

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ILIO RODARTE FARIA JÚNIOR

PROSPECÇÃO MINERAL DE ALVOS POTENCIAIS À
OCORRÊNCIA DE ENRIQUECIMENTO SUPERGÊNICO DE
NÍQUEL NO *GREENSTONE BELT* DO MORRO DO FERRO

Dissertação de Mestrado apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre junto ao Programa de Pós-
Graduação em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: George Luiz Luvizotto

Rio Claro-SP
2015

621.3678 Faria Júnior, Ilio Rodarte
F224p Prospecção mineral de alvos potenciais ao enriquecimento
 supergênico de níquel no greenstone belt Morro do Ferro / Ilio
 Rodarte Faria Júnior. - Rio Claro, 2015
 137 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: George Luiz Luvizotto

 1. Sensoriamento remoto. 2. Fácies de intemperismo. 3.
 Landsat. 4. Geomorfologia. I. Título.

ILIO RODARTE FARIA JÚNIOR

PROSPECÇÃO MINERAL DE ALVOS POTENCIAIS À
OCORRÊNCIA DE ENRIQUECIMENTO SUPERGÊNICO DE
NÍQUEL NO *GREENSTONE BELT* DO MORRO DO FERRO

Comissão Examinadora

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto (Orientador)

Prof. Dr. Antenor Zanardo

Dr. Tiago da Rocha Karniol

Aprovado pela comissão examinadora em 17 de abril de 2015.

AGRADECIMENTOS

A todos que, das mais diversas formas, contribuíram com ensinamentos, lições, correções, discussões, auxílio em análises, tempo (nem sempre livre), amizade e companheirismo, paciência, incentivo, dentre outras formas de colaboração, gostaria de dizer que têm meu profundo apreço e agradecimento.

Por todo auxílio e colaboração, agradeço aos professores Antenor Zanardo, George Luiz Luvizotto, Sebastião Gomes de Carvalho e Norberto Morales.

Agradeço à CNPq pelo apoio financeiro para realização do trabalho.

*“A viagem não acaba nunca. Só os viajantes acabam.
E mesmo estes podem prolongar-se em memória, em lembrança, em narrativa.
Quando o visitante sentou na areia da praia e disse:
“Não há mais o que ver”, saiba que não era assim.
O fim de uma viagem é apenas o começo de outra.
É preciso ver o que não foi visto, ver outra vez o que se viu já,
ver na primavera o que se vira no verão, ver de dia o que se viu de noite,
com o sol onde primeiramente a chuva caía, ver a seara verde, o fruto maduro,
a pedra que mudou de lugar, a sombra que aqui não estava.
É preciso voltar aos passos que foram dados, para repetir e para
traçar caminhos novos ao lado deles. É preciso recomeçar a viagem. Sempre.”*

José Saramago

(Acredito que a prospecção mineral não seja diferente).

RESUMO

Na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, na zona limítrofe entre o Cráton São Francisco e a Faixa de Dobramentos Brasília, ocorrem rochas metamáficas-ultramáficas pertencentes ao *Greenstone Belt* do Morro do Ferro (GBMF). Destaca-se ainda produtos de processos lateríticos em ao menos dois níveis topográficos distintos. Litotipos ultramáficos, serpentinizados ou cloritizados, como aqueles observados no GBMF, são os protólitos mais promissores para gerarem expressivas concentrações supergênicas de níquel quando submetidos a processos lateríticos. Esse fato se deve a capacidade de minerais como a olivina e o piroxênio de alojarem níquel em seu retículo cristalino somado à susceptibilidade desses minerais ao intemperismo, sucedido da distribuição dos elementos químicos presentes na rocha de acordo com suas respectivas características geoquímicas, resultando em fácies sub-horizontais. O presente trabalho fez uso das características resultantes do zoneamento químico e mineralógico para identificação de alvos potenciais à presença dessas concentrações supergênicas de níquel. Para isso, fez-se uso de mapas geológico e estruturais que abrangem o domínio máfico-ultramáfico e de mapa de zoneamento geomorfológico. A esses se somaram o uso de modelos digitais de elevação e declividade do terreno, obtidos a partir de imagens de satélite SRTM, e composições temáticas de imagens de satélite Landsat 7. As composições temáticas foram utilizadas buscando delimitar o zoneamento químico-mineralógico, com base na reflectância de minerais específicos, já que os produtos dos processos lateríticos podem ser expostos por ação de processos erosivos posteriores. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permitiu a identificação e individualização de diferentes fácies, condizentes com o zoneamento mineralógico de um perfil laterítico desenvolvido em ambiente tropical a subtropical, em áreas com presença de rochas metamáficas-ultramáficas. Com base na distribuição das diferentes zonas delimitadas, foram realizados trabalhos de campo para validar o que foi apontado como ocorrências de concentrações supergênicas de níquel. Observações de campo confirmaram a existência de horizonte plintificado, de coloração esverdeada, desenvolvido em xistos ultramáficos, cujas análises químicas e mineralógicas sustentaram a evidência de existência de enriquecimento supergênico de níquel, atingindo um ápice de concentração de 350% em relação ao protólito.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Níquel laterítico. Fácies de intemperismo. Landsat. Geomorfologia.

ABSTRACT

Metamafic-ultramafic rocks from Morro do Ferro Greenstone Belt occur in the southeastern Minas Gerais State, Brazil, between the southwestern border of São Francisco Craton and the Brasília Fold and Thrust Belt. Serpentinized or chloritized ultramafic rocks, as described in Morro do Ferro Greenstone, have great potential to produce expressive supergenic nickel concentrations under lateritization processes. The enrichment occurs because minerals like olivine and pyroxene have a high capability to incorporate nickel in their crystal structure and have a high weathering susceptibility. Since elements have specific geochemical behavior, the lateritization process leads to the formation of sub-horizontal facies, or zones, with distinct concentrations of major and trace elements. In this work, these characteristics, i.e., chemical and mineralogical zoning, are used to identify potential nickel-bearing supergenic concentrations. Geological, geomorphological, remote sensing (SRTM elevation data and Landsat 7 band compositions) data are used to define spatial distribution of horizontal lateritic facies that are exposed by erosive processes. Mineral spectra information and remote sensing techniques allowed identification of five different lateritic facies. Results are in accordance with mineralogical zoning observed in lateritic profiles developed on mafic-ultramafic rocks under tropical to subtropical conditions. Field observation confirm the occurrence of greenish mottled horizons, formed from the weathering of ultramafic schists. Chemical and mineralogical analyses of these horizons show nickel enrichment up to 350% when compared to the parent rock.

Keywords: Remote sensing. Lateritic nickel. Weathering facies. Landsat. Geomorphology.

Sumário

1. Introdução.....	14
1.1. Localização e vias de acesso.....	14
1.2. Objetivo.....	15
1.3. Justificativa.....	16
2. Materiais e métodos.....	17
2.1. Fase de investigação indireta.....	17
2.2. Fase de investigação direta.....	20
2.3. Fase de integração de dados.....	21
3. Aspectos fisiográficos.....	22
4. Aspectos geomorfológicos e solos.....	23
4.1. Planalto da Canastra.....	23
4.2. Bacia do Paraná e Coberturas Sedimentares.....	25
4.3. Planalto Poços de Caldas-Varginha.....	26
5. Contexto geológico regional.....	27
5.1. Contexto geotectônico.....	28
5.2. Unidades litoestratigráficas.....	30
5.2.1. Complexo Barbacena.....	30
5.2.1.1. <i>Greenstone Belt</i> Morro do Ferro (GBMF).....	31
5.2.2. Diques básicos.....	35
5.2.3. Grupo Araxá.....	35
5.2.4. Grupo Bambuí.....	37
5.2.5. Coberturas cenozóicas.....	38
5.3. Recursos minerais na região.....	38
6. Gênese das concentrações supérgenas de níquel.....	39
6.1. Litotipos primários.....	39
6.2. Serpentinização.....	40

6.3. Processo de lateritização.....	42
7. Prospecção de alvos potenciais para ocorrência de concentrações supergênicas de níquel.....	47
7.1. Definição da área de prospecção regional.....	47
7.2. Definição de alvos potenciais.....	49
7.3. Detalhamento dos alvos selecionados.....	51
7.3.1. Modelo de sensoriamento remoto.....	51
7.3.2. Sensoriamento remoto aplicado aos alvos detalhados.....	55
8. Geologia local dos alvos selecionados.....	57
8.1. Alvo Bom Jesus da Penha (BJP).....	60
8.2. Alvo Jacuí (JAC).....	73
9. Perfil de alteração nos alvos detalhados e a distribuição dos teores de níquel. ..	82
9.1. Horizonte 5.....	85
9.2. Horizonte 4/Horizonte 3.....	90
9.3. Horizonte 2.....	96
9.4. Horizonte 1.....	100
9.5. Fator de enriquecimento no alvo BJP.....	101
9.6. Elementos terras raras.....	103
10. Considerações sobre as bases de dados e <i>softwares</i>	106
11. Conclusões.....	107
Referências bibliográficas.....	110
APÊNDICES.....	123

Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa de localização regional da área de prospecção e respectivos alvos para detalhamento de campo, sendo I-BJP e II-JAC, respectivamente, alvos Bom Jesus da Penha e Jacuí. Imagem base obtida através do Google Maps (www.googlemaps.com).....	16
Figura 2 – Unidades Geomorfológicas destacadas na porção sudoeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo, sobrepostas ao modelo digital de terreno de satélite SRTM. Adaptado de RADAMBRASIL (1983).	24
Figura 3 – Contexto geológico-estrutural da porção sul da Faixa Brasília, destacando a área visada na fase inicial dos estudos. Fonte: Adaptado de Zanardo (2003).	29
Figura 4 – Contexto geológico-estrutural da porção sudoeste de Minas Gerais, destacando a área de estudo para prospecção regional, os alvos de pesquisa e a distribuição das lentes de rochas do Greenstone Belt Morro do Ferro. Fonte: adaptado de Zanardo (2003).	32
Figura 5 – Zonalidade regional dos mantos de intemperismo observados em seção meridional. Fonte: adaptado de Smirnov (1982) e Biondi (2003).	43
Figura 6 – Perfil laterítico ideal desenvolvido sobre serpentinitos, resultando em horizontes com concentrações relativas de elementos químicos, de acordo com a mobilidade relativa de cada elemento. Fonte: modificado de Smirnov (1982). .	45
Figura 7 – Resumo da sequência de procedimentos aplicados para a prospecção de alvos potenciais à presença de concentrações supergênicas de níquel e os respectivos resultados de cada fase, indicados pelas cores.....	48
Figura 8 – Mapa com modelo digital de declividade e curvas planialtimétricas, gerados a partir de imagem de satélite SRTM. No mesmo encontra-se a localização dos corpos que compõem o Greenstone Belt Morro do Ferro e os alvos selecionados para detalhamento.	53
Figura 9 – Perfil laterítico com variação mineralógica ao longo dos horizontes. São as siglas: Hem – hematita, Goe – goethita, Kao – caolinita, Qz – sílica (quartzo+calcedônia), Chl – clorita. Fonte: adaptado de Andrews Deller (2006).	54
Figura 10 – Seção geológica ideal de um perfil de níquel laterítico ilustrando todos os possíveis horizontes e a relação desses com os processos erosivos pós-lateríticos. Fonte: adaptado de Marsh et al (2013).....	55
Figura 11 – Composições de bandas RGB 754 e 742 de imagem de satélite Landsat e modelo digital de declividade do terreno, ambos aplicados para se delimitar possíveis horizontes lateríticos no alvo de pesquisa Bom Jesus da Penha.....	58
Figura 12 – Composições de bandas RGB 754 e 742 de imagem de satélite Landsat e modelo digital de declividade do terreno, ambos aplicados para se delimitar possíveis horizontes lateríticos no alvo de pesquisa Jacuí.	59
Figura 13 – Perspectiva para nordeste, ao fundo tem-se, na região mais alta, o patamar local, limitado pelas meia-encostas convexas, com declividade média...	61
Figura 14 – Biotita gnaisse não alterado e com a foliação principal dobrada. Nota-se bandamento composicional centimétrico, com níveis ricos em minerais máficos (cor preta) predominando sobre aqueles de minerais félsicos (cor rósea). Afloramento IRF_MS1_01.	63
Figura 15 - Gnaisse saprolítico, rico em caulinita, com foliação e bandamento composicional ainda visíveis. Afloramento IRF_MS1_02.....	63

Figura 16 – Gnaiss saprolítico intensamente intemperizado, mostra cor avermelhada, marcada pela presença de argilas e hidróxidos de ferro, e resquícios de caulim, resultante da alteração de feldspatos. Afloramento IRF_MS1_02.	64
Figura 17 – Encontrado em calha de estrada, ocorre clorita-anfibólio xisto com núcleo apresentando baixo grau de intemperismo, de cor verde clara, e aumento gradativo do intemperismo em direção às bordas, onde se torna ocre. Afloramento IRF_MS1_29.	65
Figura 18 – Amostra de clorita-anfibólio xisto, encontrado aflorando em calha de estrada, exibe cor ocre dado ao intemperismo. Afloramento IRF_MS1_28.	66
Figura 19 – Afloramento de clorita-anfibólio xisto saprolítico. Exibe cor variegada, marcada pelo verde, dado a alteração de serpentinas em argilas, e ocre, devido a hidróxidos de ferro. Notar ainda a foliação ainda bem preservada no saprolito. Afloramento IRF_MS1_08.	67
Figura 20 – Clorita-anfibólio xisto saprolítico, com concreções de hidróxido de ferro preenchendo juntas, de cor preta. Além de argilas de cor verde associadas à plintitas de cor ocre, sendo essas últimas também compostas por hidróxidos de ferro. Afloramento IRF_MS1_08.	68
Figura 21 – Clorita-anfibólio xisto saprolítico, intensamente intemperizado. Mostra cor vermelha com presença de raízes vegetais. Afloramento IRF_MS1_07.	68
Figura 22 – Contato entre clorita-anfibólio xisto saprolítico, em amarelo a esquerda, e veio granítico intemperizado, em tom avermelhado a direita. Notar o contato abrupto entre os dois litotipos. Afloramento IRF_MS1_09.	69
Figura 23 – Quartzito de granulometria média em planta na estrada. Pouco friável, mostra baixo grau de intemperismo. O lápis se posiciona paralelo a juntas dispostas segundo a orientação WNW-ESE. Afloramento IRF_MS1_25. .	70
Figura 24 – Quartzito intemperizado de cor creme a ocre, apresenta contribuição de caulinita, além de presença de raízes vegetais. Afloramento IRF_MS1_13.	70
Figura 25 – Latossolo vermelho situado sobre o clorita-anfibólio xisto, sugerindo ter se originado a partir dessa rocha. Afloramento IRF_MS1_12.	72
Figura 26 – Latossolo amarelo argiloso, situa-se próximo a região de contato entre os xistos ultramáficos e os gnaisses. Não são encontrados resquícios de mineralogia da rocha matriz. Afloramento IRF_MS1_32.	72
Figura 27 – Depósito coluvionar em meia encosta, encontra-se sobreposto a quartzitos. Os blocos observados no local são de, predominantemente, de quartzito e quartzo em meio a matriz areno-argilosa. Notar ainda que o mesmo já passou por processo de pedogênese. Afloramento IRF_MS1_24.	73
Figura 28 – Seixo de gnaiss encontrado em base de pacote coluvionar, se mostra envolto por filme de goethita, resultando na cor apresentada. Afloramento IRF_MS1_06.	73
Figura 29 – Perspectiva para norte, onde se observa, na região mais alta, o patamar local, evoluindo para encostas convexas, com desnível de até 50 metros e declividade da ordem de 15°. Afloramento IRF_MS1_35.	74
Figura 30 – Exposição em calha de estrada, onde se tem gnaiss saprolítico com veio de quartzo, em cor branca, parcialmente preservado. Afloramento IRF_MS1_37.	76
Figura 31 – Vista em planta na estrada, próximo ao martelo tem-se uma profusão de lentes de rocha metamáficas/ultramáficas intemperizadas, resultando em cor ocre. Já abaixo na foto, na porção de cor rósea, encontra-se gnaiss com	

foliação bem destacada, também intemperizado. Afloramento IRF_MS1_42.....	76
Figura 32 – Amostra de clorita-anfibólio xisto com médio grau de intemperismo, feição comum no local, resultando em cor ocre. Apresenta foliação bem destacada, a qual se coloca perpendicular à lapiseira. Afloramento IRF_MS1_49.....	78
Figura 33 – Afloramento de tremolitito em região onde se realizou terraplanagem. Notar a ocorrência isolada do corpo ultramáfico em meio à área com solo róseo, resultante do intemperismo de gnaisses. Afloramento IRF_MS1_42.....	78
Figura 34 – Detalhe do tremolitito, onde se observa a presença de cristais de tremolita/actinolita com crescimento radial. Afloramento IRF_MS1_42.....	78
Figura 35 – Pacote de colúvios posicionados sobre gnaiss saprolítico. O martelo posiciona-se na linha de base, onde se encontram blocos parcialmente arredondados. Acima da linha de seixos tem-se depósito sobreposto por pedogênese, se exibindo hoje como latossolo vermelho argiloso. Afloramento IRF_MS1_34.....	80
Figura 36 – Exposição em corte de estrada mostrando pacote de colúvios sobrepostos por pedogênese. A base é marcada por linha de seixos de quartzo, enquanto a porção superior é representada por latossolo amarelo argiloso. Afloramento IRF_MS1_60.....	81
Figura 37 – Perfil de intemperismo identificado no corpo ultramáfico do alvo Bom Jesus da Penha. Nota-se ainda uma breve descrição dos horizontes e os resultados das caracterizações química e mineralógica. Teores em porcentagem são lidos no topo do gráfico, em linhas contínuas, enquanto em ppm são lidos na base, em linhas tracejadas.....	84
Figura 38 – Perfil de intemperismo identificado no alvo Jacuí. Nesse se destaca a presença de gnaisses, não se identificando corpo contínuo e expressivo de rochas ultramáficas.....	85
Figura 39 – Latossolo vermelho argiloso, sugere ter se desenvolvido <i>in situ</i> , sobre clorita-anfibólio xisto. Afloramento IRF_MS1_12, Alvo Bom Jesus da Penha. ..	86
Figura 40 – Latossolo vermelho argiloso, se desenvolveu sobre depósito colúvio-aluvionar, marcado por linha basal de seixos, encontra-se sotoposto a gnaisses. Afloramento IRF_MS1_42, Alvo Jacuí.....	86
Figura 41 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_07, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; Al gt – goethita aluminosa). ..	88
Figura 42 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_11, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo). ..	88
Figura 43 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_12, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo). ..	88
Figura 44 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_30, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo; chl – clinocloro). ..	89
Figura 45 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_20, alvo BJP (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).....	89
Figura 46 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_55, alvo JAC (abreviações: kln – caulinita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).....	89
Figura 47 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_58, alvo JAC, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs –	

gibbsita; qtz – quartzo).	90
Figura 48 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_61, alvo JAC, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).	90
Figura 49 – Horizonte 4 de intemperismo, desenvolvido sobre clorita-anfibólio xisto, mostra cor verde com plintificado ocre. Afloramento IRF_MS1_08, Alvo Bom Jesus da Penha.	92
Figura 50 – Amostra de clorita-anfibólio xisto retirado de veio, com espessura de 0,5 metros, em meio a gnaisses. Apresenta horizonte 4 de intemperismo, com cor ocre e plintificado de cor branca. Esse último sugere ser contribuição de caulim. Afloramento IRF_MS1_08, Alvo Jacuí.	92
Figura 51 – Horizonte 4 de intemperismo, se desenvolveu sobre gnaisses, formando bolsões de caulinita, em cor branca, em meio a argilas de cor vermelha. Afloramento IRF_MS1_02, localizado a norte do alvo BJP.	93
Figura 52 – Ilustração horizonte 3 típico nos gnaisses, composto essencialmente por caulim resultante do intemperismo dos minerais félsicos. Apesar disso, se tem em ocre já a contribuição de minerais ferrosos, resultantes da alteração de minerais máficos. Afloramento IRF_MS1_02, localizado a norte do Alvo Bom Jesus da Penha.	94
Figura 53 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_08, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; mnt – montmorilonita; chl – clinocloro).	96
Figura 54 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_13, alvo BJP (abreviações: kln – caulinita; qtz – quartzo).	96
Figura 55 – Fotografia ilustrando material interpretado como horizonte 2, mostra xisto ultramáfico parcialmente preservado, com cor ocre, não apresenta contribuição de argilas. Localmente podem ser identificadas juntas, de espessura submilimétrica, preenchidas por calcedônia. Afloramento IRF_MS1_17, Alvo Bom Jesus da Penha.	98
Figura 56 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_28, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: ncr – nacrita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).	100
Figura 57 – Fator de enriquecimento calculado em relação ao vanádio (V) para os principais elementos no alvo BJP.	103
Figura 58 – Distribuição dos elementos terras raras ao longo dos horizontes de intemperismo do Alvo Bom Jesus da Penha. Os valores dos horizontes de intemperismo foram normalizados em relação ao clorita-anfibólio xisto não intemperizado, enquanto a rocha não alterada foi normalizada em relação ao condrito.	105

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Silicatos essenciais e o conteúdo em porcentagem de determinados elementos químicos, com destaque para o níquel, que apresenta maiores teores associados a olivina. Adaptado de Lelong et al (1976).	40
Tabela 2 – Descrição da mobilidade relativa dos elementos químicos em condições de desenvolvimento do perfil laterítico. Fonte: adaptado de Smirnov (1982) e Robb (2004).	44
Tabela 3 – Cores resultantes em cada fácies do perfil laterítico de acordo com a composição RGB de bandas do sensor TM. Fonte: adaptado de Andrews Deller (2006).	54
Tabela 4 - Cores obtidas no presente trabalho com o tratamento de imagens Landsat para as diferentes unidades, determinadas a partir da adaptação da técnica de Andrews Deller (2006).	57

1. Introdução.

É reconhecido, já de longa data, que os corpos máficos-ultramáficos (terrenos do tipo *greenstone*, complexos intrusivos ou ofiólitos) apresentam vocação metalogenética para armazenarem importantes jazidas minerais metálicas. Sabe-se ainda que a superposição de processos geológicos pode ser responsável por promover concentrações minerais a partir do retrabalhamento do conteúdo desses corpos máficos-ultramáficos.

No Brasil um tipo propício de processo responsável pelo enriquecimento de determinados elementos químicos, como o caso do níquel, são os eventos lateríticos que atuam nestes corpos máficos-ultramáficos. Esses eventos são resultantes de intenso processo de alteração química e física dessas rochas em ambiente de clima tropical a subtropical, com pluviosidade superior a 1000mm anuais e duas estações climáticas bem definidas. Esses eventos, que se desenvolveram no período pós-cretáceo em boa parte da plataforma continental brasileira (RETALLACK, 2010), foram responsáveis pela geração de grandes depósitos de níquel laterítico, a exemplo de Barro Alto e Niquelândia (GO), Onça-Puma (PA) e o Morro do Níquel (MG).

