ao longo do perfil, sendo a textura argilosa no horizonte A e muito argilosa no B. Nos horizontes superficiais o grau de floculação está abaixo de 40%. Entretanto a partir do horizonte B a argila encontra-se totalmente floculada.

É um solo de reação fortemente ácida, com pH entre 4,1 a 4,8 respectivamente no horizonte superficial e em profundidade, sendo estes valores sempre superiores ao pH em sal (KCl), indicando predomínio de carga superficial líquida negativa ao longo de todo o perfil. Os solos são ácidos devido ao baixo teor de cátions no material de origem ou a processos pedogenéticos que favorecem a perda dos mesmos, já que o desenvolvimento da acidez é um processo que ocorre à medida que os cátions básicos adsorvidos no complexo coloidal vão sendo deslocados para a solução do solo por íons H⁺ e, de alguma forma, removidos do meio. A acidez do solo, caracterizada pelo Al⁺³ e H⁺+Al⁺³ pode ser indicadora de um estágio de intemperismo mais avançado.

A soma de bases é muito baixa no horizonte B (0,8 a 0,9 cmol_c kg⁻¹), já na superfície vai de 2,8 a 1,2 cmol_c kg⁻¹. Apresenta-se fortemente dessaturado, com saturação de bases muito baixa, ficando entre 7 a 17% no horizonte A e 6 a 8% no B (Apêndice C3), portanto distrófico. O baixo teor de bases deste solo pode ser atribuído ao maior intemperismo e ao menor conteúdo em cátions básicos nesta rocha que deu origem ao mesmo.

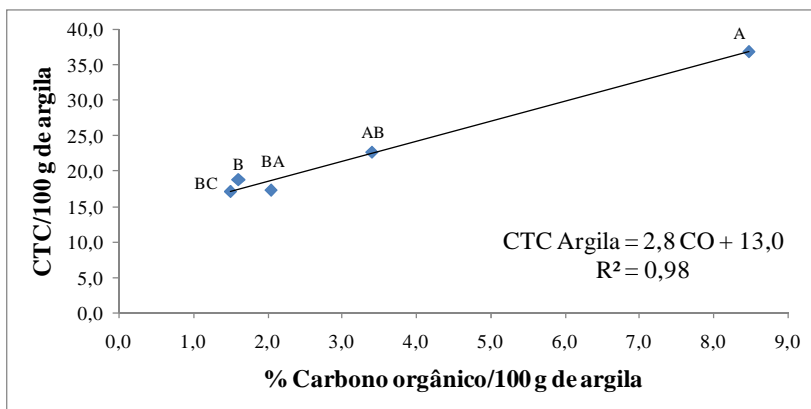
A saturação por alumínio no complexo de troca é alta, acima de 60% em todo o perfil, e crescente com a profundidade. Comportamento que pode estar associado ao decréscimo da matéria orgânica com a profundidade, considerando a ocorrência em maior abundância de complexos estáveis com este componente, reduzindo a saturação por alumínio nos horizontes superficiais. O alto teor de alumínio na forma trocável nos solos desenvolvidos a partir das rochas alcalinas, segundo Dani (1988) mostra-se como reflexo da prevalência do clima úmido atual, que atua na alteração destes materiais de origem. Os solos presentes em maiores altitudes possuem teores mais elevados de matéria orgânica em função da redução na atividade biológica do solo como consequência da menor temperatura. Ocorrem também maiores teores de alumínio trocável, o que acaba reduzindo a saturação por bases.

A CTC_{pH7} é de 17,4 cmol_c kg⁻¹ no horizonte A e decresce em profundidade. A atividade da argila varia de 18,7 a 19,2 cmol_c kg⁻¹ no

horizonte B, caracterizada como de atividade baixa, resultando em valores pequenos de CTC do solo.

Para este solo a contribuição média da fração argila na CTC do solo estimada pelo método de Bennema (1966) foi de $13,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, valor muito próximo, portanto ao obtido pelo cálculo segundo EMBRAPA (1966). Cada 1% de carbono orgânico, ainda segundo Bennema (1966) contribuiu em média com $2,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 7).

Figura 07 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P2A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Pelo ataque sulfúrico o teor de Al_2O_3 aumentou em profundidade (Apêndice C3), porém no horizonte CR apresentou um teor inferior aos demais, coincidindo com o aumento no teor de argila em profundidade, tendo este componente uma queda brusca no horizonte CR, portanto acompanha a mudança na composição granulométrica. O SiO_2 apresentou o maior teor no horizonte B, decrescendo em direção a rocha. O teor de Fe_2O_3 sofreu aumento até o horizonte BA e decresceu deste em direção ao material de origem. O teor deste óxido foi maior neste perfil em relação àqueles desenvolvidos de fonolito. Com exceção do horizonte CR, neste solo a relação Ki permaneceu acima de 2,2. A relação silte/argila variou de 0,8 a 0,5 na superfície e de 0,3 a 0,4 em subsuperfície, indicando ser um solo bastante intemperizado. O teor de Fe determinado pelo ataque sulfúrico próximo a 80 g kg^{-1} permite enquadrar o solo como hipoférrico para mesoférrico (EMBRAPA, 2013).

A elevada acidez, aliada ao pequeno conteúdo de bases e altos teores de alumínio trocável, revela um processo de intensa lixiviação neste perfil.

6.1.3 Perfil P3A

Este perfil de solo é desenvolvido da rocha ultrabásica olivina melilitito, cuja descrição geral e morfológica, análises físicas e químicas encontram-se no apêndice D. Foi classificado como Chernossolo Háplico Órtico típico (EMBRAPA, 2013), horizonte A chernozêmico, Ta, textura franca. A formação de Chernossolos depende de condições que favoreçam a formação e persistência de um horizonte superficial rico em matéria orgânica e com alto conteúdo de cálcio e magnésio, e de argilominerais 2:1, especialmente do grupo das esmectitas (EMBRAPA, 2013).

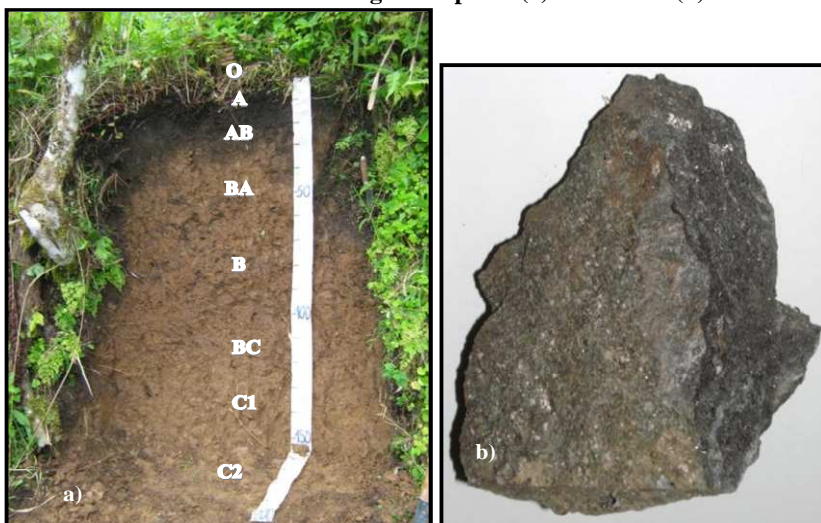
Foi descrito e amostrado no interior do município de Palmeira/SC, na localidade de Cadeados, em topo de elevação, com vegetação de mata secundária, declive de aproximadamente 22%, relevo forte ondulado no local, terreno bem a moderadamente drenado, sem erosão aparente.

Na Figura 8a é possível observar aspectos da morfologia deste perfil, especialmente cor, profundidade e espessura dos horizontes, além do material de origem (Figura 8b), que se mostra com cor bastante escurecida.

É um solo profundo, sendo que o horizonte A apresenta espessura regular, com cor escura e expressivo acúmulo de matéria orgânica, o horizonte B possui em torno de 100 cm e cor bruno amarelado escuro no matiz 10YR. A presença de umidade e de matéria orgânica favorece a formação de goethita (SCHWERTMANN, 1985; ALMEIDA *et al.*, 2000) em detrimento de hematita, assim o solo adquiriu uma coloração mais amarelada. Menegotto (1983) estudando a intemperização de rochas ultrabásicas no RS encontraram perfis de alteração pouco profundos, representados por Solos Litólicos.

A estrutura no horizonte B ocorre na forma de blocos angulares e subangulares de tamanho médio e grande, grau moderado a fraco e prismática, de grau moderado, apresentando cerosidade moderada e comum, principalmente na face dos prismas. Ocorre intensa atividade biológica nos horizontes BA e B.

Figura 08 - Perfil P3A Chernossolo Háplico Órtico típico desenvolvido de olivina melilitito. Imagem do perfil (a) e da rocha (b).



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A análise física indica a existência apenas da fração terra fina na fração total. A textura é franco argilosa no horizonte B e franca nos demais horizontes. O teor de argila ao longo do perfil é o menor encontrado em todos os perfis estudados. Esta característica ajuda a avaliar o grau de alteração do solo, pois segundo Melfi; Pedro (1977) a presença de pequeno teor de argila pode ser indicativo de solo jovem, pouco desenvolvido pedogeneticamente. No entanto deve-se levar em consideração o material de origem do solo.

O teor de argila permaneceu entre 170 e 360 g kg⁻¹ ao longo de todo o perfil, sendo o grau de floculação abaixo de 50% em todos os horizontes. Este baixo grau de floculação, em decorrência da maior quantidade de argila dispersa em água, pode ser atribuído à presença de minerais de camada 2:1 com alta carga negativa e propriedades expansíveis na fração argila.

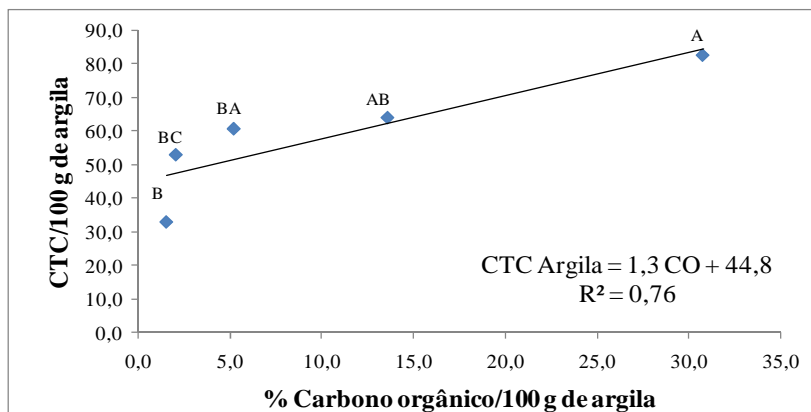
Apresenta reação ligeiramente ácida, com pH em água variando de 6,1 a 6,8 ao longo do perfil, sem presença de alumínio trocável, resultando em saturação por alumínio nula. O pH em sal (KCl) é inferior ao pH em água, o que indica saldo de cargas líquidas negativa. O aumento do pH em profundidade coincide com o aumento da saturação por bases. O maior pH no horizonte C2 pode ser atribuído a presença de

clorita, observada na mineralogia. De acordo com Pinto (1994) as fases minerais podem ter influência crescente sobre o pH com a profundidade do solo, sendo que à presença de clorita tampona o pH acima de 7,0.

A CTC_{pH7} é de $14,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte A e de $11,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte B. A atividade da argila (calculada) é considerada alta em todos os horizontes, sendo de $32,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte B. O teor de carbono orgânico no horizonte A é de $52,3 \text{ g kg}^{-1}$, decrescendo em profundidade, até alcançar o valor de $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ no horizonte C2. Para este solo a contribuição média da fração argila na CTC, estimada segundo Bennema (1966) é de $44,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e cada 1% de carbono orgânico contribui com $1,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 9).

A CTC deste solo evidencia uma grande contribuição da argila, que apresenta alta reatividade. Já o carbono deve encontrar-se em um estágio de menor decomposição, assim a sua composição estrutural apresenta-se menos reativa (DALMOLIN *et al.*, 2006).

Figura 09 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P3A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A soma de bases teve variação entre 6,4 a 9,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ao longo do perfil, grande parte devido ao teor de magnésio. O teor deste elemento aumenta em profundidade, o que pode ser devido a sua menor força trocadora e ao seu maior potencial de lixiviação em relação a outros elementos, como o Ca (ERNANI, 2008).

A saturação por bases (V%) permaneceu acima de 60% em todos os horizontes (Apêndice D3). A relação entre pH e V% pode ser fortemente influenciada pela composição mineralógica e teor de matéria

orgânica do solo (MEHLICH, 1942). Em geral, existe boa correlação entre os valores de pH em água e o grau de saturação por bases (V%) (RAIJ, 1983), válida para o horizonte A (QUAGGIO, 1983) e geralmente para o B. Nesta correlação, o pH em água é maior ou igual a 5,5 quando a saturação por bases for maior ou igual a 50%, o que ocorre neste perfil de solo.

Neste solo os teores de magnésio são maiores que os teores de cálcio, o que é comum em solos desenvolvidos a partir de rochas ultrabásicas (ALEXANDER, 1988; PINTO, 1994; PINTO; KÄMPF, 1996). Elevada saturação do complexo de troca por Mg e Ca em solos desenvolvidos a partir de rochas ultrabásicas também foi observada por VIDAL-TORRADO *et al.* (2006), oscilando a relação Ca/Mg entre 0,6 e 3,4.

A relação silte/argila é alta, variando de 2,5 no horizonte A até 0,8 no horizonte C2, evidenciando um menor grau de intemperismo deste perfil, sendo isto também confirmado pelo índice Ki que variou de 4,1 a 5,6 ao longo de todo perfil, o que é característico de solos pouco intemperizados com predomínio de argilas expansíveis (VIEIRA, 1988).

O teor de ferro pelo ataque sulfúrico neste perfil é mais elevado quando comparado com os solos derivados de fonolito e nefelina sienito, enquadrando-se como mesoférrico. Isto ocorre devido a maior presença do referido elemento neste material de origem. O alto valor do índice Ki indica haver quantidade apreciável de minerais 2:1 neste solo.

A presença de feições e propriedades de um solo mais jovem indica que a pedogênese foi pouco intensa, o que poderia ser devido às condições de relevo mais plano, ou à um clima mais seco, ou que a taxa de erosão foi maior do que a taxa de pedogênese, que pode ocorrer quando o relevo é acidentado, mantendo minerais ainda passíveis de intemperização. A condição climática atual, no entanto, é úmida, tendo favorecido forte intemperismo e grande lixiviação das bases nos demais solos, desenvolvidos de outros materiais de origem. Isto sugere que outras hipóteses devem ser aventadas para explicar a maior fertilidade e maior juventude deste solo, como a possível exumação da rocha em período mais recente do que as demais, tal como será discutido adiante.

Não foi encontrada nenhuma situação que caracterize descontinuidade na natureza química ou mineralógica no material do solo ou da rocha subjacente que possa indicar alguma interrupção no processo de formação deste solo.

6.1.4 Perfil P4A

O perfil de solo P4A é desenvolvido de fonolito porfírico, cuja descrição geral, análises físicas e químicas encontram-se no apêndice E.

Este solo foi enquadrado na classe Cambissolo Háplico Alumínico típico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), A proeminente, Tb, textura argilosa.

Este solo foi descrito e coletado no interior do município de Palmeira/SC no 1/3 médio de encosta, em altitude de 945 m, terreno com declividade de aproximadamente 15%, bem a moderadamente drenado, sob cobertura de gramíneas, ao lado de reflorestamento de pinus. Apresenta linhas de cascalhos e calhaus na base do AB e topo do B e presença de matacões de fonolito porfírico distribuídos no horizonte AB e B.

Na Figura 10a pode-se observar aspectos da morfologia do perfil, especialmente cor, profundidade e espessura de horizontes. A paisagem de ocorrência é visualizada na Figura 10b

Trata-se de perfil profundo, com espessura de solum de 120 cm, localizado em relevo ondulado no local, porém regionalmente é forte ondulado, sem presença de erosão aparente.

Figura 10 - Perfil P4A Cambissolo Háplico Alumínico típico desenvolvido de fonolito porfírico. Foto do perfil (a) e paisagem de ocorrência (b).



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

No horizonte Bi a estrutura apresenta-se na forma de blocos subangulares, de tamanho pequeno, médio, de grau fraco. A cor úmida no horizonte B é bruno escuro e seca é bruno-forte, no matiz 7,5YR.

Os teores de argila são altos, sendo a textura argilosa em grande parte dos horizontes. A argila dispersa em água foi muito inferior ao de argila total no horizonte A, tornando-se nula nos demais, indicando alto grau de flocculação.

Neste perfil a relação silte/argila permaneceu abaixo de 0,75 em todos os horizontes, podendo indicar que este solo é mais intemperizado, pois os solos que apresentam a relação silte/argila abaixo da unidade indicam que passaram por um intemperismo mais avançado quando comparados aqueles cuja relação seja superior (VAN WAMBEKE, 1959).

A reação é fortemente ácida ao longo de todo o perfil, com pH variando de 4,6 a 5,0, maior que o de pH em sal (KCl), mostrando que o solo apresenta saldo de carga líquida negativa.

O teor de carbono orgânico foi de 20,8 g kg⁻¹ no horizonte A, decrescendo em profundidade, chegando ao valor de 3,6 g kg⁻¹ no horizonte 2C2. O conteúdo de bases é muito baixo, com valores variando de 1,6 cmol_c kg⁻¹ no horizonte A, até 0,7 cmol_c kg⁻¹ no horizonte C2, indicando um solo bastante lixiviado e pobre quimicamente. O teor de alumínio trocável variou de 2,8 cmol_c kg⁻¹ no horizonte 2C1 até 7,7 cmol_c kg⁻¹ no 2C2, com saturação por alumínio superior a 50% ao longo de todo o perfil (Apêndice E3). Já a saturação por bases é muito baixa, sendo de 13% no horizonte A, diminuindo em profundidade.

A CTC_{pH7} foi maior nos horizontes superficiais, decrescendo em profundidade, acompanhando a diminuição no teor de matéria orgânica. Solos em maiores altitudes apresentam teores mais elevados de matéria orgânica e de alumínio trocável, e baixa saturação por bases. Maiores altitudes diminuem as temperaturas o que provoca a redução da atividade biológica no solo.

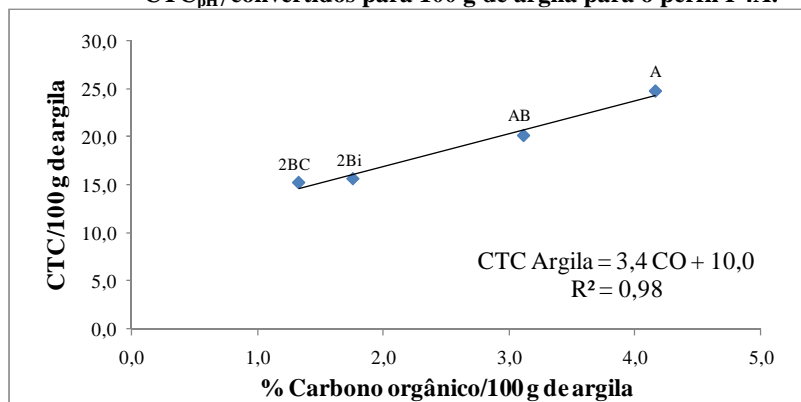
A atividade da argila no Bi é de 15,5 cmol_c kg⁻¹, caracterizando o solo como de argila de atividade baixa. A contribuição individual da fração argila e de cada 1% de carbono orgânico para a CTC deste solo, segundo o método de Bennema (1966), foi de 10,0 cmol_c kg⁻¹ e 3,4 cmol_c kg⁻¹ respectivamente (Figura 11).

O teor de óxido de silício é alto (434 a 481g kg⁻¹ de SiO₂), sendo coerente com valores encontrados para solos desenvolvidos de rochas alcalinas (LEINZ & AMARAL). Este comportamento parece

evidenciar a presença de argilas silicatadas na fração argila deste solo, com baixas quantidades de óxidos de ferro e de alumínio (gibbsita).

O teor de Fe_2O_3 extraído pelo ataque sulfúrico é menor do que 80 g kg^{-1} , com aumento gradativo à medida que se aproxima do material de origem, enquadrando-o como hipoférrico (EMBRAPA, 2013). Os valores de K_i e K_r são maiores nos horizontes superficiais do que nos intermediários, e são superiores a 2,2 em todo o perfil.

Figura 11 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a $\text{CTC}_{\text{pH}7}$ convertidos para 100 g de argila para o perfil P4A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Embora os Cambissolos sejam solos com desenvolvimento incipiente, a elevada acidez e a baixa soma e saturação por bases são provavelmente devido à menor teor de bases no material de origem e ao clima úmido dominante, que favoreceram grande lixiviação.

6.1.5 Perfil P5A

O perfil foi descrito e coletado na localidade de Guará, interior do município de Lages/SC, em posição de cimeira em área de declive convexo próximo a um topo de elevação, a 1037 m de altitude, cuja vegetação é o campo subtropical com araucária, e uso atual com pastagem. A descrição geral e morfológica, análises físicas e químicas são encontradas no apêndice F.

Este solo foi classificado como Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico (EMBRAPA, 2013), A proeminente, Tb, textura muito argilosa/argilosa.

O material de origem é o basalto da Formação Serra Geral, com possível influência de material coluvial de mesma natureza no horizonte A. Na Figura 12a observa-se a paisagem onde ocorre este perfil. Já os aspectos da morfologia, especialmente cor, profundidade e espessura de horizontes podem ser observados na Figura 12b.

O relevo no local é suave ondulado, na região é ondulado a forte ondulado. O terreno apresenta-se bem drenado, sem erosão aparente. Esse perfil desenvolvido de basalto mostrou-se pouco profundo, com espessura de solum de 58 cm, com teores de carbono orgânico de $43,3 \text{ g kg}^{-1}$ no horizonte A, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores em torno de $5,7 \text{ g kg}^{-1}$ no CR (Apêndice F3).

Figura 12 - Perfil P5A Cambissolo Háplico Alumínico úmbrico desenvolvido de basalto da formação Serra Geral: Foto do local de ocorrência (a) e do perfil (b).



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A análise física revelou a presença de cascalho nos horizontes inferiores. A estrutura no horizonte Bi ocorre como blocos subangulares, de grau moderado a fraco. Os teores de argila são altos nos horizontes A e Bi, classificando a textura como muito argilosa. Apenas no horizonte A o grau de flocculação está abaixo de 50%, nos demais a argila encontra-se totalmente flocculada.

O solo apresenta reação ácida, com pH em água em torno de 4,7 no horizonte A e 5,5 no CR. O pH em água foi sempre superior ao pH

em sal (KCl) em todo o perfil, caracterizando solos com predomínio de cargas negativas. Considerando que o material de origem apresenta maior riqueza em cátions básicos comparado às rochas alcalinas, a acidez deste solo estaria relacionada a processos pedogenéticos que favorecem a perda destes elementos, já que o desenvolvimento da acidez é um processo que ocorre à medida que os cátions básicos adsorvidos no complexo coloidal vão sendo deslocados para a solução do solo por íons H^+ e, de alguma forma, removidos do meio.

A soma de bases foi mais elevada no horizonte A ($7,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), decrescendo em subsuperfície, chegando a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no CR. A saturação por bases é inferior a 50%, caracterizando, portanto solo distrófico, com baixo teor de bases. No entanto a saturação por alumínio é superior a 65% a partir do horizonte Bi, sendo que no horizonte superficial este valor está em 30%. Este comportamento pode estar associado ao decréscimo da matéria orgânica com a profundidade, considerando a ocorrência em maior abundância de complexos estáveis com este componente, reduzindo a saturação por alumínio nos horizontes superficiais (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

A rocha basáltica é rica em nutrientes como o ferro, cálcio e magnésio, P, Cu e Zn (GERGELY *et al.*, 2000) desta forma solos originados diretamente deste material tenderiam a ser mais ricos nestes componentes (RESENDE, 2002) porém, pelos resultados apresentados observa-se que isto não se refletiu em maior teor destes no solo, devido as condições climáticas que devem ter favorecido maior intemperismo e lixiviação das bases.

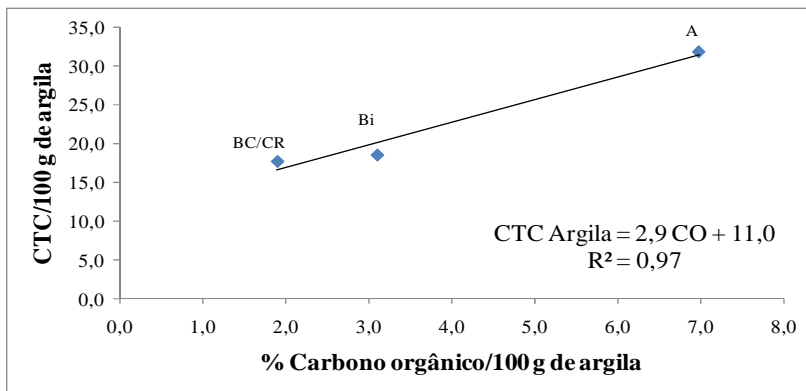
A argila é de atividade baixa, sendo de $18,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte Bi. A CTC foi maior nos horizontes superficiais, decrescendo gradativamente em profundidade, acompanhando a diminuição no teor dos componentes orgânicos. A CTC encontra-se em grande parte ocupada por $H^+ + Al^{3+}$. Para este solo a fração argila contribuiu em média com $11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de $2,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 13).

A relação silte/argila permaneceu em 0,4 no horizonte A e 1,0 no CR, mostrando ser um solo já bastante intemperizado.

Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 aumentam do topo para a base do perfil, assim quanto mais próximo da rocha maiores os conteúdos destes óxidos. Com base nos teores de ferro do ataque sulfúrico o solo pode ser classificado como férrico (EMBRAPA, 2013). As rochas máficas, como o basalto, por serem ricas em ferro, originam solos com elevado teor deste mineral (CURI & FRANZMEIER, 1987),

principalmente quando os materiais são fortemente intemperizados, onde a acumulação residual de óxidos de ferro é maior.

Figura 13 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P5A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Os valores de K_i encontram-se acima de 2,2 em todo o perfil, o que indica solo caulínítico (CURI; KÄMPF, 2012). O abaixamento do valor K_i deve-se ao fato da eliminação do silício provocado pela hidrólise dos silicatos minerais primários, sendo esta perda regulada por fatores como a escassez ou abundância de matéria orgânica, as condições climáticas e o caráter das bases presentes nos silicatos (VIEIRA, 1988).

Estas características químicas são decorrentes do clima que predomina na região, onde as baixas temperaturas diminuem a velocidade das reações químicas, desta forma os solos originados não são muito desenvolvidos, sendo pouco profundos, podendo apresentar pedregosidade, no entanto, possuem baixo teor de bases, são muito lixiviados, com reação bastante ácida e com maior conteúdo de constituintes orgânicos.

Estas rochas foram expostas à ação dos agentes intempéricos em um período subsequente ao de sua formação (CUNHA, 1990), que se deu durante intensa atividade vulcânica entre 190 e 65 milhões de anos (CASTRO, 1994). Após o estabelecimento da paisagem geológica, esta passou por processos de erosão ocasionados por mudanças climáticas durante as glaciações e interglaciações (NAKATA; COELHO, 1986). Com a estabilização da paisagem no final do

Pleistoceno ocorreu o início da formação de muitos solos, os quais passaram por eventos climáticos distintos durante sua pedogênese (BIGARELLA, 1985), determinando muitas de suas características. Assim, apesar da riqueza em nutrientes no material de origem, observa-se que outros fatores como o clima, tiveram grande influência na formação deste solo.

6.1.6 Perfil P6A

O perfil foi descrito e amostrado às margens da BR 282, sentido Lages-São José do Cerrito, próximo ao topo da elevação em área com 18% de declividade, onde a vegetação é o campo subtropical com pastagem natural de gramíneas e altitude de 980 m. É um solo desenvolvido de rocha básica, basalto da formação Serra Geral, com influência de colúvio superficial, provavelmente de natureza semelhante ao do basalto alterado “*in situ*”. Foi classificado como Cambissolo Húmico Distroférrico típico (EMBRAPA, 2013), A húmico, Tb, textura argilosa/muito argilosa.

A paisagem de ocorrência deste perfil pode ser observada na Figura 14a. O relevo no local é ondulado, porém regionalmente é forte ondulado. Aspectos da morfologia deste perfil, como cor, profundidade e espessura de horizontes são mostrados na Figura 14b.