De acordo com Dalvi et al (2004), 70% da produção mundial de níquel provem de depósitos lateríticos, inclusos os tipos óxido e silicáticos, enquanto os demais 30% são associados a depósitos sulfetados. Apesar disso, apenas 40% da produção mundial de níquel se associam aos depósitos lateríticos (DALVI et al, 2004).

O níquel é um metal que reflete os avanços tecnológicos dos séculos 20 e 21, sendo que atualmente 65% da produção mundial é utilizada em aços inoxidáveis. O restante é empregado em superligas de níquel, outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, reações de catálise, cunhagem de moedas, revestimentos metálicos e fundição.

1.1. Localização e vias de acesso.

A área selecionada para prospecção regional se situa na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, sobrepondo parte do mosaico das Cartas Topográficas São Sebastião do Paraíso (SF-23-V-A-VI-3), Fortaleza de Minas (SF-23-V-A-VI-4), Monte Santo de Minas (SF-23-V-C-III-1) e Jacuí (SF-23-V-C-III-2), em escala de 1:50.000. Essa área encontra-se nas imediações de cidades como Pratápolis, Itaú de Minas, Passos, Alpinópolis, Fortaleza de Minas, Bom Jesus da Penha e Jacuí, onde

região a via de acesso de referência é a rodovia MG-050.

O presente trabalho se iniciou com uma área de prospecção regional, a partir da qual se definiram dois alvos para visita de campo. Assim, por questão de foco, serão aqui descritos as vias de acesso para esses locais visitados, denominados alvos Jacuí e Bom Jesus da Penha (Figura 1).

Partindo de Rio Claro (SP) o acesso ao alvo Jacuí, que abrange cidade homônima, é feito pela Rodovia SP-191 da cidade de origem até Araras, de onde se ruma para Pirassununga pela Rodovia Anhanguera (SP-330), dessa cidade toma-se a BR-369 até a cidade de Casa Branca (SP), onde se acessa a BR-491 até a cidade de São Sebastião do Paraíso (MG), desse ponto segue-se pela BR-265 até a cidade de Jacuí. Esse percurso é feito totalmente por vias asfaltadas, somando 270km. A partir de Jacuí. Dessa última, o acesso a cidade de Bom Jesus da Penha é feito seguindo a BR-265, em direção oposta à cidade de São Sebastião do Paraíso, em via predominantemente asfaltada, com pequenas passagens em via de leito natural, sendo o trajeto de 30km. O alvo Bom Jesus da Penha é cortado pela BR-265, distando 6km da cidade homônima, seguindo em direção à cidade de Alpinópolis (MG).

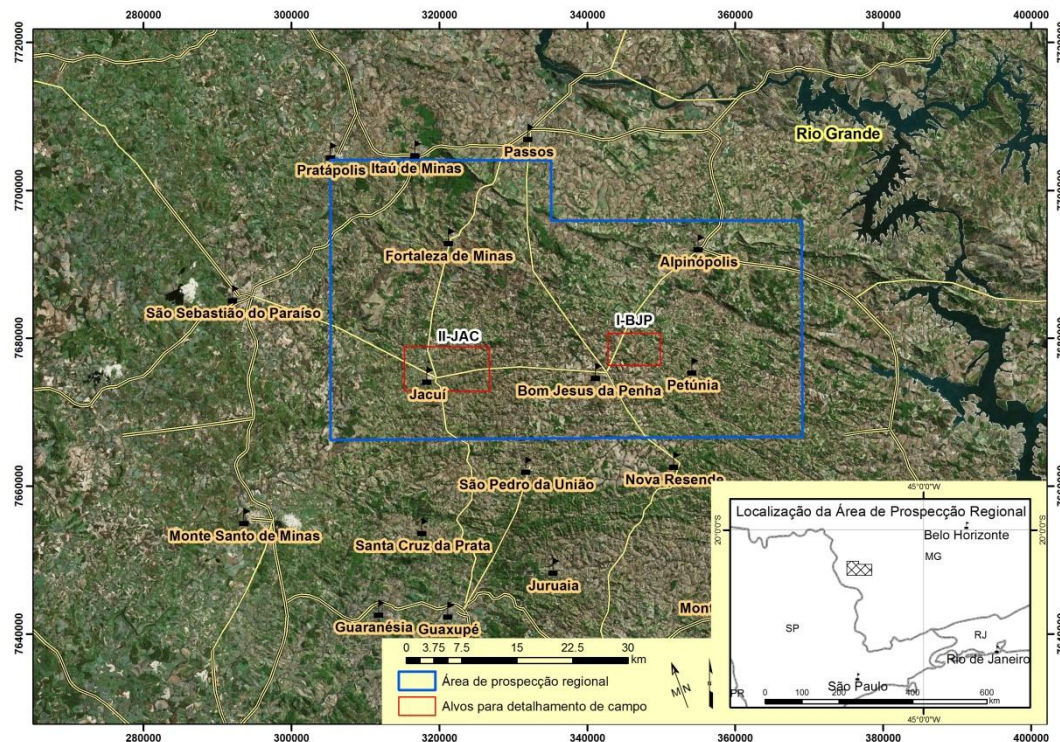
Partindo de Belo Horizonte, o acesso ao alvo Bom Jesus da Penha é feito pela Rodovia MG-050, desde sua origem até próximo à cidade de São José da Barra (MG), já nas imediações da cidade de Passos, a partir desse local se toma a Rodovia MG-446, rumando ao sul de Minas Gerais, até a cidade de Alpinópolis, até onde as vias são asfaltadas e a distância é de 341km. A partir dessa cidade toma-se a Rodovia BR-265 rumo a Bom Jesus da Penha, em via com intercalação de trechos em leito natural e asfaltada, atingindo-se o alvo de pesquisa aproximadamente 22km após Alpinópolis. Daí, o acesso ao alvo Jacuí se faz prosseguindo na BR-265 em direção à cidade homônima, prosseguindo aproximadamente 10km.

1.2. Objetivo.

O presente trabalho tem por objetivo a realização de processo de prospecção mineral de ocorrências de concentração supergênica de níquel com base em técnicas de sensoriamento remoto, seguido de validação do potencial dessas áreas através de trabalhos de campo e análises químicas e mineralógicas.

Cabe destacar que, como um dos propósitos, se buscou técnicas de sensoriamento remoto que se baseassem estritamente no uso de bancos de dados de acesso público.

Figura 1 – Mapa de localização regional da área de prospecção e respectivos alvos para detalhamento de campo, sendo I-BJP e II-JAC, respectivamente, alvos Bom Jesus da Penha e Jacuí. Imagem base obtida através do Google Maps (www.googlemaps.com).



1.3. Justificativa.

O níquel é um metal altamente relevante nos padrões atuais de vida, uma vez que, dado suas qualidades, possui amplo emprego nos setores de produtos de bens de consumo duráveis, industrial, militar, transporte, aeroespacial, marítimo e de construção civil. Ainda pode ser aplicado no processo de niquelagem, utilizado em utensílios domésticos, e na produção de baterias, além de inúmeros outros artigos do dia-a-dia.

Localizada no sudoeste do estado de Minas Gerais, a sequência metavulcanossedimentar do Morro do Ferro, estudada neste trabalho, hospeda a jazida polimetálica (Ni-Cu-Co Au e platinóides) sulfetada da Serra da Fortaleza, a primeira do tipo descrita no Brasil. Enquanto isso, desde a década de 1960 existe nessa região um processo de mineração voltado para produção de liga ferroníquel, tendo como fonte o corpo serpentínico lateritizado conhecido como Morro do Níquel.

Apesar do potencial geológico dessa sequência metavulcanossedimentar para abrigar concentrações metálicas supergênicas, traduzido pela jazida de níquel laterítico supracitada, essa ainda é a única desse modelo descrita na região. Assim, a

escolha da área se justifica pelo fato de que não constam na literatura geológica considerações a respeito de possíveis outras ocorrências de enriquecimento supergênico de níquel associado a essa sequência metavulcanossedimentar.

O presente trabalho também se justifica pela aplicação de um método de sensoriamento remoto ainda não utilizado nas condições de relevo e coberturas vegetais e de solo do Brasil. Assim, espera-se verificar se o método apresenta respostas condizentes ao seu propósito.

2. Materiais e métodos.

Para atender o objetivo proposto o trabalho foi aqui subdividido em três fases para melhor elucidação. Os materiais utilizados e a indicação dos métodos em cada uma dessas serão descritos na sequência. A técnica de sensoriamento remoto, com o tratamento e interpretação de dados, será mais bem descrita no Capítulo 7 de processo de prospecção.

Concomitante a todas as fases, foram realizadas as pesquisas bibliográficas, buscando consultar teses, dissertações e artigos científicos que tratam: aspectos geológicos da região em estudo; mapas geológicos em escalas regionais e locais; gênese da mineralização de níquel laterítico; e busca de ferramentas prospectivas a partir de sensoriamento remoto. Assim como o levantamento bibliográfico para as condições locais, também foram feitos levantamentos de outras ocorrências de jazidas de níquel laterítico no mundo, suas características e processos prospectivos, tendo em vista um melhor embasamento teórico.

2.1. Fase de investigação indireta.

Com base em levantamentos bibliográficos, delimitou-se o *Greenstone Belt* do Morro do Ferro para prospecção regional. Nessa unidade são reconhecidas rochas ultramáficas e eventos lateríticos de caráter regional, os quais serviram como base para direcionamento da prospecção regional a partir de sensoriamento remoto.

Para o desenvolvimento dessa fase fez-se uso de:

- *Mapas geológicos regionais* – nesse caso se destacam duas fontes: a Carta Geológica SF23 (Rio de Janeiro), em escala 1:1.000.000, disponibilizada para acesso público, em forma vetorial, pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM – através do GEOBANK (link: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>), a qual vem acompanhada de um pacote de informações geológicas, estruturais e

econômicas; Mapa Geológico apresentado por Zanardo (2003), abordando a porção sul da Faixa de Dobramentos Brasília.

- Imagem de satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) – essas são imagens georreferenciadas obtidas através de levantamento de radar para se elaborar um modelo global digital de terreno, disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (link: <http://srtm.usgs.gov/>); essas imagens também podem ser encontradas através do site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa – em articulação compatível com a escala 1:250.000 (link: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>) com resolução de 90 metros. No presente trabalho fez-se uso das imagens SRTM disponibilizadas pelo site da Embrapa, de forma que, para cobrir a área de prospecção regional, foram necessárias 4 imagens compatíveis com a escala 1:250.000 para composição de um mosaico, são elas: SF-23V-A, SF-23V-B, SF-23V-C e SF-23V-D.
- Imagens de satélite Landsat Thematic Mapper – são imagens georreferenciadas, geradas a partir de sensores instalados no satélite Landsat, podendo ser encontradas no site da organização Landsat (link: <http://landsat.org/>). Apresentam resolução de 30 metros, em imagens com dimensões de 185x185 quilômetros. O sensor TM (Thematic Mapper), a bordo do satélite Landsat 5, possui 7 bandas espectrais distribuídos na faixa do azul (0,45 – 0,52 μm), verde (0,52 – 0,6 μm), vermelho (0,63 – 0,69 μm), infravermelho próximo (0,76 – 0,9 μm), infravermelho médio (1,55 – 1,75 μm), infravermelho termal (10,4 – 12,5 μm) e infravermelho hidrotérmico (1,08 – 2,35 μm) do espectro eletromagnético. Para cobrir a área de prospecção regional fez-se uso de 2 imagens compondo um mosaico: *path* 219 / *rows* 074 e 075. Ambos os arquivos aqui aplicados trazem informações coletadas em junho de 1988, de forma que o período coincide com o inverno na região, onde se tem menor cobertura de nuvens e, conseqüentemente, menor umidade relativa do ar, com isso, diminuindo distorções nos dados. Uma vez inseridas em *softwares* específicos com ambiente SIG, as bandas espectrais podem ser combinadas a cada 3 para compor imagens de falsa cor, onde é possível se destacar características específicas visadas.
- Imagens de satélite Google Earth – essas imagens de satélite podem ser obtidas através do Programa Google Earth (<http://www.google.com/earth/>),

apresentando-se em cor natural e com alta resolução; as imagens disponíveis para a região alvo foram coletadas pelo satélite em 21/09/2011. Nesse caso, ao serem exportadas, não se encontram georreferenciadas, sendo que esse trabalho pode ser feito com auxílio de programas com ambiente SIG.

As imagens de satélite Landsat TM foram tratadas no programa ENVI 4.7, o qual apresenta ambiente SIG com possibilidade de efetuar diferentes combinações entre bandas espectrais. Ainda que as imagens obtidas do site da organização Landsat sejam de período de baixa umidade, se faz necessário a correção atmosférica das mesmas. Esse procedimento retira o efeito de dispersão da energia eletromagnética nas partículas de água suspensas na atmosfera, possibilitando que os alvos, invariáveis temporalmente, sejam interpretados da mesma forma. Esse procedimento foi realizado no ambiente do programa ENVI, aplicando-se o processo ‘*Dark Subtract*’ (subtração do pixel escuro), onde se faz o tratamento banda a banda com ferramentas estatísticas. Mais detalhes podem ser observados no tutorial elaborado por Sousa & Lopes (2010).

Uma vez com as imagens aptas a serem aplicadas para composições de bandas espectrais, aplicou-se o método de Andrews Deller (2006) para identificação de horizontes lateríticos. Nesse são geradas composições coloridas com três bandas multiespectrais do satélite Landsat TM, sendo as composições aplicadas RGB 754 e 742. Ao fim desse processo, as imagens produzidas podem ser salvas já georreferenciadas com extensão compatível com programa ArcMap 10, concluindo-se assim os trabalhos com o software ENVI 4.7.

Subsequente, os trabalhos foram todos desenvolvidos com o *software* ESRI ArcMap, parte do pacote ArcGIS 10. Esse apresenta ambiente SIG, permitindo integrar as imagens e informações destacadas acima. Para todos os dados georreferenciados foi utilizado Sistema de Coordenadas Projetadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) com Datum *South American* 1969 (SAD69), Zona 23 Sul.

As imagens georreferenciadas de satélite SRTM foram usadas para se desenvolver o modelo digital de declividade do terreno e dois modelos digitais de elevação de terreno, traduzidos na forma de curvas planialtimétricas. O modelo digital de declividade do terreno é traduzido em uma planta com variações de cores de acordo com intervalos de declividade, em graus, pré-definidos. O primeiro dos modelos de elevação, para maior detalhe, se mostra com equidistância das curvas de nível de 10 metros, e o segundo, para escala regional, com 50 metros. O

procedimento para confecção desses modelos de elevação e declividade se baseia na ferramenta *Spatial Analyst*, parte do *Arctoolbox*, integrante do ArcMap 10.

Foram acrescentados aos modelos digitais de terreno os mapas geológicos citados, além das composições de imagens de satélite Landsat. Com isso, foi possível desenvolver o trabalho de sensoriamento remoto, com o qual, partindo da área de prospecção regional, definiu-se os alvos para detalhamento das possíveis fácies lateríticas. Maiores detalhes dos critérios podem ser encontrados no Capítulo 7.

Definidos os alvos para detalhamento e, conseqüentemente, desenvolvidos os trabalhos de sensoriamento remoto, foram coletadas imagens de satélite do Google Earth que cobrem as áreas selecionadas. Essas imagens, por sua vez, foram georreferenciadas no software ArcMap 10, compondo assim um mosaico com o qual foi possível se extrair a malha viária local atualizada, drenagens, edificações, áreas de cultivo e locais potenciais para visita em campo.

Com isso, estabeleceu-se a base de dados com indícios que sustentam e orientam a Fase de investigação direta, como será descrito na sequência.

2.2. Fase de investigação direta.

A partir da base de dados obtida na fase anterior, realizou-se a visita de campo para descrições geológicas e coleta de amostras para caracterização química e mineralógica. Durante a etapa de campo foram feitas comparações entre os dados coletados das fácies de intemperismo e aqueles levantados por métodos de sensoriamento remoto.

A visita de campo aos dois alvos de interesse foi realizada durante 3 dias, em dezembro de 2013, onde se realizou os seguintes trabalhos:

- Busca de afloramentos e conseqüente descrição geológica, documentação fotográfica de solos, rochas e respectivas fácies de intemperismo, de forma a se identificar a possível presença de perfil de alteração que pudesse originar concentrações supergênicas de níquel associado a rochas ultramáficas;
- Registro da localização dos afloramentos descritos com auxílio de GPS *Garmin eTrex 30* que, assim como as base de dados confeccionadas, foi programado para operar em sistema de coordenadas UTM, no Datum SAD69, zona 23 Sul;
- A investigação buscou abranger o máximo possível de horizontes (ou fácies) lateríticos identificados pelo sensoriamento remoto, buscando assim uma

comparação entre os resultados de campo e aqueles obtidos pela primeira fase;

- Descrição das principais feições geomorfológicas, em comparação aos modelos digitais de terreno, visando, com isso, identificar locais propícios à presença de perfis lateríticos em seu melhor estado de preservação possível;
- Coleta de amostras representativas dos horizontes de alteração, as quais foram destinadas à caracterização química e mineralógica;
- Digitalização das informações coletadas em campo, realizada em tabela do Excel, integrante do Pacote Office 2010, de forma a serem importadas e editadas no *software* ArcMap 10.

2.3. Fase de integração de dados.

Nessa fase se deu a caracterização química e mineralógica de amostras coletadas em campo, fazendo uso dos seguintes procedimentos:

- Caracterização petrográfica: a partir de duas amostras coletadas em campo, representativas de rochas metaultramáficas em seu menor grau de intemperismo observado, sendo uma de cada alvo visitado, foram confeccionadas duas seções delgadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM), do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) da UNESP/Campus de Rio Claro. As descrições petrográfica das seções delgadas foram feitas por luz transmitida, para tal se utilizou o microscópio óptico convencional, Zeiss Axioskop A1, com sistemas de luzes transmitida e refletida do Laboratório de Microscopia do DPM.
- Caracterização mineralógica: foram selecionadas 11 amostras para caracterização por difratometria de raios X, onde se utilizou a amostra seca, pulverizada e prensada em pastilhas plásticas. Em seguida foram analisadas pelo Difratômetro de raios X, também do Departamento de Petrologia e Metalogenia, da marca PANalytical EMPYREAN, com medidas realizadas utilizando radiação $\text{CuK}\alpha 1$ ($WL=1,54056 \text{ \AA}$). O tempo total de análise foi de 3'08", e a corrente empregada de 30mA a uma voltagem de 40kV.
- Caracterização química: foram selecionadas 9 amostras representativas dos horizontes de intemperismo desenvolvidos sobre rochas ultramáficas, e também de solos, para análises químicas de rocha total pelo Laboratório

Acme (Analytical Laboratories LTD, Vancouver, Canadá), utilizando os métodos ICP-OES e ICP-MS. No pacote de análises foram abordados os elementos maiores SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O e P_2O_5 , cujos os teores foram obtidos por Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), após fusão utilizando metaborato/tetraborado de lítio; a perda ao fogo (LOI) determinada antes da fusão, pela diferença de peso das amostras antes e depois do aquecimento a 1.000°C por quatro horas. Já nos elementos traços analisados, Ba, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Th, Pb, Ga, Zn, Cu, Ni, V, Cr, Hf, Cs, Sc, Ta, Co, Be, U, W, Sn, Mo e Au, e os terras-raras La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm e Lu, os teores foram obtidos por Espectrômetro de Massa com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-MS), através da digestão de amostras sólidas em água régia.

Os dados obtidos foram organizados em tabelas e textos, com auxílio dos programas Excel e Word, integrantes do Pacote Office 2010. Os resultados dessas análises puderam ser comparados com os litotipos e horizontes descritos durante a visita de campo, o que auxiliou na caracterização do enriquecimento supergênico de determinados elementos químicos.

Por fim, fez se a integração dos dados e a confecção da dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, integrante do Instituto de Geociências e Ciências Exatas do campus da UNESP de Rio Claro.

3. Aspectos fisiográficos.

A região sudoeste do Estado de Minas Gerais, apresenta clima tropical de altitude, correspondendo a variedade Cwb (subtropical temperado de inverno seco) da classificação climática de Koppen (1948), com uma temperatura média anual variando de 18 a 20°C . A pluviosidade é da ordem de 1500 a 1750 mm anuais, com concentração de chuvas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, e estação seca em junho, julho e agosto.

A vegetação da região foi substituída, em grande parte, por pastagens voltadas para as atividades pecuárias, plantações de café e de eucalipto. A vegetação nativa remanescente resume-se a manchas isoladas de cerrado, típico da região

sudoeste do Estado de Minas Gerais, além de floresta estacional semidecidual, localizada em regiões de encostas de morros e vales.

A drenagem de maior expressão nessa região é o Rio Grande, que compõe uma série de represas para produção de energia hidrelétrica. O mesmo representa o nível de base local e recebe os rios de menor porte que drenam a região de prospecção regional. Na área aqui estudada a principal drenagem é o rio São João, com nascente próxima a cidade de Nova Resende (MG), que corta a área de sudeste para noroeste, semiconcordante as feições estruturais regionais, desembocando no Rio Grande próximo a cidade de Cássia (MG).