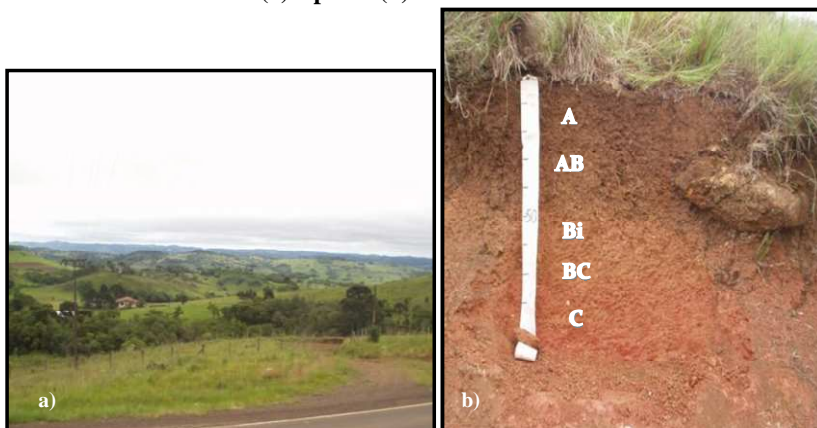
A coloração do solo é bruno amarelado escuro nos horizontes superficiais e bruno nos horizontes subsuperficiais, característica esta decorrente do clima frio e úmido que favorece a formação de goethita. No horizonte C as cores tornam-se vermelho-amareladas.

É um solo mais profundo que o anterior, com espessura de solum de até 125 cm, o que condiz com a sua posição na paisagem, topo de elevação, onde formam-se solos mais pobres, com taxa de intemperismo mais elevada com teores altos de argila, indicando que grande parte dos minerais essenciais do basalto já sofreram intemperização transformando-se em argilominerais e óxidos. As rochas básicas são mais ricas em minerais primários de fácil intemperização, tais como feldspatos, plagioclásios, piroxênios, mica do tipo biotita e eventualmente anfíbólio representado por hornblenda, os quais alteram-se para formar maior quantidade de argila. A relação silte/argila é inferior a unidade em todo o perfil (Apêndice G3).

Ocorre expressiva presença de cascalhos e calhaus no horizonte AB e alguns no Bi, o que poderia evidenciar uma menor atuação dos processos de formação neste solo, embora as características químicas revelem um material de origem bastante intemperizado. Desta forma, a

presença destes fragmentos no interior do perfil, deve estar associada a material coluvial transportado das partes mais altas da paisagem em função dos processos de erosão ocorridos durante as mudanças climáticas dos períodos glaciais e interglaciais. Durante o clima seco a vegetação se tornava escassa. A sucessão de tempo seco para úmido ocasionava um aumento na precipitação e no escoamento superficial, elevando a capacidade de formação de sedimentos até que a vegetação estivesse restabelecida suficientemente para retardar a erosão (BIGARELLA, 1965).

Figura 14 - Perfil P6A Cambissolo Húmico Distroférico típico desenvolvido de basalto da formação Serra Geral. Paisagem de ocorrência (a) e perfil (b).



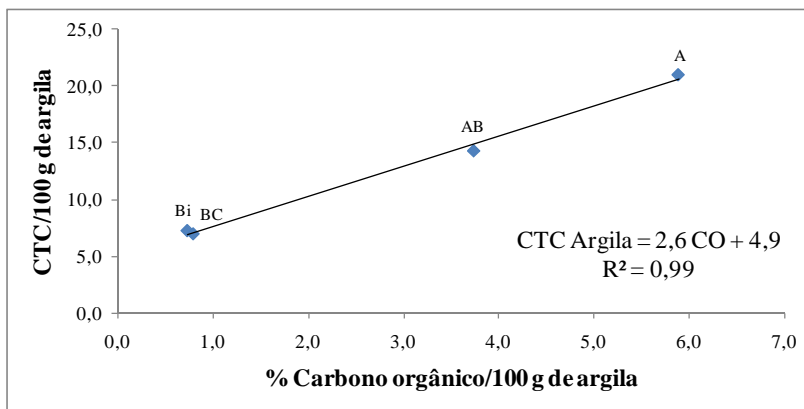
Fonte: Produção do próprio autor (2013).

É um solo ácido, com pH 4,6 nos horizontes superficiais, chegando a 5,7 no horizonte C. Assim como nos perfis anteriores, ocorre o predomínio de cargas negativas evidenciado pelo pH em sal (KCl) sempre inferior ao pH em água. A baixa saturação por bases, inferior a 50% em todos os horizontes, caracteriza solos distróficos, revelando ser um solo bastante pobre quimicamente e lixiviado. Os teores de Al^{+3} e H^+ são altos, e estão ocupando a maior parte das cargas negativas do solo, resultando em uma saturação por alumínio superior a 50% ao longo de todo o perfil (Apêndice G3).

Apresenta teores de carbono orgânico no horizonte A e AB de 31,8 e 23,2 g kg^{-1} respectivamente, diminuindo nos demais horizontes até alcançar teores de g kg^{-1} 2,4 no horizonte C.

A soma de bases é muito baixa, ficando em torno de 1,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no horizonte A e 0,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no Bi. A atividade da argila no Bi é de 7,2 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, muito baixa. Para este solo, segundo o método de Bennema (1966) a fração argila contribuiu em média com 4,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e a contribuição média para cada 1% de carbono orgânico foi de 2,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 15).

Figura 15 - Equação de regressão entre o teor de carbono orgânico e a CTC_{pH7} convertidos para 100 g de argila para o perfil P6A.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 aumentam do topo para a base do perfil, assim, quanto mais próximo da rocha maiores os conteúdos destes óxidos. Com base nos teores de Fe do ataque sulfúrico o solo pode ser classificado como mesoférrico nos horizontes A e AB e férrico nos horizontes subsuperficiais. Os valores de Ki encontram-se acima de 2,2 em todo o perfil. Os valores numéricos do índice Ki determinam o grau de evolução do solo ao demonstrar a proporcionalidade existente entre o silício e o alumínio, presentes no complexo coloidal em determinado momento, indicando a fase em que se encontra o processo evolutivo do solo (VIEIRA, 1988).

Estes solos mesmo originados de basalto apresentam baixa soma de bases, pois a precipitação relativamente bem distribuída ao longo do ano propicia uma lixiviação acentuada. Desta forma, apesar do material de origem ser rico em minerais primários facilmente intemperizáveis, não é necessariamente rico em nutrientes.

No que se refere aos solos desenvolvidos de rochas básicas e intermediárias da Formação Serra Geral no Planalto Sul Catarinense

onde o clima é subtropical, em geral, são fortemente dessaturados e ácidos, os quais segundo Melfi e Pedro (1977), resultariam de uma hidrólise ácida, fator intrínseco dos minerais de solo, porém no horizonte superficial também poderiam resultar de uma acidólise, que ocorreria em função do efeito dos ácidos liberados durante a decomposição da matéria orgânica, provocando um ataque ácido aos minerais da rocha.

6.2 EXTRAÇÃO DE ÓXIDOS DE FERRO COM DCB

O DCB (Ditionito-Citrato-Bicarbonato de Sódio) é usado para quantificar os óxidos de Fe pedogênicos, também extrai o Fe ligado à matéria orgânica e aos materiais de baixa cristalinidade (MEHRA & JACKSON, 1960).

Os teores de ferro extraído pelo ataque sulfúrico (Fe_t) e pela solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fe_d) são apresentados na tabela 1.

Os solos desenvolvidos de fonolito, fonolito porfirítico e nefelina sienito apresentaram teores de Fe_t variando entre 25 e 60 g kg⁻¹, sendo inferiores quando comparados com os teores nos solos formados a partir da olivina melilitito e de basalto, cujos teores variaram de 108 a 146 g kg⁻¹, com tendência de aumentar com a profundidade do solo. As rochas máficas, como o basalto e a olivina melilitito originam solos com elevado teor de ferro, decorrente da maior riqueza deste elemento nas referidas litologias (GERGELY, *et al.*, 2000). O conteúdo de Fe_t encontrado nos perfis desenvolvidos de basalto estudados estão de acordo com os teores normalmente encontrados em solos desenvolvidos deste material de origem no Sul do Brasil (TESKE, 2010).

Uma boa informação sobre o estágio de intemperismo dos solos pode ser obtida ao se comparar o teor total de Fe (Fe_t) de um solo com o teor de Fe na forma de óxidos (Fe_d), sendo, portanto os óxidos de Fe importantes como indicadores de pedogênese. Teores totais de Fe maiores do que teores de óxidos de Fe nos solos indicam solos mais jovens, ao passo que teores semelhantes dessas duas quantidades significa a presença de solos mais velhos (KÄMPF; CURI, 2000). Sendo assim, os resultados apontam para uma maior juventude no perfil P3A, onde se observa maiores teores de Fe_t em relação ao Fe_d . Nos demais perfis analisados, a diferença entre os teores destes componentes diminui, sempre com a quantidade de Fe_d menor.

A razão Fe_d/Fe_t que mostra o grau de transformação do ferro dos silicatos contendo Fe^{2+} em óxidos de Fe^{3+} permite realizar uma

estimativa da intemperização do material (KÄMPF *et al.*, 2012; KÄMPF; CURI, 2000). Desta forma esta razão deve tender a aumentar, pois se pressupõe um aumento no teor dos óxidos de ferro conforme o processo de intemperismo evolui. Nos horizontes dos solos, esta relação permaneceu acima de 0,6 em todos os perfis estudados, ocorrendo a menor relação no perfil P3A, o que pressupõe um menor intemperismo sofrido por este solo, fato confirmado pelas análises químicas e mineralógicas. Assim, parte do Fe neste solo ainda encontra-se nos silicatos. A maior relação foi observada nos solos de basalto, especialmente nos horizontes inferiores do perfil P5A, indicando que uma maior parte do Fe encontra-se na forma de óxidos de Fe pedogênicos (DICK, 1986, KÄMPF *et al.*, 1988).

Nos perfis P1A, P1B, P2A e P3A a quantidade de Fe_d é menor nos horizontes B e C do que nos horizontes A, isto poderia descartar a possibilidade de ter ocorrido rejuvenescimento superficial destes solos. Entretanto nos perfis P4A, P5A e P6A o teor deste elemento é menor no horizonte A, o que pode sugerir rejuvenescimento superficial dos solos, o que estaria de acordo com a observação de influência de colúvio superficial, na descrição destes solos. Uma maior concentração de formas de ferro de baixa cristalinidade pode ser explicada pelo maior teor de matéria orgânica (SCHWERTMANN, 1988). Os compostos orgânicos, devido a sua alta afinidade pelos átomos de ferro da superfície dos óxidos, formam complexos de superfície inibindo a cristalização dos óxidos.

Vidal-Torrado *et al.* (2007) observou relações Fe_d/Fe_t oscilando entre 0,21 a 0,60 em solos desenvolvidos sobre rochas serpentinizadas em Minas Gerais. O teor de Fe_d encontrado nos horizontes B e C foi maior do que nos horizontes A, o que foi atribuído pelo autor como rejuvenescimento superficial dos solos.

Tabela 01 - Teores de Ferro extraído pelo ataque sulfúrico (Fe_t), pela solução DCB (Fe_d) e relação Fe_d/Fe_t .

Solo		Fe_t	Fe_d	Fe_d/Fe_t
		-----g kg ⁻¹ -----		
Perfil P1A	A	31,3	22,1	0,70
	AC	35,8	25,4	0,70
	C1	45,3	31,0	0,68
	C2	28,8	20,2	0,70
Perfil P1B	A	31,0	22,6	0,72
	AB	31,3	23,1	0,73
	B	27,1	19,3	0,71
	BC	26,8	19,4	0,72
	C1	30,4	21,2	0,69
	C2	27,4	18,8	0,68
Perfil P2A	A	50,9	40,4	0,79
	AB	58,7	43,4	0,73
	BA	59,3	43,8	0,73
	B	58,6	43,9	0,74
	BC	54,7	38,5	0,70
	CR	53,0	38,9	0,73
Perfil P3A	A	111,6	70,2	0,62
	PB	116,3	74,3	0,63
	BA	125,1	77,5	0,61
	B	113,4	71,4	0,62
	BC	112,8	67,8	0,60
	C1	108,9	67,6	0,62
	C2	109,7	67,0	0,61
Perfil P4A	A	27,0	20,0	0,74
	AB	38,2	27,3	0,71
	2Bi	39,6	28,0	0,70
	2BC	40,1	28,5	0,71
	2C1	42,1	30,6	0,72
	2C2	89,1	60,9	0,68
Perfil P5A	A	130,7	104,0	0,79
	Bi	125,8	100,5	0,79
	BC/CR	146,8	117,9	0,80
	CR	143,8	117,1	0,81
Perfil P6A	A	123,1	97,0	0,78
	AB	119,8	89,8	0,74
	Bi	133,2	105,2	0,79
	BC	127,1	98,9	0,77
	C	128,6	100,5	0,78

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

6.3 MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA DESFERRIFICADA

6.3.1 Perfis P1A e P1B

Nestes solos, desenvolvidos de fonolito, a mineralogia da fração argila é bastante simples e similar ao longo dos horizontes, indicando a homogeneidade do material de origem, sendo composta por caulinita, gibbsita, interstratificados 2:1 do tipo mica-vermiculita no P1A e ilita-smectita no P1B.

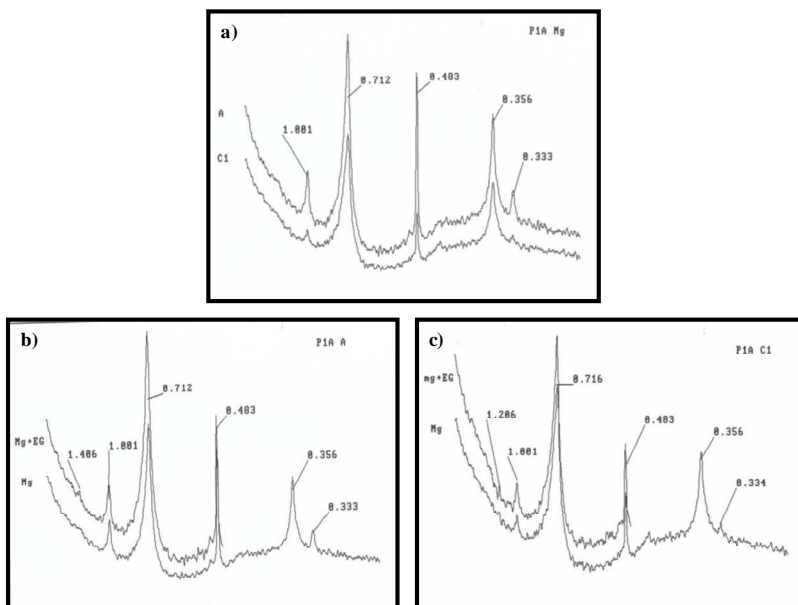
Ambos os perfis apresentam caulinita como mineral dominante, identificada pelos reflexos intensos a 0,712 e 0,356 nm (Figura 16), nos difratogramas com magnésio (Mg) e magnésio mais etileno-glicol (Mg+EG) dos horizontes A e C1 do perfil P1A e horizontes A, B, BC e C2 do perfil P1B (Figura 18). Estes reflexos tem bases largas, e com ligeira assimetria em direção aos espaçamentos 2θ menores, indicando tratar-se de caulinita de baixo ordenamento estrutural (CHITTLEBOROUGH; WALKER, 1988). A assimetria dos picos da caulinita também pode ser indicativa da presença de interstratificados irregulares (CORTI *et al.*, 1998; CORRÊA, 2003), não sendo possível caracterizar o tipo.

A caulinita pode ser formada através da alteração dos minerais primários mais facilmente intemperizáveis presentes no material de origem, onde através da hidrólise ácida estes minerais alteram-se para caulinita pelo processo de monossilitização. Desta forma o ambiente de lixiviação atual é suficientemente intenso para remover a maior parte das bases e de sílica do perfil, mantendo apenas a sílica suficiente para formar argilominerais do tipo 1:1 (MELFI; PEDRO, 1977).

Como segundo componente ocorre a gibbsita, indicada pelo reflexo em 0,483 nm na amostra saturada com Mg (Figura 16), e confirmada pelo desaparecimento deste reflexo quando as amostras foram submetidas à saturação com K seguida de aquecimento a 350° C. No perfil P1B, com maior grau de desenvolvimento, a gibbsita aumenta da base em direção ao topo, com quantidades expressivas no horizonte A. Este comportamento é coerente com o maior grau de intemperismo do material, já que os horizontes mais próximos da rocha estão em processo de alteração menos intenso do que os superficiais. A gibbsita é um óxido de alumínio encontrado na fração argila de diversos solos altamente intemperizados das regiões tropicais e subtropicais do Brasil, sendo sua ocorrência pouco expressiva em solos do Sul do Brasil. Considerando a grande heterogeneidade morfológica do perfil de alteração de solos derivados do fonolito, o fraturamento geralmente

verticalizado da rocha, é possível que, em planos ou sítios preferenciais da rocha, os fluxos lixiviantes sejam mais intensos, favorecendo processos localizados de alitização, com formação de gibbsita (MELFI; PEDRO, 1977), embora a caulinização seja dominante.

Figura 16 - Difratomogramas da fração argila do perfil P1A: a) saturação com Mg nos horizontes A e C1; b) Mg e Mg+EG horizonte A e c) Mg e Mg+EG horizonte C1; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

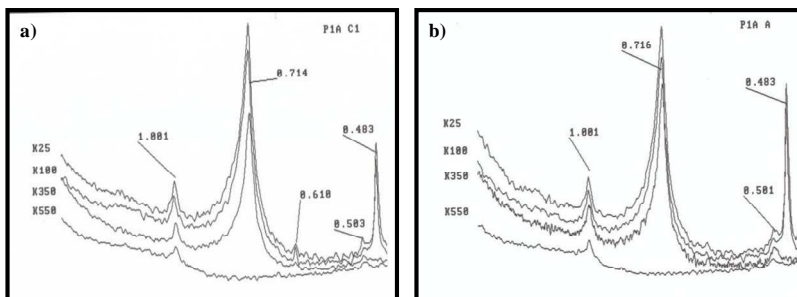
A ocorrência de gibbsita pode estar relacionada também a efeitos de condições ambientais pretéritas mais úmidas e quentes (QUINN, 1957; TARDY, 1997), já que o ambiente atual do solo não favorece sua formação.

Constata-se ainda a ocorrência de pequena quantidade de illita, identificada pelo reflexo agudo na região de 1,00 nm, assim como de pequenos picos difusos entre 1,0 e 1,4 nm, que aparentam sofrer ligeira expansão para espaçamentos maiores nos tratamentos com etileno glicol (Figura 16). Este comportamento parece indicar que parte das micas persistiu no solo como illita, e parte delas transformou-se em interstratificados mica-vermiculita. Nas amostras saturadas com K submetidas ao aquecimento, há tendência à melhor expressão do reflexo

em 1,00 nm nas amostras aquecidas a 350 e 550 °C, fruto da contração das camadas expansíveis dos interestratificados, acrescida ao pico das micas (Figura 17).

A mineralogia do perfil PIB é semelhante à do P1A, tendo caulinita como componente principal (Figura 18), com reflexos apresentando assimetria em direção aos ângulos mais baixos, indicando a ocorrência de interestratificação de camadas 2:1 na caulinita.

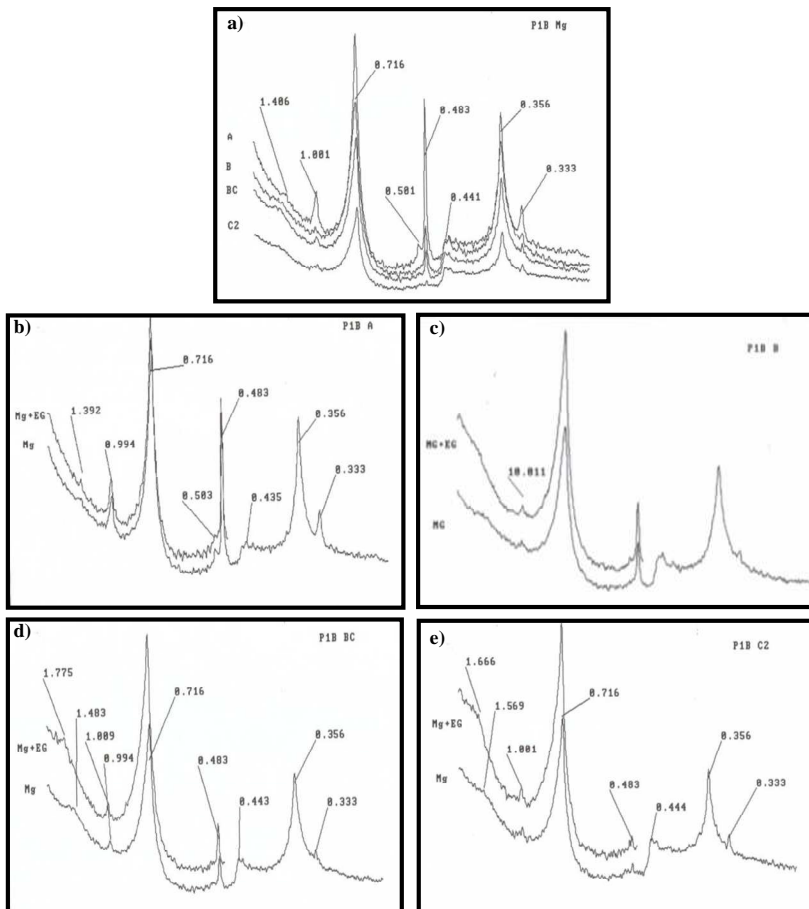
Figura 17 - Difratoograma da fração argila do perfil P1A saturada com K e aquecimento a 25°C, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte C1; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Observa-se também reflexos pouco intensos de argilominerais 2:1, mica ou illita (1,00 e 0,500 nm) e parcelas de micas em processo de transformação para argilominerais 2:1 expansíveis, evidenciada pelos reflexos assimétricos próximo a 1,4 nm. No tratamento com Mg+EG dos horizontes B, BC e C2 nota-se expansão destes reflexos para valores próximos a 1,6-1,7 nm, melhor evidenciados no BC e C2. Entretanto, os tratamentos térmicos não evidenciaram contração completa das camadas em 1,0 nm. Ao contrário, parece ter havido contração irregular das camadas, formando apenas uma “banda” em torno de 1,0 nm quando a amostra foi aquecida a 550 °C (Figura 19). O padrão dos difratogramas no tratamento Mg+EG parece indicar que parcela dos argilominerais expansíveis são esmectitas (Figura 18), mas os tratamentos térmicos também indicam possível presença de interestratificados, provavelmente não regulares, do tipo Illita-Esmectita (SAWNEY, 1989).

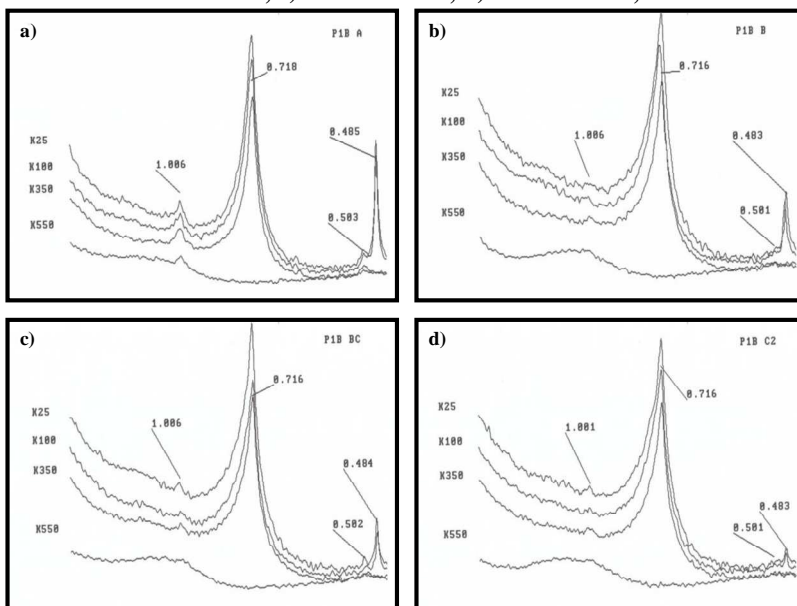
Figura18 - Difratoograma da fração argila do perfil P1B: a) saturação com Mg nos horizontes A, B, BC e C2; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

As quantidades de gibbsita (picos a 0,480 e 0,430 nm) aumentam significativamente da base para o topo do perfil (Figuras 18 e 19), o que é coerente com o aumento do grau de intemperismo e lixiviação.

Figura 19 - Difratograma da fração argila do perfil P1B saturada com K e aquecimento a 25°C, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte B; c) horizonte BC; d) horizonte C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Os resultados da mineralogia denotam um grau médio de intemperização dos solos derivados do fonolito, constituído predominantemente por caulinita e gibbsita, mas também por certa quantidade de argilominerais 2:1, puros ou interestratificados, assim como de caulinitas com interestratificação de camadas 2:1. Na formação destes solos ocorreu a atuação do intemperismo químico, especialmente a hidrólise, porém não tão intensa, com fluxo lixiviante de menor intensidade, permitindo a permanência de sílica e bases do sistema, suficiente para formar argilominerais 1:1, caracterizando a monossilitização (MELFI; PEDRO, 1977), mas também certa quantidade de argilominerais 2:1.

A análise semiquantitativa revelou baixa quantidade de argilominerais 2:1 no P1A, indicando cerca de 4% no horizonte A e em torno de 1% no C1, sendo que a atividade da argila para este horizonte foi de $14,8 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, mostrando uma pequena influência dos interestratificados de camada 2:1 nas cargas negativas deste solo. No perfil P1B a análise revelou uma quantidade um pouco superior em

relação ao P1A, sendo cerca de 8% de argilominerais 2:1 no horizonte A e 14% no BC, cuja atividade da argila foi de $24,8 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, ressaltando a participação destes argilominerais e dos interestratificados nas cargas negativas do solo.

6.3.2 Perfil P2A

Na Figura 20 são apresentados os difratogramas da fração argila dos diferentes horizontes desse perfil, desenvolvido de nefelina sienito, submetidos à saturação com Mg e Mg + EG. Observa-se a mineralogia bastante similar entre os horizontes, não ocorrendo expressivas variações da base para o topo, apresentando caulinita, interestratificado caulinita-ilita, esmectita com Al nas entrecamadas, além de gibbsita e boehmita.

A caulinita aparece como componente dominante, identificada pelos reflexos intensos em 0,716 e 0,356 nm. Estes reflexos se apresentam com bases largas e são assimétricos, com dimensão pequena, indicando caulinitas com pequena dimensão dos cristais, ou desordenadas, ou mesmo a presença de interestratificação de camadas 2:1 nos seus cristais. A expressão mais clara de que a caulinita apresenta interestratificação de camadas 2:1 decorre da forte assimetria do pico 001 no horizonte CR (Figura 20).

O ambiente úmido e de fluxo livre que ocorre na região de estudo favorece a rápida decomposição dos minerais presentes na rocha e a intensa lixiviação das bases e do silício liberado nessas reações, criando condições propícias aos processos de monossilicização com formação de caulinita (MELFI; PEDRO, 1977). Entretanto, esse processo parece ter sido incompleto, uma vez que parcela expressiva das caulinitas ainda apresenta camadas 2:1 interestratificadas.

Como segundo componente neste perfil observa-se nas amostras saturadas com Mg a presença de mica (ilita) identificada pelos reflexos em torno 1,001 e 0,501 nm, os quais permanecem inalterados quando a amostra saturada com K é submetida ao aquecimento com temperatura de 550°C . A presença deste pico em torno de 1,00 nm associado com uma banda que se estende na direção de espaçamentos menores sugere a presença de minerais interestratificados do tipo ilita-caulinita. Comparando-se os diferentes horizontes nota-se redução das ilitas da base para o topo do perfil, indicando sua provável destruição pelo processo de intemperismo.

A presença de caulinita derivada de mica tem sido observada em estudos de solos desenvolvidos a partir de rochas alcalinas, sendo

esta sequência de alteração mica-caulinita relatada por MONIZ E CARVALHO (1973).

Argilominerais 2:1 expansíveis também são identificados em pequena proporção pelos reflexos em torno de 1,400 nm, com forte assimetria. No horizonte CR observa-se a formação de um pico largo, quase um patamar entre 1,400 e 1,500 nm. Este comportamento assimétrico do reflexo pode indicar que a mica está em processo de transformação para um argilomineral 2:1 expansível, provavelmente esmectita, considerando-se que na maior parte dos horizontes percebe-se expansão das camadas pelo etileno glicol (Figuras 20). Nos horizontes mais superficiais, as maiores taxas de fluxo lixiviante devem ter favorecido a remoção de K de algumas entrecamadas dos cristais de mica, formando interestratificados do tipo mica-esmectita.

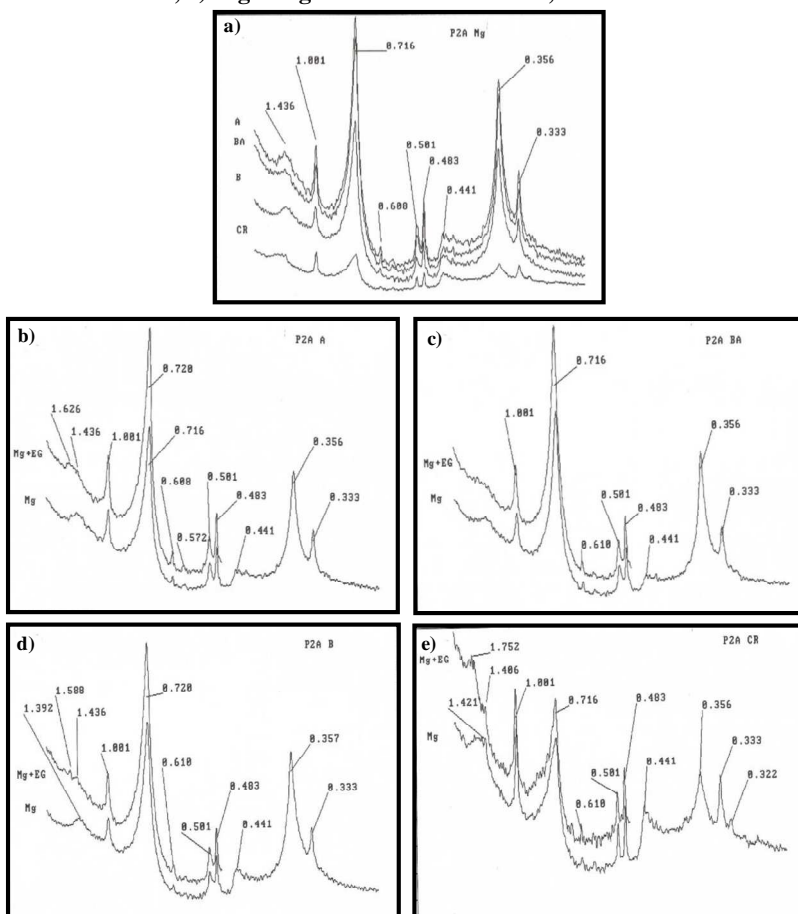
Reflexos em torno de 0,483 nm também são observados, indicando quantidades expressivas de gibbsita, notadamente nos horizontes mais superficiais, mostrando que este óxido de alumínio tem seus teores aumentados da base para o topo.

Observa-se ainda um reflexo pouco intenso na região de 0,610 nm, presente em todos os horizontes, o qual é atribuído à presença de boehmita neste solo. Este óxido de alumínio ocorre em solos intemperizados e normalmente está associado com a gibbsita (WEFERS & MISRA, 1987; SANTOS *et al.*, 2009a; SANTOS *et al.*, 2009b; BARSHAD, 1964). Os reflexos da gibbsita e da boehmita não se alteram nos tratamentos com etilenoglicol, porém quando a amostra é saturada com K e passa por aquecimento a temperatura de 550° C, estes são destruídos, confirmando sua identificação (PEDRON, 2007).

Nos difratogramas referentes às amostras tratadas com Mg+EG (Figura 20) nota-se que ocorre a expansão do reflexo a partir de 1,400 nm, sendo que no horizonte A o pico expandiu para 1,620 nm. Entretanto no horizonte CR, apenas uma parte do pico em 1,421 nm expande para valores em torno de 1,750 nm, indicando a presença de esmectita, porém uma parte não sofre alteração, permanecendo na região de 1,400 nm, o que poderia indicar a presença de clorita, fato descartado em função do desaparecimento deste reflexo quando a amostra sofreu aquecimento. Assim este comportamento sugere a provável ocorrência de esmectita com hidróxi-alumínio nas entrecamadas (EHE). A intercalação com HE aumenta a estabilidade termodinâmica dos argilominerais de camada 2:1 (KARATHANASIS *et al.*, 1983) fazendo com que possam persistir no ambiente, mesmo em solos já bastante

intemperizados, por se tornar menos susceptível ao processo de intemperismo (KARATHANASIS, 1988; KÄMPF *et al.*, 2009).

Figura 20 - Difratoograma da fração argila do perfil P2A. a) Mg nos horizontes A, BA, B e CR; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BA; e) Mg e Mg+EG no horizonte CR; valores em nm.



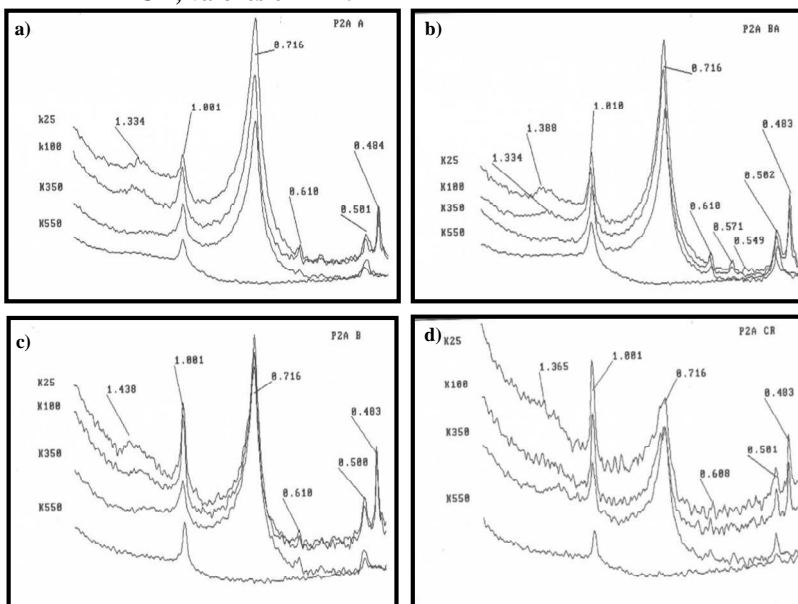
Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Nos tratamentos de saturação com K seguido de aquecimento a 550°C nota-se o desaparecimento total dos reflexos em 0,716 e 0,356 nm, confirmando tratar-se da caulinita, assim como o desaparecimento

dos reflexos em 0,480 e 0,430 nm nos tratamentos a 350 °C, confirmando a gibbsita (Figura 21)

O reflexo na região de 1,400 nm sofreu contração incompleta, porém não ocorreu modificação do reflexo em 1,000 nm, formando apenas um background quando a amostra passou por saturação com K seguida de aquecimento nas maiores temperaturas. Desta forma, a falta de contração das camadas do mineral 2:1 com aquecimento ou expansão efetiva quando solvatadas com EG, torna-se indicativo da existência de material nas entrecamadas, constituída de polímeros de hidróxi-alumínio, que impedem ou dificultam a contração ou expansão (AZEVEDO; VIDAL-TORRADO, 2009).

Figura 21 - Difratogramas da fração argila do perfil P2A submetida a saturação com K e aquecimento a 25°, 100°C, 350°C e 550°C. a) horizonte A; b) horizonte BA; c) horizonte B; d) horizonte CR; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

O processo de alteração das rochas pelo intemperismo envolve dissolução dos minerais primários através de diversos processos, como por exemplo a hidrólise de silicatos e reações de oxi-redução, com posterior neoformação de minerais secundários. A intensidade com que

estes processos atuarão depende de fatores como as condições de drenagem, clima e taxa de fluxo lixiviante (KÄMPF & CURI, 2000).

É possível que na região tenham ocorrido condições paleoclimáticas mais quentes e úmidas em relação às atuais (TARDY, 1997; BEHLING *et al.*, 2002), o que teria favorecido grande intemperização do solo, resultando na mineralogia apresentada.

A avaliação semiquantitativa dos argilominerais 2:1 estimada pela relação de áreas revelou cerca de 7% destes argilominerais no horizonte A e 6% no BA, sendo que a atividade da argila foi de 17.2 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ no horizonte BA, confirmando a pequena participação deste componente nas cargas negativas deste solo e ressaltando a influência da caulinita e dos polímeros nas entrecamadas que tendem a reduzir a CTC.

6.3.3 Perfil P3A

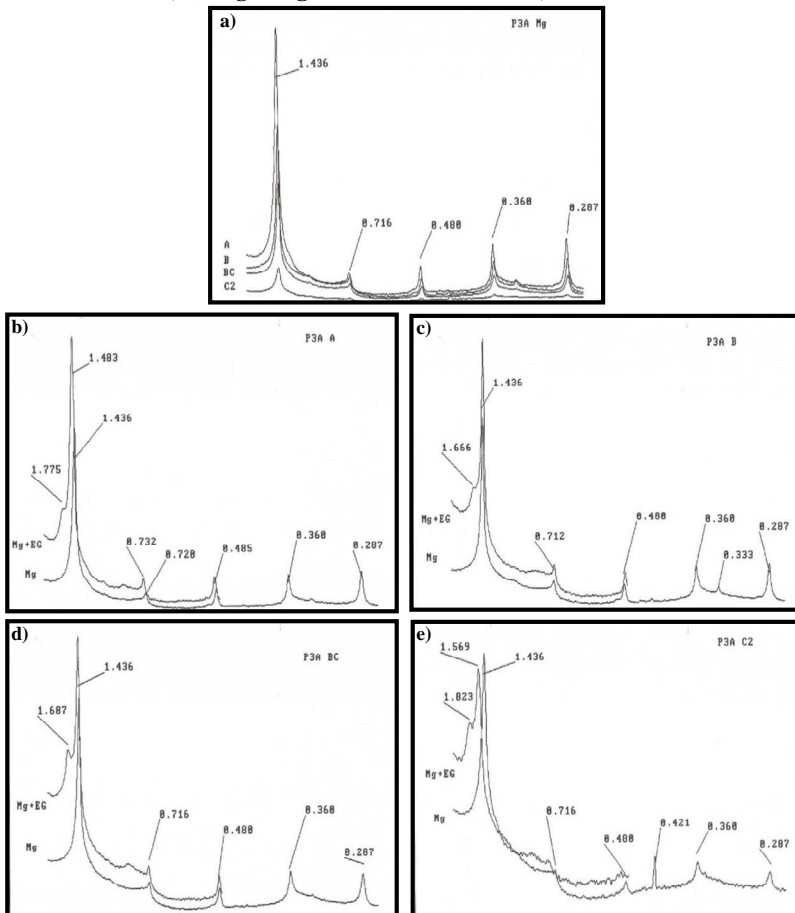
Neste perfil desenvolvido a partir de olivina melilitito, constata-se um padrão mineralógico bastante distinto dos demais solos estudados. No entanto, a mineralogia apresenta-se muito uniforme ao longo do perfil, com presença de vermiculita e esmectita, além de clorita.

Os difratogramas das amostras saturadas com Mg referentes aos horizontes A, B, BC e C2 indicam o predomínio de argilominerais 2:1 expansíveis do tipo vermiculita, identificada pelo reflexo principal em 1,436 nm, e secundários em 0,716, 0,480 e 0,368 nm (Figura 22).

No horizonte A, nota-se que a maior parte do reflexo da amostra glicolada sofreu expansão de 1,436 nm para 1,480 nm, sendo que uma parte muito pequena deste reflexo deslocou-se para valores em torno de 1,700 nm, indicando que além de vermiculita existe uma certa quantidade de esmectitas. Vermiculitas de baixa carga na camada, segundo Douglas (1989), quando saturadas com Mg e glicoladas, podem sofrer ligeira expansão para valores em torno de 1,500-1,550 nm. Para o horizonte B e BC nota-se comportamento semelhante, ou seja, a glicolação provoca ligeira expansão da maior parte das camadas 2:1 da vermiculita, mas uma pequena parte do reflexo dos minerais 2:1 expansíveis que encontrava-se em 1,420 nm expande para valores em torno de 1,670 nm quando a amostra é glicolada, novamente indicando que uma parte deste material é esmectita, porém em quantidade relativamente pequena em relação à vermiculita.

As esmectitas nos solos podem ser herdadas do material de origem, ser produto da transformação das micas, vermiculitas ou ainda serem formadas diretamente da solução pelo processo de neogênese (BORCHARDT, 1989; AZEVEDO; VIDAL-TORRADO, 2009).

Figura 22 - Difratoograma da fração argila do perfil P3A: a) Mg nos horizontes A, B, BC e C2; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte B; d) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Provavelmente trata-se de esmectita neoformada, o que se dá em função deste solo ser desenvolvido a partir de uma rocha ultrabásica, que apresenta grande quantidade de olivinas, piroxênios, além de outros minerais que são passíveis de serem destruídos através do intemperismo, liberando elementos como Ca e Na, principais cátions constituintes das entrecamadas da esmectita, o que favorece a sua formação (AZEVEDO;

VIDAL-TORRADO, 2009). Desta forma, ocorreu uma hidrólise moderada, ocasionando a destruição de parte destes minerais primários, liberando Si, Al e cátions básicos, promovendo a neoformação de esmectita.

Menegotto (1983) estudando rochas ultrabásicas no RS, também observou que a lixiviação de Si foi moderada naquele ambiente avaliado, favorecendo a formação e preservação de esmectitas no solo.

Os minerais formados por neogênese geralmente tendem a estar próximos aos horizontes superficiais do perfil. No entanto, devido às condições de intemperismo serem mais acentuadas quando se aproxima da superfície do solo, os maiores teores de esmectitas são encontrados nos horizontes mais profundos.

Já a vermiculita teria origem a partir de um processo de transformação da flogopita, por perda gradual de K e substituição por Mg na entrecamada. A flogopita é um mineral que ocorre em abundância nas olivina melilitos (SCHEIBE, 1986), sendo esta rocha por vezes também identificada como flogopitito. O Mg necessário para substituir o K na estrutura das flogopitas dando origem à vermiculita, seria proveniente dos minerais do grupo das olivinas, melilitas e piroxênios, presentes em grandes quantidades na rocha.

Nos solos brasileiros é rara a menção de argilominerais com o comportamento padrão de vermiculita, geralmente são mencionados vermiculita com hidróxi-Al entrecamadas (VHE). Isto é explicável pelo fato de que em solos ácidos, em condições de intenso intemperismo, a transformação da mica ocorre diretamente para VHE, sem um estágio intermediário de vermiculita propriamente dita (KÄMPF *et al.*, 2012).

Nos difratogramas apresentados a seguir (Figura 23) referentes às amostras saturadas com K e tratamentos térmicos percebe-se que na temperatura de 25 °C já ocorre uma contração das camadas do argilomineral 2:1 em todos os horizontes. No horizonte A quando a amostra passa por aquecimento a 100°C observa-se uma contração praticamente total do reflexo em 1,400 nm para valores em torno de 1,020 nm, confirmando a ocorrência de vermiculita. No horizonte B observa-se uma grande contração das camadas já na temperatura ambiente de 25 °C, sendo que no aquecimento a temperaturas mais elevadas a contração é completa. Assim, o reflexo dos argilominerais 2:1 que estava em 1,436 nm contraiu para 1,008 nm. Este comportamento evidencia a existência de vermiculita e/ou esmectita sem intercalação com polímeros de hidróxi-alumínio nas entrecamadas. Já no horizonte C2, quando a amostra é aquecida a 550 °C o reflexo sofre contração para 1,010 nm aproximadamente, porém uma parte se mantém

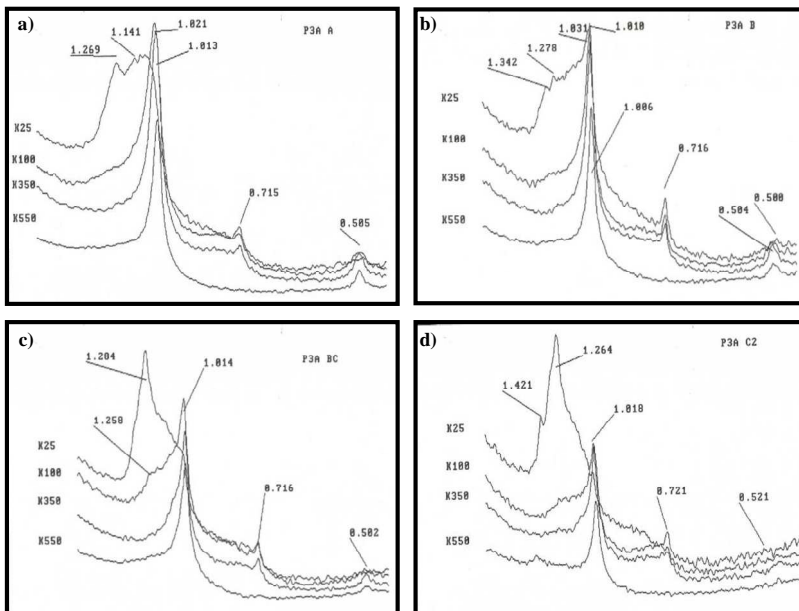
em torno de 1,460 nm, indicando a presença de clorita. Portanto neste horizonte além da presença de vermiculita e esmectita, observa-se um pouco de clorita, sendo a sua presença neste horizonte condizente com a menor CTC encontrada no mesmo. Melfi (1974) estudando perfis de alteração de rochas ultrabásicas de Barro Alto (GO) observou a ocorrência de clorita, sendo que nos horizontes logo acima do saprolito, esta passa a se alterar lentamente, dando origem a interestratificados do tipo clorita-esmectita. Pinto e Kämpf (1996) relatam a ocorrência de clorita e interestratificados clorita-esmectitas em solos desenvolvidos de rochas ultrabásicas presentes no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. A presença de clorita é devido à herança do material de origem, pois foi identificada como constituinte desta rocha.

Considerando a grande quantidade de argilominerais 2:1 presente, o que é comum em solos mais jovens desenvolvidos de rochas máficas, constata-se portanto, um baixo grau de intemperismo deste solo, o que também foi confirmado pelas análises químicas. Provavelmente trata-se de um solo muito jovem, cuja evolução deve ter ocorrido durante o Holoceno, após a exumação da rocha ocasionada por ação de processos erosivos. Esta hipótese é sustentada pelos seguintes argumentos: primeiro, pela exposição da olivina melilitito em paisagem fortemente ondulada, intrudida em folhelhos carbonosos da formação Irati, com ausência das formações gonduânicas mais recentes sotopostas; segundo pelo cada vez maior número de pesquisas (BEHLING, 1995; SALGADO-LEABORIAU, 2007; BIGARELLA *et al.*, 1965) que evidenciam a ocorrência de climas bem mais secos do que o atual durante o Holoceno, que podem ter favorecido a ocorrência de processos erosivos intensos durante a transição para o clima mais úmido que prevalece a partir dos últimos dois milênios.

A ausência de quartzo neste solo confirma seu desenvolvimento a partir de rocha ultrabásica, já que sua ausência é característica nestes materiais, em função da baixa quantidade do Si no magma para a formação deste mineral.

A estimativa semiquantitativa revelou alta quantidade de argilominerais 2:1, com cerca de 68% no horizonte A e 86% no B, sendo que a atividade da argila apresentou um valor de 32,7 cmol.kg⁻¹ no horizonte B, considerada muito alta, torna-se condizente com a grande ocorrência de argilominerais 2:1 na fração argila deste solo.

Figura 23 - Difratomogramas da fração argila do perfil P3A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte B; c) horizonte BC; d) horizonte C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

As rochas ultrabásicas apresentam um comportamento geoquímico específico e diferente das rochas de ocorrência mais comum, como o basalto. Apesar destas diferenças, estudos de perfis bem evoluídos desenvolvidos destes materiais em regiões de climas tropicais úmidos tem demonstrado que o produto final do intemperismo pode ser exatamente o mesmo, constituído por uma mineralogia essencialmente caulinitica, com presença de goethita e até mesmo gibbsita (WILSON, 1969), características estas comuns nos solos desenvolvidos de basalto na região de estudo. Entretanto, o solo desenvolvido de olivina melilitito apresenta-se com características diferentes daquelas descritas acima, sendo sua mineralogia composta predominantemente por grande quantidade de minerais 2:1.

6.3.4 Perfil P4A

Nos horizontes deste perfil, de fonolito porfirítico, observa-se uma mineralogia similar entre os horizontes, sendo composta por caulinita, gibbsita, ilita, vermiculita com intercalação de polímeros de Al nas entracamadas, boehmita e talco.

Caulinita aparece como argilomineral dominante, identificada pelos reflexos a 0,719 e 0,356 nm nas amostras saturadas com Mg. Os reflexos deste argilomineral se tornam mais intensos nos horizontes superficiais, principalmente no horizonte A, tornando-se pouco intensos, com base larga, nos horizontes mais profundos, indicando que o material mais recente apresenta cristalinidade mais baixa (Figura 24). Apresenta forte assimetria no pico principal a 0,719 nm, evidenciando interstratificação de camadas 2:1, principalmente no horizonte 2C2. A presença de caulinita neste solo é confirmada pelo desaparecimento do reflexo na amostra saturada com K e aquecida a 550°C (Figura 25).

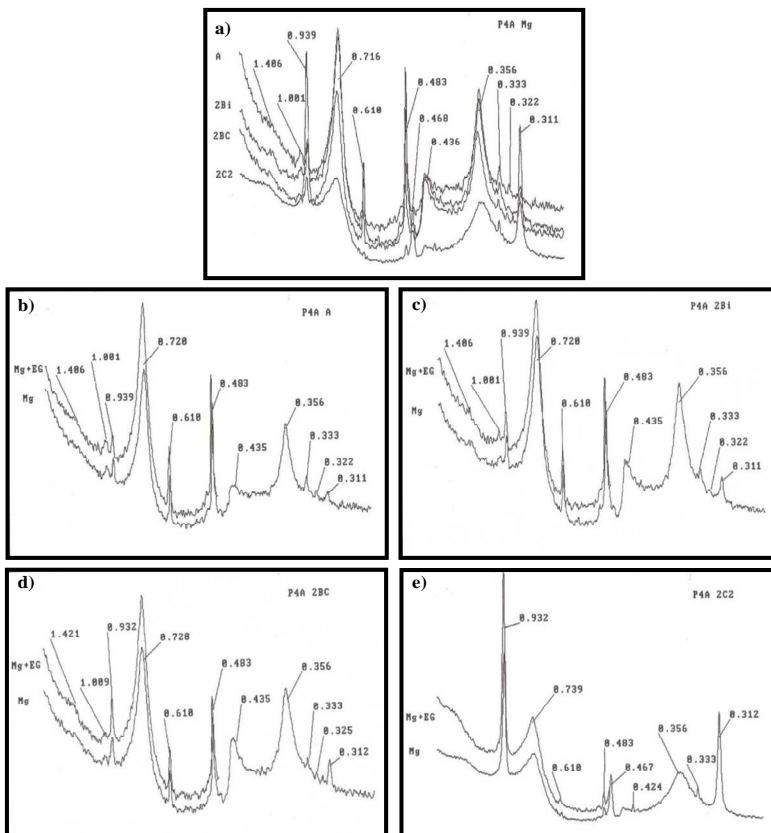
Constata-se também a ocorrência de gibbsita, identificada pelos picos estreitos e simétricos a 0,480 e 0,430 nm, em quantidade expressiva nos horizontes A, 2Bi e 2BC, porém baixa no horizonte 2C2. A presença de gibbsita neste solo é plausível, considerando que nas proximidades do perfil, ocorrem expressivas reservas de bauxita, as quais, segundo Dani (1988) teriam sido formadas numa condição climática bem mais quente e úmida, e portanto, diferente da atual. Realmente, a gibbsita não é um componente expressivo na grande maioria dos Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Cambissolos que predominam na região, o que é mais um indicativo de que, no clima atual mais frio e úmido, sua formação não é favorecida (ALMEIDA, 2000; KÄMPF, 1995).

A presença da gibbsita é confirmada quando a amostra é saturada com K e submetida ao aquecimento (Figura 25), já que os reflexos deste óxido desaparecem em temperaturas superiores a 300°C, devido à desidroxilação da gibbsita.

Percebe-se também a presença de argilominerais de camada 2:1, identificados pelo reflexo em torno de 1,001 nm, que pode ser da ilita, além de argilominerais 2:1 expansíveis, com reflexo em torno de 1,370 nm, com expressão mais nítida no horizonte 2Bi, sendo que no horizonte 2C2 nota-se apenas uma banda nesta região. Quando a amostra é saturada com Mg+EG observa-se uma expansão pouco expressiva na região de 1,400 nm, onde algumas camadas sofrem expansão e outras não, evidenciando provavelmente a intercalação com polímeros de

hidróxi-Al, ou ainda a interestratificação, possivelmente do tipo talco-vermiculita, principalmente no horizonte 2C2.

Figura 24 - Difratograma da fração argila do perfil P4A: a) Mg nos horizontes A e BC; b) Mg nos horizontes 2Bi e 2C2; c) Mg e Mg+EG no horizonte A; d) Mg e Mg+EG no horizonte 2Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte BC; e) Mg e Mg+EG no horizonte 2C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Observa-se ainda um reflexo intenso na região de 0,610 nm, presente em todos os horizontes, o qual é atribuído a boehmita (WEFERS; MISRA, 1987; SANTOS *et al.*, 2009a; SANTOS *et al.*, 2009b; BARSHAD, 1964). O reflexo não se altera quando a amostra saturada com Mg é submetida a saturação com EG, porém quando a

amostra é saturada com K e passa por aquecimento a temperatura de 550° C este desaparece. Oliveira (1985) e Aquino *et al.* (2006) estudando a bauxita de Lages desenvolvida do fonolito porfírico relataram a presença de boehmita associada a gibbsita neste material.

Ao longo de todo o perfil também está presente o talco, positivamente identificado pelos reflexos em 0,932, 0,468 e 0,312 nm (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2006; SOUZA, 2011). Percebe-se que sua ocorrência aumenta do topo para a base do perfil, sendo que no horizonte 2C2 aparece como dominante, apresentando perfeita individualização deste componente, com reflexos bastante intensos e simétricos, sendo que o pico em 0,468 nm só ocorre neste horizonte (Figura 24). Desta forma constata-se que o talco está sofrendo transformações da base em direção ao topo. A ocorrência de talco em solos tropicais é pouco comum, pois trata-se de um mineral de fácil decomposição, geralmente não persistindo nas frações do solo, principalmente na argila. No entanto, este mineral pode ter sua resistência ao intemperismo aumentada em condições de ambiente com níveis elevados de MgO (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2006).

Souza (2011) estudando perfil de alteração de rochas ultramáficas (serpentinito) do Complexo Cambaizinho, Bloco São Gabriel/RS identificou a presença de talco desde a rocha até o saprólito.

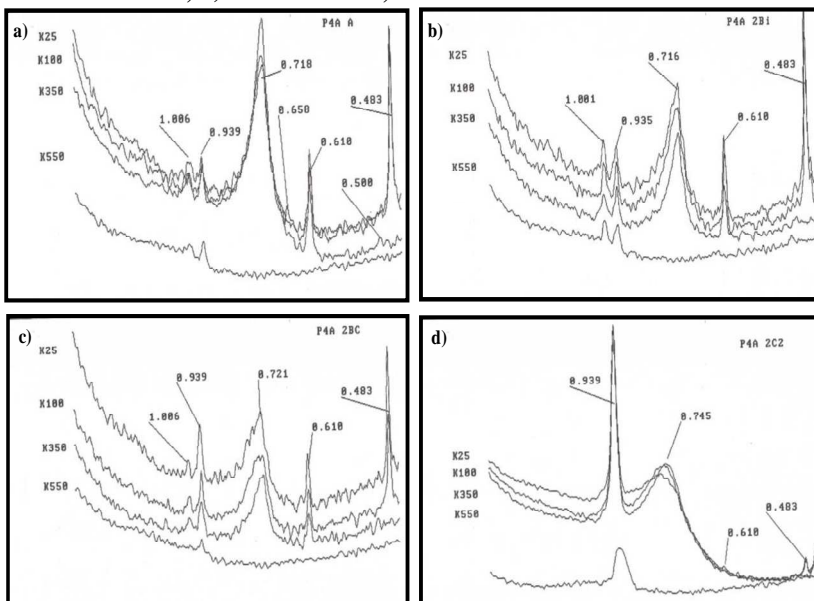
Vidal-Torrado *et al.* (2006) estudando solos derivados de rochas ultramáficas no sudoeste de Minas Gerais também relata a presença do mineral talco na fração argila, sendo este herdado do material de origem. Entretanto os autores relatam que o talco também pode ser neoformado em fases iniciais de alteração dos minerais. Nesse trabalho os autores puderam notar a tendência de degradação do talco e de outros minerais primários em direção ao campo da estabilidade da caulinita.