4. Aspectos geomorfológicos e solos.

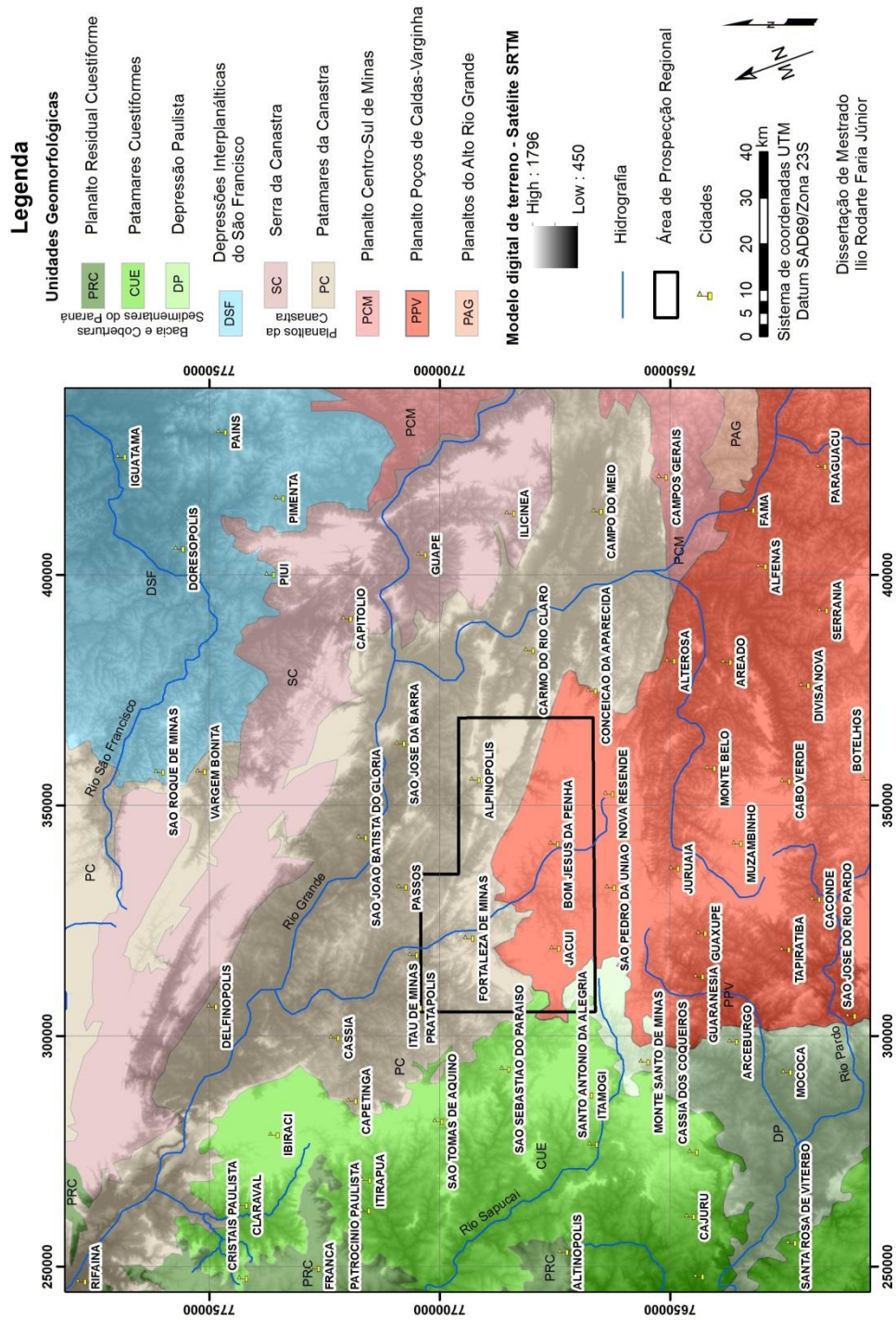
A área delimitada para prospecção situa-se em uma região com exposições de distintas unidades geológicas, como rochas do Cráton do São Francisco e da Faixa de Dobramentos Brasília. O arranjo e distribuição dos litotipos exibem forte influência de aspectos estruturais, como orientação preferencial de minerais e/ou agregados minerais, marcando foliação ou bandamentos composicionais, e planos de fratura e falha, a exemplo da Zona de Cisalhamento do Campo do Meio. Somados a esses aspectos geológicos-estruturais, a evolução do modelado na fase pós-cretácica promove um zoneamento geomorfológico bem destacado na região, como pode ser observado na Figura 2. Esses domínios geomorfológicos foram destacados pelo Projeto RADAMBRASIL (1983), sendo essa a bibliografia base aqui usada para elaboração desse capítulo.

4.1. Planalto da Canastra.

O Planalto da Canastra é constituído por cristas, barras e vales adaptados à estruturação NW-SE, e pode ser subdividido em duas unidades, Patamares da Canastra e Serra da Canastra.

A unidade Patamares da Canastra, na porção sul da Serra da Canastra, apresenta uma área rebaixada, com elevação entre 600 e 750 metros. Essa unidade é entalhada pelo Rio Grande e seus afluentes, desenvolvendo-se principalmente sobre litotipos do Grupo Araxá.

Figura 2 – Unidades Geomorfológicas destacadas na porção sudoeste de Minas Gerais e nordeste de São Paulo, sobrepostas ao modelo digital de terreno de satélite SRTM. Adaptado de RADAMBRASIL (1983).



Nessa unidade, nos domínios de rochas metapelíticas caracteriza-se um relevo suave com colinas amplas de topos planos e vertentes convexas, onde a densidade de drenagens é baixa, sendo comumente cobertos por solos rasos, como Cambissolos, até solos profundos, como Latossolos e Podzólicos (Argissolos). Sotoposto a esses, é comum a presença de espessos depósitos colúvio-aluvionares formados durante o Pleistoceno. As regiões com relevo mais dissecado encontram-se nos arredores da cidade de Passos (MG), próximo ao contato com o domínio da Bacia do Paraná. Nessas observam-se colinas de topo plano com delgada cobertura de solo, predominando Cambissolos, e encostas côncavo-convexas. Ainda segundo a direção NW-SE são encontradas cristas sustentadas por quartzitos com cornijas sendo interceptada por patamares estruturais, onde o intemperismo físico é o principal processo atuante.

A unidade Serra da Canastra é representada principalmente pelos topos planos elevados, chegando a altitudes de 1400 metros. É composta por barras, cristas e chapadas, sendo, esse último, herança de superfície de aplanamento atuante em caráter regional, denominada por King (1956) como Superfície de Aplanamento Sul-Americana, cuja base estaria preservada sobre os quartzitos. No topo dos patamares os solos mais espessos correspondem a Latossolos escuros e/ou Vermelho-Amarelos, nos quais é comum a presença de couraças ferruginosas.

4.2. Bacia do Paraná e Coberturas Sedimentares.

Observada na porção oeste da área de prospecção regional, de forma que esse domínio geomorfológico não se limita, necessariamente, aos domínios de rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná. Nessa região é representada por três unidades principais, a Depressão Paulista, Patamares Cuestiformes e Planaltos Residuais Cuestiformes.

A Depressão Paulista é expressivamente desenvolvida sobre rochas do Grupo Itararé. No entanto, na região de Mococa (SP) pode ser observada nos litotipos metamórficos do Complexo Varginha, enquanto mais a sul se desenvolve sobre demais litotipos presentes nos limites da Bacia do Paraná. Apresenta altitudes médias variando entre 550 e 700 metros, é marcada por relevo tipicamente tabular com bordas convexas e vales pouco aprofundados, não superando 20 metros. Segundo Ab'Saber (1969), essa unidade é marcada por uma circundesnudação iniciada no Paleógeno (anteriormente denominado Terciário), desenvolvida na borda oriental da bacia, sobre a qual é comum a presença de depósitos sedimentares cenozóicos, a exemplo da Formação Rio Claro. A

associação de solos predominantes nessa unidade são Podzólico Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro e Terra Roxa Estruturada.

Os Patamares Cuestiformes representam estrutura que faz parte do Planalto Basáltico, cuja evolução é parte ativa do desenvolvimento da Depressão Paulista (CHRISTOFOLETTI & QUEIROZ NETO, 1961). Internamente apresenta um relevo de topo aplanado monoclinal, com caimento para oeste, o qual se desmantela a leste na forma de escarpas, correspondendo ao desdobramento de cuestras sobre rochas sedimentares intercaladas por rochas vulcânicas. Submetida a processos de pediplanação, seu relevo é plano e/ou dissecado, com interflúvios amplos, planos ou convexos, com vales pouco aprofundados. Próximo à cidade de Franca (SP) são identificadas couraças ferruginosas conglomeráticas, enquanto na região de Ibiraci (MG) são encontradas couraças ferruginosas pedogenéticas. Nessa unidade são observados Latossolos Vermelho-Amarelo, Vermelho-Escuro e Roxo, Podzólico Vermelho-Amarelo e, localmente, Areias Quartzosas.

Os Planaltos Residuais Cuestiformes se distribuem descontinuamente pela borda da bacia, retratam o desdobramento de cuestras, mais internas que os Patamares Cuestiformes na Bacia do Paraná. São também compostos por um conjunto de relevos, com topos aplanados e *fronts* e reversos das cuestras variando entre 750 a mais de 1000 metros de altitude. Essas cuestras encontram-se de forma descontínua dada à erosão por ação de rios em momento pretérito, responsáveis pelo entalhe profundo formando *percees*.

4.3. Planalto Poços de Caldas-Varginha.

Essa unidade pode ser subdividida em Planalto de Poços de Caldas e Planalto de Varginha, sendo o segundo aquele de interesse para a área de pesquisa, já que os dois alvos selecionados para detalhamento se encaixam dentro dos limites dessa unidade. Desenvolve-se em maior parte sobre os litotipos gnáissico-migmatíticos do Complexo Varginha-Guaxupé, as quais foram perturbadas por intrusões alcalinas cretácicas.

O Planalto Varginha apresenta elevação variando entre 800 metros, próximo a represa de Furnas, e 1200 metros, em cristas isoladas. Nessa unidade predomina o modelado com dissecação homogênea, com drenagens apresentando aprofundamento variando entre 40 e 115 metros, configurando colinas e morros, por vezes alongados, com vertentes convexo-côncavas e topos convexos a aplainados. Em diversos locais é

possível verificar uma dissecação obedecendo às direções estruturais. Um segundo modelado observado, são os de acumulações que correspondem a planícies fluviais, com a presença de terraços esculpidos em formações aluviais.

No contato entre a unidade Patamares da Canastra e o Planalto Varginha tem-se um relevo escalonado, localizado na porção extremo oeste da área de prospecção regional, onde pode ser encontrado a Serra do Chapadão (ou Serra da Fortaleza). Essa feição geomorfológica se desenvolve sobre metassedimentos do Grupo Araxá, apresenta topo aplanado entre cotas de 1000 e 1200 metros de altitude, com presença de resquícios de couraça ferruginosa, evidenciando restos de uma superfície de aplainamento. Esse topo se desmantela em cornijas elevadas e de alta inclinação, com desnível que pode chegar a 200 metros. Tais características, em particular, são muito semelhantes àquelas observadas na unidade Serra da Canastra.

Partindo da Serra do Chapadão se individualizam, a oeste, relevos destacados na forma de mesas, que se mostram como residuais. Além desse, feições com mais acentuada dissecação assinalam para a descida do nível de topo do Chapadão para um nível inferior de aplainamento, em torno de 900 a 1000 metros de altitude, bem destacado na região de Jacuí (MG).

Nessa unidade predominam os Latossolos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuros, além de Podzólicos e Cambissolos.

5. Contexto geológico regional.

A área alvo dos estudos situa-se no sudoeste de Minas Gerais, na porção limítrofe dos litotipos aflorantes do Cráton do São Francisco e da Província Estrutural Tocantins (ALMEIDA, 1981), como se destaca na Figura 3. Essa região compreende unidades geológicas com evoluções tectono-metamórficas, idades e gêneses distintas, sendo comum a todos os registros do evento tectono-metamórfico associado à orogênese Neoproterozóica (ALMEIDA, 1981; ZANARDO, 1992; BRITO NEVES et al, 1999; VALERIANO et al, 2004; entre outros).

Na região alvo dos estudos se reconhece o complexo gnáissico-migmatítico Barbacena, considerado uma unidade arqueana pertencente ao Cráton do São Francisco, que encontra-se recortado por diques de composição básica-ultrabásica, representantes de intrusões mesoproterozóicas. Esse embasamento é sobreposto de forma discordante por rochas dos grupos Araxá (alóctone) e Bambuí (autóctone).

No Complexo Barbacena podem ser encontradas lentes e faixas de rochas metamáficas-ultramáficas serpentinizadas, as quais são representantes do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF), litotipos esses que são os alvos de pesquisa do presente trabalho.

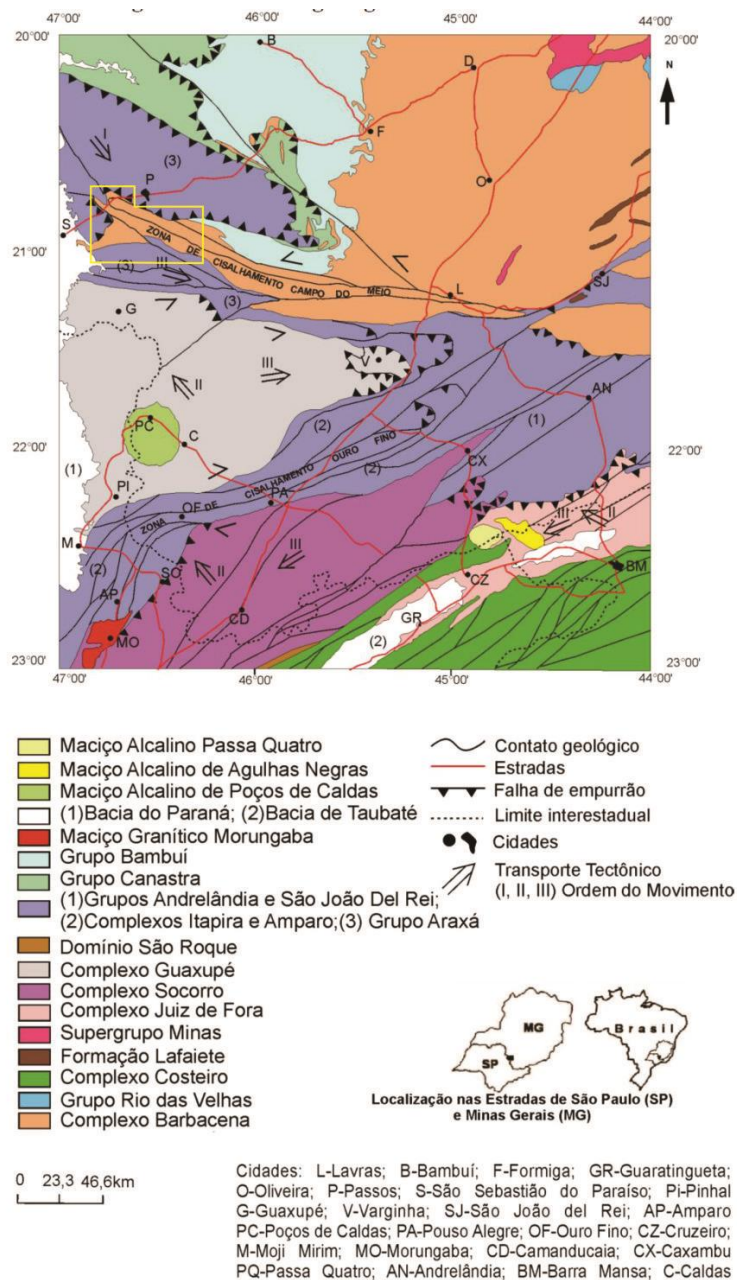
5.1. Contexto geotectônico.

As primeiras contribuições para os estudos do Cráton São Francisco se deram com Guimarães (1951), com os primeiros ensaios de subdivisão tectônica do território brasileiro, e Ebert (1956, 1957, 1968, 1971), ao qual coube a denominação aplicada até hoje. Almeida (1977, 1981) foi responsável pela sequência dos estudos que culminaram na caracterização do Cráton do São Francisco como “uma entidade tectônica que teve sua configuração atual definida durante o Ciclo Brasileiro”, sendo seus contornos delimitados pelos cavalgamentos do fim do Neoproterozóico, representado na região de estudos pela Faixa de Dobramentos Brasília.

A Faixa de Dobramentos Brasília se formou à margem do Cráton São Francisco, sendo entendida como um cinturão de dobramentos, cavalgamentos e cisalhamentos desenvolvido no Neoproterozóico (VALERIANO et al, 1995). É de comum acordo entre os diversos pesquisadores que o cenário geológico encontrado atualmente no sudoeste do estado de Minas Gerais deveu-se a um processo de colisão continental envolvendo dois ou mais continentes, de idades arqueanas/proterozóicas, afetados na fase final por sistemas transcorrentes (ALMEIDA, 1977, 1981; HARALYI e HASUI, 1982; BRITO NEVES et al, 1999; ZANARDO, 1992; entre outros).

Segundo Haralyi e Hasui (1982) as rochas cristalinas do sudeste brasileiro estariam organizadas na forma de três blocos tectônicos: Bloco Brasília ao norte, Bloco São Paulo ao sul e Bloco Vitória a leste. Esses blocos são separados por cinturões de cisalhamento denominados de Cinturão Transcorrente Campo do Meio, entre os blocos Brasília e São Paulo e Cinturão de Cisalhamento Rio Paraíba do Sul ou Cinturão Ribeira, entre os blocos Brasília e Vitória, e São Paulo e Vitória (HASUI et al, 1990 e EBERT et al, 1993 e 1995). De acordo com Haralyi e Hasui (1982) estruturação das zonas de cisalhamento seria arqueana, no entanto, esses cinturões teriam sofrido reativações no evento tectono-metamórfico neoproterozóico.

Figura 3 – Contexto geológico-estrutural da porção sul da Faixa Brasília, destacando a área visada na fase inicial dos estudos. Fonte: Adaptado de Zanardo (2003).



Em termos geotectônicos, a região sudoeste de Minas Gerais pode ser compreendida como blocos continentais de evolução policíclica, os quais se formaram a partir de acreções em eventos arqueanos e proterozóicos e foram, mais tarde, envolvidos no evento tectônico do Neoproterozóico. Um destes blocos continentais é constituído por rochas arqueanas (grupos Amparo, Barbacena e o GBMF) geralmente cobertos por sequências supracrustais alóctones (grupos Araxá, Canastra, Itapira, etc) e autóctone (Grupo Bambuí), enquanto que o outro bloco é constituído pelos complexos

Guaxupé e Socorro, que cavalgam o primeiro bloco, e onde se observa intensa anatexia (ZANARDO et al, 1998).

Já na fase final do evento tectono-metamórfico Neoproterozóico, destaca-se a atuação de cinturões de cisalhamento, a partir da reativação de zonas de cisalhamento em terrenos mais antigos (ZANARDO et al, 2000). O primeiro cinturão é de natureza sinistrógiro, posicionado na sutura entre os terrenos arqueanos do Complexo Barbacena e os terrenos de alto grau do Complexo Guaxupé (ZANARDO et al, 2000), e denominado Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio (HASUI et al, 1990). O segundo cinturão, de natureza dextrógiro e de maior magnitude, é denominado Cinturão de Cisalhamento Rio Paraíba do Sul (HASUI et al, 1990).

5.2. Unidades litoestratigráficas.

Serão apresentadas a seguir as unidades litoestratigráficas do domínio cratônico, compostas pelo Complexo Barbacena, no qual se insere o GBMF, as intrusões básicas-ultrabásicas e o Grupo Bambuí, além das unidades do domínio alóctone, representadas pelo Grupo Araxá.

5.2.1. Complexo Barbacena.

Designado por Cavalcante et al (1979) como Associação Barbacena, os autores destacaram ainda parte como sendo o Complexo Campos Gerais, com porções que estariam fortemente influenciadas por zonas de cisalhamento e falhas, as quais se encontram na zona de influência do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio. Segundo os mesmos autores, o Complexo Campos Gerais seria constituído por metamorfitos de fácies anfíbolito, englobando rochas similares às pertencentes aos grupos Barbacena, Araxá, Andrelândia, Canastra e São João Del Rei, além de rochas máficas e ultramáficas com diferentes evoluções e/ou contexto tectono-metamórfico.

No presente trabalho, como disposto na Figura 4, esses terrenos representantes do Cráton São Francisco na região são entendidos como prolongação do Complexo Barbacena. Esse é constituído por litotipos arqueanos e paleoproterozóicos aos quais se associam sequências do tipo *greenstone*, a exemplo do Morro do Ferro e Piumhi (ZANARDO, 2003).

As rochas que compõem o Complexo Barbacena são granitóides homogêneos, parcialmente foliados, biotita e/ou anfíbolio gnaisse bandados, facoidais e laminados, e migmatitos, principalmente do tipo estromático, podendo ser também nebulítico,

schilieren, shollen e dobrado, exibindo melanossoma gnáissico, anfibolítico e ultramáfico e leucossoma granítico e diorítico (HASUI et al, 1988).

No embasamento cristalino são caracterizadas duas fases deformacionais mais expressivas. A primeira é constituída por dobras fechadas a isoclinais do bandamento metamórfico pré-existente e a segunda fase representada por dobras abertas a fechadas, desenhadas pela foliação cataclástica (MORALES et al, 1983).

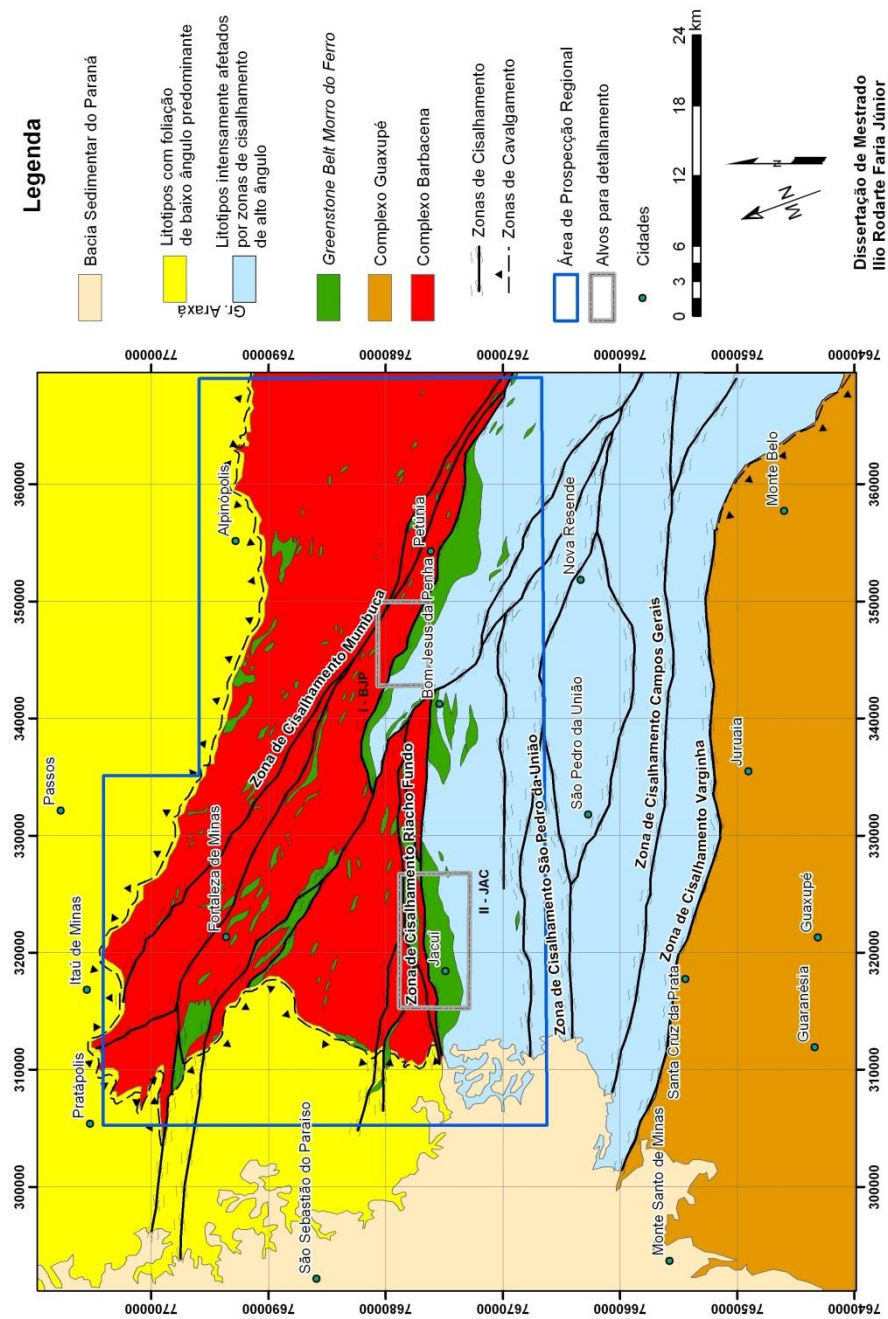
As zonas de cisalhamento controlam a distribuição dos litotipos, com ocorrência de porções lenticulares menos deformadas, portadora de feições migmatíticas, separadas por faixas subparalelas de maior deformação (MORALES et al, 1993). Nas faixas mais deformadas as estruturas mais antigas foram fortemente distorcidas, originando gnaisses bandados portadores de grande número de intercalações lenticulares de metabasitos/metaultrabasitos e metassedimentos (MORALES et al, 1993).