A ocorrência de talco também foi observada por Pinto; Kämpf (1996), notadamente na fração argila grossa de Chernossolos e Neossolos Litólicos, originados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. Melfi (1974) relata a presença de talco em perfis de alteração de rochas ultrabásicas de Barro Alto (GO), sendo encontrado em pequenas quantidades na rocha serpentinizada original, porém no decorrer do intemperismo, passa a ter presença mais frequente nos horizontes do solo.

Nos tratamentos de saturação com K seguido de aquecimento nota-se que mesmo na temperatura de 550°C o reflexo do talco em 0,932 nm não é destruído (Figura 25), comportamento também relatado por Souza (2011) e Vidal-Torrado *et al.* (2006).

Segundo Scheibe (1986) não há relatos da presença de talco na rocha fonolito porfíritico. Desta forma, confirma-se que a ocorrência deste mineral no solo não se deu por herança do material de origem, mas provavelmente tenha ocorrido por neoformação, através da dissolução de minerais primários, principalmente salita, que é um clinopiroxênio calci-ferro-magnésiano identificado na rocha (AUMOND; SCHEIBE, 1996). A formação de talco a partir de piroxênios foi relatada por Colin *et al.* (1981) e Nahon e Colin (1982).

Figura 25 - Difratogramas da fração argila do perfil P4A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte 2Bi; c) horizonte 2BC; d) horizonte 2C2; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A ausência de quartzo na fração argila desse solo era esperada, uma vez que nas rochas alcalinas, compostas principalmente por feldspatos e feldspatóides, o quartzo é um componente pouco expressivo.

Para este perfil a estimativa semiquantitativa dos argilominerais revelou menos de 2% de argilominerais 2:1 no horizonte A e cerca de 2% no horizonte 2Bi e 2BC, sendo que a atividade da argila apresentou

valores de 15.6 e 15.2 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ nos horizontes 2Bi e 2BC respectivamente. Estes dados evidenciam a participação dos interestratificados nas cargas negativas do solo.

Apesar do predomínio de caulinita neste perfil e a pequena ocorrência de argilominerais 2:1, a presença de interestratificados de camadas 2:1 tanto na caulinita como no talco ajudam a incrementar a CTC do solo.

6.3.5 Perfis P5A e P6A

Estes perfis, desenvolvidos de basalto apresentam a mineralogia da fração argila bastante similar entre os horizontes, sendo composta por caulinita, interestratificado caulinita-esmectita, esmectita com polímeros de Al nas entrecamadas e gibbsita. Além destes componentes, o perfil P5A apresenta illita, e o perfil P6A um pouco de quartzo.

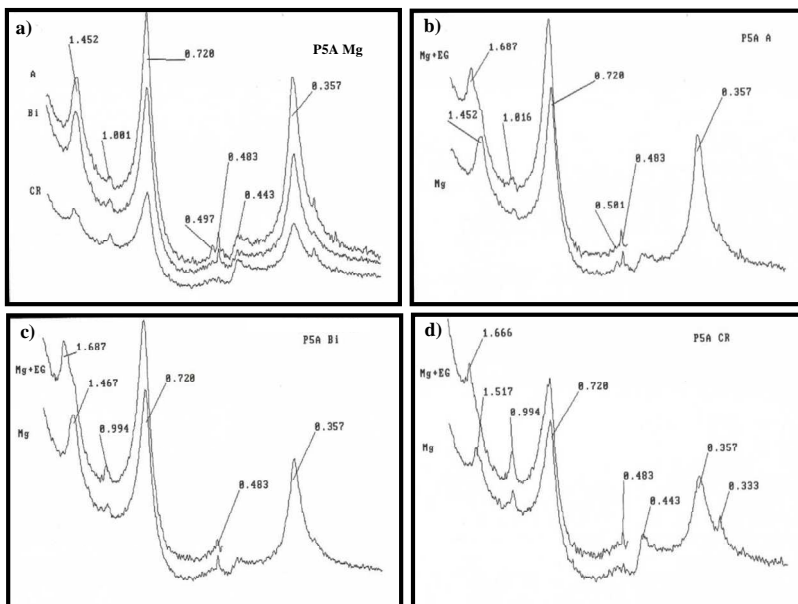
Nos difratogramas das amostras saturadas com Mg e Mg+EG (Figura 26) nota-se o predomínio de caulinita mal cristalizada, identificada pelos reflexos largos, assimétricos e bastante intensos em 0,720 e 0,357 nm. Nota-se ainda um pico em 0,443 nm, atribuído à caulinita quando ocorrem muitos agregados de argila. A assimetria pode ser um indicativo de pequena interestratificação de camadas 2:1 nos cristais de caulinita, possivelmente esmectita. Entretanto, no perfil P6A é possível observar a caulinita melhor cristalizada em relação ao P5A, com menor assimetria, provavelmente com menor número de camadas 2:1 nos cristais de caulinita (Figura 27). A assimetria apresentada indicando caulinita desordenada e baixa cristalinidade, é um aspecto importante que ocorre em solos brasileiros derivados de rochas basálticas (RESENDE *et al.*, 2005), que acabam influenciando características como a área superficial específica (ASE) e os fenômenos de adsorção (BRANTLEY; MELLOTT, 2000; SCHWERTMANN; HERBILLON, 1992).

O predomínio de caulinita nestes solos é atribuído ao clima úmido da região, que favorece a ocorrência do processo de monossilização (MELFI; PEDRO, 1977).

Como segundo componente identifica-se um reflexo em 1,452 nm no P5A e 1,421 nm no P6A, atribuído à presença do argilomineral esmectita com polímeros de Al nas entrecamadas, conforme será discutido em detalhes adiante. Este componente encontra-se em quantidade expressiva em todos os horizontes. No horizonte CR do perfil P5A observa-se um comportamento diferenciado, tendo o pico da esmectita ocorrido já em 1,517 nm (Figura 26d) na amostra tratada

somente com Mg, mostrando portanto uma expansão das camadas só com a saturação com Mg, o que é comum em esmectitas.

Figura 26 - Difratoograma da fração argila do perfil P5A: a) Mg nos horizontes A, Bi e CR; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte CR; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

No perfil P5A nota-se ainda um reflexo em 1,001nm pouco intenso atribuído a illita, possivelmente herdada de micas presentes no basalto, apresentando segundo reflexo pouco intenso em 0,497 nm, sendo que no horizonte A este se expressa melhor. Já no perfil P6A não há expressão deste pico em 1,001 nm. A presença de mica em solos desenvolvidos de basalto não é muito comum, porém tem sido observada por alguns autores em estudos com solos derivados deste material de origem. Melo *et al.* (2004) relataram a ocorrência de mica em um Latossolo e em um Nitossolo desenvolvidos de basalto no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul.

Identifica-se também, em proporções menores, a gibbsita, pelo reflexo principal em 0,483 nm em ambos os perfis, sendo este mais intenso nos horizontes superiores. Assim, constata-se que o Al está

presente em quantidade suficiente no sistema para formação de polímeros de hidróxi-Al amorfos, que podem estar ocupando o espaço entrecamadas de esmectitas, e ainda formar gibbsita.

O reflexo em 0,333 nm que aparece em todos os horizontes do perfil P6A (Figura 27) poderia ser o pico de 3º ordem da illita, porém como não aparece o primeiro é provável que seja quartzo, pois trata-se de um pico bastante estreito, principalmente no horizonte A, indicando então uma certa quantidade de quartzo na amostra.

Analisando-se os difratogramas das amostras saturadas com Mg+EG, no horizonte A do P5A (Figura 26b) observa-se que o pico em 1,452 nm expande para 1,687nm e se expressa bem, indicando tratar-se de esmectita. O horizonte Bi (Figura 26c) apresenta comportamento semelhante ao A. No horizonte CR o pico em 1,517 nm expande para 1,666 nm e mantém o pico em 0,994 nm ainda intenso.

A saturação com Mg+EG na amostra do horizonte A do P6A ocasionou um ligeiro rebaixamento do pico de 1,421 e ligeira expansão de uma parte das camadas, formando um patamar assimétrico em direção aos ângulos mais baixos, indicando que pode haver um pouco de esmectita neste solo com Al nas entrecamadas (Figura 27b).

No tratamento com Mg+EG do horizonte Bi do P6A nota-se a formação de dois picos, sendo que um permanece em 1,421 nm e outro expande para 1,666 nm (Figura 27c), mostrando que uma parte do material é esmectita que em princípio teria menor quantidade de Al, pois permitiu a maior entrada do EG nas entrecamadas promovendo expansão. Assim neste solo uma parte das esmectitas apresenta menos Al e outra parte mais Al que impede a maior expansão das camadas de minerais 2:1. O horizonte C deste perfil apresenta comportamento semelhante ao Bi nos tratamentos com Mg e Mg+EG.

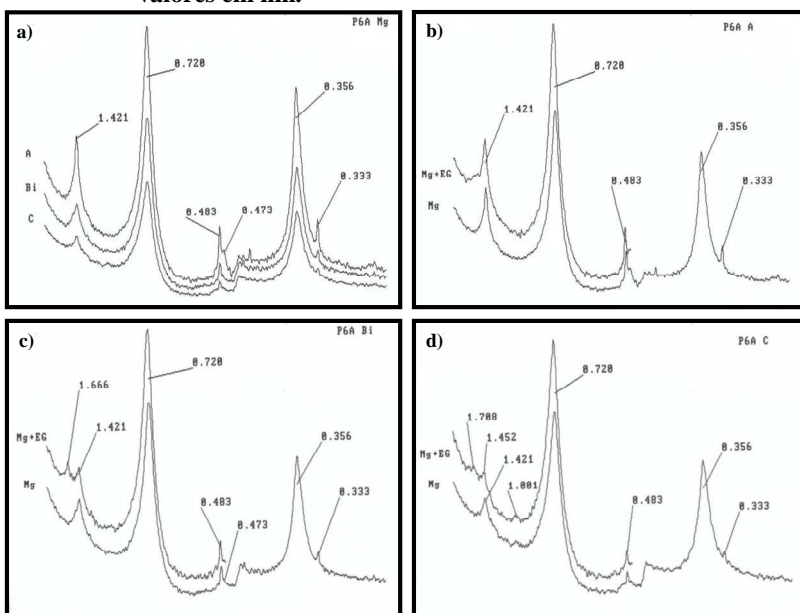
Os difratogramas das amostras saturadas com potássio e os tratamentos térmicos do P5A (Figura 28) confirmam a caulinita como argilomineral dominante, devido ao desaparecimento do reflexo quando a amostra é aquecida a 550°C, comportamento este que é devido à perda das hidroxilas em alta temperatura. Os reflexos apresentam-se com ligeira assimetria em direção aos espaçamentos 2θ menores, indicando caulinitas desordenadas, com baixa cristalinidade, mas também pode tratar-se de interstratificação de camadas 2:1 nos cristais de caulinita.

Na amostra saturada com K na temperatura ambiente o reflexo do argilomineral 2:1 de 1,450 nm se desloca para 1,380 nm mostrando tratar-se de um mineral expansível. Na temperatura de 100 e 350 °C os picos a 1,452 nm se diluem em direção a 1,00 nm. Na temperatura de 550 °C observa-se a manutenção de um patamar na região de 1,00 nm.

Assim, pode-se constatar que se trata de esmectita com pequena quantidade de polímeros nas entrecamadas. Os horizontes Bi e C deste perfil apresentam comportamento semelhante ao A quando as amostras foram saturadas com K seguido de tratamento térmico.

É comum a ocorrência de intercalação dos argilominerais 2:1 com polímeros de hidróxi-Al nas entrecamadas, em especial da esmectita no caso do basalto. Este processo aumenta a estabilidade termodinâmica do argilomineral, que assim se torna mais resistente ao intemperismo, persistindo no solo juntamente com a caulinita, o que além de dificultar a expansão e a contração das camadas dos argilominerais, diminui acentuadamente a capacidade de troca de cátions por neutralização das cargas pelos polímeros (BARNHISEL; BERTSCH, 1989).

Figura 27 - Difratograma da fração argila do perfil P6A: a) Mg nos horizontes A, Bi e C; b) Mg e Mg+EG no horizonte A; c) Mg e Mg+EG no horizonte Bi; e) Mg e Mg+EG no horizonte C; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

No tratamento com K na temperatura de 25°C no horizonte A do P6A nota-se uma pequena contração de 1,421 para 1,404 nm (Figura

29). Na temperatura de 100 °C o pico reduz bastante sua intensidade e a posição média fica em torno de 1,372 nm e o restante se dilui em direção a 1,00 nm. Já na temperatura de 350°C se observa uma banda larga com posição média do pico em torno 1,161 nm mostrando que este pico quando sofre um aquecimento maior está indo em direção a 1,000 nm. Quando se aquece a temperatura de 550°C se observa que no horizonte A não se expressa muito bem o pico, ficando em torno de 1,144 nm, parecendo tratar-se de uma esmectita com forte intercalação com polímeros de Al, porém também pode se tratar de interestratificado.

A esmectita é encontrada em solos pouco desenvolvidos, de material básico, onde a perda de bases é pouco significativa, o pH é alto e a perda de silício do solo não é acentuada. A esmectita pode formar-se a partir da alteração de minerais primários máficos (BORCHARDT, 1989), sendo por esse motivo sua presença esperada em solos jovens desenvolvidos de basalto.

Tremocoldi (2003) encontrou esmectita em um Nitossolo Litólico e em um Chernossolo Argilúvico desenvolvidos a partir de basalto no estado de São Paulo.

Corrêa (2003) estudando topossequências desenvolvidas de basalto no estado de Santa Catarina encontrou uma mineralogia da fração argila composta essencialmente por caulinita, óxidos de ferro e interestratificados caulinita-esmectita. Índícios de pequena quantidade de minerais primários como os plagioclásios, piroxênios e quartzo também foram encontrados.

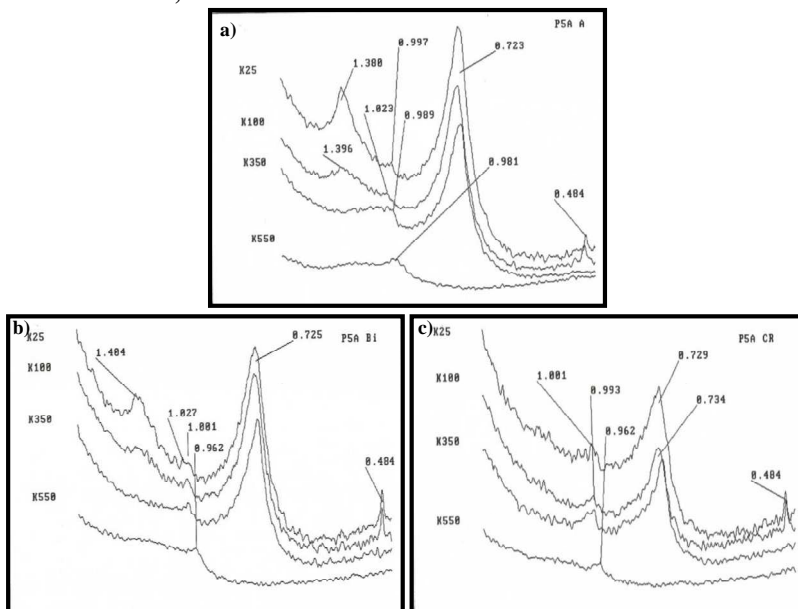
Almeida *et al.* (1992) encontraram caulinita e esmectita com polímeros de hidróxi-Al entrecamadas e interestratificado caulinita/esmectita em estudos com solos derivados de rochas básicas e intermediárias da Formação Serra Geral.

Para o perfil P5A a análise semiquantitativa dos argilominerais indicou a ocorrência de cerca de 11% de argilominerais 2:1 no horizonte A, 7% no Bi e em torno de 6% no CR, sendo que a atividade da argila apresentou valores de 18,5 e 17,7 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ nos horizontes Bi e BC/CR, respectivamente, mostrando a influência da caulinita e dos interestratificados neste parâmetro do solo.

No perfil P6B esta estimativa revelou cerca de 14% de argilominerais 2:1 no horizonte A, 5% no Bi e 4% no C, com atividade da argila de 7,2 e 6,9 $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$, nos horizontes Bi e BC respectivamente. Estes dados revelam a pequena participação destes argilominerais nas cargas negativas destes solos, ressaltando a presença da caulinita e a intercalação com polímeros nas entrecamadas dos argilominerais 2:1 influenciando neste parâmetro.

Portanto, a mineralogia encontrada reforça os dados encontrados nas análises químicas, as quais mostraram tratar-se de solos em estágio mais avançado de intemperismo.

Figura 28 - Difratogramas da fração argila do perfil P5A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte Bi; c) horizonte CR; valores em nm.

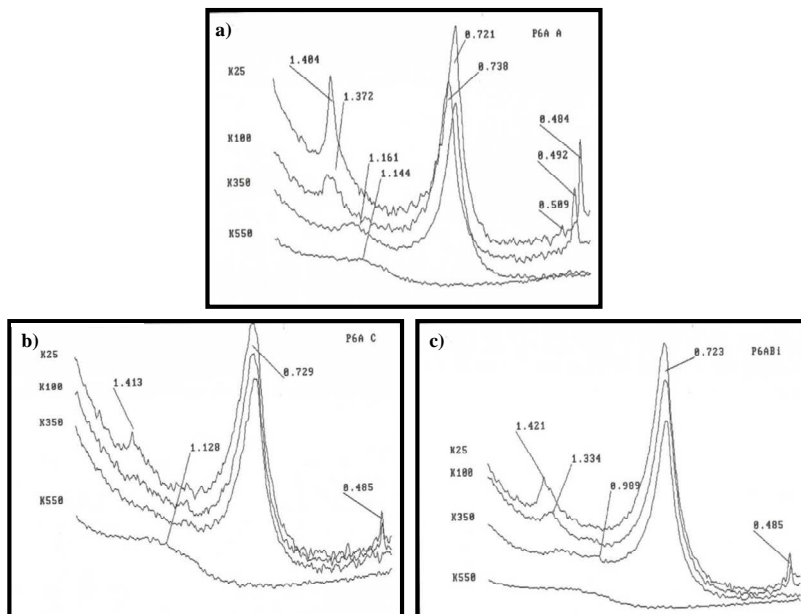


Fonte: Produção do próprio autor (2013).

A formação destes solos se deu através do intemperismo químico do material de origem, sendo a hidrólise o mecanismo essencial de alteração, ocorrendo de forma parcial com lixiviação um pouco mais intensa, o que permitiu a saída moderada de Si do sistema, permanecendo quantidade suficiente para formação de argilominerais do tipo 1:1, ou seja, monossilitização (MELFI; PEDRO, 1977; RESENDE *et al.*, 2002). No entanto, a presença de esmectita, associada à ocorrência de interstratificados de camadas 2:1, indicam um intemperismo diferenciado daquele que ocorre em ambientes tropicais típicos. Assim nota-se que a monossilitização ocorreu, mas o ambiente não mostrou-se tão fortemente lixiviado, mostrando um grau de intemperização

menor, preservando minerais 2:1 e caulinitas com interestratificação de camadas 2:1.

Figura 29 - Difratogramas da fração argila do perfil P6A saturada com K e submetida ao aquecimento em temperatura de 25°, 100°C, 350°C e 550°C: a) horizonte A; b) horizonte Bi; c) horizonte C; valores em nm.



Fonte: Produção do próprio autor (2013).

6.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA TOTAL: ROCHA E SOLO

Neste tópico apresenta-se os resultados da composição química total dos elementos maiores e menores (em percentagem de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes representativos dos solos estudados e de seus respectivos materiais de origem (Tabelas 2 a 5).

Segundo a classificação química das rochas, baseada no teor de SiO₂ (LEINZ & AMARAL, 1985) rochas alcalinas, tais como os fonolitos e sienitos, devem conter entre 52,0 e 65,0% de SiO₂, enquadrando-se portanto no grupo das intermediárias. O teor deste elemento no fonolito foi de 56,30% (Tabela 2), enquanto no sienito foi de 51,58% (Tabela 3), confirmando sua classificação como rochas alcalinas.

Tabela 02 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P1A e P1B e da litologia subjacente (fonolito).

	Perfil P1A			Perfil P1B		
	A	C2	Rocha	A	B	C2
SiO ₂	41,58	42,59	56,30	41,47	42,45	45,55
Al ₂ O ₃	28,90	34,35	22,10	30,12	34,43	32,46
Fe ₂ O ₃	3,95	3,79	2,89	3,97	3,44	3,51
CaO	0,15	0,01	0,95	0,12	0,02	<0,01
MgO	0,29	0,33	0,24	0,31	0,34	0,29
Na ₂ O	0,27	0,03	7,97	0,26	0,02	0,10
K ₂ O	1,76	0,50	5,66	1,61	0,36	1,63
TiO ₂	0,46	0,30	0,14	0,45	0,26	0,26
MnO	0,14	0,04	0,14	0,11	0,06	0,12
P ₂ O ₅	0,09	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	0,006	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
P.F.	22,20	17,80	3,60	21,30	18,40	15,80
Soma	99,79	99,76	100,01	99,80	99,80	99,74
Rb	74	28	203	68	23	48
Ba	153	252	164	146	247	328
Sr	29	12	188	23	8	19
Zr	846	834	649	928	886	869
Y	13	16	13	15	20	54
Ga	4	47	33	45	47	46
Nb	154	134	95	162	142	143
Zn	53	51	93	54	56	80
Cu	6	1	1	5	1	0
Ni	4	2	1	5	1	0
Co	6	7	0	6	5	2
As	6	5	3	6	5	3
Pb	41	39	37	41	47	50
Cd	0	0	0	0	0	0
Mo	1	1	1	1	0	0
Ce	191	270	155	199	310	195

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Tabela 03 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes do perfil P2A e da litologia subjacente (sienito).

Elem	A	B	CR	Rocha
SiO ₂	46,88	44,25	47,84	51,58
Al ₂ O ₃	21,86	28,12	26,02	19,53
Fe ₂ O ₃	6,10	6,71	5,98	5,46
CaO	0,10	0,04	0,06	3,94
MgO	0,28	0,35	0,37	1,20
Na ₂ O	0,20	0,23	0,68	6,52
K ₂ O	1,58	2,05	5,85	6,22
TiO ₂	1,58	1,36	1,16	0,99
MnO	0,07	0,06	0,34	0,16
P ₂ O ₅	0,28	0,21	0,17	0,39
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0
P.F.	20,60	16,20	10,90	2,90
Soma	99,53	99,58	99,37	98,91
Rb	77	81	157	102
Ba	1102	1093	2642	3516
Sr	846	717	1503	4391
Zr	626	493	521	376
Y	26	21	22	26
Ga	32	31	30	22
Nb	204	155	150	118
Zn	64	84	133	83
Cu	7	3	4	7
Ni	4	7	5	3
Co	7	11	19	7
As	4	4	2	2
Pb	36	31	30	27
Cd	0	0	0	0
Mo	1	1	1	4
Ce	272	364	347	244

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Os altos teores totais de elementos alcalinos (sódio e potássio) dessas rochas também confirmam esta classificação. No entanto, a rocha fonolito porfirítico apresentou um teor de SiO₂ de 46,16%, valor abaixo daquele esperado para rochas alcalinas. Aumond & Scheibe (1996) analisando diversas amostras de rochas provenientes do Domo alcalino de Lages encontraram um teor de 48,39% de SiO₂ em uma amostra de

nefelina sienito porfírico. Scheibe (1986) relata a ocorrência de uma menor proporção de sílica no fonolito porfírico em relação ao fonolito.

As ultrabásicas devem conter entre 32,0 e 45,0% de SiO₂, o que se confirmou na análise da rocha olivina melilitito, que apontou um teor em torno de 36,0% (Tabela 4).

Tabela 04 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P3A e P4A e das litologias subjacentes (olivina melilito e fonolito porfírico).

Elem	P3A				P4A			
	A	B	C2	Rocha	A	2Bi	2C2	Rocha
SiO ₂	30,99	31,73	30,72	36,04	43,39	41,18	43,78	46,16
Al ₂ O ₃	8,75	13,37	11,88	8,69	27,53	32,09	23,97	24,90
Fe ₂ O ₃	14,40	16,17	16,44	10,62	5,21	5,19	11,27	3,57
CaO	3,14	2,32	3,78	14,04	0,06	0,03	0,01	0,92
MgO	11,37	12,92	16,08	16,75	0,39	0,31	0,31	0,30
Na ₂ O	0,10	0,05	0,09	2,98	0,22	0,22	0,08	5,96
K ₂ O	0,52	0,29	0,39	3,37	2,11	2,14	0,65	5,06
TiO ₂	3,20	2,84	2,32	1,90	0,61	0,60	0,69	0,35
MnO	0,29	0,26	0,27	0,19	0,24	0,21	0,32	0,19
P ₂ O ₅	0,62	0,73	2,06	1,12	0,11	0,12	0,08	0,07
Cr ₂ O ₃	0,19	0,16	0,14	0,11	<0,002	<0,002	0,003	<0,002
P.F.	25,8	18,40	14,90	3,30	19,90	17,90	15,80	12,20
Soma	99,38	99,24	99,08	99,11	99,77	99,99	96,96	99,68
Rb	75	38	21	87	600	740	220	106
Ba	920	1245	2299	2217	348	466	526	609
Sr	327	324	684	1657	84	100	52	608
Zr	265	452	541	248	757	939	405	655
Y	28	35	41	20	20	22	67	27
Ga	16	22	18	14	37	47	27	29
Nb	207	166	118	94	368	447	125	306
Zn	114	87	106	66	74	92	87	85
Cu	52	80	86	54	5	4	27	2
Ni	379	573	498	348	6	3	13	1
Co	71	78	68	56	6	5	14	2
As	2	5	1	2	8	7	19	8
Pb	17	24	29	13	71	61	51	58
Cd	1	0	0	0	0	0	0	0
Mo	1	1	0	2	2	1	2	5
Ce	342	316	234	186	277	384	214	182

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Tabela 05 - Composição química total dos elementos maiores e menores (em % de óxidos) e elementos traço (em ppm) dos horizontes dos perfis de solo P5A e P6A e da litologia subjacente (basalto).

Elem	P5A				P6A			
	A	Bi	CR	Rocha	A	Bi	C	Rocha
SiO ₂	31,64	32,97	31,66	48,33	39,97	34,56	35,18	49,07
Al ₂ O ₃	19,97	24,42	24,06	14,56	18,45	24,04	24,85	13,51
Fe ₂ O ₃	20,21	19,21	23,10	12,76	17,82	19,87	20,85	13,24
CaO	0,28	0,05	0,02	9,73	0,06	0,01	<0,01	7,68
MgO	0,87	0,67	0,66	4,84	0,37	0,43	0,49	4,84
Na ₂ O	0,05	0,01	<0,01	2,13	0,03	<0,01	<0,01	2,38
K ₂ O	0,40	0,52	0,69	1,59	0,11	0,10	0,17	1,59
TiO ₂	3,08	2,12	2,63	1,52	5,69	4,73	3,42	3,66
MnO	0,18	0,10	0,24	0,19	0,09	0,10	0,13	0,13
P ₂ O ₅	0,20	0,18	0,32	0,23	0,19	0,24	0,20	0,48
Cr ₂ O ₃	0,009	0,006	0,013	0,006	0,011	0,012	0,011	0,010
P.F.	22,90	19,40	16,20	4,20	17,0	15,70	14,50	3,00
Soma	99,79	99,66	99,59	100,09	99,79	99,79	99,80	99,59
Rb	50	76	87	21	7	8	280	31
Ba	314	451	876	734	69	73	217	507
Sr	29	11	5	517	16	11	7	622
Zr	269	279	279	170	434	379	303	288
Y	42	54	81	31	10	9	11	32
Ga	28	38	37	21	30	36	34	25
Nb	27	21	21	13	41	33	25	26
Zn	94	68	109	62	67	78	52	70
Cu	110	119	102	106	100	120	111	137
Ni	34	46	42	20	24	29	48	38
Co	77	87	224	44	27	30	32	45
As	1	1	0	1	3	2	1	11
Pb	16	14	16	7	16	14	18	4
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	0	0	0	0	0	1
Ce	75	97	85	52	78	146	99	73

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Já as rochas básicas devem conter entre 45,0 e 52,0% de SiO₂ (LEINZ; AMARAL, 1985; KIRSCH, 1972), o que também se confirmou nos basaltos analisados, apresentando 48,33 e 49,07% nos locais dos perfis P5A e P6A respectivamente (Tabela 5). Os basaltos estariam enquadrados na unidade Basalto Campos Novos, sendo esta constituída por basaltos e basaltos-andesíticos com teores de SiO₂ entre 51,4 a 56,1%, TiO₂ inferiores a 2,0% e 116 a 152 ppm de Zr

(FREITAS, 2003). Comparando os basaltos (Tabela 5), percebe-se uma maior riqueza em Si, Fe e Ti no material do P6A, enquanto no P5A ocorre maior concentração em Ca.

O teor de Fe está de acordo com a composição química destas rochas, sendo os maiores teores encontrados na olivina melilitito, em torno de 10,0% (P3A) e no basalto em torno de 12,0% (P5A e P6A) (GERGELY *et al.*, 2000). Nas demais rochas o teor permaneceu abaixo de 5,5%, refletindo o menor percentual de Fe encontrado nas rochas alcalinas (SCHEIBE, 1986).

Em relação às bases, os teores de Ca e Mg são mais elevados na olivina melilitito (P3A) e no basalto (P5A e P6A), sendo maior no primeiro devido a sua origem ultrabásica, onde o menor conteúdo em sílica, implica em aumento no teor dos demais componentes, como Mg, Ca e Fe. No fonolito e no fonolito porfirítico o teor de Ca fica próximo a 1,0%, já o Mg em torno de 0,30%, valores muito baixos quando comparados às outras rochas avaliadas, isso ocorrendo em função da pobreza das rochas alcalinas em minerais ricos nestes elementos. No entanto, os maiores teores de Na e K são observados nas rochas fonolito, fonolito porfirítico e sienito, o que ocorre em função da composição mineral destes materiais de origem, ricos em feldspatos alcalinos (SHEIBE *et al.*, 1984). Por outro lado, a olivina melilitito apresentou o menor teor de Na e K entre os materiais do Domo estudados, comportamento decorrente do menor teor destes elementos no material de origem ultrabásico.

Com exceção da olivina melilitito, onde os teores de P₂O₅ foram expressivamente altos, superiores a 1,1% (Tabela 4), nos outros materiais o teor de P foi baixo. Os teores mais baixos foram encontrados nas rochas fonolito (Tabela 2) e fonolito porfirítico (Tabela 4).

Na decomposição química das rochas, observa-se que a taxa de mobilidade relativa dos principais elementos químicos decresce a partir do Ca e Na para Mg, K, Si, Fe e Al. Assim, as rochas que estão se decompondo tendem a perder principalmente os primeiros, e mostram um relativo enriquecimento nas proporções de óxidos de Fe, Al e Si.

As quantidades de Ni e Co encontradas nas rochas alcalinas são bastante reduzidas, ficando abaixo de 3 ppm para o Ni e 7 ppm para o Co (Tabelas 2, 3 e 4), enquanto o material ultrabásico mostrou-se enriquecida nestes elementos, especialmente em Ni (Tabela 4). Esta maior concentração de Ni nos materiais ultrabásicos, muitas vezes conduz a formação de depósitos lateríticos de Ni (OLIVEIRA; TRESCASSES, 1985). A rocha fonolito porfirítico apresentou o maior

grau de hidratação, representado pela perda ao fogo (P.F.) que foi de 12,2%, em comparação com os demais materiais avaliados.

Durante o processo de intemperismo para formação do solo ocorrem mudanças como variações na espessura e concentração de elementos nos horizontes. Tendo em vista o grau de solubilidade dos vários elementos químicos que compõem os minerais, estes apresentam uma perda diferencial conforme a intemperização ocorre e dependendo da taxa com que saem do sistema os elementos como Al, Fe, Ti, Cr e Cu são considerados como residuais, sofrendo concentração em superfície; Mg, Ca, Na, K e Si como elementos móveis que são lixiviados e Ni, Mn, Co e Zn como supergênicos (BARSHAD, 1964), com tendência de acúmulo em subsuperfície. Assim a formação e evolução dos solos se processa no sentido de lixiviação daqueles mais solúveis e acumulação dos resíduos coloidais de sílica, Fe e Al (VIEIRA, 1988). A intensidade destes processos está diretamente relacionada com as condições climáticas, principalmente temperatura e umidade. Assim, a formação e a natureza das argilas coloidais adquire importante papel nas condições climáticas brasileiras. Segundo Dani (1988) o clima atual na área estudada influi na alteração das rochas alcalinas, refletindo no aumento do teor de Al na sua forma trocável nos solos desenvolvidos destas rochas. A mobilização do Fe é favorecida pela mineralização da matéria orgânica do solo, que consome oxigênio e libera gás carbônico, tornando as soluções percolantes do intemperismo mais ácidas e redutoras, e pela formação de complexos organo-metálicos. A mobilidade geoquímica do Fe em relação ao Al parece estar relacionada com a hidrologia dos solos (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2007).

Quando se compara o conteúdo dos elementos maiores da rocha com os encontrados nos horizontes do solo, percebe-se que o Si ocorre sempre em teores mais altos na rocha (Tabelas 2 a 5). Isto era esperado, uma vez que o Si é o elemento mais abundante nas rochas estudadas, mas, após a decomposição química dos minerais constituintes pelo intemperismo, ocorre a solubilização do elemento, tornando-o móvel quando comparado com o Fe e o Al. Em alguns horizontes subsuperficiais o teor deste elemento é maior em relação ao horizonte A e horizontes mais próximos à rocha, como ocorre no horizonte Bi do P5A e horizonte B do P3A, por exemplo. Isto pode ser devido à destruição de minerais que apresentam maior facilidade de decomposição durante o intemperismo, com consequente aumento da concentração relativa de minerais mais resistentes, como o quartzo (MOREIRA, 2008). Após a decomposição do mineral e consequente solubilização do Si, este elemento torna-se móvel saindo do sistema.

Já os elementos Al e Fe apresentaram teores mais altos no solo, em comparação com as respectivas rochas (Tabelas 2 a 5). O Ti, assim como o Fe apresenta comportamento de concentração no solo em todos os perfis estudados, sendo maior no horizonte superficial, e com maiores quantidades nos perfis desenvolvidos de basalto, seguido da olivina melilitito. Durante a consolidação do magma, este elemento forma silicatos complexos que geralmente são mais facilmente intemperizáveis (CUNHA, 1990).

Como reflexo do baixo teor de P na rocha, o solo também apresentou teores bastante reduzidos. Segundo Boyer (1985) durante os processos de formação e evolução dos solos, as consequências do intemperismo para este elemento são relativamente pequenas, desta forma seu teor no solo pode permanecer estável.

O Cr não apresentou valores detectáveis pelo método de análise nos perfis P1A, P1B, P2A e P4A. Nos perfis P5A e P6A, desenvolvidos de basalto, o teor deste elemento ficou em torno de 0,010%, valor acima do encontrado na rocha. Assim como na rocha, o perfil P3A apresentou o maior valor de Cr no solo, comportamento decorrente do seu desenvolvimento a partir de um material ultrabásico, onde comumente se encontra teores mais elevados deste elemento (TEIXEIRA *et al.*, 2012), o que muitas vezes acaba causando desequilíbrio no desenvolvimento de plantas (PINTO, 1994; PINTO; KÄMPF, 1996). Este aumento do Cr no solo pode estar relacionado com o aumento do Fe que também ocorreu nestes perfis. Portanto, a ligação do Cr com os óxidos de Fe pode ter ocasionado o aumento da sua concentração nos horizontes do solo.

Observa-se o aumento da perda ao fogo (P.F.) da rocha para o solo (Tabelas 2 a 5), sendo este valor sempre mais elevado no horizonte superficial, o que é devido ao acúmulo de matéria orgânica, mas também à formação de argilominerais que contém grande quantidade de OH na sua estrutura, como a esmectita.

As bases, como Ca, Na e K, tiveram grande redução em suas concentrações da rocha para o solo, indicando que a perda dos elementos ocorreu já na transformação da rocha em saprólito. Em relação ao Mg, observa-se nos perfis P1A e P1B ligeiro aumento na sua concentração da rocha para o solo (Tabela 2), no P4A nota-se a manutenção de teor similar ao da rocha (Tabela 4), o que neste perfil seria explicado pela presença do talco identificado na mineralogia. Já nos perfis P1A e P1B, este pequeno aumento seria explicado pela ocorrência de biociclagem, considerando que na rocha não identifica-se nenhum mineral que contenha Mg mais resistente ao intemperismo,

somente piroxênios (SCHEIBE, 1986). Nos demais perfis o teor no solo foi menor (Tabelas 3 e 5), sendo esta redução menos acentuada no P3A (Tabela 4).

Os teores de Ca, e principalmente de Mg no P3A são muito superiores quando comparados aos valores encontrados no demais solos estudados. A principal característica química que diferencia os solos derivados de rochas ultrabásicas, daqueles desenvolvidos de outros materiais, é o grande conteúdo de Mg em relação ao Ca, fato que foi observado neste solo (Tabela 4). Este desbalanço muitas vezes pode prejudicar o desenvolvimento de plantas (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2006).

Analisando-se o conteúdo de alguns elementos traço observa-se maiores concentrações de Cu, Ni e Co no solo em relação a rocha, com exceção do P2A e P6A. Nos solos derivados de rochas alcalinas (Tabelas 2, 3 e 4) o teor destes elementos é infinitamente menor, quando comparado ao teor no solo derivado de olivina melilitito. Os altos teores de Ni observados no P3A (Tabela 4), podem provocar efeitos negativos para sua fertilidade, afetando o desenvolvimento de plantas, o que frequentemente é observado nos solos derivados de ultrabásicas (MC GRATH; SMITH, 1990). Assim como observado por Pinto (1994), o solo de rocha ultrabásica apresentou teores elevados de Cr, Ni e Co nos horizontes superiores.

O Zr apresenta um aumento acentuado em seu teor no solo em relação à rocha em todos os perfis analisados (Tabelas 2 a 5). O Zn apresenta aumento em sua concentração da rocha em direção ao solo nos perfis P3A e P5A, nos demais ocorre um comportamento bastante irregular, como no P2A, que apresenta maior teor no horizonte B e CR, porém redução em relação a rocha no horizonte A (Tabelas 2 a 5). No entanto este elemento apresentou um comportamento mais uniforme em suas concentrações nos diferentes solos estudados. Este comportamento irregular também ocorre com o Ba em alguns perfis, como pode ser observado no horizonte C2 do perfil P1A (Tabela 2) e CR do P5A (Tabela 5), que apresenta teor maior em relação ao material de origem, já no horizonte superficial o teor é menor. Sr apresentou redução relativa da rocha para o solo em todos os perfis analisados. O Sr e o Ba, devido a sua elevada mobilidade, tendem a permanecer na solução após sua liberação da rocha pelo processo de intemperismo, podendo ser lixiviados (CUNHA, 1990).

Os resultados referentes ao Cu e Zn são confirmados pelo trabalho de Huguen (2010), que encontrou maiores teores de Cu nos solos desenvolvidos de basalto, seguido daquele desenvolvido de olivina

melilitito, além de concentrações relativamente baixas nos solos derivados de rochas alcalinas. Em relação ao Zn a autora também observou comportamento mais uniforme entre os solos derivados de diferentes litologias.

Os elementos Al, Fe, Ti e Cr sofreram acúmulo relativo no solo por serem menos móveis, sendo residuais no solo. Considerando os elementos supergênicos, nem todos os perfis apresentaram o comportamento esperado de acúmulo em subsuperfície. Na tabela 4, referente ao P3A, nota-se que o Co apresentou o maior valor no horizonte A. Já no P6A (Tabela 5) este elemento apresentou uma redução gradativa em direção à superfície do solo. O Mn apresentou maior acúmulo no horizonte A do perfil P3A, no P1A e P1B a concentração reduziu nos horizontes em relação à rocha.

Numa avaliação global, os elementos se comportaram conforme o previsto, apresentando diminuição dos mais solúveis e aumento dos residuais no solo. Porém, alguns elementos apresentaram variações contraditórias. Pinto (1994) avaliando a composição química total de solos desenvolvidos de rochas ultrabásicas no Rio Grande do Sul também observou comportamento contrário àquele previsto, ocorrendo diminuição na quantidade dos elementos residuais como Al e Fe e aumento na quantidade de elementos móveis, como as bases Ca, Mg, Na e K.

No entanto, as diferenças de quantidade absoluta dos elementos entre os horizontes não pode ser interpretada como medida real do que foi perdido ou concentrado. Para isto, foi conduzido o balanço geoquímico dos elementos, decorrente do intemperismo, apresentado a seguir.

6.5 BALANÇO GEOQUÍMICO

O balanço geoquímico foi feito buscando verificar o comportamento dos elementos químicos nas rochas e os efeitos do intemperismo na mobilidade e concentração relativa dos mesmos nos perfis de solo delas derivados. Para tal considerou-se o Al como elemento de mobilidade nula durante o intemperismo, o que ocorre em função de sua baixa solubilidade. Como os solos estudados são jovens, sem horizontes diagnósticos subsuperficiais, como no caso dos Neossolos, ou com horizonte B incipiente, como no caso dos Cambissolos e do Chernossolo, não foi observada migração expressiva de argila nos perfis analisados, o que torna o Al um elemento confiável para avaliação do intemperismo através do balanço geoquímico. No

entanto, o pressuposto de mobilidade do elemento é relativa e desta forma, não se trata de uma quantificação exata, somente uma estimativa do intemperismo ocorrido no solo.

Utilizou-se o método do isoalumínio, no qual os teores dos elementos de cada horizonte obtidos na análise química total foram recalculados contra o teor de Al_2O_3 presente na rocha. Valores negativos (-) representam perdas devido à saída do elemento e valores positivos representam ganhos de elementos no material intemperizado.

Na tabela 6 e 7 são apresentados os resultados do balanço geoquímico dos perfis P1A e P1B, desenvolvidos de fonolito, os quais apresentaram comportamento semelhante.

Conforme esperado, a soma dos elementos maiores reajustada pelo isoalumínio, nos dois perfis, foi inferior à dos elementos contidos na rocha (100%), com uma perda média aproximada de 30% dos elementos para os vários horizontes dos dois perfis. Embora haja tendência desta soma decrescer uniformemente da base para o topo do perfil, indicando um avanço no grau de intemperismo e lixiviação dos elementos, os valores tenderam, nos dois solos a aumentar ligeiramente no horizonte superficial dos mesmos. Este comportamento também foi observado por Pinto (1994). Já no P1B do horizonte C2 para o B ocorre decréscimo nesta soma. O maior valor de soma nos horizontes superficiais também observadas por Pinto (1994) pode ocorrer devido à influência de material alóctone, menos intemperizado, causado por eventos erosivos-deposicionais ocasionados por mudanças climáticas registradas no Quaternário (TARDY, 1997; BEHLING, 2002).

Observa-se que da rocha para o solo ocorreu uma perda de aproximadamente metade do Si, indicativa de uma hidrólise apenas parcial dos aluminossilicatos, o que está de acordo com a mineralogia apresentada por estes perfis, com predomínio de caulinita e pequena proporção de argilominerais 2:1 na fração argila. Segundo modelo teórico apresentando por Toledo *et al.* (2000) na hidrólise parcial, em função de condições de drenagem menos eficientes, forma-se caulinita quando ocorre eliminação de todo o K, de 66% da sílica e permanência de todo o alumínio.

Entretanto, em ambos os perfis as bases, com exceção do Mg, sofreram grandes perdas. O Ca teve perda superior a 87%, o K entre 80 a 90% e o Na superior a 97%, sendo estas perdas sempre menores no horizonte superficial, ao contrário do esperado. A maior perda destes elementos pode estar relacionada à relativamente baixa resistência dos minerais ao intemperismo (anfíbólios/piroxênios no caso do Ca, e feldspatos alcalinos e feldspatóides, no caso do K e do Na), bem como ao

clima úmido e ambiente de fluxo lixiviante relativamente livre, pelo menos lateralmente, considerando a topografia ondulada onde ocorrem os solos. Assim, já sofrem perda significativa na transformação da rocha para saprólito. As perdas de Mg ficaram entre 5 e 17% nos horizontes analisados. Estas menores perdas poderiam ser atribuídas à presença deste elemento em um mineral mais resistente ao intemperismo, no entanto Scheibe (1986) ao estudar o fonólito presente no Domo de Lages, não faz menção de outro mineral que contenha Mg além de piroxênios, que apresentam baixa resistência aos agentes intempéricos. Silveira (2006) também relata a ocorrência de menores perdas de elementos móveis, como Ca e Na em horizontes superficiais de solos desenvolvidos de rochas do Batólito Pelotas.

O Fe apresentou comportamento de perda nos horizontes subsuperficiais e ganho no horizonte superficial, sendo o ganho maior no P1A, que foi de 4,5%, enquanto no P1B foi de apenas 0,79%. Este comportamento também foi relatado por Silveira (2006), sendo associado pelo autor a descontinuidade entre os horizontes superficiais e intermediários, considerando o caráter residual deste elemento. O Fe apresenta baixa solubilidade em ambientes bem drenados, resultando na mobilidade reduzida, no entanto, estes perfis foram descritos em condição de bem a moderadamente drenado, o que ajudaria a explicar as perdas deste elemento na forma reduzida.

De fato, em ambientes bem drenados e de fluxo livre de água, a tendência é de que, com o avanço do intemperismo haja acúmulo residual desse elemento, e não perda do mesmo, como ocorrido. No entanto, assim como o Fe, também o Mn pode sofrer redução e ter sua solubilidade aumentada em ambientes sem restrição permanente ou temporária de água (LINDSAY, 1979). Nos dois perfis de solo, tanto o saprólito como a porção inferior do horizonte C apresentava cores amareladas, com bandas de zonas mosqueadas de cor esbranquiçada (Apêndices A e B), esse padrão é indicativo de que as condições de drenagem são, ou foram, imperfeitas ou moderadas durante a evolução dos solos, o que certamente favorece os processos de redução, promovendo a solubilização e lixiviação do ferro na forma reduzida. Perdas de Fe também foram observadas por Pinto (1994), as quais foram atribuídas a condição de redução durante a história de formação dos perfis estudados.

Tabela 06 - Balanço geoquímico do perfil P1A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	C2		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	56,30	27,40	-51,33	31,80	-43,52
Al ₂ O ₃	22,10	22,10	0,00	22,10	0,00
Fe ₂ O ₃	2,89	2,44	-15,63	3,02	4,52
CaO	0,95	0,01	-99,32	0,11	-87,93
MgO	0,24	0,21	-11,54	0,22	-7,60
Na ₂ O	7,97	0,02	-99,76	0,21	-97,41
K ₂ O	5,66	0,32	-94,32	1,35	-76,22
TiO ₂	0,14	0,19	37,87	0,35	151,26
MnO	0,14	0,03	-81,62	0,11	-23,53
P ₂ O ₅	0,02	0,01	-35,66	0,07	244,12
Cr ₂ O ₃	0,002	0,00	-100,00	0,004	129,41
P.F.	3,60	11,45	218,11	16,98	371,57
Soma	100,01	64,18	-	76,31	-
Rb	203	18,01	-91,13	56,59	-72,12
Ba	164	162,13	-1,14	117,00	-28,66
Sr	188	7,72	-95,89	22,18	-88,20
Zr	649	536,58	-17,32	646,94	-0,32
Y	13	10,29	-20,82	9,94	-23,53
Ga	33	30,24	-8,37	3,06	-90,73
Nb	95	86,21	-9,25	117,76	23,96
Zn	93	32,81	-64,72	40,53	-56,42
Cu	1	0,64	-35,66	4,59	358,82
Ni	1	1,29	28,68	3,06	205,88
Co	0	4,50	0,00	4,59	0,00
As	3	3,22	7,23	4,59	52,94
Pb	37	25,09	-32,18	31,35	-15,26
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	1	0,64	-35,66	0,76	-23,53
Ce	155	173,71	12,07	146,06	-5,77

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Tabela 07 - Balanço geoquímico do perfil P1B, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	C2		B		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	56,30	31,01	-44,92	27,25	-51,50	30,43	-45,95
Al ₂ O ₃	22,10	22,10	0,00	22,10	0,00	22,10	0,00
Fe ₂ O ₃	2,89	2,39	-17,31	2,21	-23,60	2,91	0,79
CaO	0,95	0,00	-100,00	0,01	-98,65	0,09	-90,73
MgO	0,24	0,20	-17,73	0,22	-9,07	0,23	-5,23
Na ₂ O	7,97	0,07	-99,15	0,01	-99,84	0,19	-97,61
K ₂ O	5,66	1,11	-80,39	0,23	-95,92	1,18	-79,13
TiO ₂	0,14	0,18	26,44	0,17	19,21	0,33	135,84
MnO	0,14	0,08	-41,64	0,04	-72,49	0,08	-42,35
P ₂ O ₅	0,02	0,01	-32,92	0,01	-35,81	0,06	193,49
Cr ₂ O ₃	0,002	0,00	-100,00	0,00	-100,00	0,00	-100,00
P.F.	3,60	10,76	198,81	11,81	228,07	15,63	334,12
Soma	100,01	67,91	-	64,06	-	73,23	-
Rb	203	32,68	-83,90	14,76	-92,73	49,89	-75,42
Ba	164	223,31	36,17	158,54	-3,33	107,12	-34,68
Sr	188	12,94	-93,12	5,14	-97,27	16,88	-91,02
Zr	649	591,65	-8,84	568,71	-12,37	680,90	4,92
Y	13	36,77	182,81	12,84	-1,25	11,01	-15,34
Ga	33	31,32	-5,10	30,17	-8,58	33,02	0,05
Nb	95	97,36	2,48	91,15	-4,06	118,86	25,12
Zn	93	57,47	-41,43	35,95	-61,35	39,62	-57,40
Cu	1	0,00	-100,00	0,64	-35,81	3,67	266,87
Ni	1	0,00	-100,00	0,64	-35,81	3,67	266,87
Co	0	1,36	0,00	3,21	0,00	4,40	0,00
As	3	2,04	-31,92	3,21	6,98	4,40	46,75
Pb	37	34,04	-7,99	30,17	-18,46	30,08	-18,69
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	1	0,00	-100,00	0,00	-100,00	0,73	-26,63
Ce	155	132,76	-14,35	198,98	28,38	146,01	-5,80

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

O Ti, que também é um elemento residual, apresentou o comportamento esperado, ou seja, aumento da sua concentração no solo com ganho ao longo de todo o perfil, sendo o maior acúmulo no horizonte superficial. Este elemento geralmente está presente em minerais primários difíceis de serem intemperizados, favorecendo sua permanência no solo. O Mn e o Zn, embora sejam elementos supergênicos apresentaram perdas ao longo de todo o perfil, sendo esta maior no horizonte C2 do P1A, e no horizonte B do P1B. No caso do

Mn, isto pode ter ocorrido em função das restrições de drenagem, uma vez que em ambiente redutor, sua estabilidade termodinâmica é inferior à do ferro (LINDSAY, 1979).

Entre os elementos traço observa-se que o Cu apresentou perda nos horizontes subsuperficiais e ganho no horizonte A. Ni e As apresentaram ganho tanto no horizonte C2 como no A no P1A, porém no P1B Ni apresentou perda no horizonte C2 e B, o As apenas no C2.

Silva (1989) estudando as perdas e ganhos de elementos dos produtos de alteração de rochas metabásicas do município de Nazaré Paulista-SP, observou que em relação aos elementos maiores o Al foi conservado no perfil de solo, Fe e Ti foram lixiviados menos intensamente que Ca, Mg, Mn e Si. Para os elementos traços a lixiviação foi mais intensa para Sr, B, Zn e moderada para Li, P, Be, Zr.

Moreira *et al.* (2008) observou em um Plintossolo Pétrico no município de Ouro Verde de Goiás, aumento nas concentrações de elementos pouco móveis como Ti, Al e Fe da rocha para a superfície do solo, indicando um intemperismo intenso ocorrido em ambiente, provavelmente, de fluxo livre.

Em relação ao P, apesar das quantidades muito baixas presentes na rocha, houveram perdas do elemento nos horizontes inferiores dos dois solos, ao mesmo tempo que ganhos foram constatados no horizonte A. Isto parece indicar aporte externo do elemento, possivelmente decorrente da atividade biológica.

Fica caracterizado nestes solos uma intensa lixiviação das bases e moderada de sílica e a conservação do Al. As perdas de Si e bases são portanto, compatíveis com a mineralogia da fração argila desses solos, na qual processos de caulinição foram dominantes, mas ao mesmo tempo preservando evidências de um grau de intemperismo não tão avançado, indicado pela presença de argilominerais de camada 2:1 e interstratificados.

Na Tabela 8 são apresentados os dados referentes ao balanço geoquímico do perfil P2A. O Si como elemento móvel apresentou o comportamento esperado, ou seja, perdas em todos os horizontes, sendo maior no horizonte B, onde permaneceu em torno de 40%, novamente indicando uma hidrólise apenas parcial dos aluminossilicatos.

O Fe que é considerado um elemento menos solúvel apresentou perdas em todos os horizontes analisados, sendo menor à medida que se aproxima da superfície. Estas perdas podem estar relacionadas à condição de drenagem, pois trata-se de um solo em condição de drenagem moderada, ambiente que favorece os processos de redução

(LINDSAY, 1979), promovendo a solubilização e lixiviação de Fe na forma reduzida.

Tabela 08 - Balanço geoquímico do perfil P2A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	CR		B		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	51,58	35,91	-30,38	30,73	-40,42	41,88	-32,56
Al ₂ O ₃	19,53	19,53	0,00	19,53	0,00	19,53	0,00
Fe ₂ O ₃	5,46	4,49	-17,79	4,66	-14,65	5,45	-0,19
CaO	3,94	0,05	-98,86	0,03	-99,29	0,09	-97,73
MgO	1,20	0,28	-76,86	0,24	-79,74	0,25	-79,15
Na ₂ O	6,52	0,51	-92,17	0,16	-97,55	0,18	-97,26
K ₂ O	6,22	4,39	-29,41	1,42	-77,11	1,41	-77,31
TiO ₂	0,99	0,87	-12,05	0,94	-4,59	1,41	42,59
MnO	0,16	0,26	59,50	0,04	-73,96	0,06	-60,91
P ₂ O ₅	0,39	0,13	-67,28	0,15	-62,60	0,25	-35,86
Cr ₂ O ₃	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P.F.	2,90	8,18	182,11	11,25	287,98	18,40	534,63
Soma	98,91	74,58	-	69,16	-	88,92	-
Rb	102	117,84	15,53	56,26	-44,85	68,79	-32,56
Ba	3516	1983,02	-43,60	759,11	-78,41	984,54	-72,00
Sr	4391	1128,12	-74,31	497,97	-88,66	755,83	-82,79
Zr	376	391,05	4,00	342,40	-8,94	559,28	48,74
Y	26	16,51	-36,49	14,58	-43,90	23,23	-10,66
Ga	22	22,52	2,35	21,53	-2,14	28,59	29,95
Nb	118	112,59	-4,59	107,65	-8,77	182,26	54,45
Zn	83	99,83	20,27	58,34	-29,71	57,18	-31,11
Cu	7	3,00	-57,11	2,08	-70,23	6,25	-10,66
Ni	3	3,75	25,10	4,86	62,06	3,57	19,12
Co	7	14,26	103,73	7,64	9,14	6,25	-10,66
As	2	1,50	-24,94	2,78	38,90	3,57	78,68
Pb	27	22,52	-16,60	21,53	-20,26	32,16	19,12
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	4	0,75	-81,24	0,69	-82,64	0,89	-77,66
Ce	244	260,45	6,74	252,81	3,61	243,01	-0,41

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

O Mn sofreu perdas altas nos horizontes superficiais, e aumento considerável com a profundidade do perfil, o que está de acordo com as deposições de óxidos de Mn que ocorrem no contato solo saprólito observados durante a descrição deste perfil (Apêndice C). Este elemento, assim como o Fe pode sofrer redução, alterando sua

solubilidade. Portanto, as perdas podem estar associadas a períodos de redução que ocorrem em microsítios dentro do perfil do solo durante uma estação mais chuvosa, que é comum na região de estudo, considerando que na forma reduzida estes elementos tornam-se bastante solúveis, podendo ser lixiviados ao longo do perfil. Já o ganho no horizonte CR, provavelmente esteja associado à migração dos horizontes superiores, precipitando próximo ao contato com a rocha numa condição oxidante, mas também pode ser pela proximidade com o material de origem. O balanço do Mn confirma esta interpretação, já que expressiva quantidade de pontuações pretas foram descritas no Cr (Apêndice C). O Ti mesmo sendo um elemento residual apresentou ganho apenas no horizonte A, porém as perdas que ocorreram nos demais horizontes foram pequenas.