Essas rochas foram afetadas por deformação acompanhada de metamorfismo de fácies anfibolito médio a alto, envolvendo anatexia parcial, no ciclo orogénico Transamazônico, com pico de temperatura de 750°C e pressão entre 5 e 6 kbar (CARVALHO et al, 1992; ZANARDO, 1992). Posteriormente essas rochas sofreram retrometamorfismo, com reequilíbrio em fácies xisto verde a anfibolito baixo (ZANARDO, 1992).

5.2.1.1. *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF).

Definido por Teixeira (1978), é caracterizado por sequências metavulcanossedimentares formando faixas alongadas, orientadas segundo a direção WNW, exceto na região de Jacuí, onde apresentam orientação E-W (Figura 4). No geral, são faixas estreitas, descontínuas, paralelas entre si e se colocam embutidas por contatos tectônicos no Complexo Barbacena e no Grupo Araxá (FEOLA, 2004). São encontrados exemplares desses litotipos desde as imediações da cidade de Pratápolis (MG) até Lavras (MG), sendo os corpos mais expressivos situados entre as cidades de Fortaleza de Minas e Alpinópolis.

Figura 4 – Contexto geológico-estrutural da porção sudoeste de Minas Gerais, destacando a área de estudo para prospecção regional, os alvos de pesquisa e a distribuição das lentes de rochas do Greenstone Belt Morro do Ferro. Fonte: adaptado de Zanardo (2003).



A área de abrangência dessas rochas pertencentes ao GBMF mostra comprimento aproximado de 200km e largura da ordem de 50km (BRENNER et al, 1990). A sequência *greenstone* foi afetada pela Zona de Cisalhamento do Campo do Meio, sendo essa a entidade responsável pela organização estrutural da região (HASUI & OLIVEIRA, 1984; ALMEIDA, 2003). Em razão dessa feição estrutural, os corpos apresentam complexos padrões deformacionais e metamórficos, marcado por lenticularização, deformação, aloctonia e individualização, configurando o atual padrão regional amendoado (FEOLA, 2004).

No presente trabalho, o GBMF será apresentado como foi descrito em sua fase inicial de estudos, nas décadas de 1970 e 1980. Com os avanços do conhecimento sobre esta unidade, foram propostas mudanças, principalmente no caso da formação ferrífera e sedimentos químicos metamorfizados, aflorantes no Morro do Ferro (FERNANDES, 2004). Nesse caso há indícios que essas formações seriam mais jovens que o GBMF, e que teriam sido estruturadas no evento neoproterozóico.

Teixeira et al (1987) subdividiram a porção mais continua da sequência *greenstone* que aflora entre Fortaleza de Minas e Bom Jesus da Penha em três faixas principais: Fortaleza de Minas – compreendendo as Unidades Morro do Níquel (unidade de base) e Morro do Ferro (unidade de topo), suprimindo a Unidade Córrego do Salvador (unidade intermediária) proposta inicialmente por Teixeira & Danni (1979 a, b) – ; Alpinópolis; e Bom Jesus da Penha-Jacuí. De acordo com Teixeira (1978), Teixeira & Danni (1979 a, b) e Carvalho et al (1993) essas faixas compõem a sequência metavulcanossedimentar denominada GBMF.

Esse conjunto da base é constituído por rochas derivadas de derrames de lavas ultrabásicas, possuindo localmente textura *spinifex* fina, intercalações regulares de precipitados químicos (*cherts*), rochas detríticas, níveis tufogênicos e vulcânicas ácidas retrabalhadas; a porção média compreende lavas básicas, lentes de rochas ultrabásicas, ritmitos e chert ferrífero; o topo é constituído por um espesso pacote sedimentar representado por metapelitos grafitosos e chert ferrífero (TEIXEIRA & DANNI, 1979 b; CARVALHO et al, 1992). Os litotipos predominantes na sequência *greenstone* são rochas ultramáficas de composição komatiítica e, subordinadamente, ocorrem rochas metabásicas de composição komatiítica, toleítica e, em menor escala, cálcio alcalina (ZANARDO, 1992, 2003; CARVALHO et al, 1992).

No segmento Fortaleza de Minas, a unidade basal, Morro do Níquel, encontra-se diretamente disposta sobre gnaisses cataclásticos do embasamento, numa faixa de

direção N40W, estendendo-se por cerca de 30 km. Constitui-se, essencialmente, de talco-tremolita-xistos, tremolita-serpentina-clorita-xistos e intercalações de metacherts e metatufos, *wacke* feldspáticos e sericita quartzo xistos (TEIXEIRA & DANNI, 1979 b).

A unidade Morro do Ferro, unidade de topo, corresponde à sequência aflorante ao longo das elevações do morro homônimo, sendo constituído por filitos sericíticos, localmente grafitosos, contendo lentes de metacalcários, muscovita-clorita-cloritóide-xisto, talco-xistos e anfíbolitos (TEIXEIRA, 1978; TEIXEIRA & DANNI, 1979).

Na faixa Bom Jesus da Penha-Jacuí são observados xistos e *fels* ultramáficos, com estrutura e textura milonítica, e mineralogia constituída por poucos minerais essenciais, apesar disso, não são rochas monominerálicas (SOARES et al, 1990). Nestas rochas máficas podem ser observadas textura anisotrópica, xistosa, gnáissica ou milonítica, e, dentre os minerais essenciais, têm-se plagioclásio (labradorita/oligoclásio) e hornblenda, podendo ocorrer clinopiroxênio, granada, biotita, quartzo, clinozoisita e/ou pistacita, carbonato, clorita, escapolita, titanita e opacos (ZANARDO, 2003).

Esses corpos são lenticulares, fusiformes, isorientados e distribuem-se de maneira difusa, com extensões variáveis, de métricas a quilométricas, assim como as espessuras, de decimétricas a decamétricas, raramente chegando a 100 metros (ZANARDO, 2003). Os corpos perfazem contato tectônico, marcado por foliação milonítica, com as encaixantes, que podem ser gnaisses (orto e paraderivados), migmatitos, metassedimentos (pelíticos e psamíticos), e formações ferríferas (ZANARDO, 2003).

Segundo Carvalho et al (1993), a região foi submetida a eventos tectônicos policíclicos complexos, sendo possível reconstituir pelo menos dois deles: o primeiro marcado por metamorfismo onde as temperaturas atingiram ao menos 600°C, marcado por associação mineralógica granada/silimanita/estauroлита, e o segundo seria retrogressivo, em fácies xisto-verde, afetando a mineralogia pré-existente por processos de cloritização, serpentinização, carbonatação e silicificação.

Há estudos que apontam para uma separação dessa sequência metavulcanossedimentar em duas entidades distintas, o GBMF de origem arqueana, e a Faixa Ofiolítica Bom Jesus da Penha-Jacuí, que teria se estruturado como tal no evento orogenético neoproterozóico (SOARES et al, 1990; ZANARDO et al, 2006). No entanto, segundo Lima (2014) para a distinção entre os litotipos da faixa ofiolítica e da sequência *greenstone* seria necessário uma soma de critérios, uma vez que do ponto de vista químico, e mesmo mineralógico, são muito similares, além do que ambas as

unidades apresentam contato tectônico com as demais. Uma vez que as duas unidades são descritas com características químicas e mineralógicas muito similares por Zanardo et al (2006) e Lima (2014), optou-se por não aplicar tal separação no presente trabalho.

5.2.2. Diques básicos.

Carneiro & Barbosa (2005) e Costa et al (2006) reconhecem diques de composição básica, compostos por gabros, gabronoritos e anfibolitos, intrudidos nas rochas arqueanas do Cráton São Francisco. Segundo Carneiro & Barbosa (2005), datações radiométricas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ apontam idade de 1,7 M.a. para diques de composição gabronorítica, dessa forma, esses diques se colocam na transição do Paleoproterozóico para o Mesoproterozóico. Tais diques seriam reflexo do fim do ciclo Transamazônico, que, de acordo com Costa et al (2006), corresponde a um magmatismo fissural que agiu quando o Cráton do Congo-São Francisco já se encontrava estabilizado.

5.2.3. Grupo Araxá.

A relação entre os grupos Araxá e Canastra ainda é pouco clara devido à intensa imbricação tectônica observada nessas sequências metassedimentares, de forma que são interpretados como equivalentes lateralmente (DARDENNE, 2000). O Grupo Araxá representa uma unidade alóctone que está em contato com os Terrenos TTG ao norte e a oeste, ocorrendo também enclaves tectônicos junto ao embasamento (ZANARDO, 2003).

Trata-se de uma sequência metassedimentar, composta por psamopelitos, pelitos, grauvacas, psamitos e subordinadamente calcossilicatadas, além de contribuição de rochas vulcânica e vulcanoclástica (p. ex. BARBOSA et al, 1970; ZANARDO et al, 1990; SIMÕES, 1995).

Fernandes et al (2000) e Fernandes (2004) apontam a ocorrência de dois tipos de formações ferríferas na porção sudoestes de Minas Gerais, sendo um tipo correlato ao GBMF (arqueana) e outro um depósito ligado à sedimentação do Grupo Araxá no Mesoproterozóico/Neoproterozóico. Dentre essas formações ferríferas mais jovens, destaca-se aquela aflorante no Morro do Ferro, culminando na possibilidade de mudança em relação à estratigrafia original descrita para o GBMF, segundo os mesmos trabalhos.

Na região de estudo essa unidade metassedimentar, integrante da Faixa de Dobramentos Brasília, se estruturou no Neoproterozóico na forma da *Nappe* de Passos, sendo que Teixeira & Danni (1978) foram responsáveis pelo primeiro estudo de sua

estruturação, onde a descreveram como sendo uma *nappe* de *charriage* associada a um meganticlinal recumbente com flanco inverso exposto regionalmente. Segundo esses autores, esta estrutura seria responsável pela disposição do pacote litológico, que estaria dobrado em três feições principais: sinclinal de Passos, anticlinal de Itaú, e sinclinal do Chapadão.

Heilbron et al (1987) descreveram dobras parasíticas da fase principal (dobras em “Z” em perspectiva para NW), que segundo esses autores seriam incompatíveis com o flanco inverso de um anticlinal recumbente. Simões et al (1988) ao estudarem as estratificações cruzadas em quartzitos da Serra do Chapadão afirmaram ainda que esses estratos estão em posição normal.

Com esses dados reforçando a teoria de que a *Nappe* de Passos não se trata de uma megadobra recumbente, Simões (1995) explica a inversão metamórfica com uma subducção das rochas da *nappe* em fases precoces da orogênese brasileira, através de uma zona de subducção que mergulhava aproximadamente para W. Em fase posterior, essas rochas teriam sido rapidamente empurradas contra o Cráton do São Francisco e exumadas, de forma a preservar a inversão das isothermas (SIMÕES, 1995).

Heilbron et al (1987) propuseram um modelo para a região entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro em que as estruturas foram agrupadas em quatro fases de deformação. Posteriormente, Simões & Valeriano (1990) reconheceram que esse modelo era válido para a *Nappe* de Passos como um todo, e Simões (1995) caracterizou e sistematizou essas fases deformacionais como:

- Fase D1: marcada por xistosidade S1 paralela ao bandamento composicional (S0);
- Fase D2: gerou a principal foliação da área, com baixo ângulo de mergulho, consistindo assim de um importante evento deformacional na evolução da estrutura da *Nappe* de Passos, possivelmente se formando durante o transporte da *nappe*;
- Fase D3: caracterizada por dobras abertas a suaves com planos axiais de direção NW, subverticais a verticais e eixos com caimentos suaves em geral para NW;
- Fase D4: caracterizada por dobras abertas a suaves, planos axiais verticais a subverticais e linhas de charneira com direção N e NNE, com caimentos suaves para SSW ou NNE.

O metamorfismo atingido pela *Nappe* de Passos foi dividido por Simões (1995) em duas fases marcantes: metamorfismo principal (MP) e retrometamorfismo (RM). O MP inclui o auge do evento metamórfico e ocorreu, provavelmente, pré ou cedo-D2, incluindo nesse contexto as paragêneses de mais alto grau (SIMÕES et al, 1988). O RM é responsável pela destruição parcial ou total das paragêneses metamórficas do evento principal. O gradiente metamórfico invertido grada da base para o topo, iniciando em fácies xisto verde em direção ao centro do cráton, evoluindo até fácies anfíbolito superior, em direção inversa ao centro do cráton (TEIXEIRA & DANNI, 1978; ZANARDO, 1992; SIMÕES, 1995).

Segundo Valeriano et al (2008) a evolução tectônica da Faixa Brasília pode ser dividida em: rifte continental (1,1 - 0,9 Ga) e estágio colisional (650 - 600 Ma). Seer (1999) com uma compilação dos dados geocronológicos K-Ar concluiu que existiram dois eventos colisionais no setor meridional da Faixa Brasília, o primeiro em torno de 790 Ma e o mais novo em 630 Ma, representando a colagem final do continente Gondwana. De acordo com o mesmo autor esses dados ainda confirmam o resfriamento regional após 630 Ma, durante o encaixe final das escamas tectônicas sobre níveis crustais rasos, processo que se encerrou em torno de 580 Ma.

5.2.4. Grupo Bambuí.

Corresponde a unidade autóctone que capeia grande área do Cráton São Francisco. Considerado como de idade neoproterozóica, sendo encontrado aflorando na porção frontal, a leste, da *Nappe* de Passos, se prolongando para sul, em direção à cidade de Alpinópolis (DARDENNE, 2000). O Grupo Bambuí constitui a cobertura de maior distribuição no Cráton do São Francisco. Representa associação de litofácies siliciclásticas e bioquímicas, na forma de sedimentos plataformais depositados em extenso mar epicontinental (IGLESIAS & UHLEIN, 2009).

Nas proximidades da região de estudo, onde se encontra com maior grau de deformação, é representado por mármore finos intercalados a filitos e filonitos, cálcio xistos e rochas calciossilicáticas, filitos e/ou clorita xistos sericíticos, granoquartzitos, quartzo xistos, mica xistos, quartzitos e metagrauvacas (ZANARDO, 1992 e 2003). Nessa região afloram na forma de *klippen* restritos e como intercalações tectônicas ou corpos-para-autóctones (ZANARDO, 2003).

5.2.5. Coberturas cenozóicas.

Essas unidades são representadas por depósitos aluvionares e coluvionares, que podem ter se formado em momentos distintos. Os depósitos aluvionares aparecem nos vales das principais drenagens da área e são constituídos por cascalhos, areias conglomeráticas a argilosas e material lamítico, rico em matéria orgânica. Os depósitos coluvionares ou colúvio-aluvionares são arenosos, de cores vermelha a laranja amarelado e aparecem cobrindo amplas áreas, relativamente elevadas e de relevo pouco ondulado.

5.3. Recursos minerais na região.

Será apresentado aqui um apanhado recursos minerais mais expressivos listados na literatura, assim como o compilado de ocorrências exposto pela CPRM através da Folha SF23 - Rio de Janeiro.

Os primeiros relatos de recursos minerais na região sudoeste de Minas Gerais remetem aos processos de garimpo de ouro no século XVIII, nos rios São João e Santana (PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAÚ DE MINAS, 2010).

Já no período de 1922-25 a Companhia Eletrometalúrgica de Ribeirão Preto atuou na região de Pratápolis (MG) explorando hematita no Morro do Ferro e, em decorrência de sua presença na área, realizou escavações no Morro do Níquel (antiga Serra Pelada), onde encontrou veios de garnierita em meio à serpentinitos alterados (CARVALHO, 1983). No entanto, a primeira descrição a cerca da jazida Morro do Níquel só veio a ser feita em 1935, por Luciano Jacques de Moraes, no trabalho “Níquel no Brasil” (CARVALHO, 1983; OLIVEIRA, 1990) enquanto que os trabalhos de prospecção no local só vieram a ocorrer entre 1957-59, sendo realizados pela Mineração Sertaneja. A mineração de ferro na região não prosperou, enquanto a atividade minerária na jazida do Morro do Níquel encontra-se ativa até os dias atuais.

Paralelo a esses, na primeira metade do século XX se iniciou a exploração de calcário para produção de cimento, onde hoje é a cidade de Itaú de Minas, com a fundação da primeira fábrica de cimento em 1937 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAÚ DE MINAS, 2010). A lavra de calcários para produção de cimentos se mantém ativa até os dias atuais, associam a extenso corpo de rochas carbonáticas.

No fim da década de 1970 os estudos na região foram retomados, o que resultou na definição do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (TEIXEIRA, 1978), expondo assim o potencial mineral da região associado ao modelo geológico. Seguindo esses, desenvolveram-se na região trabalhos prospectivos que em 1983 culminaram na

descoberta da jazida de sulfeto maciço de níquel, cobre, cobalto, platinóides e enxofre de Fortaleza de Minas (ou Serra da Fortaleza), sendo esse o primeiro depósito de sulfetos vulcanogênicos associados a derrames komatiíticos em território brasileiro (CARVALHO E BRENNER, 2010). Essa jazida esteve em produção até 2013, quando foi paralisado o processo de mineração.

Atualmente também destaca-se a mineração de quartzito aplicado à ornamental, principalmente nas proximidades da cidade de Alpinópolis, lavrados a partir de rocha do Grupo Araxá (RUSSO, 2011).

Quanto ao potencial mineral na região, através da folha que cobre a área (SF23 - Rio de Janeiro em escala 1:1.000.000), a CPRM traz o cadastro de ocorrências de metais ferrosos (Cr, Fe), metais nobres (Au e Ag), talco, amianto e metais não-ferrosos (Cu, Ni, Co). Há também ocorrências de calcário e dolomito associados aos grupos Bambuí e Araxá, minerais de aplicação industrial e em construção civil, como argilas, caulim, quartzo, cascalho e areia. Além desses, destaca-se a ocorrência de lentes de metafosforito e de metassiltito fosfático associados ao Grupo Araxá (FERNANDES et al, 2000; FERNANDES, 2004).

6. Gênese das concentrações supérgenas de níquel.

As concentrações supergênicas de níquel, ou concentrações lateríticas de níquel, compreendem os principais depósitos brasileiros desse metal. Sua gênese depende de três fatores principais, a saber: protólito ultramáfico, com composição química ultrabásica, processo de serpentinização e evento(s) de lateritização (SMIRNOV, 1982; COX e SINGER, 1986). Abaixo serão tratados separadamente esses fatores, que são a base do processo de prospecção dessas concentrações metálicas.

6.1. Litotipos primários.

A composição da rocha é o primeiro limitante para ocorrência de níquel laterítico, uma vez que essa deve ser, invariavelmente, ultramáfica (>90% de contribuição de minerais máficos) de composição ultrabásica. A composição mineralógica necessita ser de minerais capazes de reter níquel em seu retículo cristalino, sendo que, de acordo com Brand et al (1998), para atender essa solicitação os minerais mais propícios são as olivinas e os ortopiroxênios (Tabela 1).

Dessa forma, as rochas primárias de maior importância para ocorrência de níquel são: (1) dunitos, peridotitos, harzburgitos e wehrlitos em sequências ofiolítica do tipo alpino e ofiólitos obductados em grandes zonas de dobramento; (2) komatiitos ricos em

olivina; (3) intrusões bandadas máficas-ultramáficas, presentes em embasamentos pré-cambrianos (BRAND et al, 1998).

Tabela 1 – Silicatos essenciais e o conteúdo em porcentagem de determinados elementos químicos, com destaque para o níquel, que apresenta maiores teores associados a olivina. Adaptado de Lelong et al (1976).

Mineral	X (%)	0,X (%)	0,0X (%)	0,00X (%)	0,000X (%)
Plagioclásio	K	Sr	Ba, Rb, Ti, Mn	P, Ga, V, Zn, Ni	Pb, Cu, Li, Cr, Co, B
Feldspato K	Na	Ca, Ba, Sr	Rb, Ti	P, Pb, Li, Ga, Mn	B, Zn, V, Cr, Ni , Co
Quartzo				Al, Ti, Fe, Mg, Ca	Na, Ga, Li, Ni , B, Zn, Ge, Mn
Anfibólio		Ti, F, K, Mn, Cl, Rb	Zn, Cr, V, Sr, Ni	Ba, Cu, P, Co, Ga, Pb	Li, B
Piroxênio	Al	Ti, Na, Mn, K	Cr, V, Ni , Cl, Sr	P, Cu, Co, Zn, Li, Rb	Ba, Pb, Ga, B
Biotita	Ti, Fe	Ca, Na, Ba, Mn, Rb	Cl, Zn, V, Cr, Li, Ni	Cu, Sr, Co, P, Pb, Ga	B
Olivina		Ni , Mn	Ca, Al, Cr, Ti, P, Co	Zn, V, Cu, Se	Rb, B, Ge, Sr, As, Ga, Pb

6.2. Serpentinização.

O processo de serpentinização é um influente fator, uma vez que a substituição dos minerais primários (olivinas e piroxênios) por minerais secundários (serpentinhas e anfibólios) ocorre sem perda na capacidade de retenção do níquel, o que resulta em minerais com certa estabilidade face aos processos intempéricos, sobretudo no início da alteração, sofrendo posteriormente uma marcada degradação e praticamente desaparecimento do perfil (DALVI et al, 2004; MELFI, 1974). No entanto, esse processo não é estritamente necessário para ocorrência da concentração supergênica do níquel.

De acordo com Strieder (1992), a mineralogia primária de rochas ultramáficas, essencialmente anidra, é instável frente a praticamente quaisquer condições metamórficas. Então, a serpentinização representa um processo de metamorfismo

acompanhado de processo hidrotermal metassomático, de forma que a separação desses dois processos muitas vezes não é possível (STRIEDER, 1992).

Esse processo é, caracteristicamente, desenvolvido sobre rochas básicas (45 a 52% de SiO₂) e ultrabásicas (<45% de SiO₂) em condições de metamorfismo regional de fácies xisto-verde (CERNY, 1968). Strieder (1992) expõe que essa transformação em minerais hidratados pode ser explicada, unicamente, com a adição de OH⁻ nas rochas máficas-ultramáficas.

De acordo com Wicks (1979), há uma ordem de serpentinização para os minerais das rochas ultramáficas, que parecem respeitar suas condições de pressão e temperatura de formação. Dessa forma, os minerais ultramáficos apresentam a seguinte predisposição à serpentinização: olivinas > ortopiroxênios > clinopiroxênios. Os correspondentes hidratados comuns são: lizardita > crisotila > brucita, na ordem de predominância, acompanhados ainda de magnetita.

De acordo com Szabó (1996), os padrões estruturais em que se inserem as rochas do GBMF, com terrenos recortados por sistemas de fraturas, falhas e cisalhamentos, seguido das condições metamórficas, com graus variados, com a fase final marcada por decréscimo desse grau metamórfico, acompanhado de ampla percolação de fluidos aquosos, torna praticamente impossível o reconhecimento de rochas da suíte ultramáfica sem superposição de serpentinização e/ou talcificação. Esse fato é mais expressivo em rochas portadoras de minerais anidros formados em condições de temperatura e pressão mais altas, como olivinas e ortopiroxênios, que são mais reativos na presença de fluidos.

Estudos petrográficos mostram uma sequência evolutiva nos processos metassomáticos das rochas do GBMF na região da Faixa Mumbuca, próximo à região dos dois alvos de pesquisa, que é iniciado com antofilitização, seguido de serpentinização, cloritização e talcificação (FILGUEIRAS, 2000). Apesar dessa ordem, não é incomum que haja etapas fora dessa sequência ou mesmo supressão de alguma fase.

Os tipos de serpentinização são diversos, a depender das características termodinâmicas e/ ou físico-químicas, a exemplo de pressão e disposição de água, temperatura, migração de elementos e as próprias características físicas e químicas da rocha a ser serpentinizada (SANFORD, 1981; STRIEDER, 1992), o que explica ainda as coexistências mineralógicas ao final do processo.

De acordo com Filgueiras (2000), os processos de serpentinização da faixa Mumbuca compõem transformação em sistema aberto, com as seguintes características:

- Inicialmente seletivo, seguindo a mineralogia olivina → serpentinas e piroxênios → talco;
- Encontram-se serpentinas ao longo de veios, substituindo clorita e Ca-anfibólios, o que resulta em serpentinização generalizada;
- Por vezes a serpentinização pode ser superada pela talcificação, resultando em talco xistos;
- Pode ocorrer um estágio intermediário dessa evolução, representada por antofilitos.
- Szabó (1996) aponta ainda a possibilidade de carbonatação localizada, como sequência da série de transformações destacadas, demonstrando esse fator para a região da faixa Alpinópolis.

De acordo com Filgueira (2000), os serpentinitos podem ser tanto resultado de porções de dunitos e/ou peridotitos cumuláticos quanto de litotipos não cumuláticos, sendo esse último caso associado à serpentinização generalizada. Essa situação é corroborada por Szabó (1996), onde aponta que ao menos parte dos serpentinitos da faixa Alpinópolis seria derivado de litotipos portadores de anfibólio cálcico. Em comum, aponta-se também a formação de magnetitas associadas ao processo de serpentinização (SZABÓ, 1996; FILGUEIRAS, 2000).

6.3. Processo de lateritização.

A lateritização é um processo de intemperismo que compreende um período de alteração química, física e mineral, o qual exige prolongado período de clima quente tropical a subtropical úmido e condições específicas de tectonismo.

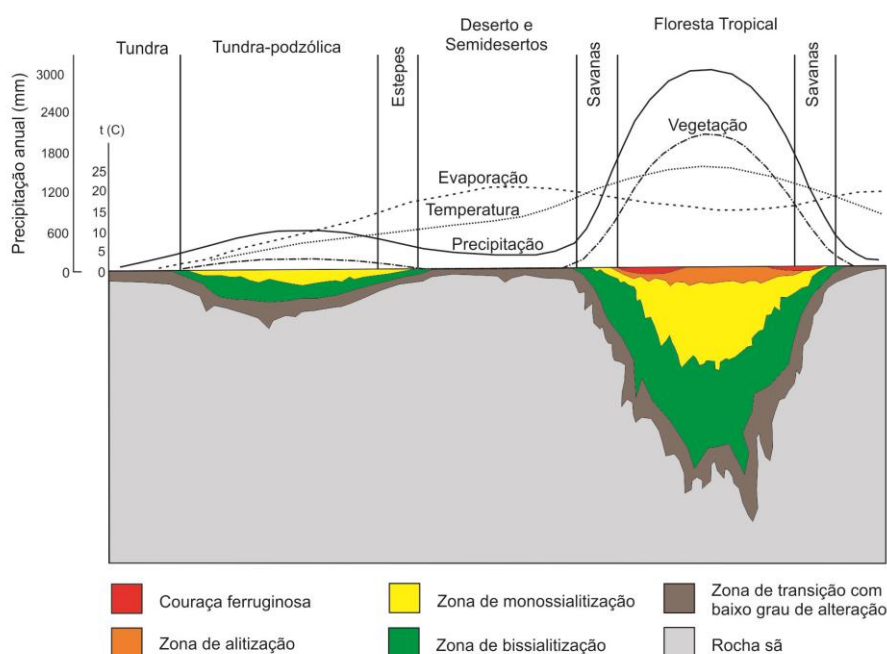
O desenvolvimento do processo laterítico resulta em um zoneamento químico e mineralógico, geralmente subhorizontal, devido ao transporte de alguns elementos químicos em detrimento de outros. Quando desenvolvido sobre rochas ultramáficas serpentinizadas, tem-se o último passo do modelo de gênese dos depósitos de níquel laterítico.

De acordo com Smirnov (1982), o soerguimento tectônico atuante durante o processo não pode ser intenso, o que faria com que o maciço ficasse exposto ao intemperismo físico, erodindo assim o perfil laterítico. Em contrapartida, esse soerguimento também não pode ser fraco ou ausente, uma vez que a estabilidade faria o

perfil caminhar para estagnação, resultando assim em uma camada de alteração pouco espessa.

Os mantos intempéricos de maiores espessuras e melhor desenvolvidos podem ser observados nas regiões tropicais e subtropicais (Figura 5). Isso se deve ao fato de que os principais agentes responsáveis pelo desenvolvimento do perfil laterítico são abundantes nas regiões regidas por esse clima. São esses elementos: a água, o oxigênio, o ácido carbônico, demais ácidos, ação de organismos e variações de temperatura (SMIRNOV, 1982), cujos papéis podem assim serem descritos:

Figura 5 – Zonalidade regional dos mantos de intemperismo observados em seção meridional. Fonte: adaptado de Smirnov (1982) e Biondi (2003).



- A água é o agente mais ativo, responsável pelo carreamento e deposição dos compostos químicos; dissolução dos compostos responsáveis pelo intemperismo da rocha (ácido carbônico, oxigênio e demais ácidos); decomposição dos minerais na rocha; regulagem das condições físico-químicas do processo, de acordo com a variação do pH, do potencial de oxidação (Eh) e das substâncias químicas nela dissolvidas.
- O oxigênio é responsável pelas reações de oxidação durante o desenvolvimento do perfil laterítico.
- O ácido carbônico participa tanto do processo de oxidação durante o

desenvolvimento do perfil laterítico, como também é responsável pela transformação de certos silicatos em compostos carbonatados. Os demais ácidos intensificam o processo de intemperismo da rocha, responsável pela liberação de elementos químicos das águas e também controlando o pH da própria água.

- Os organismos contribuem para o intemperismo da rocha, de forma que recompõem o ácido carbônico e o oxigênio das águas e auxiliam na infiltração das águas pluviais.
- As variações na temperatura auxiliam no processo de decomposição da rocha e também auxiliam no intercâmbio de gases na água.

A distribuição dos elementos químicos ao longo do perfil laterítico obedece à mobilidade de cada elemento químico nas condições de desenvolvimento desse perfil. Essa mobilidade relativa dos elementos pode ser observada na Tabela 2.

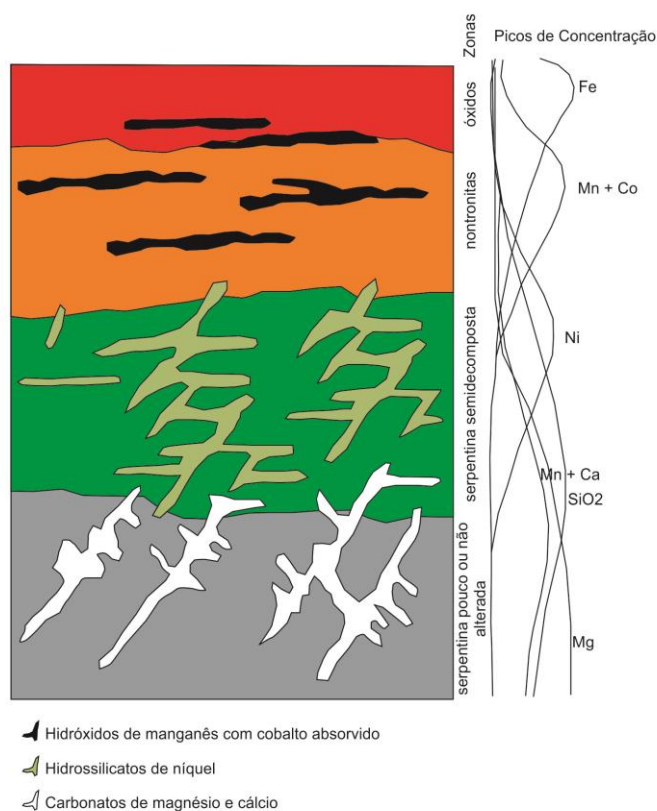
Tabela 2 – Descrição da mobilidade relativa dos elementos químicos em condições de desenvolvimento do perfil laterítico. Fonte: adaptado de Smirnov (1982) e Robb (2004).

Número da Série	Grau de Mobilidade	Elementos	Coefficiente de mobilidade em água
I	Lixiviados intensamente	Cl, Br, I, S	$n.10 - n.100$
II	Lixiviados facilmente	Ca, Na, Mg, K, F	n
III	Móveis	SiO ₂ , P, Mn, Co, Ni, Cu	$n.10^{-1}$
IV	Imóveis	Fe, Al, Ti	$n.10^{-2}$

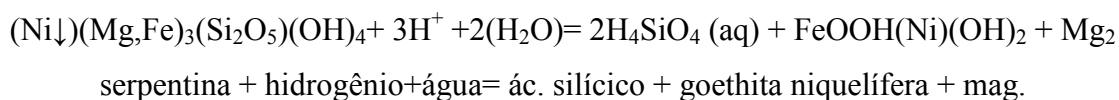
Dessa forma, é consenso entre diversos autores (SMIRNOV, 1982; MELFI et al, 1981; BRAND et al, 1998; ROBB, 2004; MARSH et al, 2013; dentre outros) que, a respeito do comportamento geoquímico dos principais elementos, com enfoque no níquel, um perfil laterítico típico (Figura 6) que pode assim ser descrito:

- A sílica, como elemento móvel, é normalmente encontrada na base do perfil de alteração, formando um reticulado denominado “*boxwork*”, típico de concentrações supergênicas. O magnésio apresenta o mesmo comportamento, podendo se precipitar na forma de magnesita na base do perfil de alteração, apesar disso, pode ocorrer também na forma de veios em porções mais superiores ou mesmo ser carregado pelo lençol freático.
- Os elementos imóveis, como o ferro, vão se fixar na forma de óxidos e hidróxidos nas porções mais externas do perfil de alteração, compondo as couraças ou concreções ferruginosas.

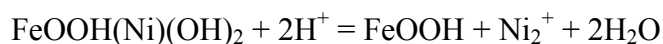
Figura 6 – Perfil laterítico ideal desenvolvido sobre serpentinitos, resultando em horizontes com concentrações relativas de elementos químicos, de acordo com a mobilidade relativa de cada elemento. Fonte: modificado de Smirnov (1982).



- Elementos como o níquel mostram mobilidade relativamente maior que o ferro e menor que a sílica. Com isso, esse sofre lixiviação e se precipita na porção intermediária do perfil de alteração, constituindo principalmente argilominerais (smectitas níquelíferas) ou serpentinas níquelíferas, seguindo o ciclo de reações:

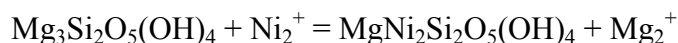


Enquanto isso, o níquel que se associa ao ferro na goethita pode sofrer a reação de lixiviação:



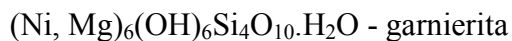
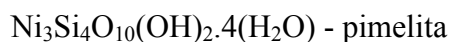
goethita níquelífera + hidrogênio = goethita + níquel + água

O níquel liberado pode migrar no perfil de intemperismo e, no caso da serpentina, substituir o magnésio, formando serpentina níquelífera, segundo a reação:



serpentina + níquel = serpentina níquelífera + magnésio

Ou mesmo, o níquel pode ser associar a demais elementos em solução e compor esmectitas níquelíferas, garnieritas ou pimelitas, dentre outros argilominerais:



Os depósitos lateríticos com ocorrência de níquel foram alvo de diversas classificações ao longo do tempo, baseadas em características como alteração da rocha primária, clima, condições de drenagem, história geomorfológica e composição (BUTT, 1975; GOLIGHTLY, 1979 e 1981). Possivelmente, a classificação menos subjetiva, e mais aplicável, seja aquela com base na mineralogia principal que retém/hospeda o níquel, assim descrita por Brand et al (1998):

- Tipo A: depósito de níquel dominado por silicatos, onde os principais minerais hospedeiros de níquel são silicatos hidratados de Ni-Mg (p. e. garnierita e lizardita), consistindo assim de uma mistura de minerais melhor cristalizados e outros neoformados, geralmente com perfil mais profundos. Nesse caso, o conteúdo de níquel em um único mineral não ultrapassa 20%;
- Tipo B: depósito de níquel dominado por silicatos, onde os principais minerais hospedeiros de níquel são argilas esmectíticas, minerais com baixo grau de cristalização, comumente presentes na parte superior do saprolito ou nos horizontes pedogenéticos. Nesses casos o níquel se fixa entre as camadas da argila ou dentro da camada octaédrica, de forma que em um único mineral o conteúdo de níquel será de 1 a 1,5%;
- Tipo C: depósito de níquel dominado por óxidos, onde os principais minerais hospedeiros de níquel são óxidos/hidróxidos de ferro, formando uma camada no horizonte pedogenético, sendo assim comuns de serem encontrados recobrendo depósitos silicatados. Nesses casos o níquel é hospedado pela goethita bem cristalizada ou outros óxido/hidróxidos de ferro mal cristalizados, sendo que a goethita pode chegar a conter teores superiores a 5% de níquel.

Apesar da menor subjetividade, essa classificação engloba 80% dos depósitos mundiais no Tipo A. Também é comum a presença de todas essas mineralogias hospedeiras em um único depósito, de forma que a distinção se dá pela observação da prevalência de uma delas.

7. Prospecção de alvos potenciais para ocorrência de concentrações supergênicas de níquel.

O processo de prospecção de alvos potenciais para ocorrência de concentração supergênica de níquel no sudoeste de Minas Gerais se baseou nas características básicas supracitadas para ocorrência de níquel laterítico.

A área de prospecção regional, que engloba a sequência metavulcanossedimentar do Morro do Ferro, abriga litotipos máficos-ultramáficos serpentinizados (TEIXEIRA, 1978; CARVALHO et al, 1993), assegurando assim a rocha-mãe potencial para o modelo. Associado a essa sequência, e contíguos na área de prospecção regional, se desenvolveram dois empreendimentos minerais importantes, voltados para a exploração metálica de níquel laterítico, denominado Morro do Níquel, e de Ni-Cu-Co-Au e platinóides em sulfetos, denominada Fortaleza de Minas.

Ainda na sequência do modelo de concentração supergênica, no período pós-Cretáceo, parte da plataforma brasileira esteve envolvida em momentos propícios a instalação de processos lateríticos (RETALLACK, 2010), incluindo a região sudoeste de Minas Gerais (TRESCASES e OLIVEIRA, 1978; MELFI et al, 1981).

Para seleção e definição dos alvos potenciais para detalhamento, fez-se uso de uma intersecção de critérios geomorfológicos e geológicos que culminaram na seleção duas locações para visita em campo. Na Figura 7 encontra-se um resumo dos procedimentos aplicados para a prospecção de alvos potenciais para níquel laterítico.

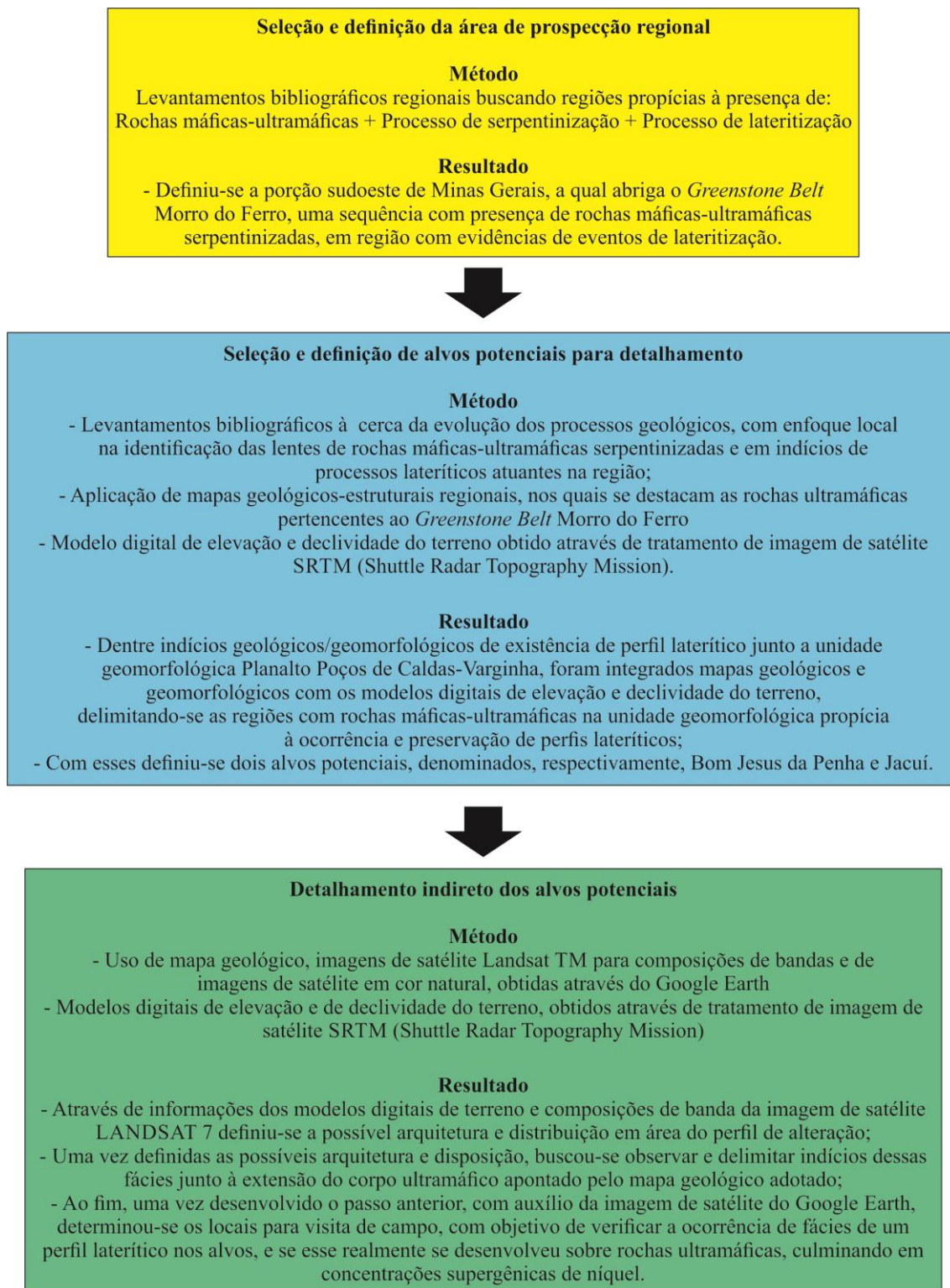
7.1. Definição da área de prospecção regional.

Segundo Carvalho et al (1993), os serpentinitos associados ao *Greenstone Belt* do Morro do Ferro derivam-se de peridotitos komatiíticos, destacados por Brand et al (1998) como protólitos potenciais para desenvolvimento de concentrações supergênicas de níquel. Ainda segundo Carvalho et al (1993), as serpentinas derivam-se diretamente de olivinas e indiretamente de talco, tremolita, actinolita e clorita, quando esses minerais representam fases intermediárias de alteração das olivinas, reforçando assim o potencial apontado por Brand et al (1998).

Esse domínio apresenta considerável base de dados geológicos, com evoluído mapeamento geológico-estrutural de locações com rochas metamáficas/ultramáficas, que podem ser compilados a partir de Zanardo (2003), Carvalho et al (1993), Carvalho et al (1992), Teixeira & Danni (1979), Szabó (1989 e 1996) e da Carta Geológica SF-23, Rio de Janeiro, em escala de 1:1.000.000, disponibilizada pela CPRM; também

aponta-se o RADAMBRASIL (1983), que descreve as unidades geológicas dessa região.

Figura 7 – Resumo da sequência de procedimentos aplicados para a prospecção de alvos potenciais à presença de concentrações supergênicas de níquel e os respectivos resultados de cada fase, indicados pelas cores.



Além da própria existência desse domínio de rochas serpentinizadas, se reconhece na região a jazida de níquel laterítico do Morro do Níquel. O desenvolvimento dessa jazida se deu pela ação de processos lateríticos sobre rochas ultramáficas serpentinizadas dessa unidade metavulcanossedimentar (TRESCASES & OLIVEIRA, 1978).

Destaca-se ainda, com base em dados do RADAMBRASIL (1983), indícios de processos lateríticos que afetaram a região, sendo que, somados os modelos digitais de elevação e declividade do terreno, permitem definir principalmente na unidade Planalto Poços de Caldas-Varginha, condições propícias não só à ocorrência de perfil de intemperismo como também de preservação desse frente aos processos erosivos mais jovens.

Assim, a definição da área de prospecção regional, englobando os corpos reconhecidos como dessa sequência *greenstone* (Figura 4), foi feita com base em levantamentos bibliográficos, e se sustenta pela associação entre rochas e processos potenciais às concentrações supergênicas de níquel.

7.2. Definição de alvos potenciais.

Do ponto de vista geomorfológico, as concentrações lateríticas de elementos como níquel e cobalto se associam, geralmente, a formas de relevo tabulares, recobertos por latossolos concrecionários (MELFI et al, 1980).

Melfi et al (1980) apontam que as porções de topos dessas formas tabulares são remanescentes de superfícies de aplanamento paleógenas. No Brasil todas as jazidas de níquel laterítico são descritas como sendo geradas a partir de dois grandes eventos de lateritização (MELFI et al, 1980; DARDENNE e SCHOBENHAUS, 2001). O primeiro é descrito como Superfície Sulamericana, associada ao Paleógeno Médio (Eoceno), onde teria sido gerada intensa silicificação na base do perfil, seguida por desmantelamento por ação erosiva, acompanhado do desenvolvimento da segunda superfície, denominada Velhas, no Neógeno (Mioceno-Plioceno), onde a silicificação da base da superfície anterior teria servido como carapaça de proteção para preservação de espessos perfis lateríticos desenvolvidos nessa segunda fase (MELFI et al, 1980; DARDENNE e SCHOBENHAUS, 2001). Com a evolução dos estudos e da possibilidade de datações de perfis lateríticos, entende-se que esses processos desenvolvidos no período Pós-Cretáceo foram mais recorrentes do que se identificava

anteriormente, por vezes com intenso intemperismo em curto tempo geológico (RETALLACK, 2010).