A exemplo do que ocorreu nos perfis anteriores, os dados apontam para uma grande perda de bases, especialmente Ca e Na, o que evidencia o seu maior grau de solubilidade. No caso do Ca a perda ficou em percentuais da ordem de 97-99% e o Na acima de 92%. O Mg e o K registraram perdas menores do que as outras bases, ficando entre 76-79%, com exceção do K no horizonte CR que foi em torno de 29% apenas. Na mineralogia da fração argila observa-se uma certa quantidade de micas (ou ilitas) que mantém o K em sua estrutura (FANNING *et al.*, 1989). Assim, as maiores perdas de K nos horizontes superiores podem ocorrer em função da intemperização da mica em direção à superfície, liberando K que é removido do sistema por lixiviação, já a menor taxa de perda no horizonte CR se deve a sua maior manutenção na estrutura do mineral. O Mg se perde, juntamente com o Ca e o Si, sendo esta perda mais intensa nas primeiras fases de alteração (VIDAL-TORRADO, 2006).

Lacerda *et al.* (2002) estudando perfis de alteração desenvolvido a partir de rochas granitóides, diorito e piroxenitos na região de Lavras (MG) através do balanço de massa, também relata a lixiviação praticamente completa de Ca, Mg e Na, sendo a perda relacionada ao baixo grau de resistência ao intemperismo dos minerais silicatados primários que os contém e sua ordem de destruição intempérica ao longo da alteração. O autor também observou perdas menos acentuadas de K em relação às outras bases. Apesar de ser rapidamente mobilizado e lixiviado, a taxa de lixiviação pode ser retardada pela fixação nas estruturas das ilitas.

O aumento de P.F. é observado ao longo do perfil, com maior valor no horizonte superficial, o que ocorre em função do acúmulo de matéria orgânica.

Analisando-se os elementos traço, observa-se o comportamento de concentração de Zn e Co em profundidade, o que está dentro do esperado por tratar-se de elementos supergênicos. Nota-se que o Co acompanhou o Mn, acumulando-se na parte inferior do perfil (LELONG, 1976). O Ni teve ganhos em todos os horizontes. Menores perdas de Cu foram observadas no horizonte A deste perfil, na ordem de 10%, sendo que esta perda passa de 50% nos horizontes em direção à rocha.

Como nos perfis anteriores observa-se um processo de hidrólise parcial na formação deste solo, indicado da mesma forma, pela mineralogia essencialmente caulinitica, no entanto com presença de argilominerais 2:1 e interestratificados.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados do balanço geoquímico para o Perfil P3A. A soma mais alta dos elementos maiores após o ajuste pelo isoalumínio, está de acordo com um tempo de intemperização menor atribuído a este perfil em comparação aos demais.

Observa-se que este perfil foi um dos que apresentou as menores perdas de Si, onde no horizonte A permaneceu em torno de 14%. Assim, as perdas menores deste elemento indicam a sua manutenção no sistema, favorecendo a formação de argilominerais 2:1 durante o intemperismo (MELFI; PEDRO, 1977) e identificados em grande proporção, sendo que a estimativa semiquantitativa revelou cerca de 68% deste componente no horizonte A. Menegotto (1983) estudando rochas ultrabásicas no RS, também observou lixiviação de Si moderada naquele ambiente avaliado, favorecendo a formação e preservação de argilominerais 2:1 no solo, notadamente esmectitas.

Evidenciando a maior riqueza em Fe, este solo, desenvolvido de rocha ultrabásica, apresentou ganhos neste elemento, que ocorreu principalmente nos horizontes A e C2.

Os elementos Ca, Mg, Na e K sofreram redução durante a transformação da rocha para o solo. Comparativamente aos outros perfis, neste, as perdas de Ca são um pouco menores, embora ainda se mantenham altas, porém, ao contrário do esperado, a menor perda foi observada no horizonte A. As perdas de Mg são bem menores daquelas encontradas nos demais solos analisados, permanecendo abaixo de 50% em todos os horizontes. As menores perdas de Mg estariam associadas à presença de vermiculita que mantém este elemento em sua estrutura. Este resultado está de acordo com muitos estudos da geoquímica de alteração de rocha ultrabásica em ambientes tropicais, que é a redução em Na₂O, K₂O, CaO, MgO em relação à rocha mãe. O Mg se perde,

juntamente com o Ca e o Si, sendo esta perda mais intensa nas primeiras fases de alteração (VIDAL-TORRADO, 2006).

Tabela 09 - Balanço geoquímico do perfil P3A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	C2		B		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	36,04	22,47	-37,65	20,62	-42,78	30,78	-14,60
Al ₂ O ₃	8,69	8,69	0,00	8,69	0,00	8,69	0,00
Fe ₂ O ₃	10,62	12,03	13,23	10,51	-1,04	14,30	34,66
CaO	14,04	2,77	-80,31	1,51	-89,26	3,12	-77,79
MgO	16,75	11,76	-29,78	8,40	-49,87	11,29	-32,58
Na ₂ O	2,98	0,07	-97,79	0,03	-98,91	0,10	-96,67
K ₂ O	3,37	0,29	-91,53	0,19	-94,41	0,52	-84,68
TiO ₂	1,90	1,70	-10,68	1,85	-2,85	3,18	67,27
MnO	0,19	0,20	3,95	0,17	-11,06	0,29	51,58
P ₂ O ₅	1,12	1,51	34,54	0,47	-57,64	0,62	-45,02
Cr ₂ O ₃	0,11	0,10	-6,90	0,10	-5,46	0,19	71,54
P.F.	3,30	10,90	230,27	11,96	262,40	25,62	676,46
Soma	99,11	72,47	-	64,50	-	98,69	-
Rb	87	15,36	-82,34	24,70	-71,61	74,49	-14,38
Ba	2217	1681,68	-24,15	809,20	-63,50	913,69	-58,79
Sr	1657	500,33	-69,80	210,59	-87,29	324,76	-80,40
Zr	248	395,73	59,57	293,78	18,46	263,18	6,12
Y	20	29,99	49,95	22,75	13,74	27,81	39,04
Ga	14	13,17	-5,95	14,30	2,14	15,89	13,50
Nb	94	86,31	-8,18	107,89	14,78	205,58	118,70
Zn	66	77,54	17,48	56,55	-14,32	113,22	71,54
Cu	54	62,91	16,50	52,00	-3,71	51,64	-4,36
Ni	348	364,28	4,68	372,43	7,02	376,40	8,16
Co	56	49,74	-11,18	50,70	-9,47	70,51	25,92
As	2	0,73	-63,43	3,25	62,49	1,99	-0,69
Pb	13	21,21	63,18	15,60	19,99	16,88	29,87
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	2	0,00	-100,00	0,65	-67,50	0,99	-50,34
Ce	186	171,17	-7,97	205,39	10,42	339,65	82,61

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

O Ti começa com perda em torno de 10% no horizonte C2, esta perda diminui no horizonte B (valor menos negativo), e aumenta no horizonte A. Assim, os maiores ganhos de Ti e Fe, associados às taxas menores de perdas de Ca no horizonte A em relação aos horizontes inferiores, parecem indicar ganhos de materiais de origem alóctone,

provavelmente de erosão e deposição de material à montante, considerando a topografia acidentada onde o perfil foi descrito e a posição do solo em meia encosta.

O Cr apresentou pequenas perdas nos horizontes C2 e B, porém no horizonte A ocorreu ganho acima de 70%. Este sendo um elemento residual tende a se acumular em superfície. Pinto (1994) estudando solos desenvolvidos de rochas ultrabásicas no RS também observou a ocorrência de teores elevados de Cr nos horizontes superficiais.

O P apresentou ganho no horizonte C2 e perdas em direção a superfície, o que pode ter ocorrido em função da liberação deste elemento através do intemperismo dos minerais primários o que gera ganhos no horizonte logo acima do material de origem. As perdas na superfície podem estar associadas ao fato de que este elemento pode ser incorporado na matéria orgânica, sofrer adsorção em argilominerais e óxidos ou ainda precipitação (SOMMER, 1996), principalmente nos horizontes superficiais, onde estes componentes estão mais presentes.

Observa-se o aumento de P.F. em direção a superfície, com maior valor no horizonte A. Isto ocorre em função do acúmulo de matéria orgânica que é bastante elevado neste horizonte, mas também a formação de argilominerais que contém grande quantidade de OH na sua estrutura, como a esmectita, presente neste solo.

Com o Cu ocorreu pequena perda nos horizontes superficiais e ganho no horizonte C2. Este ganho pode estar relacionado a proximidade com o material de origem que seria fonte do nutriente, mas também pela migração dos horizontes superiores.

Ni e Zr apresentaram ganhos ao longo de todo o perfil, sendo os maiores ganhos de Ni no horizonte superficial, indicando esse horizonte como uma fonte liberadora deste elemento para acumulação em subsuperfície. A maior presença de Ni pode gerar efeitos negativos para a fertilidade deste solo, o que frequentemente é observado nos solos derivados de ultrabásicas (PINTO, 1994). Parte do Ni liberado dos minerais primários pode permanecer no perfil de solo, ocorrendo migração para a base, ou associação à goethita (MELFI, 1974; TRESCASSES, 1973). Zn sofreu pequena perda no horizonte B e acúmulo nos horizontes A e C2. O Co apresentou perdas nos horizontes inferiores e ganho no horizonte A.

Melfi (1974) ao estudar o comportamento dos elementos nos estádios iniciais de alteração superficial de um perfil derivado de rochas ultrabásicas de Barro Alto (GO), observou acentuada perda de Si já no saprólito. As perdas de Mg foram superiores a 89%, sendo que o autor atribui a elevada perda deste elemento a não permanência, nem para

formar estruturas de minerais de neo-formação, nem como constituinte de produtos amorfos. Neste estudo o Fe foi o único elemento a sofrer concentração nos horizontes superficiais, sendo a sua permanência atribuída à neo-formação de goethita, após a liberação do Fe dos minerais cristalinos primários. Já o Ni apresentou certa mobilidade, sendo parcialmente eliminado do perfil. Como observado nos resultados químicos, este solo apresenta alta fertilidade, característica que destoa dos demais solos estudados, ocorrentes em ambiente de clima semelhante. Desta forma, o balanço geoquímico apenas confirma o que os dados químicos e mineralógicos já haviam indicado, ou seja, mostrando que este solo é de origem mais recente do que os demais, o que provavelmente seja devido à exumação da rocha em período mais recente, ocorrido em função das variações climáticas, algumas abruptas, relacionadas aos ciclos glaciais e interglaciais (TARDY, 1997), especialmente o último de larga escala durante o Holoceno, onde o longo período seco favoreceu a ação de processos erosivos intensos (BIGARELLA, *et al.*, 1965), ocasionando sua exposição aos agentes intempéricos.

Solos menos intemperizados derivados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul também foram identificados por Pinto e Kämpf (1996), os quais apresentam pequena profundidade, pH próximo a neutralidade, alta CTC e saturação por bases. O baixo grau de alteração destes solos, segundo os autores tem como possíveis causas a exposição mais recente do material de origem, rejuvenescimento por adições superficiais de material pouco intemperizado, além do tamponamento da solução do solo por íons liberados no intemperismo das frações grosseiras.

Os resultados referentes ao balanço geoquímico que aponta as perdas e ganhos ocorridos no perfil P4A são apresentados na tabela 10.

Analisando-se os dados, observa-se que este perfil apresentou as menores perdas de Si. Assim os minerais que contém Si estão sofrendo intemperismo, mas este elemento está permanecendo no sistema para formação de argilominerais secundários. Como o material de origem deste solo está associado a depósitos de bauxita, seria normal esperar grandes perdas de Si, o que não se confirmou. No entanto, o cálculo pelo isoalumínio considera este elemento como de mobilidade nula. Observando-se os valores da análise química total (Tabela 4), percebe-se uma pequena redução na concentração do Al da rocha para o horizonte C2, assim este comportamento pode afetar a dinâmica dos outros elementos refletindo em menores perdas, como ocorreu com o Si, que apresentou as menores perdas neste horizonte, em torno de 1,5%

(Tabela 10). Outro mecanismo para explicar estas menores perdas de Si, seria pelo modelo teórico de hidrólise apresentado por Toledo *et al.* (2000), onde as condições de drenagem favorecem a hidrólise parcial, removendo parte da sílica, formando caulinita, identificada como argilomineral dominante na mineralogia deste solo. Menegotto (1983) estudando perfis de alteração de rochas ultrabásicas observaram moderada lixiviação de Si, atribuída a um menor tempo de atuação dos agentes intempéricos, indicado pelo manto de intemperismo muito delgado. Desta forma, a lixiviação menos efetiva explicaria a preservação parcial do Si.

Observa-se uma tendência de ganho de Fe nos horizontes do solo. O maior ganho no horizonte 2C2 pode ser atribuído a migração de Fe do horizonte imediatamente acima.

Com exceção do Mg as bases apresentaram grandes perdas em todos os horizontes, sendo menor para o K nos horizontes 2Bi e A. De acordo com Menegotto (1983) o K que estaria contido na horblenda apresenta perdas sempre menores do que o Ca na passagem da rocha para os horizontes do solo. O Mg apresentou pequena perda no horizonte 2Bi, no entanto nos horizontes A e 2C2 ocorreu ganho deste elemento. Este comportamento pode ter ocorrido em função da presença do talco ao longo de todo o perfil, mineral que contém Mg em sua composição.

Apesar do material de origem apresentar um dos mais baixos teores de P (Tabela 4), este foi o único solo que apresentou ganho neste elemento em todos os horizontes, sendo crescente da base para o topo do perfil. Este comportamento pode ser atribuído a localização do perfil junto a um reflorestamento de pinus, onde ocorre a associação entre fungos micorrízicos existentes no solo e as raízes, resultando na liberação de elementos menos solúveis como o P (TOMAZELLO FILHO; KRÜGNER, 1982).

Tabela 10 - Balanço geoquímico do perfil P4A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	2C2		2Bi		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	46,16	45,48	-1,48	31,95	-30,78	39,24	-14,98
Al ₂ O ₃	24,90	24,90	0,00	24,90	0,00	24,90	0,00
Fe ₂ O ₃	3,57	11,71	227,93	4,03	12,81	4,71	32,00
CaO	0,92	0,01	-98,87	0,02	-97,47	0,05	-94,10
MgO	0,30	0,32	7,34	0,24	-19,82	0,35	17,58
Na ₂ O	5,96	0,08	-98,61	0,17	-97,14	0,20	-96,66
K ₂ O	5,06	0,68	-86,66	1,66	-67,18	1,91	-68,28
TiO ₂	0,35	0,72	104,79	0,47	33,02	0,55	57,64
MnO	0,19	0,33	74,96	0,16	-14,37	0,22	14,25
P ₂ O ₅	0,07	0,08	18,72	0,09	33,02	0,10	42,13
Cr ₂ O ₃	<0,002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P.F.	12,20	16,41	34,53	13,89	13,85	18,00	47,53
Soma	99,68	100,73	-	77,59	-	90,24	-
Rb	106	228,54	115,60	574,20	441,70	542,68	411,96
Ba	609	546,41	-10,28	361,59	-40,63	314,75	-48,32
Sr	608	54,02	-91,12	77,59	-87,24	75,98	-87,50
Zr	655	420,71	-35,77	728,61	11,24	684,68	4,53
Y	27	69,60	157,78	17,07	-36,78	18,09	-33,00
Ga	29	28,05	-3,28	36,47	25,76	33,47	15,40
Nb	306	129,85	-57,57	346,85	13,35	332,84	8,77
Zn	85	90,38	6,32	71,39	-16,02	66,93	-21,26
Cu	2	28,05	1302,38	3,10	55,19	4,52	126,12
Ni	1	13,50	1250,44	2,33	132,78	5,43	442,68
Co	2	14,54	627,16	3,88	93,99	5,43	171,34
As	8	19,74	146,71	5,43	-32,11	7,24	-9,55
Pb	58	52,98	-8,66	47,33	-18,39	64,22	10,72
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	5	2,08	-58,45	0,78	-84,48	1,81	-63,82
Ce	182	222,30	22,14	297,96	63,72	250,54	37,66

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Tratando-se de um elemento supergênico o Mn apresentou grande ganho no horizonte 2C2. No entanto, no 2Bi ocorreu uma perda em torno de 14%. Este ganho pode ser em decorrência da migração de horizontes superiores ou pela proximidade com a rocha, fonte deste elemento. O acúmulo deste elemento em subsuperfície está de acordo com a intensa precipitação de óxidos de Mn observada no horizonte 2C1 durante a coleta do perfil (Apêndice E).

Este perfil foi o que apresentou a menor elevação de P.F. ao longo dos horizontes, ainda assim, no horizonte A ocorreu o maior valor. Destaca-se, entretanto, que o material de origem deste solo já apresentava o maior valor de P.F.

Entre os elementos traço o Zn apresenta as maiores perdas no horizonte superficial, chegando com ganho no horizonte 2C2. Cu, Ni e Co apresentaram ganho ao longo de todo o perfil, já Sr e Mo mostraram perdas.

Nas tabelas 11 e 12 são apresentados os resultados do balanço geoquímico dos perfis P5A e P6A.

Nestes perfis desenvolvidos de basalto as perdas de Si da rocha para o horizonte C ou CR ficaram acima de 60%. Esta maior perda de Si pode ser explicada pela mineralogia do material de origem destes solos, composta por piroxênios, minerais facilmente intemperizáveis, que pela sua dissolução imediata acabam liberando o Si para o sistema, provocando uma perda inicial maior nestes solos. Como observado nos resultados da mineralogia, nestes solos encontra-se essencialmente caulinita na fração argila, o que está de acordo com o modelo teórico de hidrólise parcial apresentado por Toledo *et al.* (2000), onde em função de condições de drenagem menos eficientes, forma-se caulinita quando ocorre eliminação de todo o K, remoção de aproximadamente 66% da sílica e permanência de todo o alumínio.

Entretanto, Michelin (2006) ao estudar o balanço geoquímico de um Latossolo Bruno desenvolvido de basalto/riodacito no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul, contrariando o esperado, observou ganhos de Si que chegaram a 47% no horizonte A1. O Autor atribuiu como uma das razões possíveis para este comportamento o aumento na concentração residual de areia, que apresenta incremento em direção à superfície, mas também a processos de biociclagem e absorção pelas gramíneas, considerando que o perfil foi coletado em área de campo nativo, onde a grande quantidade de raízes favorecem este processo próximo à superfície, minimizando as perdas deste elemento.

Em relação ao Fe observa-se perda em todo o perfil P6A, sendo menor no horizonte A. No P5A a perda de Fe ocorreu apenas no horizonte Bi. No entanto, as perdas são pequenas, ficando abaixo de 16%. Perdas de Fe também foram relatadas por Michelin (2006) nos horizontes superficiais de um Latossolo Bruno desenvolvido de basalto, seguido de um discreto aumento no horizonte Cr. Comportamento também observado para o Mn neste solo. O autor associou estas perdas a períodos de redução que ocorrem em microsítios no perfil do solo,

durante a estação mais chuvosa, que acontece de maio a outubro naquele estado.

Tabela 11 - Balanço geoquímico do perfil P5A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R	CR		Bi		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal
SiO ₂	48,33	19,09	-60,47	19,59	-59,44	22,99	-52,40
Al ₂ O ₃	14,56	14,51	0,00	14,51	0,00	14,51	0,00
Fe ₂ O ₃	12,76	13,93	9,26	11,41	-10,48	14,68	15,17
CaO	9,73	0,01	-99,88	0,03	-99,69	0,20	-97,91
MgO	4,84	0,40	-91,78	0,40	-91,77	0,63	-86,94
Na ₂ O	2,13	0,00	-100,00	0,01	-99,72	0,04	-98,29
K ₂ O	1,59	0,42	-73,83	0,31	-80,57	0,29	-81,72
TiO ₂	1,52	1,59	4,35	1,26	-17,13	2,24	47,23
MnO	0,19	0,14	-23,82	0,06	-68,73	0,13	-31,17
P ₂ O ₅	0,23	0,19	-16,09	0,11	-53,50	0,15	-36,82
Cr ₂ O ₃	0,006	0,01	30,67	0,00	-40,58	0,01	8,99
P.F.	4,20	9,77	132,61	11,53	174,46	16,64	296,16
Soma	99,99	60,06	-	59,21	-	72,51	-
Rb	21	52,47	149,85	45,16	115,04	36,33	73,00
Ba	734	528,29	-28,03	267,98	-63,49	228,15	-68,92
Sr	517	3,02	-99,42	6,54	-98,74	21,07	-95,92
Zr	170	168,26	-1,02	165,78	-2,48	195,45	14,97
Y	31	48,85	57,58	32,09	3,50	30,52	-1,56
Ga	21	22,31	6,26	22,58	7,52	20,34	-3,12
Nb	13	12,66	-2,58	12,48	-4,02	19,62	50,91
Zn	62	65,74	6,02	40,40	-34,83	68,30	10,16
Cu	106	61,51	-41,97	70,71	-33,29	79,92	-24,60
Ni	20	25,33	26,65	27,33	36,66	24,70	23,52
Co	44	135,09	207,02	51,69	17,49	55,95	27,15
As	1	0,00	-100,00	0,59	-40,58	0,73	-27,34
Pb	7	9,65	37,85	8,32	18,84	11,63	66,08
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ce	52	51,26	-1,42	57,64	10,84	54,49	4,80

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Tabela 12 - Balanço geoquímico do perfil P6A, valores de Isoal e valores de ganhos e perdas na fração TFSA dos horizontes analisados.

Elem.	R		C		Bi		A	
	%	Isoal	Bal	Isoal	Bal	Isoal	Bal	
SiO ₂	49,07	19,13	-61,02	19,42	-60,42	29,27	-40,35	
Al ₂ O ₃	13,51	13,51	0,00	13,51	0,00	13,51	0,00	
Fe ₂ O ₃	13,24	11,34	-14,39	11,17	-15,66	13,05	-1,44	
CaO	7,68	0,00	-100,00	0,01	-99,53	0,04	-99,43	
MgO	4,84	0,27	-94,50	0,24	-95,01	0,27	-94,40	
Na ₂ O	2,38	0,00	-100,00	0,00	-100,00	0,02	-99,08	
K ₂ O	1,59	0,09	-94,19	0,06	-96,47	0,08	-94,93	
TiO ₂	3,66	1,86	-49,20	2,66	-27,37	4,17	13,84	
MnO	0,13	0,07	-45,63	0,06	-56,77	0,07	-49,31	
P ₂ O ₅	0,48	0,11	-77,35	0,13	-71,90	0,14	-71,02	
Cr ₂ O ₃	0,010	0,01	-40,20	0,01	-32,56	0,01	-19,45	
P.F.	3,00	7,88	162,77	8,82	194,10	12,45	314,94	
Soma	99,59	54,26	-	56,8	-	73,07	-	
Rb	31	10,87	-64,93	4,50	-85,50	5,13	-83,47	
Ba	507	117,97	-76,73	41,02	-91,91	50,53	-90,03	
Sr	622	3,81	-99,39	6,18	-99,01	11,72	-98,12	
Zr	288	164,73	-42,80	212,99	-26,04	317,80	10,35	
Y	32	5,98	-81,31	5,06	-84,19	7,32	-77,12	
Ga	25	18,48	-26,06	20,23	-19,07	21,97	-12,13	
Nb	26	13,59	-47,72	18,55	-28,67	30,02	15,47	
Zn	70	28,27	-59,61	43,83	-37,38	49,06	-29,91	
Cu	137	60,35	-55,95	67,44	-50,78	73,22	-46,55	
Ni	38	26,10	-31,33	16,30	-57,11	17,57	-53,75	
Co	45	17,40	-61,34	16,86	-62,53	19,77	-56,07	
As	11	0,54	-95,06	1,12	-89,78	2,20	-80,03	
Pb	4	9,79	144,65	7,87	96,69	11,72	192,90	
Cd	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mo	1	0,00	-100,00	0,00	-100,00	0,00	-100,00	
Ce	73	53,82	-26,27	82,05	12,40	57,12	-21,76	

Fonte: Produção do próprio autor (2013).

Silveira (2006) ao realizar o balanço geoquímico de um Argissolo Vermelho desenvolvido na área do Batólito Pelotas observou comportamento diferente do esperado para o Fe. Houve perdas de 26% a 17% em algumas camadas do saprólito. Já nos horizontes do solo, ocorreu uma perda próxima a 20% no horizonte BC, nos demais houve ganhos que variaram entre 14 e 27%.

Verificam-se altas e homogêneas perdas de Ca, Mg, Na e K ao longo de todo o perfil, sempre acima de 90%, com exceção do K no

P5A que ficou entre 73-82%. As altas perdas de Ca indicam a presença deste elemento em minerais de pequena resistência ao intemperismo, como os piroxênios, identificados na mineralogia dos basaltos (TESKE, 2010). A menor perda de K pode ocorrer em função de estar presente na horblenda, pois segundo Menegotto (1983) o K contido neste mineral mostra perdas sempre menores do que o Ca na passagem da rocha para os horizontes do solo. A taxa de perda de K menos acentuada no horizonte CR do P5A pode ainda ocorrer em função da fixação na estrutura das ilitas, assim como observado por Lacerda (2002). Esta fixação retarda a taxa de lixiviação sofrida por este elemento. Já no P6A o K estaria contido em um outro mineral menos resistente ao intemperismo do que a horblenda, devido à perda deste elemento estar próxima à do Ca. Diferente dos outros perfis, observa-se perdas equivalentes de Ca e Mg. Estes componentes podem estar presentes em minerais que apresentam semelhanças, porém pouca resistência ao intemperismo.

Em relação ao Ti, no P5A ocorreu perda em torno de 17% no horizonte Bi, no CR e A os dados mostram ganho deste elemento. No P6A começa com perda de aproximadamente 50% no horizonte C, a perda diminui no Bi e mostra ganho no horizonte A. No entanto as perdas de Ti são bem menores do que as de Na e K, podendo indicar sua ocorrência em minerais mais resistentes ao intemperismo.

O Mn apresentou perdas em todos os horizontes analisados do P5A e P6A, sendo de aproximadamente 50% P6A. No P5A permaneceu em torno de 68% no Bi e 23% no CR. A perda menor acentuada neste horizonte está de acordo com a forte deposição de óxidos de Mn observada na coleta do perfil (Apêndice F). Perdas de Mn em torno de 50% também foram relatadas por Lacerda (2002) e Michelon (2006), as quais foram associadas a períodos de redução que ocorrem em microssítios do perfil de solo, durante a estação mais chuvosa. No entanto Michelon (2006) também observou aumento considerável deste elemento no horizonte CR, comportamento esperado para o Mn (LELONG *et al.*, 1976), por tratar-se de um elemento supergênico com tendência de acúmulo em subsuperfície.

Assim como observado nos demais solos, nota-se o aumento de P.F. em direção à superfície, com maior valor sempre no horizonte A. Isto ocorre em função do acúmulo de matéria orgânica que é bastante elevado neste horizonte.

Analisando os elementos menores, Zr teve perdas nos horizontes inferiores e ganho na superfície. Ni e Co apresentaram

ganhos em todos os horizontes no perfil P5A, já no P6A ocorreu perda em todo o perfil.

Nas regiões de clima tropical a hidrólise dos silicatos traz como consequência a eliminação dos cátions básicos, saída parcial ou total do Si e permanência do Al. O Si não eliminado pode se recombinar com o Al residual, dando origem a minerais argilosos secundários. Assim presume-se que a geoquímica de alteração é controlada pela movimentação do Si e Al no sistema.

Como observado por Pinto (1994) o balanço geoquímico mostra em relação àqueles elementos considerados móveis, que são lixiviados, uma diminuição das perdas dos horizontes intermediários para os superficiais, ocasionando uma maior soma dos elementos após o ajuste pelo isoalumínio.

Observa-se em todos os perfis analisados variações atípicas comparadas aos dados de literatura referentes à classificação de mobilidade dos elementos (HUDSON, 1995), podendo ser associadas aos eventos erosivos-deposicionais ocasionados pelas mudanças climáticas ocorridas durante todo o período Quaternário (BIGARELLA, 1965), e que tiveram grandes influências na formação dos solos. O processo de erosão é evidenciado pela ocorrência de linhas de pedras que ocorrem em toda a região de estudo. Em alguns perfis, também a influência de colúvios pode ter ocasionado estas variações.

7 CONCLUSÕES

Os perfis de solos derivados de rochas alcalinas (P1A, P1B, P2A e P4A) e básicas (P5A e P6A) apresentaram propriedades químicas e mineralógicas similares, com baixa soma e saturação de bases, altos teores de alumínio trocável, além de uma mineralogia dominada por caulinita, indicando um ambiente de intemperismo acentuado, apesar de tratar-se de Cambissolos e Neossolos, solos relativamente mais jovens.