Dados do RADAMBRASIL (1983) indicam que na região há indícios de processos lateríticos, resultando em diferentes unidades aplanadas, em, também, diferentes cotas topográficas. No domínio da Serra da Canastra tem-se uma superfície preservada em cotas aproximadas de 1200 a 1300 metros, com a presença de couraças ferruginosas. Dentro dos limites da área de prospecção já não se tem representantes expressivos dessa unidade, de forma que o mais próximo a essa situação se encontra na Serra da Fortaleza, com topo aplanado, com cotas em 1100 metros, contendo resquícios de couraças ferruginosas, enquanto na Unidade da Bacia do Paraná são observados repetidas feições de relevo aplanado em diferentes cotas, variando entre 750 e 1000 metros, sendo comum exibirem couraças ferruginosas.

Nos limites da área de pesquisa, onde se tem exposição de rochas do GBMF, a unidade Patamares da Canastra mostra processo erosivo expressivo, sem que haja preservação de consideráveis feições aplanadas de momento anterior. Já o Planalto Poços de Caldas-Varginha se encontra em faixa altimétrica condizente com aquelas dos demais domínios com presença de aplanamentos do relevo, entre 800 e 1200 metros. Além disso, essa unidade também mostra relevo tabular com baixas declividades, onde se reconhecem esparsas locações com concreções ferruginosas, em região com domínio de latossolos.

Diante do exposto, interpreta-se a unidade geomorfológica Planalto Poços de Caldas-Varginha como um domínio potencial à instalação do perfil de intemperismo. Além disso, tomou-se a elevação inferior desse domínio para observação de possíveis outras áreas com presença de rochas ultramáficas em semelhante posição altimétrica, ainda que dentro de outras unidades, mas que pudessem também ter sido submetidas ao processo intempérico e mostrassem condições de preservação do perfil de alteração. A saber, a cota de base utilizada como limite inferior foi a altitude de 900 metros. Para realização desse trabalho fez-se uso de imagens de satélite SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), a partir da qual foi gerado o modelo digital de elevação do terreno.

Na sequência, espera-se que as melhores chances de se observar um perfil laterítico, que mostre representatividade em área, seja buscando condições em que esse perfil se encontre o mais preservado possível da erosão. Então, como segundo guia, buscou-se áreas que, além de encontrarem-se acima da cota altimétrica especificada, se

situassem em regiões de baixa declividade, semelhante às condições geomorfológicas apontadas por Melfi et al (1980). Esse trabalho também foi realizado com base em imagens de satélite SRTM, a partir da qual foi gerado o modelo digital de declividade do terreno. Novamente, a unidade Poços de Caldas-Varginha foi aquela que apresentou condições de declividade mais favoráveis à preservação do perfil de intemperismo frente aos processos erosivos.

Uma vez delimitada a região com intervalo topográfico e declividade favoráveis, se sobrepôs o mapa de corpos metamáficos-ultramáficos da sequência metavulcanossedimentar do Morro do Ferro, extraído de Zanardo (2003), buscando identificar corpos dessa unidade na região propícia para presença de perfis lateríticos. Ao fim dessa etapa foram selecionados dois alvos para detalhamento, denominados Bom Jesus da Penha e Jacuí (Figura 8), onde se reconhecem condições geológicas e geomorfológicas que satisfaçam às necessárias. Os dois casos foram selecionados também por apresentarem, com base nos mapas geológicos utilizados, corpos metamáficos-ultramáficos de grande expressão em área, o que favorece as etapas seguintes do trabalho.

Uma vez que se observou boa correlação entre unidade geomorfológica propícia e litotipos potenciais, optou-se por delimitar o processo prospectivo das etapas seguintes unicamente para esses alvos, tendo em vista as melhores chances de se observar a presença de perfil de intemperismo com enriquecimento supergênico de níquel. No entanto, durante a evolução do trabalho se observou outros corpos potenciais dentro de outras unidades geomorfológicas que, devido às menores chances, não foram aqui detalhados.

7.3. Detalhamento dos alvos selecionados.

O detalhamento dos alvos selecionados foi feito por métodos de sensoriamento remoto, com uso dos modelos digitais de declividade e de elevação do terreno, ambos gerados a partir de imagem de radar SRTM. A esses, somou-se o uso de imagens satélite Landsat, seguindo o método de composição de bandas espectrais proposto por Andrews Deller (2006) para discriminação de fácies lateríticas.

7.3.1. Modelo de sensoriamento remoto.

Crosta e Moore (1989) foram os pioneiros na aplicação de imagens temáticas no sudoeste de Minas Gerais. Esses autores propuseram uma composição de bandas espectrais para imagem Landsat onde foi possível identificar solos residuais

ferruginosos, desenvolvidos sobre rochas máficas-ultramáficas, e o gossan ferruginoso que outrora recobria o local onde hoje é a cava da jazida polimetálica sulfetada da Serra da Fortaleza.

Andrews Deller (2006) apresenta uma proposta, com uma série de composições de bandas espectrais para imagens Landsat, que permitiria a identificação de horizontes (ou fácies) do perfil laterítico. Como princípio, o autor apresenta um perfil laterítico típico, subdividido em 5 horizontes (Figura 9), com variação dos principais componentes mineralógicos dentre esses. Na sequência, o autor fez uso de composições de bandas, se baseando na reflectância dos minerais predominantes em cada um desses. O mesmo aplicou essa técnica na Eritréia, no nordeste do continente Africano, que é uma região árida, com baixa contribuição de vegetação e pouca influência de pedogênese sobrepondo o perfil laterítico pré-existente. As composições de banda aplicadas pelo autor e as respectivas respostas para cada horizonte laterítico podem ser encontrados na Tabela 3.

Dessa forma, foram replicadas essas composições de banda para as imagens Landsat TM que cobrem os alvos selecionados no *Greenstone Belt* Morro do Ferro, buscando-se assim reconhecer horizontes (ou fácies) aflorantes de um possível perfil laterítico. Para auxiliar o processo de sensoriamento remoto, somaram-se os modelos digitais de declividade e elevação do terreno, gerados a partir de imagem de satélite SRTM.

Essas ferramentas são complementares, uma vez que, ao se identificar nas composições de banda as respostas referentes a possíveis horizontes de intemperismo, se faz necessário observar a articulação entre esses horizontes, já que os mesmos devem apresentar uma organização espacial, ou arquitetura, definidas. Em suma, uma vez que os processos erosivos atuais se instalaram sobre um possível perfil intempérico desenvolvido em momento pretérito, espera-se que o equivalente ao horizonte 5, composto por solo ferruginoso, encontre-se em porções mais elevadas e de menor declividade se comparado ao equivalente ao horizonte plintificado ou ao argiloso. Espera-se também encontrar o equivalente a esses horizontes plintificado e argiloso nas regiões de meia encosta, com maior declividade, expostos pelos processos erosivos, a exemplo do que se observa na Figura 10.

Figura 8 – Mapa com modelo digital de declividade e curvas planialtimétricas, gerados a partir de imagem de satélite SRTM. No mesmo encontra-se a localização dos corpos que compõem o Greenstone Belt Morro do Ferro e os alvos selecionados para detalhamento.

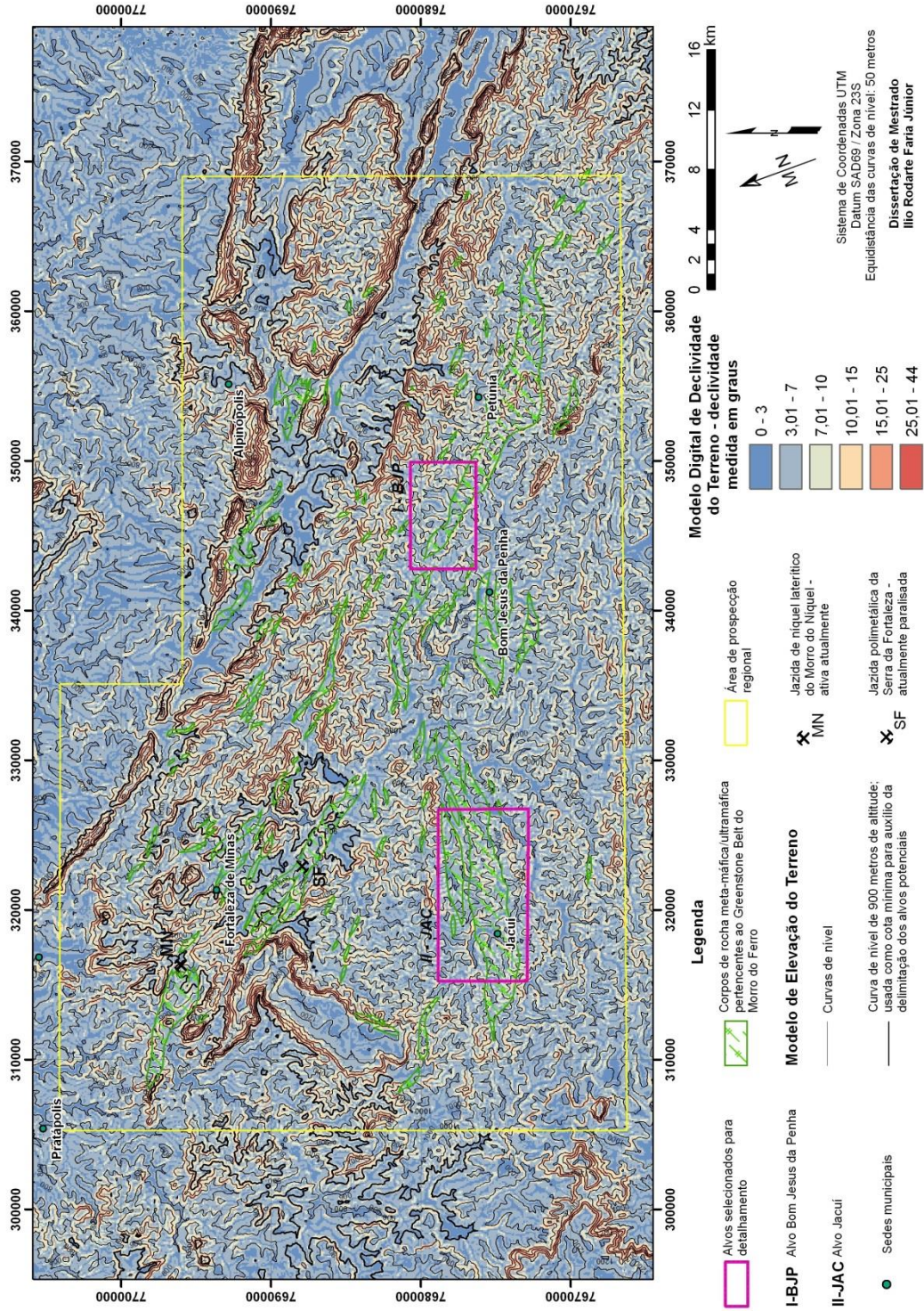


Figura 9 – Perfil laterítico com variação mineralógica ao longo dos horizontes. São as siglas: Hem – hematita, Goe – goethita, Kao – caulinita, Qz – sílica (quartzo+calcedônia), Chl – clorita. Fonte: adaptado de Andrews Deller (2006).

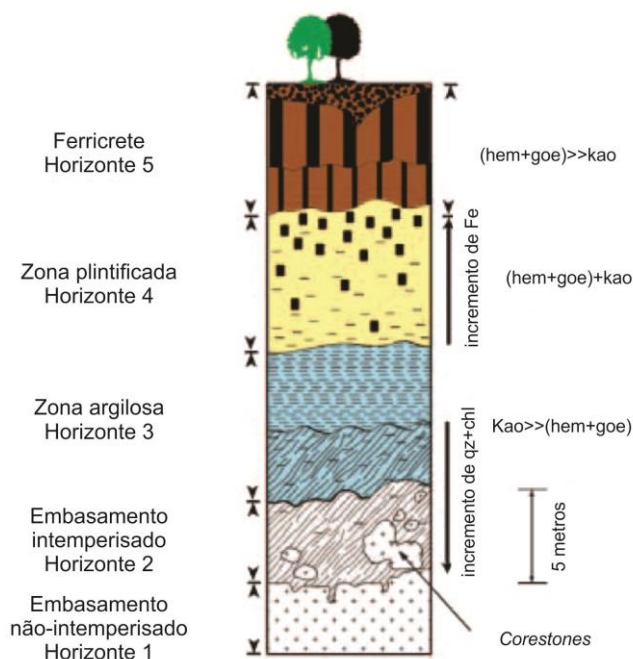
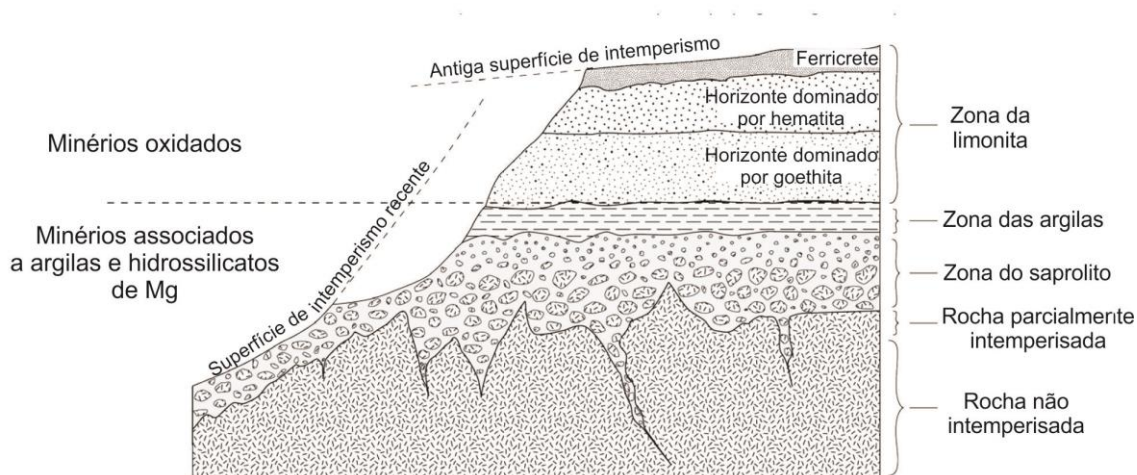


Tabela 3 – Cores resultantes em cada fácies do perfil laterítico de acordo com a composição RGB de bandas do sensor TM. Fonte: adaptado de Andrews Deller (2006).

Unidade verificada em campo.	RGB 742	RGB 5/4 3/2 7/5	RGB 754
Solo ferruginoso (ferricrete) – horizonte 5	Castanho (amarronzado)/vermelho amarronzado escuro	Laranja avermelhado	Verde oliva
Caolínítico ferruginoso – horizonte 4	Marrom/verde amarronzado	Amarelo alaranjado	Verde claro
Caolínítico – horizonte 3	Ciano	Verde escuro	Ciano
Saprolito pouco alterado – horizonte 2	Rosa a branco	Verde ciano pálido	Rosa pálido
Solo clorítico – horizonte 1	Avermelhado	Roxo	Laranja pálido
Solo sobre rochas graníticas – horizonte 1	Vermelho alaranjado pastel	Azul	Mosqueado lilás a marrom pálido
Vegetação	Verde	Preto	Azul escuro

Figura 10 – Seção geológica ideal de um perfil de níquel laterítico ilustrando todos os possíveis horizontes e a relação desses com os processos erosivos pós-lateríticos. Fonte: adaptado de Marsh et al (2013).



7.3.2. Sensoriamento remoto aplicado aos alvos detalhados.

Os perfis lateríticos reais são mais complexos que aqueles apresentados nas figuras anteriores, que demonstrem o modelo idealizado. Vários fatores podem influenciar em variações nas espessuras do perfil e dos horizontes, de forma que alguns horizontes podem até mesmo ser localmente suprimidos (SMIRNOV, 1982). Dentre os fatores mais influentes nessas variações citam-se mudanças litológicas/mineralógicas, elementos estruturais, sobreposição de processos de intemperismo e as próprias condições em que se desenvolve o perfil de alteração.

Diferente de onde a técnica foi aplicada pioneiramente, no presente trabalho fez-se uso em uma região com condições cobertura de vegetação e situações propícias à pedogênese posterior ao processo de intemperismo principal.

Ainda que com essas divergências, as composições de bandas RGB 754 e 742 de imagem de satélite Landsat mostraram correlação positiva com o modelo proposto por Andrews Deller (2006). Corroborado pelos modelos digitais de elevação e de declividade do terreno, foi possível delimitar, de forma expressiva, dois dos horizontes de intemperismo descritos, o 5 e o 3, enquanto que outros dois horizontes puderam ser destacados de forma mais pontual.

Os resultados do detalhamento de alvos com auxílio de sensoriamento remoto são apresentados nas figuras 11 e 12, seguidos dos destaques referentes às composições de bandas de imagens de satélite com base nos horizontes lateríticos reconhecidos por Andrews Deller (2006), sendo que sua síntese pode ser encontrada na Tabela 4.

Landsat TM - Composição de banda RGB754: Em ambos os alvos, destaca muito bem a influência da vegetação, em cor azul. Em cor vermelho tem-se exposto o equivalente ao horizonte 5 que compõe o topo de perfil laterítico, representado por solo ferruginoso. Já em verde oliva a levemente avermelhado, por vezes com tendência alaranjada (apesar da variação, esses se destacam das demais matizes de cor), é apontada a transição entre os horizontes 5 e 4, composto por mescla de contribuição de minerais ferrosos e do horizonte plintificado. No caso dos dois alvos se tem, em ciano, o horizonte 3, caulínítico (essencialmente argiloso); porém, esse não mostra forte destaque devido ao baixo contraste com as demais matizes de cor. No caso do alvo Bom Jesus da Penha, as cores róseo a esbranquiçado refletem, o horizonte 2, o que não é reconhecido no alvo Jacuí. Em ambos os alvos também não se reconheceu as condições puramente indicativas do horizonte 4, plintificado, sendo reconhecida a mescla apontada anteriormente. Nessa composição também se nota um destaque de algumas características geomorfológicas, como porções que sugerem maior dissecamento do relevo, tornando assim evidente alguns lineamentos estruturais, enquanto as regiões com cobertura de solo mostram baixa rugosidade na imagem.

Landsat TM - Composição de banda RGB742: Em ambos os alvos, destaca muito bem a influência da vegetação, em cor verde. Dado a diferença nas matizes de cor, nessa composição se destaca o horizonte 3, caulínítico, em cor ciano, nos dois alvos. O equivalente ao horizonte 5, composto por solo ferruginoso, se destaca em cor vermelho a vermelho escuro (ou vermelho amarronzado). O horizonte 2 pode, novamente, ser apontado por cores que tendem ao róseo esbranquiçado.

SRTM – Modelo digital do terreno: Associando a declividade às curvas de nível planialtimétricas, ambos gerados a partir de imagem de satélite SRTM, contribui-se para elucidar a articulação espacial das fácies identificadas com auxílio de imagens Landsat TM. De forma prática, o horizonte 5 identificado, equivalente ao solo ferruginoso, mostra-se nas porções mais altas e de menor declividade dos alvos. Enquanto isso, os demais horizontes podem ser observados topograficamente abaixo do horizonte 5 e em regiões de maior declividade. Dessa forma, entende-se que o comportamento espacial das fácies lateríticas identificadas atendem ao modelo geológico teórico.

Um ponto que se destaca na análise das figuras 11 e 12 são as discontinuidades nos horizontes dos perfis, que podem ser um reflexo, entre outros casos, de zonas de baixa resposta nas composições de bandas das imagens Landsat TM. Um dos fatores,

como pode ser visto nas próprias composições, é a presença de vegetação, dentre outros que possam intervir na imagem final, como mudanças litológicas/mineralógicas.

Uma vez definidos os detalhes de um possível perfil laterítico nos alvos, prosseguiu-se a fase final de detalhamento desses locais para direcionar a visita de campo. Nesse momento, com auxílio de imagens de satélite coletadas no Google Earth, fez-se o levantamento de vias de acesso e drenagens que permitissem a observação de exposições dos possíveis horizontes lateríticos, de modo a se otimizar a fase seguinte.

Tabela 4 - Cores aqui obtidas para diferentes unidades indicativas de perfil laterítico e presença de vegetação. Obtido com base em composições de bandas de imagens Landsat, determinadas a partir da adaptação da técnica de Andrews Deller (2006).

Unidade destacada	RGB 742	RGB 754
Solo ferruginoso (ferricrete) – horizonte 5	Vermelho	Vermelho a verde escuro
Transição horizontes 5 e 4	-	Verde oliva escuro
Caolínico – horizonte 3	Ciano	Ciano
Saprolito pouco alterado – horizonte 2	Rosa a branco	Rosa pálido
Vegetação	Verde	Azul

8. Geologia local dos alvos selecionados.

Partindo das informações obtidas através de sensoriamento remoto, na fase de investigação indireta, procedeu-se à fase de investigação direta, marcada pela visita de campo aos alvos Bom Jesus da Penha e Jacuí. A primeira fase permitiu, partindo de um limite de prospecção regional cuja área é de 2120 km², chegar aos dois alvos supracitados, com áreas, respectivamente, de 31 km² e 68 km². Uma vez que, além de selecionar os alvos, o sensoriamento remoto permitiu realizar distinções dentro de um possível perfil de intemperismo, foi possível orientar os pontos potenciais de coleta de informações de campo.

Figura 11 – Composições de bandas RGB 754 e 742 de imagem de satélite Landsat e modelo digital de declividade do terreno, ambos aplicados para se delimitar possíveis horizontes lateríticos no alvo de pesquisa Bom Jesus da Penha.

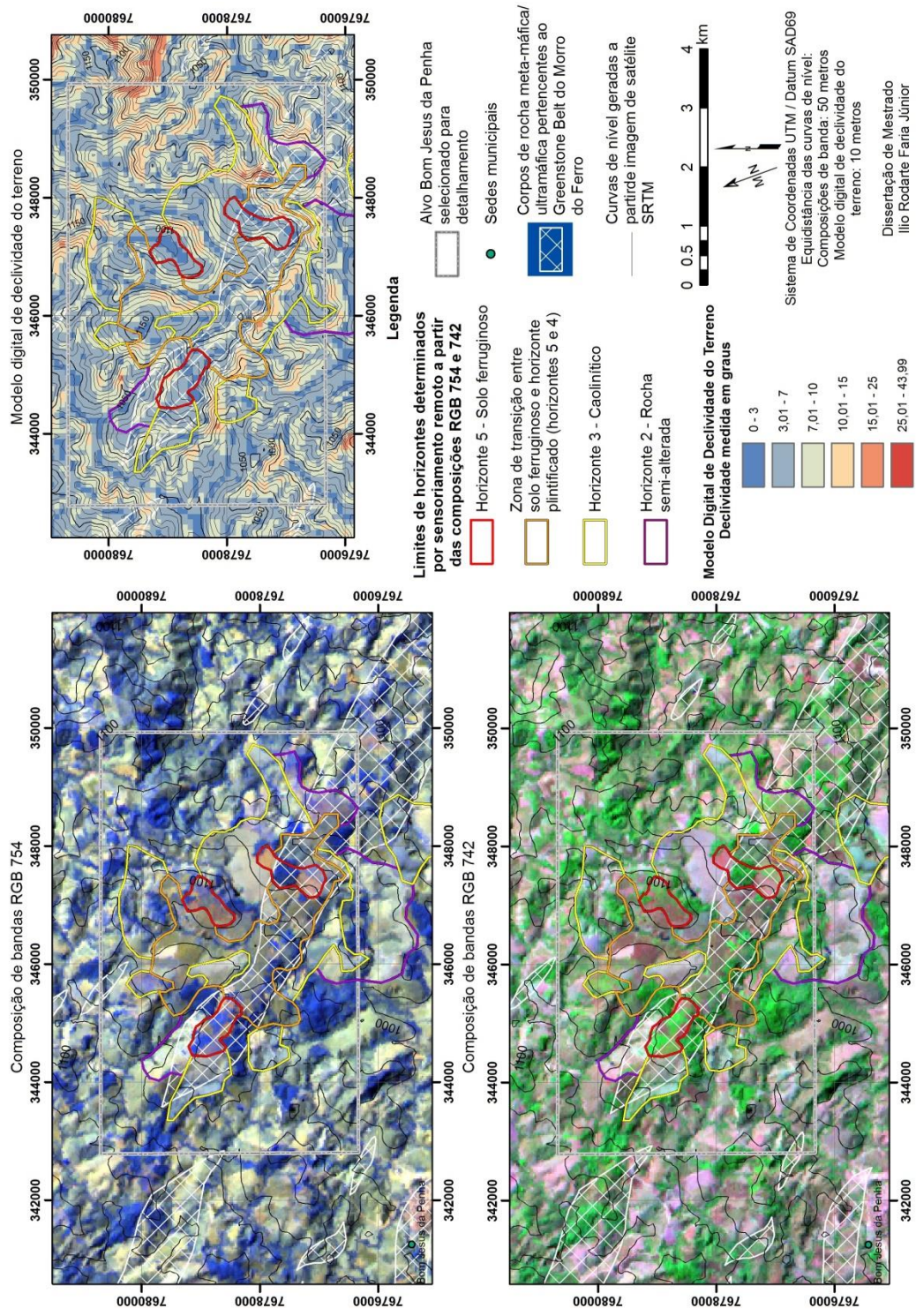
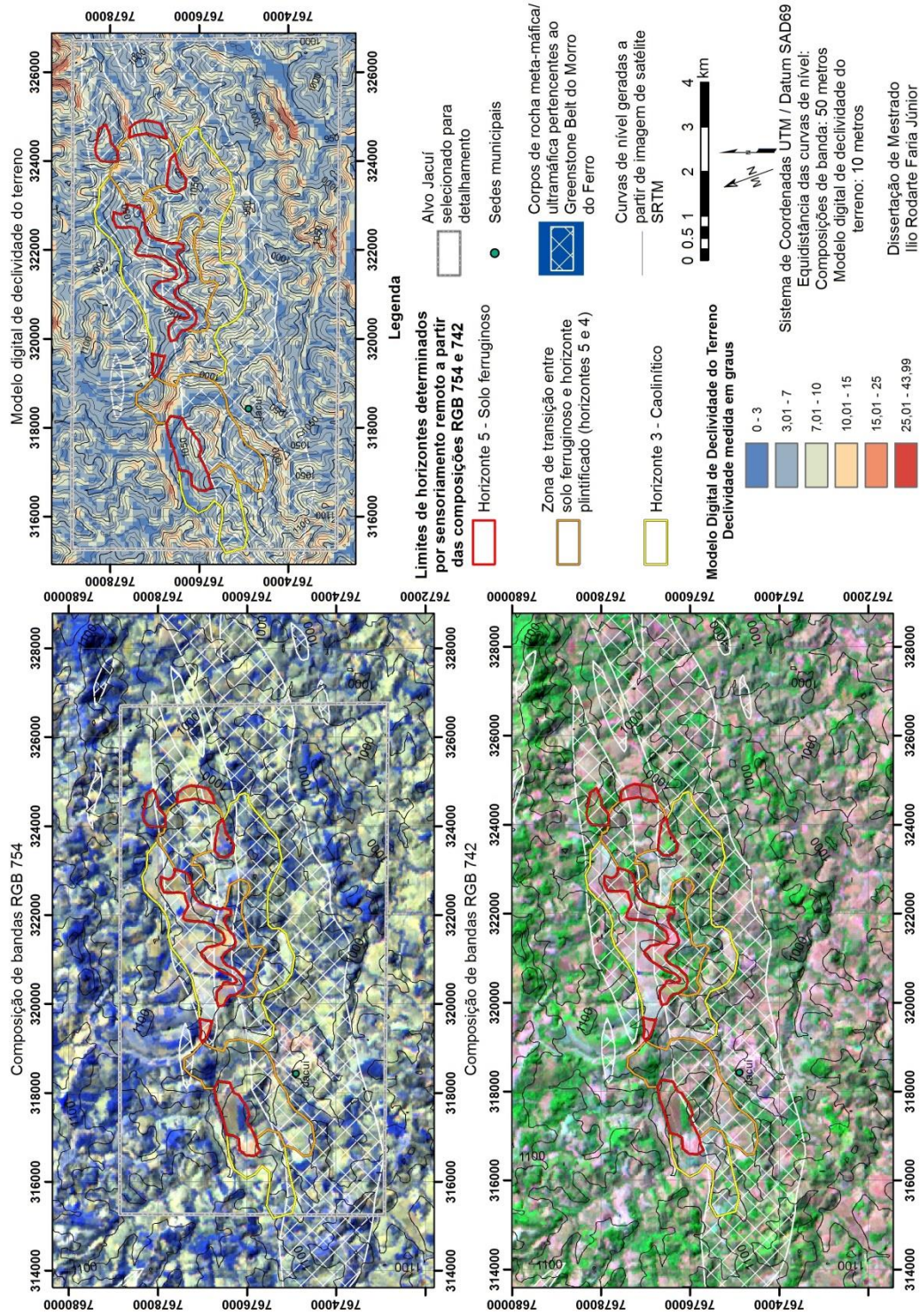


Figura 12 – Composições de bandas RGB 754 e 742 de imagem de satélite Landsat e modelo digital de declividade do terreno, ambos aplicados para se delimitar possíveis horizontes lateríticos no alvo de pesquisa Jacuí.



Como já apontado, em ambos os alvos fez-se uso, como mapa geológico base, daquele apresentado por Zanardo (2003). O trabalho de campo teve como objetivo realizar descrições dos litotipos e das fácies de intemperismo. As localizações dos pontos visitados nos alvos podem ser encontradas nos APÊNDICES I e II, enquanto que nos APÊNDICES III e IV podem ser observados os afloramentos onde foram coletadas amostras para caracterização química e mineralógica, por difração de raios X ou petrográfica, e os respectivos graus de intemperismo.

Os dois alvos são separados por uma distância aproximada, em linha reta, de 20 quilômetros, em razão de suas diferenças, serão aqui tratados separadamente.

8.1. Alvo Bom Jesus da Penha (BJP).

Nesse alvo, e em suas proximidades, foram identificadas intercalações rochosas de gnaisses e migmatitos, associados ao Complexo Campos Gerais, com rochas metamáficas/ultramáficas, descritas como pertencentes ao *Greenstone Belt* Morro do Ferro, quartzitos, relacionados ao Grupo Araxá, e veios de composição granítica. Foram descritos também correspondentes intemperizados desses litotipos, com os solos bem desenvolvidos tratados ao final.

Do ponto de vista geomorfológico, o alvo é representado por uma região pouco acidentada (Figura 13). Apresenta um patamar local extenso com declividade inferior a 10°, cuja região aplainada obedece à direção preferencial de estruturação da área, NW-SE. Enquanto isso, na porção de relevo mais acidentado, situada no contato entre o corpo metamáfico/ultramáfico e os metassedimentos do Grupo Araxá, as declividades variam de 10° a 15°. Essa região a sudoeste é também onde se tem um dissecamento maior do relevo, sendo mais acidentado e onde as drenagens mostram maior profundidade, com fundos de vales pouco desenvolvidos.

Na porção de baixa declividade, no patamar local, desenvolve-se atividade agrícola, com predominância de cultivo de café, fazendo uso dos solos espessos e evoluídos. Enquanto isso, as regiões de maior declividade são cobertas por campos e capoeiras, ou também usadas para pastagens visando à pecuária, variedades agrícolas sazonais e cultivo de café, sendo esse último de menor expressão, uma vez que apresentam solos menos evoluídos.

Figura 13 – Perspectiva para nordeste, ao fundo tem-se, na região mais alta, o patamar local, limitado pelas meia-encostas convexas, com declividade média.



As drenagens de maior ordem, mais evoluídas e com vale melhor desenvolvido, apresentam orientação principal NW-SE. Já aquelas de menor ordem, com vale menos desenvolvido, se orientam comumente segundo a direção NE-SW, alimentando aquelas de maior porte.

Biotita Gnaisses.

Esses litotipos são de larga representação na área e em seus entornos, perfazendo contatos tectônicos de alto ângulo com as rochas metamáficas/ultramáficas e com os quartzitos. As melhores exposições podem ser encontradas em profundos cortes de estrada, não sendo comuns esses tipos de exposição dentro dos limites do alvo aqui destacado.

Quando pouco ou não alterados, apresentam coloração variando entre róseo a acinzentado, podendo chegar a tons mais escuros em bandas com maior contribuição de minerais máficos. A rocha apresenta foliação bem marcada pela orientação de minerais, paralelo ao qual também é comum se observar um bandamento mineralógico, cujas espessuras podem variar de centimétricas a métricas. Predominantemente essa foliação apresenta-se orientada segundo a direção NW-SE, com alto ângulo em relação à horizontal, ora mergulhando para NE ora para SW. Essa foliação representa a feição

estrutural mais marcante no litotipo, no entanto, também podem ser encontradas dobras sobrepondo a foliação principal, sem que seja visível, a olho nu, o desenvolvimento de uma foliação plano-axial.

É comum se encontrar esse litotipo migmatizado em variados graus, sendo que, localmente, essa feição sobrepõe aquelas que designam a rocha como gnaiss. Nos locais que se desenvolve pode ser observado o leucossoma envolvendo partes preservadas do gnaiss.

A composição mineralógica desses gnaisses, como descrita em campo, é relativamente simples. Como minerais félsicos predominam quartzo e feldspato potássico. Os minerais máficos são representados por biotita e anfibólios de tamanho subcentimétrico, atingindo, no máximo, 1 a 1,5 centímetros. A variação local entre o conteúdo desses minerais é responsável pelo bandamento composicional expresso na rocha (Figura 14).

Tipicamente intemperizados na região, podem se mostrar como saprolitos com parte das feições estruturais e mineralógicas preservadas, situado acima da rocha pouco ou não alterada. Com a evolução do grau de intemperismo passa-se por saprolitos intensamente alterados, chegando a solos, encontrados acima dos saprolitos.

O saprolito ainda apresenta variação na cor dada pela contribuição mineralógica. As bandas félsicas alteradas resultam na transformação dos feldspatos e quartzo em argilas, com predomínio de caulinita, resultando em cor rósea a esbranquiçada. Já as bandas máficas, tipicamente composta por minerais ferromagnesianos, se alteram liberando o ferro dos minerais, resultando em argilas e hidróxido de ferro, de cor ocre (Figura 15).

Aumentando o grau de intemperismo, as feições estruturais passam a ser pouco representativas, ou mesmo, são totalmente obliteradas, assim como a distinção mineralógica. Quando se tem os saprolitos intensamente intemperizados, ou já horizontes pedogenéticos, o gnaiss assume cores variando entre ocre, amarelado a avermelhado (Figura 16), podendo ser observado resquícios de quartzo e/ou anfibólios. A mineralogia é, majoritariamente, substituída por argilas e hidróxidos de ferro, com raros bolsões de caulinita de cor branca guardando parte do bandamento pretérito da rocha.

Figura 14 – Biotita gnaisse não alterado e com a foliação principal dobrada. Nota-se bandamento composicional centimétrico, com níveis ricos em minerais máficos (cor preta) predominando sobre aqueles de minerais félsicos (cor rósea). Afloramento IRF_MS1_01.

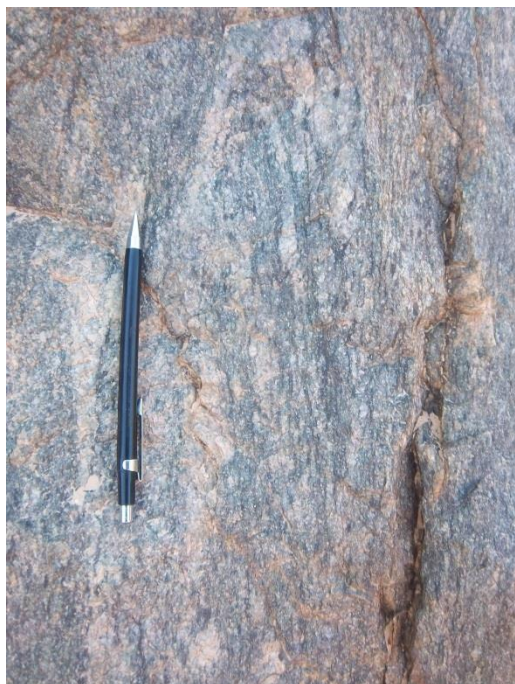


Figura 15 - Gnaiss saprolítico, rico em caulinita, com foliação e bandamento composicional ainda visíveis. Afloramento IRF_MS1_02.



Rochas metaultramáficas.

Presente na área como o que sugere ser um corpo contínuo com direção NW, as rochas metaultramáficas apresentam contatos tectônicos de alto ângulo com os gnaisses, como supracitado, e também com os quartzitos. Em sua melhor exposição apresenta largura máxima aflorante de 250 metros, sendo possível que se prolongue por até 2500 metros de comprimento, paralelo ao eixo de maior alongamento, na direção NW. Neste alvo não são observadas exposições não alteradas dessa rocha, sendo aquelas com menor grau de alteração encontradas na sua porção noroeste, disposta em cortes de estrada em regiões de meia encosta. As melhores exposições dessa unidade são encontradas em cortes de estrada, sendo que o alvo é transposto perpendicularmente pela rodovia BR-265, enquanto estradas vicinais se dispõem paralelas ao corpo metaultramáfico, acompanhando sua crista.

Figura 16 – Gnaiss saprolítico intensamente intemperizado, mostra cor avermelhada, marcada pela presença de argilas e hidróxidos de ferro, e resquícios de caulim, resultante da alteração de feldspatos. Afloramento IRF_MS1_02.



Seguindo a direção preferencial do corpo, a rocha se mostrou homogênea, sendo representada por clorita-anfibólio (tremolita-actinolita)-xisto. Mostra feição planar bem desenvolvida, entendida como uma foliação marcada pela orientação de paletas de clorita, as quais são submilimétricas, visíveis com auxílio de aumento de 10 vezes. Em amostras de mão os anfibólios se destacam em quantidade, com hábito ripiforme e são, também, de tamanho submilimétrico, visíveis com auxílio de aumento de 10 vezes. A foliação é constantemente orientada segundo a direção NW, com ângulo de caimento superior a 70° em relação à horizontal, ora mergulhando para NE e ora para SW, enquanto que os cristais de anfibólio também apresentam maior alongamento orientado na direção NW e caimento sub-horizontal. As diferenças nesse litotipo se dão quanto às pequenas variações no conteúdo de anfibólios e quanto ao grau de alteração.

Para melhor caracterização mineralógica desse xisto ultramáfico sobre o qual se instalou processo de lateritização, fez-se a descrição petrográfica (APÊNDICE V) com luz transmitida de uma amostra no menor grau de intemperismo identificado. Em seção delgada se nota uma parcial orientação das cloritas, porém, podem ocorrer porções com baixa orientação e também desenhando difusas dobras e crenulações. Os cristais de anfibólio, em larga maioria, foram interceptados segundo sua seção basal, sugerindo assim uma orientação preferencial. A descrição petrográfica aponta largo predomínio de anfibólios (tremolita-actinolita) na rocha, seguido de cloritas, enquanto os demais

minerais, como opacos, não somam 10% do conteúdo mineral. Não são identificados minerais ou feições características do protólito ígneo dessa rocha, no entanto, são entendidos como básicos ou ultrabásicos, possivelmente peridotitos ou olivina piroxenitos, os quais foram recristalizados em condições de fácies xisto verde alto a anfíbolito, em segundo momento, em processo retrogressivo, em fácies xisto-verde se dá a cloritização parcial da rocha, em acordo com Carvalho et al (1993).

Quando em seu menor grau de alteração identificado na área, observado aproximadamente 50 metros abaixo do ápice topográfico do alvo, a rocha mostra cor verde, variando entre tons claros e escuros (Figura 17). Atualmente pode ser observado a alteração dos minerais, resultando em coloração ocre. Por estarem em porções do relevo onde se deu maior processo de erosão, e topograficamente mais baixa dentro do alvo, é comum a presença de colúvios cobrindo os xistos com esse grau de intemperismo.

Figura 17 – Encontrado em calha de estrada, ocorre clorita-anfibólio xisto com núcleo apresentando baixo grau de intemperismo, de cor verde clara, e aumento gradativo do intemperismo em direção às bordas, onde se torna ocre. Afloramento IRF_MS1_29.



Aumentando o grau de intemperismo, essas rochas adquirem cor ocre constante, preservando ainda as feições estruturais principais (Figura 18). Com auxílio de aumento de 10 vezes, observa-se nessa rocha uma estrutura de *microboxwork*. Nesse caso, os núcleos desses retículos, antes preenchidos por xisto ultramáfico, foram parcialmente

esvaziados, sendo essa lixiviação responsável por formar um produto de alteração com baixa densidade relativa aos demais horizontes.

Figura 18 – Amostra de clorita-anfibólio xisto, encontrado aflorando em calha de estrada, exibe cor ocre dado ao intemperismo. Afloramento IRF_MS1_28.

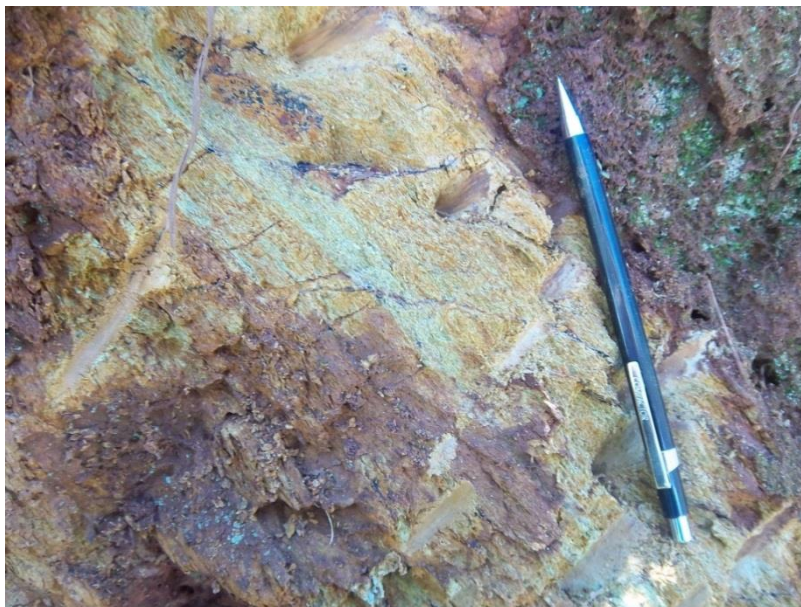


Progredindo com o grau de intemperismo, chega-se ao clorita-anfibólio xisto saprolítico com coloração esverdeada e plintitas de cor ocre, formando cor variegada com prevalência da primeira (Figura 19), resultando no denominado horizonte plintificado. O único representante desse nível de intemperismo foi observado em um corte da rodovia transversal ao corpo máfico/ultramáfico. A dificuldade de ser observado esse horizonte aflorante pode ser pela cobertura de depósitos sedimentares e/ou horizontes superficiais de intemperismo.

Esse saprolito preserva ainda as feições estruturais e parte da mineralogia primária, sendo reconhecidos anfibólios e núcleos de clorita. Como minerais neoformados, são reconhecidas argilas de cor verde e óxidos/hidróxidos de ferro, sendo esses últimos os responsáveis pelas plintitas de cor ocre. As argilas são resultado da alteração das cloritas e dos anfibólios, podendo ser observadas preenchendo planos de junta ou resultando do intemperismo *in situ*, ou até mesmo pseudomorfosar a rocha original. Os hidróxidos de ferro podem formar pequenos nódulos, menores que 2 centímetro, em planos de junta, mas geralmente são encontradas compondo o variegado (Figura 20). Nesse local onde foi encontrado, esse horizonte apresenta espessura

aflorante de 4 metros de altura, não sendo possível averiguar sua continuidade em subsuperfície.

Figura 19 – Afloramento de clorita-anfibólio xisto saprolítico. Exibe cor variegada, marcada pelo verde, dado a alteração de serpentinas em argilas, e ocre, devido a hidróxidos de ferro. Notar ainda a foliação ainda bem preservada no saprolito. Afloramento IRF_MS1_08.



Com maior grau de intemperismo, tem-se o clorita-anfibólio xisto saprolítico intensamente alterado. Esse horizonte apresenta cor ocre avermelhado a vermelho, onde pouco ou nenhuma feição estrutural pode ser observada (Figura 21). Da mesma forma, a mineralogia original é quase toda obliterada, sendo observados, localmente, resquícios de anfibólio além de concreções de óxidos/hidróxidos de ferro neoformadas, cujo tamanho é inferior a 1 centímetro. Devido ao alto grau de intemperismo, esse é representante de um horizonte pedogenético com presença de argilas, onde se encontram raízes de plantas.

Veios graníticos.

Esses veios graníticos foram identificados como intrusões no clorita-anfibólio xisto, expostos no corte da rodovia BR-265 onde foi encontrado o saprolito plintificado supracitado. Esses veios se colocam, geralmente, subparalelos à foliação identificada no xisto ultramáfico, sendo observada a espessura máxima de 1 metro. A continuidade desses veios sugere ser errática, já que raramente esses se prolongam da base até o topo do afloramento, podendo também não se repetirem nos cortes em ambos os lados da

estrada. Ao todo, os veios graníticos representam algo em torno de 10 % de toda a extensão linear do domínio de xisto ultramáfico.

Figura 20 – Clorita anfibólio xisto saprolítico, com concreções de hidróxido de ferro preenchendo juntas, de cor preta. Além de argilas de cor verde associadas à plintitas de cor ocre, sendo essas últimas também compostas por hidróxidos de ferro. Afloramento IRF_MS1_08.



Figura 21 – Clorita-anfibólio xisto saprolítico, intensamente intemperizado. Mostra cor vermelha com presença de raízes vegetais. Afloramento IRF_MS1_07.



Assim como suas rochas encaixantes, esses veios apresentam-se intemperizados, com coloração rósea a avermelhada. A mineralogia é composta, essencialmente, por feldspatos e quartzo, com menor contribuição de micas, que sugerem ser muscovitas.