O perfil P3A derivado de rocha ultrabásica apresentou comportamento químico e mineralógico totalmente diferenciado dos demais. Trata-se de um solo eutrófico, com pH próximo a neutralidade, alta soma e saturação de bases, com Mg^{+2} dominando o complexo de troca, alto valor Ki, associado a uma mineralogia intempericamente imatura com predomínio de vermiculita. A gênese deste solo, também confirmada pelo balanço geoquímico, foi definida como muito recente. Trata-se de um solo formado possivelmente no Holoceno, provocado pela exumação da rocha em decorrência das mudanças climáticas, ficando exposta à ação dos agentes intempéricos.

Apesar da mineralogia indicar o predomínio de caulinita como mineral dominante nos solos derivados de rochas alcalinas e básicas, uma série de evidências, no que se refere à CTC, presença de interestratificados, caulinita assimétrica, revelam que o processo de monossilização ocorreu, porém com ambiente não fortemente lixiviado, o que também foi confirmado pelos maiores valores de Ki, maior CTC de certos horizontes e pelo balanço geoquímico.

O perfil P4A desenvolvido de fonolito porfirítico apresentou na composição mineralógica além do predomínio de caulinita a presença de talco e maiores quantidades de gibbsita.

No perfil P4A tanto o balanço geoquímico como a mineralogia revelaram contradições, indicado pela baixa perda de Si ocorrida, incompatível com a monossilização observada pela presença de caulinita, além do mineral talco que é facilmente intemperizável.

O balanço geoquímico revelou-se como um instrumento útil para avaliação do intemperismo, evidenciando perdas de Si e bases na maioria dos solos, derivados de basalto e rochas alcalinas, com certo grau de preservação de minerais 2:1. No solo derivado de rocha ultrabásica, esta ferramenta confirmou o pequeno grau de evolução, baixo intemperismo, evidenciado em função das perdas menos intensas de Si, associada à baixa taxa de perda de bases.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, E. B. Morphology, fertility and classification of productive soils on serpentized peridotite in California (USA). **Geoderma**, Amsterdam, v. 41, p.337-351, 1988.
- ALMEIDA, J. A.; MAÇANEIRO, K. C.; KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v.24, p.815-828, 2000.
- ALMEIDA, J. A.; KÄMPF, N.; ALMEIDA, R. Caracterização mineralógica de Cambissolos originados de rochas pelíticas nos patamares do Alto Rio Itajaí e no Planalto de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v.21, p.181-190, 1997.
- ALMEIDA, J. A.; KÄMPF, N.; KLAMT, E. Uso de Amidas e Hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do RS e SC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 169-175, 1992.
- ALVES, L. **Solubilização de nutrientes contidos em rochas por fungos ectomicorrízicos**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia). UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2006; 99 p.
- AQUINO, T. F. de *et al.* Caracterização físico-química de mineralógica da bauxita de Santa Catarina para a produção de refratários com baixo teor de óxido de Ferro. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Nov. 2006. Resumos, CD-Rom.
- AUMOND, J. J.; SCHEIBE, L. F. O Fonolito de Lages – Santa Catarina, um Novo Fundente Cerâmico Brasileiro. **Cerâmica Industrial**, 01(02) Maio/Junho, 1996.
- AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmeclita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (Ed). **Química e mineralogia do solo**. Parte I – Conceitos básicos. SBCS, Viçosa, Minas Gerais, p. 381-426, 2009.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (eds.). **Matéria orgânica do solo: fundamentos e caracterização**. Porto Alegre, Gênese, p.9-26. 1999.

BARNHISEL, R. I.; BERTSCH, P.M. Chlorites and hydroxy-interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, **Soil Science Society of America**, 1989. p.729-788.

BARSHAD, I. Chemistry of soil development. In: BEAR, F. E. **Chemistry of the soil**. 2. ed. American Chemical Society, Monograph Series. New York. 1964. 515 p.

BENNEMA, J. The calculation of CEC for 100 grams Clay (CEC 100) with correction for organic carbon. In: BENNEMA, J. **Report to the government of Brazil on classification of brazilian soils**. Rome: FAO, (FAO. EPTA, 2197). 1966. 83 p.

BEHLING, H.; PILLAR, V D.; BAUERMAN, S G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p. 235-248, 2005.

BEHLING, H. South and Southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 177, p. 19-27, 2002.

BEHLING, H. Investigations into the Late Pleistocene and Holocene history of vegetation and climate in Santa Catarina (S Brazil). **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 4, p. 127-152, 1995.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.K.; SILVA, J.Z. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, Curitiba, n. 16-17, 1965. p. 84-116.

BOYER, J. Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos. Salvador, **Inst Geoc. da UFBA**. 1985. 311 p.

BORCHARDT, G. Smectitas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B., eds. **Minerals in soils environments**. 2. ed., Soil Science Society of America, Madison, 1989. p.675-718.

BRANTLEY, S. L.; MELLOTT, N. P. **Surface area and porosity of primary silicate minerals**. *American Mineralogist* 85(11-12): 1767-1783. 2000.

BUGIN, A.; SOSTER, G.; VIEIRO, J. M. Plano diretor da recuperação ambiental das áreas degradadas do canteiro de obras da Usina hidrelétrica de Machadinho. **Anais**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre. 2000.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Salvador: Bureau Gráfica, 1995. 239p.

CASTRO, J. C. **Coluna White**: estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de Santa Catarina - Brasil. Florianópolis: Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, (Séria Textos Básicos de Geologia e Recursos Minerais de Santa Catarina, 4). 1994. 68p.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, SP. v. 30, p.49-60, 1955.

CENTURION, J. F. *et al.* Características de Latossolos Roxos desenvolvidos de rochas alcalinas e básicas de Jaboticabal, SP. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.52(2), p.226-232, mai/ago, 1995.

CHADWICK, A. O.; BRIMHALL, G. H.; HENDRICKS, D. M. From a Black to a Gray Box a mass balance interpretation of pedogenesis. **Geomorphology**, v. 3; 1990.

CHITTLEBOROUGH, D. J.; WALKER, P. H. Crystallinity of soil kaolinites in relation to clay particle-size and soil age. **Journal of soil Science**, London, v. 39, n. 1, p. 81-86, 1988.

COMIN-CHIARAMONTI, P. *et al.* Geochemistry and geodynamic implications of the Anitápolis and Lages alkaline-carbonatite

complexes, Santa Catarina state, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32 (1), p. 43-58, 2002.

CORRÊA, J. **Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2003. 146 p.

CORTI, G.; SANJURIO, M. J. F.; UGOLINI, F. C. Randomly interstratified kaolinite-smectite from Galicia (NW Spain): a new procedure for determination. **Clays and Clay Minerals**. Clarkson, v. 46, n.6, p.705-711, 1998.

CREACH, M. *et al.* Estudo geoquímico do intemperismo do Escarnito Cuprífero de Santa Blandina (Itapeva, SP): Acumulação supérgena do cobre em meio laterítico. **Geochim. Brasil.**, v.6 (1), p. 55-76, 1992.

CUNHA, M. do C. L.; DANI, N.; FORMOSO, M. L. L. A importância do estudo biogeoquímico na mobilidade dos elementos residuais em ambiente supergênico. **Revista Brasileira de Geociências**, v.20 (1-4), p. 173-177, março/dezembro 1990.

CURI, N.; KÄMPF, N. Caracterização do solo. In: **Pedologia: Fundamentos**. KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. Viçosa, MG: SBCS, 2012. p. 147-169

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 51, p.153-158, 1987.

DALCIN, G. **Seleção de microrganismos promotores da disponibilidade de nutrientes contidos em rochas, produtos e rejeitos da mineração**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), UFSC, Florianópolis, 2008. 100 p.

DALMOLIN, R. S. D.; *et al.* Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climosequence in southern Brazil. **European Journal of Soil Science**, v. 57, n. 5, p. 644-654, out. 2006.

DANI, N. **Alteração supergênica de rochas alcalinas na região de Lages, Santa Catarina; formação de bauxita**. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1988. 240p.

DEMATTÊ, J. L. I. *et al.* Estimativa da evolução do intemperismo mediante ganho e perdas de íons numa sequência de solos desenvolvidos de diabásio e influenciados pela drenagem em Piracicaba, São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, São Paulo, v.15, p. 69-73, 1991.

DICK, D.P. **Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B latossólicos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986. 196p.

DOKUCHAEV, V. V. **The problem of the reevaluation of the land in European an Asiatic and Asiatic Russia**. Moscow, 1898.

DOUGLAS, L.A. Vermiculites. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.635-674.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 221 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. SANTOS, H. G. dos. *et al.* Brasília, DF, Embrapa/CNPS, 3 ed. 2013. 353p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2008. 230 p.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil: morphology, Genesis and classification**. New York: J. Willey & Sons, 1989. 345p.

FANNING, D. S. *et al.* Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S.B. (eds.). **Minerals in soil Environments**. Madison: SSSA, p. 551-634, 1989.

FREITAS, M. A. (org.). **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina**: Projeto Oeste de Santa Catarina/Organizado por Marcos A. de Freitas; Bráulio R. Caye; José L. F. Machado. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/DAS-SC/EPAGRI. 2003. 100p.

GERGELY, A. J. *et al.* Rochas Ígneas. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. de at al. **Decifrando a Terra**. São Paulo, Oficina de Textos. 2000. 557 p.

GOMES, M. A. F; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Classificação das áreas de recarga do sistema Aquífero Guarani no Brasil em domínios pedomorfoagroclicmáticos - Subsídios aos estudos de avaliação de risco de contaminação das águas subterrâneas. **Revista do departamento de geografia**. FFLCH, n 18, p.67-74, 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 8. ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2010. 396p.

HUDSON, B. D. Reassessment of Polynov ' s Ion Mobility Series. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 59:1101-1103, 1995.

HUGEN, C. **Valores de referência para teores de Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em solos do Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo), UDESC, Lages, 2010. 70 p.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York, McGraw-jill, 1941. 282 p.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: **Pedologia: Fundamentos**. KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. Viçosa, Minas Gerais: SBCS, 2012. p. 81-145.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (eds.). **Química e mineralogia do solo** (Parte I - Conceitos básicos). Viçosa, MG, SBCS, v.1, 2009, p.573- 610.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Minas Gerais: SBCS, v.1, 2000. p. 81-138.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern of Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, v.29, p. 27-39, 1983.

KARATHANASIS, A. D. *et al.* Stability relationships in kaolinita, gibbsite and Al-hydroxy interlayered vermiculite soil systems. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 47:1247-1251. 1983.

KARATHANASIS, A. D. Compositional and solubility relationships between aluminumhydroxyinterlayered soilsmeectites and vermiculites. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1500-1508, 1988.

KEHRIG, A. G. As relações Ki e Kr no solo. Rio de Janeiro: IQA **Boletim do Instituto de Química Agrícola**, n. 13, 1949, 67 p.

KIRSCH, H. **Mineralogia aplicada**. (Tradução: Rui Ribeiro Franco). São Paulo, Polígono, 1972, 291 p.

LACERDA, M. P. C. *et al.* Pedogeoquímica em perfis de alteração na região de Lavras (MG). I – Elementos maiores - óxidos constituintes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v.26, p.75-85, 2002.

LEDRU, M. P. Late quaternary environmental and climatic changes in Central Brazil. **Quaternary Research**, Washington, v.39, p. 90-98, 1993.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. do. **Geologia geral**. São Paulo: Nacional, 1985, 397p.

LELONG, F; TARDY, Y.; GRANDIN, G.; TRESCASES, J. J.; BOULANGE, B. Pedogenesis, chemical weathering and processes of formation of some supergene ore deposits. In: WOLF, K. H. Ed. **Handbook os strata-bound and stratiform ore deposits, I principles and general studies**, Amsterdam, Elsevier, v.3, 1976. p. 93-173.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 4. ed. Viçosa: SBSC/ CNPS, 2002. 83 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. p.19-48.

LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soils**. New York, Wiley-Interscience, 1979. 449 p.

MACHADO, R.; TEIXEIRA, W. Idades ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) do magmatismo alcalino do domo alcalino de Lages, SC. IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados. Foz do Iguaçu, PR, 08-11/04, 2008.

MACHADO, C. T. T.; RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S. *et al.* **Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de K para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30, 2005, Recife. Resumos, Recife, SBSC/UFRPE, 2005. CD-Rom.

MC GRATH, S. P.; SMITH, S. Chromium and nickel. In: ALLOWAY, B. J. (ed.). **Heavy metals in soils**. London, Blackie and Son, 1990, p. 12-150.

MEHLICH, A. **The Significance of Percentage Base Saturation and pH 1 N Relation to Soil Differences**. Soil Science Society of America Proceedings. Wisconsin, USA. v: 7, p. 167-173, 1942.

MEHRA, O. P.; JACKSON, K. L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: National Conference on Clay and Clay Minerals, 7, 1958. Proceedings, Washington, p. 317-327. 1960.

MELFI, A. J. Características geoquímicas e mineralógicas dos estádios iniciais da alteração superficial das rochas ultrabásicas de Barro Alto (GO). **Boletim IG, Instituto de Geociências, USP**, v.5, p.117-128, 1974.

MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais

tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 7, p. 271-286, 1977.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos cauliniticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p. 597-603, 2004.

MELO, V. de F.; MATTOS, J. M. S. M.; LIMA, V. C. Métodos de concentração de minerais 2:1 secundários na fração argila visando sua identificação por Difractometria de Raios X. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, n. 3, p. 527-539, 2009.

MENDES, V. J.; PETRI, S. **Geologia do Brasil**. Ministério da Educação e Cultura/Instituto Nacional do Livro. Brasília, 1975, 207p.

MENEGOTTO, E. Intemperização de rochas ultrabásicas no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 3, p.178-189. 1983.

MENEGOTTO, E.; GASPARETTO, N.V.L. Intemperização de rochas vulcânicas básica e ácidas na região de Santa Maria-RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1, 1987, **Anais...** 1987. v.2, p. 69-83.

MICHELON, C. R. **Balanco químico em seis conjuntos solo-saprólito do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). UFSM, Santa Maria, 2006. 68 p.

MIGUEL, F. G.; SILVA, W. L. Fracionamento geoquímico de rochas básicas da formação Serra Geral, Bacia do Paraná, como subsídio ao balanço de massa em perfis de solos. XVII Congresso interno de iniciação científica da Unicamp, 2009, São Paulo. **Anais eletrônicos**, 2009. Disponível em: <http://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xviiicongresso/paineis/043770.pdf>. Acesso em 20 fev.2013.

MONIZ, A. C.; CARVALHO, A. Sequência de evolução de solos derivados do arenito Bauru e de rochas básicas da região noroeste do Estado de São Paulo. **BRAGANTIA**, Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Campinas, v. 32, nº 17, Nov. 1973.

MONIZ, A. C.; JACKSON, M.L. Quantitative mineralogical analysis of Brazil soils derived from basic rocks and slates. **Wisconsin Soil Science Report**. v. 212, 1973.

MOREIRA, H. L.; OLIVEIRA, V. Á. de. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico Concrecionário Êtrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1683-1690, 2008.

NAKATA, H.; COELHO, M. de A. **Geografia geral**. 2. ed. São Paulo, Moderna, 1986.

OLIVEIRA, J. B. Fatores de formação. In: MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Polígono, p. 275-288, 1972.

OLIVEIRA, S. M. B.; TRESCASES, J. J. Geoquímica da alteração supérgena das rochas ultramáficas de Santa Fé (Goiás - Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 10, n. 4, p. 243-257, 1982.

OLIVEIRA, S. M. B.; TRESCASES, J. J. O Depósito de Níquel de Jacupiranga (SP): Evolução mineralógica e geoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n.3, p.249-254, 1985.

OLIVEIRA, S. M. B. Gênese da Bauxita de Lages, SC. **Bol. IG-USP**, Série Científica, v. 16, p.46-81, 1985.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 2. ed. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p.

OSTERROHT, M. Rochagem: Pra quê? In: ROCHAGEM-I: adubação com rochas silicatadas moídas. **Revista Agroecologia Hoje**, ano IV, n. 20, Agosto/Setembro, 2003.

PALMIERI, F.; LARACH, J. O. I. Capítulo 2: Pedologia e Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 8. ed. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 210. 396p.

PEDRON, F. A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**.

Tese (Doutorado em Ciência do Solo - Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo). UFSM, Santa Maria. 2007. 160p.

PELUSO JÚNIOR, Vi. A. **Aspectos geográficos de Santa Catarina**. Florianópolis: FCC/UFSC, 1991. 284p.

PINTO, L. F. S. **Evolução de solos originados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). UFRGS, Porto Alegre, RS. 1994. 208 p.

PINTO, L. F. S.; KÄMPF, N. Solos derivados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 20, p 447-458, 1996.

PINTO, L. F. S.; KÄMPF, N. Balanço geoquímico de solos derivados de rochas básico-ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 651-658, 1997.

PORTO, C. G. Intemperismo em Regiões Tropicais. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio Ambiente**. 8ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2010. p. 25-57.

QUAGGIO, J. A. Métodos de laboratório para a determinação da necessidade de calagem em solo. In: Reunião Brasileira de Pesquisa Agropecuária, v.15. Campinas. **Anais**. SBCS, p. 33-46. 1983.

QUEIROZ NETO, J. P. de. Proposição de uma tipologia dos materiais de origem dos solos do Sudeste do Brasil. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.14, n. 27/28, p.77-94, 1974.

QUINN, J. H. Paired river terraces and pleistocene glatiation. **The Journal of Geology**, Chicago, v.65, p. 149-166, 1957.

RAIJ, B. V.; CAMARGO, A. P.; CANTARELLA, H.; SILVA, N. M. Alumínio Trocável e Saturação em Bases como Critério para Recomendação de Calagem. **Revista Científica do Instituto Agrônomo**, Campinas, São Paulo. Artigo nº 13, v, 42, p. 149-156, 1983.

RAMOS, M. A. B. *et al.* Mudanças Climáticas. In: SILVA, C. R. da. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, p. 164-173. 2008.

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: base para distinção de ambientes.** Viçosa, 2002, 338 p.

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

RESENDE *et al.* **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações.** Lavras: Ed. UFLA, 2005. 192 p.

RICCOMINI, C.; VELÁZQUEZ, V. F.; GOMES, C. B. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian Platform. In: GOMES, C. B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. **Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform.** São Paulo: EDUSP-FAPESP, p. 31-55, 2005.

RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B. de.; ARAÚJO FILHO, J. C. de. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos.** Viçosa, Minas Gerais: SBCS, p. 47-79, 2012.

ROBERT, M.; BERTHELIN, J. Role of Biological and Biochemical Factors in Soil Mineral Weathering. In: HUANG, P.M.; SCHNITZER, M. (Ed.) **Interactions of Soil Minerals With Natural Organics and Microbes.** Madison: SSSA, p. 453-496, 1986.

ROLDAN, L. F. **Tectônica rúptil meso-cenozóica na região do Domo de Lages, SC.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica), USP, São Paulo, 2007, 131 p.

ROLDAN, L. *et al.* Análise de lineamentos estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de imagens de satélite e mapas de relevo sombreado. **Revista do Instituto de Geociências - USP.** Geol. USP, Série Científica, São Paulo, v.10, n.2, p.57-72, julho 2010.

ROTTA, C.L. Noções Gerais de Geologia. In: MONIZ, A. C. (coord.). **Elementos de Pedologia**. São Paulo, EDUSP, 1972. p.289-303.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **Critérios e Técnicas para o Quaternário**. São Paulo: Edgard Blucher, 2007.

SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Nefelina Sienito. CT2005-139-00. Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro, CETEM, 2005.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96p.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística. **Atlas de Santa Catarina**. Rio de Janeiro Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

SANT'ANA NETO, J. L.; NERY, J. T. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: SOUZA, C. R. de G. *et al.* (Ed). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto, p. 28-51. 2005.

SANTOS, A. M. Alguns dados geoquímicos sobre solos do Brasil: uso potencial do pó de pedreira como fonte de nutrientes críticos em solos altamente lixiviados. In: CONGRESSO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, SBG. Boletim de resumos, p.160-161. 1976.

SANTOS, P. S. *et al.* Preparação de sóis aquosos de pseudoboemita com fibrilas de comprimentos diferentes. **Cerâmica**, n. 55, p. 135-144, 2009 (a).

SANTOS, P. S. *et al.* Hydrothermal Synthesis of Well-Crystallised Boehmite Crystals of Various Shapes. **Materials Research**, v. 12, n. 4, p.437-445, 2009 (b).

SAWNEY, B. L. Interstratification in layer silicates. In: DIXON, J. B.; WEDD, S. B. (Ed) **Minerals in soil environments**. Madson: SSSA, p.789-828. 1989.

SCHEIBE, L. F.; GOMES, C. B.; COUTINHO, J. M. V. Caracterização petrográfica das rochas alcalinas de Lages, SC: XXXIII Congresso Brasileiro Geologia 1984, **Anais**, RJ, IX: 4377-4391. 1984

SCHEIBE, L. F. **Geologia e petrologia do distrito alcalino de Lages, SC**. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986, 224p.

SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J. W.; GOODMAN, B. A.; SCHWERTMANN, U. (eds.). **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht: Nato Advanced Study Institute, p.203-250, (NATO 451 studies), 1988.

SCHWERTMANN, U. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: STUCKY J. W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U. **Iron in soils and clay minerals**. Holland: D Reidel, 1985. p. 267-308.

SCHWERTMANN, U.; HERBILLON, A. J. Some aspects of fertility associated with mineralogy of highly weathered tropical soils. In: LAL, R.; SANCHES, P. A. (eds.). **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: Soil Science Society of America, cap. 2, p. 47-59. 1992.

SILVA, L. C. da.; BORTOLUZZI, C. A. (Eds.). **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina -E = 1:500.00. Florianópolis**. 11º Distrito do DNPM, Coordenadoria de Recursos minerais da Secretaria da Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, Série textos básicos de geologia e recursos minerais de Santa Catarina, 216 p. 1987.

SILVA, M. L. M. de C. **Caracterização química e mineralógica dos produtos da alteração intempérica das metabásicas de Nazaré Paulista-SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências), UNICAMP Campinas, 1989, 155 p

SILVEIRA, R. J. C. da. **Correlação geopedológica em solos de área do Batólito Pelotas**. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Pelotas, 2006, 146 p.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil. In: Selected papers in soil formation and classification. In: DREW, J. V. (ed.). SSA

Special Publication Séries N. 1. **Soil Science Society of America**, Inc. Publisher. Madison. Wisconsin. USA. p. 301-310, 1967.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil Genesis. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** 23, p.152-156, 1959.

SOMMER, M.; STHAR, K. The use of element: Clay-ratios assessing gains and losses of iron, manganese and phosphorus in soil of sedimentary rocks on a landscape. *Geoderma*, V. 71, p. 173-200, 1996.

SOUZA, T. L. de. **A distribuição do Níquel em perfis de alteração de rochas ultramáficas, Complexo Cambaizinho, Bloco São Gabriel, RS.** Monografia. Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2011, 73 p.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils.** University of California at Berkeley. Oxford University Press. New York, 1989.

SZABÓ, G. A. J. *et al.* Rochas Igneas. In: TEIXEIRA, W. *et al.* (org). **Decifrando a Terra**, Oficina de Textos. São Paulo, p. 327-346, 2000.

TARDY, Y. Geoquímica Global: oscilações climáticas e evolução do meio ambiente desde quatro bilhões de anos. *Estudos avançados*, vol. 11, n. 30, PP.149-173. ISSN 0103-4014. 1997. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S103-40141997000200011>. Acesso em: 15 fev. 2013.

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

TEIXEIRA, A. M. S. *et al.* Caracterização e classificação quanto ao risco ambiental do estéril da mina de cromita do município de Andorinha, Bahia. **Química Nova**, v. 35, n. 9, São Paulo, p. 1794-1799, 2012.

TESKE, R. **Relações solo - litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2010. 121 p.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de textos. 2000. Reimpressão 2001. 568p. p. 139-166.

TOMAZELLO FILHO, M. & KRÜGNER, T. L. **Aspectos da associação micorrízica em *Pinus* spp.** Instituto de Pesquisas Florestais, Departamento de Silvicultura da ESALQ-USP, Piracicaba. Série Técnica, ISSN – 0100-8137. v. 3, n. 9, p.1-32, 1982.

TREMOCOLDI, W.A. Mineralogia dos silicatos e dos óxidos de ferro da fração argila de solos desenvolvidos de rochas básicas no Estado de São Paulo. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 15-22, jan-mar 2003.

TRESCASSES, J. J. **L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale et la formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie** (Thèse). L'Université Louis Pasteur de Strasbourg. C.N.R.S., édit. Paris, 1973, 347p.

UFSC; SUDESUL. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina (1 parte). Universidade Federal de Santa Maria, v.2, n.1/2, p.11-248, jan/jun 1973. 494p.

VAN WAMBECKE, A. R. Le rapport limin/argile, mesure approximative du stade d'alteration des materiaux originels des soles tropicaux. In: **Conf. Inter. Sols**. Dalaba, 3ème, p. 161-167. 1959.

VIDAL-TORRADO, P.; MACIAS, F.; CALVO, R. Gênese de solos desenvolvidos de rochas ultramáficas serpentinizadas no sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.523-541, 2006.

VIDAL-TORRADO, P. *et al.* Evolução geoquímica e mineralógica em perfis de alteração sobre rochas serpentinizadas no Sudoeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1069-1083, 2007.

VIEIRA, L. S. **Manual da ciência do solo: com ênfase aos solos tropicais**. São Paulo, 2. ed. Agronômica Ceres, 1988. 464p.

VOLKMANN, A. Estudos de rotas de beneficiamento da nefelina-sienito para aplicação como fundente na massa cerâmica do porcelanato. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais), UFGRS, Porto Alegre, 2004, 116 p.

WEFERS, K.; MISRA C. **Oxides and Hydroxides of Aluminium**. Alcoa Labs. Alcoa Center, Pennsylvania, EUA, 1987, 50 p.

WHITE, R. E. **Princípios e práticas da ciência do solo**: o solo como recurso natural. 4. ed. Editora Andrei, 2009, 426 p.

WILSON, M. J. A gibbsite soil derived from the weathering of on ultrabasic rocks on the island of Rhum. **Scott. J. Geol.** S. 81-89. 1969.

ZIMBACK, C. R. L. **Formação dos solos**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2003. Disponível em: www.pessoal.utfpr.edu.br/zanello/arquivos/Formacao_do_solo.pdf. Acesso em: 15 mar. 2009.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Perfil P1A (A1 - Descrição Geral, A2 - Descrição morfológica, A3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE B – Perfil P1B (B1 - Descrição Geral, B2 - Descrição morfológica, B3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE C – Perfil P2A (C1 - Descrição Geral, C2 - Descrição morfológica, C3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE D – Perfil P3A (D1 - Descrição Geral, D2 - Descrição morfológica, D3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE E – Perfil P4A (E1 - Descrição Geral, E2 - Descrição morfológica, E3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE F – Perfil P5A (F1 - Descrição Geral, F2 - Descrição morfológica, F3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE G – Perfil P6A (G1 - Descrição Geral, G2 - Descrição morfológica, G3 - Atributos Físicos e Químicos).

APÊNDICE A - Perfil P1A

A1 - Descrição Geral

DATA: Agosto de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: NEOSSOLO REGOLÍTICO Húmico típico.

LOCALIZAÇÃO: às margens da BR 282 trecho Lages - Florianópolis, 7,5 km de Lages, barranco ao lado direito. Lages/SC, 27° 46' 43,8" S e 50° 13' 55,4" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: topo de elevação, declive aproximado de 20%.

ALTITUDE: 970 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Domo Alcalino de Lages, Fonolito.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfb de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Rodrigo Teske, Ezequiel Saretta.

A2 - Descrição Morfológica

- A 0-16/20 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmido) e bruno-escuro (10 YR 3/3, seco); argila; moderada, pequena, média, granular; muito friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- AC 16/20-42/60cm; bruno escuro (10 YR 3/3, úmido) e bruno (10 YR 4/3, seco); argila; fraca, pequena, granular; muito friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e irregular/quebrada.
- C1 42/60 - 70/80cm; bruno amarelado (10 YR 5/8, úmido) e amarelo brunado (10 YR 6/6, seco); argila; maciça; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso, ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- C2 70/80-120/130+; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 7/6 seco); argila; maciça; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.

RAÍZES: Muitas, fasciculares, finas e médias no A; comuns, fasciculares, finas no AC; poucas, fasciculares, finas no C1; ausentes no C2 e C3.

OBSERVAÇÕES: horizonte AC composto de material do A em mistura com grande quantidade de cascalhos centimétricos representados por fragmentos de fonolito semi-intemperizado de cor esbranquiçada. Horizonte C1 apresenta crostas duras perpendiculares e transversais de cor esbranquiçada com nucleações pretas, com algumas partes rosadas. Crostas com aproximadamente 1-3 cm de espessura. No C2 núcleos de cor esbranquiçada branco rosada.
C3 - não coletado.

APÊNDICE B - Perfil P1B

B1 - Descrição Geral

DATA: Agosto de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico úmbrico.

LOCALIZAÇÃO: às margens da BR 282 trecho Lages - Florianópolis, 7,5 km de Lages, barranco ao lado direito. Lages/SC, 27° 46' 43,8" S e 50° 13' 55,4" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: topo de elevação, declive aproximado de 20%.

ALTITUDE: 970 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Domo Alcalino de Lages, Fonolito.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfb de Köeppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Rodrigo Teske, Ezequiel Saretta.

B2 - Descrição Morfológica

- A 0-28/38cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2 úmido) e bruno-escuro (10 YR 3/3 seco), mosqueados (5 YR 6/6 úmido); argila; moderada, pequena e média, granular e fraca, pequena blocos sub-angulares; muito friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- AB 28/38-40/53cm; bruno-escuro (10YR 3/3 úmido) e bruno (10 YR 4/3 seco), mosqueado amarelo-avermelhado (5 YR 6/6 úmido); muito argiloso; fraca, pequena e média, blocos sub-angulares; friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara a ondulada.
- B 40/53-70/75cm; bruno-amarelado (10YR 5/6 úmido) e amarelo-brunado (10 YR 6/6 seco); argila; fraca, média, blocos sub-angulares; friável, duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.
- BC 70/75-95/125cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8 úmido) e amarelo (10 YR 7/6 seco); argila; fraca, grande, blocos sub-angulares; firme, duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara.
- C1 195/125-155cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6 úmido) e rosado (7,5 YR 7/4 seco), mosqueados amarelo-brunado (10 YR 6/8 úmido); franco argilosa; maciça; firme, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição difusa e plana.
- C2 155/210+cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6 úmido) e rosado (7,5 YR 7/3 seco), mosqueados (10 YR 6/8 úmido); franco argilosa; maciça; firme, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.

RAÍZES: muitas, comuns, fasciculares e finas no A; poucas, fasciculares no AB; raras, fasciculares, finas no B; ausentes no BC, C1 e C2.

OBSERVAÇÕES: presença expressiva de calhaus e matacões no horizonte A. Presença intensa de cascalhos no contato entre A e AB. Fragmentos de rocha intemperizada de cor branca (esbranquiçada) na base do A e no AB, poucos no B. idem no BC. No C1 muitos núcleos de cor esbranquiçada branco rosada, que se apresentam igualmente no C2,

diferindo do C1 por apresentar maior concentração de núcleos alterados de cor amarelada. Nos materiais de cor mais esbranquiçada intensa presença de núcleos com concentrações de óxidos de manganês.

B3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/Argila	
Simb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila				
		-g kg ⁻¹ -							%		
A	0 - 28/38	130	430	440	210	240	550	330	40	0,4	
AB	28/38 - 40/53	0	190	810	220	140	640	360	44	0,2	
B	40/53 - 70/75	0	80	920	180	320	500	0	100	0,6	
BC	70/75 - 95/125	0	100	900	210	350	440	0	100	0,8	
C1	95/125 - 155	0	80	920	260	370	370	0	100	1,0	
C2	155/210+	0	50	950	320	380	300	0	100	1,3	
Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O	KCl 1N	-cmol _c Kg ⁻¹ -							%		
4,6	3,6	1,2	1,3	0,53	0,00	3,0	3,72	10,1	13,2	22,9	55
4,4	3,6	0,5	0,2	0,09	0,00	0,8	4,84	12,2	13,0	6,1	86
4,5	3,6	0,3	0,2	0,09	0,01	0,6	8,57	11,8	12,4	4,7	94
4,9	3,6	0,3	0,2	0,10	0,05	0,6	9,65	11,3	11,9	5,3	94
5,3	3,6	0,5	0,3	0,26	0,06	1,1	9,26	10,6	11,7	9,4	89
5,3	3,7	0,3	0,2	0,37	0,03	0,9	9,65	14,6	15,5	5,8	91
C Org.		Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃				
---g kg ⁻¹ ---		-----g kg ⁻¹ -----			(Ki)	(Kr)	Fe ₂ O ₃				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃							
		438	300	44	2,5	2,3	10,6				
		471	282	45	2,9	2,6	9,9				
		569	296	39	3,3	3,0	12,0				
		581	293	38	3,4	3,1	11,9				
		587	353	43	2,8	2,6	12,8				
		588	302	39	3,3	3,0	12,1				

APÊNDICE C - Perfil P2A

C1 - Descrição Geral

DATA: Setembro de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÚMICO Alúminico típico.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia SC Lages - Palmeira, entrar a direita Estrada vicinal município de Lages, Localidade Cadeados, percorrer 5,7 km, entrando a esquerda, percorrer 850 m. Lages/SC, 27° 38' 37,4" S e 50° 09' 51,3" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: terço superior da encosta, próximo ao topo da elevação, declividade 12%.

ALTITUDE: 923 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Domo Alcalino de Lages, Sienito.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha supracitada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ombrófila mista (xaxins, araucárias, amora, goiaba serrana).

USO ATUAL: Mata.

CLIMA: Cfb de Köppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Rodrigo Teske, Samara Alves Testoni.

C2 - Descrição Morfológica

- A 0-23cm; bruno-escuro (10YR 3/3 úmido) e bruno (10 YR 4/3 seco); argila; moderada, pequena a muito pequena, granular e fraca, média blocos sub-angulares; friável, firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
- AB 23-36cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4 úmido) e bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4 seco); argila; fraca a moderada, média blocos sub-angulares; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
- BA 36-57cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/6 úmido) e bruno-amarelado (10 YR 5/6 seco); muito argiloso; fraca a moderada, média blocos sub-angulares e fraca a moderada pequena granular; cerosidade fraca e pouca; friável, duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
- B 57-82/93cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4 úmido) e bruno amarelado (10 YR 5/4 seco), mosqueados (5 Y 8/2 úmido); muito argiloso; fraca a moderada, média blocos sub-angulares e fraca a moderada pequena granular; cerosidade fraca e pouca; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.
- BC 82/93-110/135cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/6 úmido) e amarelo-brunado (10 YR 6/6 seco); muito argiloso; fraca, média e pequena blocos sub-angulares; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição abrupta e ondulada.
- CR 110/135+cm; amarelo-brunado (10YR 6/6 úmido) e bruno-amarelado-claro (10 YR 6/4 seco); franco arenoso; maciça; friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição abrupta e ondulada.

RAÍZES: comuns, fasciculares, finas no A e AB; poucas, fasciculares, finas no BA e B; raras, fasciculares no BC.

OBSERVAÇÕES: alguns fragmentos de sienitos semi-alterados no volume do perfil, principalmente nos horizontes B e BC. No contato solo saprólito intensa deposição de óxidos de manganês, que se

distribuem transversalmente no saprólito. Intensa atividade de cupins e formigas até o horizonte BA.

Coleta de horizonte CR (saprólito) em barranco na beira da estrada vacinal cadeados.

C3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/Argila	
Simb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila				
		-----g kg ⁻¹ -----							%		
A	0-23	0	10	990	180	360	460	300	35	0,8	
AB	23-36	0	0	1000	130	290	580	460	21	0,5	
BA	36-57	0	0	1000	130	210	660	490	26	0,3	
B	57-82/93	0	10	990	140	240	620	0	100	0,4	
BC	82/93-110/135	0	10	990	140	260	600	0	100	0,4	
CR	110/135+	0	10	990	580	280	140	0	100	2,0	
Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O	KCl 1N	-----cmolc Kg ⁻¹ -----							%		%
4,3	3,5	0,9	1,1	0,78	0,0	2,8	4,9	14,6	17,4	16,6	63
4,1	3,4	0,4	0,3	0,47	0,0	1,2	6,7	14,1	15,3	7,8	87
4,3	3,5	0,3	0,2	0,36	0,0	0,8	7,1	12,1	12,9	6,2	91
4,5	3,5	0,4	0,2	0,30	0,0	0,9	7,0	10,7	11,6	7,7	88
4,6	3,5	0,4	0,1	0,28	0,0	0,8	7,1	10,7	11,5	6,9	90
4,8	3,7	0,5	0,2	0,26	0,0	1,0	7,0	9,5	10,5	9,5	88
C Org.		Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃					
-----g kg ⁻¹ -----		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	(Ki)	(Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃				
		-----g kg ⁻¹ -----									
39,0		420	236	73	3,0	2,5	5,0				
19,7		419	235	84	3,0	2,5	4,4				
13,5		390	250	85	2,7	2,2	4,6				
10,0		446	278	84	2,7	2,3	5,2				
9,0		439	272	78	2,8	2,3	5,5				
6,0		227	195	76	2,0	1,6	4,0				

APÊNDICE D - Perfil P3A

D1 - Descrição Geral

DATA: Outubro de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CHERNOSSOLO HÁPLICO Órtico típico.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia SC Lages - Otacílio Costa, entrar a direita em direção a localidade de cadeado, percorrer 9,6 Km, entrando a direita mais 3,4 km até a localidade de Mato escuro na pedreira do Deinfra, entrar 600 m a esquerda até o perfil. Palmeira/SC, 32° 09' 39,8" S e 50° 05' 31,2" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: topo de elevação com mata secundária, declive de aproximadamente 22%.

ALTITUDE: 930 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Domo Alcalino de Lages, Flogopitito ou Olivina Melilitito.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha supracitada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Forte Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta ombrófila mista.

USO ATUAL: Mata.

CLIMA: Cfb de Köppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Samara Alves Testoni.

D2 - Descrição Morfológica

- O 3-0cm.
- A 0-18cm; preto (10 YR 2/1 úmido) e cinzento muito escuro (10 YR 3/1 seco); franco; moderada a forte e muito pequena granular; muito friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- AB 18-25/30cm; bruno muito escuro (10 YR 2/2 úmido) e bruno-escuro (10 YR 3/3 seco); franco; moderada média e pequena granular: muito friável, ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- BA 25/30-50/55cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4 úmido) e bruno-amarelado (10 YR 5,5/4 seco); franco; Fraca a moderada, média e pequena blocos subangulares: friável, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.
- B 50/55-92/100cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4 úmido) e bruno-amarelado (10 YR 5/4 seco); franco argiloso; moderada a fraca, média e grande blocos angulares e subangulares e moderada grande prismática; cerosidade moderada e comum, principalmente na face dos prismas; friável, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.
- BC 92/100-120/130cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/6 úmido) e bruno-oliváceo (2,5 Y 4/4,5 seco); franco; moderada grande prismática que se desfaz; moderada a fraca, grande blocos angulares e subangulares; blocos ligeiramente inclinados em relação ao prumo do perfil: friável, muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- C1 120/130-155+cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/6 úmido) e cinzento-oliváceo-claro (2,5 Y 5/4 seco); franco; fraca grande prismática que se desfaz, fraca grande blocos angulares e subangulares: friável, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.
- C2 200-220cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/6 úmido) e cinzento-oliváceo-claro (2,5 Y 5/4,5 seco); franco argilo arenoso; friável, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.

RAÍZES: Abundantes, fasciculadas, médias e finas no A e AB; muitas, fasciculadas, médias e finas no BA e B; Comuns, fasciculadas, médias e raras pivotantes grossas no BC; raras, médias no C1.

OBSERVAÇÕES: Intensa atividade biológica no BA e no B, com presença de canais grandes e pequenos de cupins no BA e B. Acumulações localizadas de material orgânico entre as faces de prismas e blocos, principalmente no B. Aumento na quantidade de cristais de flogopita presentes na superfície e no interior dos pedrs a partir da base do B até o C1. Superfícies de compressão presentes na base do B, BC e no C1.

C2 - coletado com trado

D3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/ Argil
Simb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila			
		gkg ⁻¹							%	
O	3-0	0	0	1000	-	-	-	-	-	-
A	0-18	0	0	1000	400	430	170	100	41	2,5
AB	18-25/30	0	0	1000	360	440	200	130	35	2,2
BA	25/30-55/55	0	0	1000	400	380	220	160	27	1,7
B	50/55-92/100	0	0	1000	290	350	360	280	22	1,0
BC	92/100-120/130	0	0	1000	380	350	270	200	26	1,3
C1	120/130-155+	0	0	1000	430	330	240	160	33	1,4
C2	200-220	0	0	1000	600	180	220	120	46	0,8

Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O KCl 1N		cmolc Kg ⁻¹							%		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6,1	5,1	2,4	5,3	1,06	0,07	8,8	0	5,2	14,0	63,0	0
6,4	4,8	1,9	5,9	1,19	0,08	9,0	0	3,7	12,8	71,0	0
6,5	4,3	1,6	6,8	0,53	0,05	9,0	0	4,3	13,3	68,0	0
6,3	4,2	0,7	6,2	0,34	0,05	7,2	0,7	4,5	11,8	62,0	9
6,4	4,0	1,4	7,8	0,40	0,05	9,6	0	4,5	14,2	68,0	0
6,6	4,0	1,3	7,8	0,53	0,04	9,6	0	3,9	13,5	71,0	0
6,8	4,0	0,9	4,9	0,59	0,03	6,4	0	4,1	10,7	61,0	0

C Org.	Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /	SiO ₂ /	Al ₂ O ₃ /
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	
---gkg ⁻¹ ---	-----gkg ⁻¹ -----			(Ki)	(Kr)	Fe ₂ O ₃
-	-	-	-	-	-	-
52,3	335	104	159	5,6	2,7	1,0
27,2	380	133	166	4,9	2,7	1,2
11,5	384	160	179	4,1	2,3	1,4
5,6	389	158	162	4,2	2,5	1,5
5,6	426	161	161	4,5	2,7	1,5
5,2	468	160	156	5,0	3,0	1,6
1,9	434	138	157	5,4	3,1	1,3

APÊNDICE E - Perfil P4A

E1 - Descrição Geral

DATA: Outubro de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico típico.

LOCALIZAÇÃO: Trevo do município da Palmeira com a SC 425 em estrada de terra rumo a oeste em direção a Correia Pinto entrando 1 km a esquerda após o trevo, percorrendo 7,8 km entra a direita, percorre 2 km, entrando a esquerda rumo a mineração Rio Pomba, Empresa Rio Desertos, a esquerda mais 100 metros, perfil ao lado esquerdo. Palmeira/SC, 27° 33' 48,9" S e 50° 14' 23,2" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: terço médio de encosta, declive de aproximadamente 15%.

ALTITUDE: 945 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Domo Alcalino de Lages, Fonolito porfirítico, com intensa coluviação superficial.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha supracitada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical (gramíneas)

USO ATUAL: Reflorestamento de pinus.

CLIMA: Cfb de Köppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Samara Alves Testoni.

E2 - Descrição Morfológica

- A 0-22 cm; bruno-escuro (7,5 YR 3/3, úmido) e bruno (7,5 YR 4,5/4, seco); argila; fraca a moderada, muito pequena e pequena granular e fraca, média, blocos subangulares; friável, macio a ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- AB 22-42cm; bruno-escuro (7,5 YR 3/4, úmido) e bruno-forte (7,5 YR 4/6, seco); argila; fraca, pequena granular e fraca, média, blocos subangulares; friável, macio a ligeiramente duro, pegajoso e plástico; transição gradual e plana.
- 2Bi 42-75cm; bruno (7,5 YR 4/4, úmido) e bruno-forte (7,5 YR 5/6, seco); muito argiloso; fraca, média, blocos subangulares; friável, ligeiramente duro a duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
- 2BC 75-100/120cm; bruno-forte (7,5 YR 5/8, úmido) e bruno-forte (7,5 YR 5,5/8, seco); argila; fraca, média e pequena blocos subangulares e fraca pequena e muito pequena granular; friável, ligeiramente duro a duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e descontínua (quebrada).
- 2C1 100/120-155+cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8, úmido) e amarelo-avermelhado (7,5 YR 7/6, seco); franco argiloso; aspecto de maciça que se desfaz em blocos e prismas grandes; friável, macio a ligeiramente duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.
- 2C2 195-215cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmido) e amarelo-avermelhado (5 YR 7/6, seco), mosqueados branco, preto e amarelo-brunado (5 Y 8/2, 5 Y 2,5/1, 10 YR 6/8 úmido); argila; firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.

RAÍZES: Muitas, fasciculadas, finas no A e AB; Comuns, fasciculadas, finas no 2Bi; Poucas no 2BC; raras no 2C1.

OBSERVAÇÕES: horizonte 2C2 coletado com trado entre 195-215. Linhas de cascalhos e calhaus na base do AB e topo do B, juntamente com matácões de fonolito porfirítico disseminados no AB e B. Intensa atividade biológica no B, BC e C representada por cupins e formigas. Horizonte C1 com intensa precipitação de óxidos de Mn pretos. Núcleos

do 2C1 no interior do BC. Coletado em barranco em área a montante, próximo do perfil, próximo da jazida de exploração de bauxita.

E3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/ Argil	
Símb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila				
		-----gkg ⁻¹ -----							%		
A	0-22	0	90	910	260	240	500	280	44	0,5	
AB	22-42	0	160	840	200	270	530	0	100	0,5	
2Bi	42-75	0	340	660	170	210	620	0	100	0,3	
2BC	78-100/120	0	40	960	180	240	580	0	100	0,4	
2C1	100/120-155+	0	130	870	300	300	400	30	93	0,7	
2C2	195-215	0	10	990	120	320	560	0	100	0,5	
Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O	KCl 1N	-----cmolc Kg ⁻¹ -----							%		
4,6	3,5	0,4	0,9	0,28	0	1,6	5,0	10,8	12,4	12,9	75
4,6	3,7	0,2	0,1	0,22	0	0,5	4,6	10,1	10,6	4,7	89
4,6	3,7	0,4	0,0	0,21	0	0,6	4,7	9,1	9,6	6,2	88
4,6	3,7	0,3	0,1	0,32	0	0,7	4,0	8,1	8,8	7,9	85
5,0	3,9	0,3	0,3	0,65	0	1,2	2,8	5,9	7,1	16,9	70
4,7	2,7	0,3	0,2	0,20	0	0,7	7,7	9,2	9,9	7,1	91
C Org.		Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃					
-----gkg ⁻¹ -----		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	(Ki)	(Kr)	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃				
		-----gkg ⁻¹ -----									
20,8		433	231	38	3,2	2,9	9,4				
16,5		481	290	55	2,8	2,5	8,3				
10,9		464	260	57	3,1	2,7	7,2				
7,7		437	331	57	2,3	2,0	9,1				
4,3		434	295	60	2,5	2,2	7,7				
3,6		449	277	127	2,8	2,1	3,4				

APÊNDICE F - Perfil P5A

F1 - Descrição Geral

DATA: Novembro de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico úmbrico.

LOCALIZAÇÃO: Estrada municipal Lages-morrinhos a 10,8 km após a ponte do Rio Caveiras no limite urbano da cidade, ao lado direito. Lages/SC, 27° 55' 48,3" S e 50° 16' 23,8" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: Coletado em posição de cimeira em área de declive convexo próximo a um topo de elevação, com aproximadamente 5% de declive no local.

ALTITUDE: 1037 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Serra Geral, rochas eruptivas básicas, Basalto.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração das rochas supracitadas com possível contribuição de material coluvial, provavelmente de mesma natureza, no horizonte A.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado, com partes forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem a moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical com araucária.

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfb de Köppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira.

F2 - Descrição Morfológica

- A 0-23/27 cm, bruno-escuro (7,5 YR 3/3, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3/3, seco); muito argiloso; moderada, pequena e média granular; friável, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- Bi 23/27-40/47cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6,5, úmido) e bruno-avermelhado-escuro (5 YR 3,5/4, seco); muito argiloso; moderada a fraca, pequena e média blocos sub-angulares; firme, duro a muito duro, pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e ondulada.
- BC/CR 40/47-52/58cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6,5, úmido) e bruno-avermelhado (5 YR 4,5/4, seco); argila; fraca pequena, blocos sub-angulares nas partes do BC; firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e ondulada.
- CR 52/58-65+cm; amarelo-avermelhado (5 YR 6/6,5, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 5/6, seco); franco argiloso; maciça; firme, duro a muito duro, não pegajoso e não plástico.

RAÍZES: muitas, fasciculares, médias e finas no A e Bi; poucas, fasciculares, finas no BC/CR; raras no CR.

OBSERVAÇÕES: presença de fragmentos de basalto ou riódacito semi-intemperizados no contato entre A e Bi. Presença de nucleações brancas no CR (calcedônia ou zeólita) com forte deposição de óxidos de Mn ao redor dos fragmentos da rocha semi – intemperizada, bem como em zonações paralelas nos núcleos de material esbranquiçado. Presença de grande quantidade de cupins no horizonte A. Perfil coletado em barranco.

F3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/ Argil	
Simb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila				
		-----gkg ⁻¹ -----							%		
A	0 - 23/27	0	0	1000	140	240	620	320	49	0,4	
Bi	23/27 - 40/47	0	10	990	80	250	680	0	100	0,4	
BC/CR	40/47 - 52/58	0	240	760	230	290	480	0	100	0,6	
CR	52/58 - 65+	0	210	790	370	310	320	0	100	1,0	
Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O	KCl 1N	-----cmol, Kg ⁻¹ -----							%		
4,7	3,8	2,6	3,9	0,54	0,00	7,0	3,0	12,6	19,6	36,1	30
4,6	3,7	1,2	0,9	0,18	0,01	2,2	5,2	10,4	12,6	17,8	70
5,2	3,9	0,8	0,7	0,13	0,01	1,6	3,5	6,9	8,5	18,8	69
5,5	3,9	0,7	0,6	0,17	0,03	1,5	3,2	6,8	8,3	17,3	69
C Org.		Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /	SiO ₂ /					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃					
-----gkg ⁻¹ ----		-----gkg ⁻¹ -----			(Ki)	(Kr)	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃				
43,3		382	234	187	2,8	1,8	1,9				
21,1		511	211	180	4,1	2,6	1,8				
9,1		521	293	210	3,0	2,1	2,2				
5,7		502	250	205	3,4	2,2	1,9				

APÊNDICE G - Perfil P6A

G1 - Descrição Geral

DATA: Dezembro de 2009

CLASSIFICAÇÃO SiBCS: CAMBISSOLO HÚMICO Distroférico típico.

LOCALIZAÇÃO: Rodovia BR 282, trecho trevo da BR 116 Lages - São José do Cerrito a 11,7 km do trevo anterior, lado direito. Lages/SC, 27° 47' 38,2" S e 50° 24' 09,7" W.

SITUAÇÃO E DECLIVE: próximo ao topo da elevação em área com 18% de declive.

ALTITUDE: 980 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Serra Geral, rochas efusiva básica, Basalto.

CRONOLOGIA: Juro Cretáceo.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produto da alteração da rocha supra-citada com influência de colúvio superficial.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Campo subtropical com gramíneas

USO ATUAL: Pastagem.

CLIMA: Cfb de Köppen .

DESCRITO E COLETADO POR: Jaime Antonio Almeida, Élen Ramos N. C. Ferreira, Samara A. Testoni.

G2 - Descrição Morfológica

- A 0-22 cm; bruno (10 YR 4/3,5, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10 YR 3/4, seco); argila; pequena, blocos sub-angulares e moderada média e pequena granular; friável a firme, duro, pegajoso e plástico; transição clara e plana.
- AB 22-47cm; bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmido) e bruno-amarelado-escuro (10 YR 3,5/4, seco); muito argiloso; moderada, pequena, blocos sub-angulares; firme a muito firme, duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição clara e plana.
- Bi 47-63cm; bruno-forte (7,5 YR 5/6, úmido) e bruno (7,5 YR 4,5/4, seco); muito argiloso; moderada, média blocos sub-angulares; firme a muito firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição gradual e plana.
- BC 63-70/73cm; bruno-forte (7,5 YR 5/8, úmido) e bruno (7,5 YR 4/4,5, seco); muito argiloso; fraca a moderada, média blocos sub-angulares e angulares; firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico; transição abrupta e ondulada.
- C 70/73-100+cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmido) e vermelho-amarelado (5 YR 4/6, seco); muito argiloso; fraca, grande e média blocos sub-angulares; firme a muito firme, duro a muito duro, ligeiramente pegajoso e ligeiramente plástico.

RAÍZES: Abundantes, finas e fasciculares no A e AB; comuns no Bi e BC; raras no C.

OBSERVAÇÕES: expressiva presença de cascalhos e calhaus no AB e alguns no Bi. Presença de fragmentos pequenos (menor que 1 cm) de arenito intemperizado no Bi. Presença de matacões de rochas semi-alterada em vários horizontes e camadas do perfil. Presença de material esbranquiçado semi-alterado no C, provavelmente constituído de zeólitas ou calcedônea. Perfil coletado em dia nublado.

G3 – Atributos Físicos e Químicos

Horizonte		Frações da Amostra Total			Composição Granulométrica da Terra Fina			Argila Disp. H ₂ O	GF	Rel. Silte/ Argil	
Simb	Profundidade cm	Calh.	Casc.	T. Fina	Areia	Silte	Argila				
										gkg ⁻¹	%
A	0 - 22	0	10	990	240	220	540	300	45	0,4	
AB	22 - 47	0	80	920	190	180	620	400	36	0,3	
Bi	47 - 63	0	30	970	120	240	640	0	100	0,4	
BC	63-70/73	0	50	950	110	250	640	0	100	0,4	
C	70/73 - 100+	0	10	990	90	300	610	0	100	0,5	

Complexo Sortivo											
pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H+Al	T	V	m
H ₂ O	KCl 1N	cmol. Kg ⁻¹									
										%	%
4,6	3,8	0,8	0,6	0,15	0	1,5	2,7	9,8	11,3	13,3	64
4,6	3,8	0,5	0,3	0,04	0	0,8	2,6	8,0	8,8	9,1	77
5,4	4,1	0,4	0,2	0,02	0	0,6	1,0	4,0	4,6	13,0	63
5,5	4,1	0,3	0,2	0,02	0	0,5	0,6	3,9	4,4	11,3	52
5,7	4,0	0,3	0,3	0,05	0	0,7	1,9	5,2	5,9	11,8	73

C Org.	Ataque Sulfúrico			SiO ₂ /	SiO ₂ /	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	
---gkg ⁻¹ ---	-----gkg ⁻¹ -----			(Ki)	(Kr)	
						Al ₂ O ₃ /
						Fe ₂ O ₃
31,8	240	186	176	2,2	1,4	1,6
23,2	248	186	171	2,3	1,4	1,7
4,7	339	258	190	2,3	1,5	2,1
5,1	358	243	182	2,5	1,7	2,1
2,4	425	224	184	3,3	2,1	1,9

ANO
2013

ÉLEN RAMOS NICHELE CAMPOS FERREIRA | QUÍMICA E MINERALOGIA DE SOLOS
DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ALCALINAS E ULTRABÁSICAS DO DOMO DE LAGES



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
CURSO DE DOUTORADO EM MANEJO DO SOLO

TESE DE DOUTORADO

**QUÍMICA E MINERALOGIA DE
SOLOS DESENVOLVIDOS DE
ROCHAS ALCALINAS E
ULTRABÁSICAS DO DOMO DE
LAGES**

ÉLEN RAMOS NICHELE CAMPOS FERREIRA

LAGES, 2013

Esta tese teve por objetivo estudar a composição química e mineralógica de solos desenvolvidos da alteração “in situ” de fonolitos, fonolitos porfiríticos, nefelina sienitos e olivina melilitos pertencentes ao Domo de Lages, SC, comparando-se suas características com a de solos derivados de basalto na região ao seu entorno. A pesquisa revela que com exceção do solo derivado de olivina melilitito, a composição química e mineralógica foi semelhante aos solos originados de basalto que ocorrem na região, apresentando reação ácida, altos teores de alumínio, baixa soma e saturação por bases, bem como uma mineralogia composto essencialmente por caulinita. O solo derivado de olivina melilitito apresentou pH próximo a neutralidade, alta soma e saturação por bases, associado a uma mineralogia com predomínio de vermiculitas e esmectitas na fração argila.

Orientador: JAIME ANTONIO DE ALMEIDA

LAGES, 2013