Porém, dado a alteração, esses minerais se modificaram para argilas, restando apenas isoladas plaquetas. Nota-se não haver uma foliação impressa nesse saprolito, sendo que as localizadas porções com ordenação dos minerais sugere ser, na verdade, orientação de fluxo magmático, uma vez que não se prolongam.

Por fim, a relação de contato entre esses veios e o xisto ultramáfico é abrupta, não havendo indícios de mescla entre os dois. Também se destaca que os contatos são retos, sem que haja indícios de um litotipo adentrando o outro (Figura 22).

Figura 22 – Contato entre clorita-anfibólio xisto saprolítico, em amarelo a esquerda, e veio granítico intemperizado, em tom avermelhado a direita. Notar o contato abrupto entre os dois litotipos. Afloramento IRF_MS1_09.



Quartzitos.

Descritos com menor representatividade dentro do alvo, apresentam contato tectônico de alto ângulo com as rochas metamáficas/ultramáficas, posicionando-se a sudoeste dessas. Foram identificados afloramentos em condições de baixo e médio grau de intemperismo, sendo o primeiro em porções topograficamente baixas dentro do alvo, evidenciando ter sido exposto pelo dissecamento do relevo. Já aquele mais intemperizado pode ser encontrado em regiões de meia encosta. Essas rochas são aqui correlacionadas àquelas do Grupo Araxá.

Os quartzitos apresentam granulometria média, com pequena contribuição de granulometria grossa, se mostrando bastante homogêneos. Não foi identificado a

contribuição significativa de minerais planares, como sericitas, o que, somado a sua homogeneidade granulométrica, dificulta a identificação de foliações impressas na rocha. Apesar disso, foi identificado padrão de faturamento repetitivo de orientação NW a WNW, com alto ângulo em relação à horizontal, sugerindo uma foliação disjuntiva.

Quando com baixo grau de intemperismo os quartzitos apresentam cor creme claro, são pouco ou não friáveis, podendo ser encontrados afloramentos em planta e cortes de estrada (Figura 23). Já os quartzitos intemperizados encontrados são friáveis, com o intemperismo obliterando os planos de junta, exibe cor creme escuro a ocre, e contribuição de caulinita (Figura 24).

Figura 23 – Quartzito de granulometria média em planta na estrada. Pouco friável, mostra baixo grau de intemperismo. O lápis se posiciona paralelo a juntas dispostas segundo a orientação WNW-ESE. Afloramento IRF_MS1_25.



Figura 24 – Quartzito intemperizado de cor creme a ocre, apresenta contribuição de caulinita, além de presença de raízes vegetais. Afloramento IRF_MS1_13.



Solos.

Compõem a feição geológica mais expressiva no alvo, desde regiões mais altas quanto as mais baixas nos limites estudados. Compostos em grande parte por latossolos vermelhos, são argilosos e, quase invariavelmente, com uma camada superior a 1 metro de profundidade.

Os latossolos, encontrados no patamar local, são resultado de um intenso processo pedogenético atuante na região, o que faz com que sejam muito semelhantes independente do substrato rochoso. Em razão de suas características, são resistentes à erosão, fazendo com que, onde presentes, o modelado se forme com baixa declividade, dificultando assim observar os litotipos aos quais se sobrepõem.

Ao serem observados em campo esses solos são compostos, essencialmente, por argilas, com contribuição de quartzo inferior a 20%, sendo muito comum nem mesmo se identificar a presença desse mineral. A presença de óxidos e hidróxidos de ferro é significativa, podendo ser identificada com o auxílio de imã, que captura concreções geralmente submilimétricas em meio ao solo. Em cortes de estrada também são comuns de se identificar níveis com concreções ferruginosas, onde essas podem chegar até a 5 centímetros, formada por óxidos e hidróxidos de ferro envolvendo quartzo e argila.

Não foram evidenciadas diferenças significativas em campo entre os latossolos bem desenvolvidos associados aos gnaisses daqueles das rochas metaultramáficas. Dessa forma, não é possível fazer uso desses como guia para mapeamento dos litotipos aos quais se sobrepõem.

Dentre os solos observados no alvo, destacam-se os latossolos vermelho (Figura 25) e amarelo (Figura 26), ambos respeitando as características descritas anteriormente, podendo ser localizados no patamar local, em região de baixa declividade. Já nas regiões de maior declividade, são comuns a presença de litossolos, com espessura consideravelmente menor do que latossolos, e também argissolos vermelho e amarelo, com textura areno-argilosa.

Depósitos colúvio-aluvinoares.

No alvo Bom Jesus da Penha não foram reconhecidos depósitos expressivos de colúvios. Apenas identificados nas regiões de meia encosta, os quais apresentam as maiores declividades do alvo. São compostos por fragmentos de litotipos diversos, sendo que esses blocos não ultrapassam o tamanho de 30 centímetros, com contribuição variada de matriz argilo-arenosa (Figura 27). Dentre os depósitos observados, foram identificadas espessuras máximas da ordem de 1,5 metros.

Figura 25 – Latossolo vermelho situado sobre o clorita-anfíbólio xisto, sugerindo ter se originado a partir dessa rocha. Afloramento IRF_MS1_12.



Figura 26 – Latossolo amarelo argiloso, situa-se próximo a região de contato entre os xistos ultramáficos e os gnaisses. Não são encontrados resquícios de mineralogia da rocha matriz. Afloramento IRF_MS1_32.



Da mesma forma, os depósitos aluvionares são pouco expressivos, compostos predominantemente por frações finas. Isso se deve à baixa declividade observada na porção de topo, onde se localiza a drenagem mais expressiva do alvo. Nas regiões de maior declividade, as drenagens apresentam vales pouco evoluídos, assim, o espaço de acomodação para depósitos aluvionares é pequeno, gerando apenas localizadas cascalheiras e areais.

Apesar de localizado a norte do alvo, fora de seus limites, cabe destacar a presença de pacote de colúvios cobrindo o substrato na região de topo dos patamares locais, sotoposto a gnaisses. Esse pacote de colúvios pôde ser identificado através de corte de estrada, onde se observou a presença de linha de seixos (*stone lines*) em sua base. A unidade sofreu pedogênese intensa, fazendo com que sua porção superior seja hoje representada por latossolos vermelhos argilosos, com presença de concreções ferruginosas. Os solos desenvolvidos a partir dessa unidade, ao serem observados em planta, não mostram critérios suficientes para distinção daqueles que se desenvolveram *in situ*. Enquanto isso, o processo pedogenético foi responsável ainda pela formação de filme de goethita envolvendo os seixos que se encontram na base do pacote (Figura 28).

Figura 27 – Depósito coluvionar em meia encosta, encontra-se sobreposto a quartzitos. Os blocos observados no local são de, predominantemente, de quartzito e quartzo em meio a matriz areno-argilosa. Notar ainda que o mesmo já passou por processo de pedogênese. Afloramento IRF_MS1_24.



Figura 28 – Seixo de gnaiss encontrado em base de pacote coluvionar, se mostra envolto por filme de goethita, resultando na cor apresentada. Afloramento IRF_MS1_06.



8.2. Alvo Jacuí (JAC).

Nesse alvo foram identificados gnaisses e migmatitos, associados ao Complexo Campos Gerais, rochas metaultramáficas, descritas como pertencentes ao *Greenstone Belt* Morro do Ferro e um afloramento de mica xisto, relacionado ao Grupo Araxá. Foram descritos também correspondentes intemperizados desses litotipos, com solos bem desenvolvidos e depósitos colúvio-aluvionares expressivos tratados ao final.

Referente aos aspectos geomorfológicos, esse alvo mostra relevo mais acidentado se comparado ao alvo anterior. Apresenta um patamar local com declividade inferior a 10°, cuja região aplainada obedece à direção preferencial de estruturação da área, E-W, sendo que essa região se encontra recortada pela ação erosiva. A faixa mais acidentada, com maior dissecação do relevo, situa-se na porção sul do alvo e apresenta declividades variando entre 10 e 15° (Figura 29), sendo que raramente supera esse maior ângulo.

Figura 29 – Perspectiva para norte, onde se observa, na região mais alta, o patamar local, evoluindo para encostas convexas, com desnível de até 50 metros e declividade da ordem de 15°. Afloramento IRF_MS1_35.



Na porção onde se tem a baixa declividade, no patamar alto local, desenvolve-se atividade agrícola, com predominância de cultivo de café ou culturas sazonais, fazendo uso dos solos espessos e evoluídos. Enquanto isso, as regiões de maior declividade são cobertas por campos e capoeiras, ou também usadas para pastagens visando à pecuária, uma vez que apresentam solos menos espessos e menos evoluídos, que também podem ser aplicados às culturas sazonais.

As drenagens de maior ordem, mais evoluídas e com vale melhor desenvolvido, apresentam orientação principal E-W a WSW-ENE. Enquanto isso, aquelas de menor ordem, com vale menos desenvolvido, se orientam comumente segundo a direção N-S, alimentando aquelas de maior porte.

Biotita Gnaisses.

Esses litotipos são predominantes na região, mostrando contatos tectônicos de alto ângulo com as rochas ultramáficas e com os quartzitos. Nesse alvo as exposições pouco ou não alteradas, são encontradas nas porções baixas dos vales, em cortes de estrada, e próximas a drenagens, sendo um afloramento com baixo grau de alteração encontrado próximo a entrada oeste da cidade de Jacuí.

Em descrições de campo quanto à mineralogia e a estruturas, esses gnaisses são semelhantes àqueles do alvo Bom Jesus da Penha. Compostos predominantemente por feldspatos e quartzo, mostram contribuição variável de minerais máficos, como biotita e anfibólios, sendo que também foi observado granada em localizados afloramentos com

baixo grau de intemperismo, que resultam em um bandamento no gnaisse. Apresenta também feições de migmatização em graus diversos.

A foliação na rocha é bem destacada, paralela ao bandamento composicional, facilmente identificada mesmo no saprolito. Porém, diferente do anterior, nesse alvo a foliação se orienta segundo a direção E-W a ESE-WNW, com alto ângulo em relação à horizontal mergulhando, hora para N hora para S.

Em seu tipo de exposição mais comum, é encontrado com grau de intemperismo intermediário a avançado, onde o saprolito mostra os principais minerais alterados, resultando em argilas e minerais ferrosos. Nesse caso, geralmente são preservados veios de quartzo instalados nos gnaisse, fazendo com que esses se destaquem no saprolito (Figura 30). Em estágios mais avançados de intemperismo as feições estruturais são obliteradas, sendo observados apenas resquícios dos minerais originais, geralmente substituídos por argilas e hidróxidos de ferro, resultando em cor rósea (Figura 31).

Rochas metaultramáficas.

Assim como no alvo Bom Jesus da Penha, são encontradas encaixadas nos gnaisses, com os quais mostram contato tectônico de alto ângulo. Nesse caso, contudo, não foram identificados representantes desses litotipos em contato com rochas metassedimentares do Grupo Araxá. Seguindo a feição estrutural do embasamento gnáissico, se orientam segundo a direção E-W a ESE-WNW, com alto ângulo em relação à horizontal.

Diferente do alvo anterior, nesse as rochas metamáficas/ultramáficas foram identificadas como uma profusão de pequenas lentes em meio aos gnaisses. Essas lentes podem ser observadas em cortes de estradas, em planta ou próximas a drenagens. Aquelas de maior espessura encontradas são da ordem de 2 metros, sendo que, em média, não ultrapassaram 1 metro nos afloramentos identificados (Figura 31). Da mesma forma, a continuidade dessas lentes sugere ser frágil, se extinguindo rapidamente. Assim, foram identificadas microrregiões, em escala de afloramento, onde se tem maior densidade dessas lentes, e, a maior parte da área, onde as rochas metaultramáficas são pouco ou não representativas.

Figura 30 – Exposição em calha de estrada, onde se tem gnaisse saprolítico com veio de quartzo, em cor branca, parcialmente preservado. Afloramento IRF_MS1_37.



Figura 31 – Vista em planta na estrada, próximo ao martelo tem-se uma profusão de lentes de rocha metamáficas/ultramáficas intemperizadas, resultando em cor ocre. Já abaixo na foto, na porção de cor rósea, encontra-se gnaisse com foliação bem destacada, também intemperizado. Afloramento IRF_MS1_42.



Foram identificados dois litotipos representantes das rochas metaultramáficas nesse alvo. A primeira, e mais representativa, foi descrita como clorita-anfíbólio xisto, enquanto a segunda, apenas identificada em um afloramento, um tremolítico.

O clorita-anfíbólio xisto saprolítico mostra feição planar, entendida como foliação, bem desenvolvida, sendo marcada pelo que parece ser uma orientação de paletas de clorita, as quais são submilimétricas, visíveis com auxílio de aumento de 10 vezes. Em amostras de mão, os anfibólios representam o mais expressivo conteúdo mineral, com hábito ripiforme e são de tamanho submilimétrico, visíveis com auxílio de aumento de 10 vezes.

Para melhor caracterização mineralógica desse primeiro litotipo, fez-se a descrição petrográfica (APÊNDICE V) com luz transmitida de uma amostra com o menor grau de intemperismo possível. Em seção delgada se nota uma expressiva orientação das cloritas, paralelas à feição planar entendida como uma foliação principal, porém, localmente podem ocorrer porções com baixa orientação e também desenhando

difusas dobras e crenulações, além de anastomosamento. Os cristais de anfíbólio, em larga maioria, foram interceptados segundo sua seção basal, sugerindo assim uma orientação preferencial. Nos anfibólitos foram descritos, em um mesmo cristal, uma simetria típica de antofilita, ortorrômbica, com lamelas entendidas como de tremolita, com simetria monoclinica. Nessa amostra o balanço entre anfibólitos e clorita é mais igualitário, com leve predomínio do primeiro, enquanto os demais minerais, como opacos, não somam 10% do conteúdo mineral. Não são identificados minerais ou feições características do protólito ígneo dessa rocha, no entanto, são entendidos como ultramáficos, possivelmente peridotitos, sofrendo recristalização em condições de fácies xisto verde alto a anfibolito, em segundo momento, em processo retrogressivo, em fácies xisto-verde se dá a cloritização parcial da rocha, em acordo com Carvalho et al (1993).

Nas lentes desses xistos ultramáficos o grau de intemperismo observado mantém certa constância, formando saprolito de cor ocre, com as feições estruturais ainda visíveis (Figura 32), assim como boa parte da mineralogia primária. No entanto, não foram observados saprolitos com coloração esverdeada ou plintificado, típico da presença de esmectitas neoformadas nesse litotipo. Ao se observar a rocha com auxílio de aumento de 10 vezes, nota-se uma estrutura de *microboxwork*, que sugere ser sustentada por retículo, possivelmente, de calcedônia, onde os interstícios foram parcialmente esvaziados.

O tremolito, encontrado em um único afloramento, também sugere se tratar de um corpo lenticular, uma vez que não foi observada continuidade lateral no local identificado (Figura 33). A mineralogia da rocha é, majoritariamente, representada pelos anfibólitos tremolita/actinolita, os quais mostram crescimento radial, com cristais que atingem, facilmente, o tamanho de 2 centímetros em seu maior eixo (Figura 34). Apresenta baixo grau de intemperismo, resultando em cor ocre, enquanto que, dado ao arranjo mineral, não se observa foliação impressa na rocha.

Figura 32 – Amostra de clorita-anfibólio xisto com médio grau de intemperismo, feição comum no local, resultando em cor ocre. Apresenta foliação bem destacada, a qual se coloca perpendicular à lapiseira. Afloramento IRF_MS1_49.



Figura 33 – Afloramento de tremolitito em região onde se realizou terraplanagem. Notar a ocorrência isolada do corpo ultramáfico em meio à área com solo róseo, resultante do intemperismo de gnaisses. Afloramento IRF_MS1_42.



Figura 34 – Detalhe do tremolitito, onde se observa a presença de cristais de tremolita/actinolita com crescimento radial. Afloramento IRF_MS1_42.



Mica xisto.

Esse xisto foi identificado em um único afloramento, a norte da cidade de Jacuí, encontrando-se intemperizado. O saprolito apresenta coloração acinzentada, sendo a muscovita o principal mineral, com menor contribuição de quartzo. A foliação, bem marcada pelas micas, mostra-se orientada segundo a direção E-W, com alto ângulo em relação à horizontal.

Depósitos colúvio-aluvionares e solos.

Os depósitos colúvio-aluvionares são expressivos no presente alvo, podendo ser identificados pacotes de idades distintas, destacados como jovens e antigos. Aqueles jovens apresentam formação recente, acompanhando regiões de maior declividade do relevo atual, sendo ainda breve ou inexistente o processo de pedogênese a que se submeteram. Já os antigos, encontrados em pontos diversos do alvo, englobam depósitos de momentos diversos, que obedeceram a condições de relevo de tempos pretéritos, e, em comum, exibem características indicativas de terem se submetido a processos pedogenéticos mais penetrativos do que no caso dos jovens.

Os depósitos colúvio-aluvionares jovens são compostos por fragmentos de diferentes litotipos, predominando blocos de quartzo e gnaisses em meio a matriz argilo-arenosa. Uma vez que na região se tem meia encostas de declividade considerável, podem ser encontrados blocos com tamanho de até 5 centímetros, geralmente na base das encostas, onde esses depósitos chegam a espessuras de até 2 metros.

Os depósitos colúvio-aluvionares antigos podem ser observados em diversos pontos do alvo destacado. Foram encontrados representantes na porção sudoeste do alvo, em meia encosta de baixa declividade, em uma região rebaixada em relação ao patamar local. Da mesma forma, foram encontrados depósitos em regiões da porção plana do patamar local, além de evidências de outras ocorrências localizadas nessa região alta. Em comum, os dois casos apresentam sinais de terem sido submetidos à pedogênese, de forma que se encontram cobertos por sedimentos latossolizados.

No primeiro caso, na porção baixa, a partir de corte de estrada paralela à vertente da meia encosta, da base até o seu topo, pode ser observado pacote de colúvios cuja linha de base, grosso modo, se mostra paralela ao relevo atual. Nesse local os colúvios apresentam espessura média de 1,5 metros, se posicionando acima de gnaisses intemperizados. A linha de base é marcada por seixos, com até 10 centímetros, parcialmente arredondados, apresentando litotipos diversos, predominando quartzo.

Essa camada de seixos base apresenta espessura aproximada de 15 a 20 centímetros. Enquanto isso, a camada superior é composta por sedimentos, que foram sobrepostos por intensa pedogênese, resultando em latossolo vermelho argiloso, com contribuição de quartzo inferior a 30%. Essa camada pode chegar à espessura de 1,5 metros (Figura 35). A medida que se aproxima da porção superior da meia encosta, a linha de seixos não é mais interceptada pelo corte da estrada e, dado a constância do solo, torna-se difícil delimitar o prolongamento desse depósito.

Figura 35 – Pacote de colúvios posicionados sobre gnaiss saprolítico. O martelo posiciona-se na linha de base, onde se encontram blocos parcialmente arredondados. Acima da linha de seixos tem-se depósito sobreposto por pedogênese, se exibindo hoje como latossolo vermelho argiloso. Afloramento IRF_MS1_34.



No segundo caso, foram observados depósitos colúvio-aluvionares na porção de topo do patamar local, próximo à quebra do relevo em direção à meia encosta, podendo ser identificado através de corte de estrada. O pacote sedimentar é marcado por uma linha de base, com espessura máxima de 20 centímetros, composta por seixos angulosos, predominando quartzo, com tamanho máximo de 10 centímetros, em meio a matriz areno-argilosa. Sobre essa camada base, têm-se sedimentos que foram submetidos a intensa pedogênese, resultando em latossolo amarelo argiloso, com contribuição de quartzo menor que 30%. Nesse caso, o pacote todo apresenta espessura de 1 metro (Figura 36). A continuidade lateral desse depósito é difícil de ser verificada,

devido a pedogênese que promoveu homogeneização dessa cobertura, se fazendo necessários exposições para buscar acompanhá-los.

Figura 36 – Exposição em corte de estrada mostrando pacote de colúvios sobrepostos por pedogênese. A base é marcada por linha de seixos de quartzo, enquanto a porção superior é representada por latossolo amarelo argiloso. Afloramento IRF_MS1_60.



A presença desse pacote colúvio-aluvionar nessa região do atual patamar local, não implica necessariamente em seu prolongamento por todo patamar. Isso pode ser facilmente verificado em outros cortes de estrada, onde os indícios são de desenvolvimento de solo sobre o estrato rochoso *in situ*. A ocorrência de depósitos do tipo em outros pontos localizados do patamar não é descartada, porém, sua verificação é dificultada pela homogeneidade dos solos gerados em momento posterior à deposição.

Ao serem observados em campo, esses solos que sugerem ter se desenvolvido *in situ* são compostos, essencialmente, por argilas, com contribuição de quartzo inferior a 30%, mesmo quando desenvolvidos sobre depósitos colúvio-aluvionares. A presença de óxidos e hidróxidos de ferro é significativa, podendo ser verificada com o auxílio de imã.

Não foram evidenciadas diferenças significativas em campo entre os latossolos bem desenvolvidos associados aos gnaisses daqueles das rochas metaultramáficas ou de depósitos colúvio-aluvionares. Dessa forma, não é possível fazer uso desses como guia para mapeamento dos litotipos aos quais se sobrepõem. Dado suas características, são

resistentes à erosão, fazendo com que, onde presentes, o modelado se forme com regiões de baixa declividade, dificultando assim observar os litotipos que recobrem.

Os latossolos vermelho e amarelo, ambos argilosos e com contribuição de quartzo inferior a 20%, são comuns cobrindo o patamar local, e em certas regiões de baixa declividade, ainda que não no mesmo nível topográfico dos patamares mais altos. Com o aumento da declividade é comum a presença de argissolos vermelho e amarelo, com textura areno-argilosa, e litossolos, com espessura consideravelmente menor do que latossolos.

Na porção topograficamente mais baixa, nos vales mais evoluídos, os quais acondicionam as drenagens de maior ordem, encontram-se depósitos aluvionares. São tipicamente cascalheiras e areais, onde se encontram blocos de litotipos diversos. No entanto, esses depósitos são pouco expressivos, devido ao espaço de acomodação ser pequeno mesmo nessas drenagens.

9. Perfil de alteração nos alvos detalhados e a distribuição dos teores de níquel.

O estudo *in loco* dos perfis de intemperismo nos alvos apresenta um caráter complementar em duas vias. O direcionamento para a visita de campo se fez com base nos dados de sensoriamento remoto adaptados à área. Em contrapartida, a etapa de campo serviu para verificar a ocorrência de perfis de alteração e, ao mesmo tempo, aferir o método de sensoriamento remoto.

A subdivisão do perfil em fácies pode ser realizado usando critérios como grau de intemperismo e conteúdo mineral. Optou-se neste trabalho pela subdivisão usada por Andrews Deller (2006), de forma a integrar os dados de campo com aqueles da fase de prospecção com auxílio de sensoriamento remoto. Essa subdivisão apresenta 5 fácies, sendo a 1 a menos alterada e a 5 aquela com maior grau de intemperismo, como descrito no capítulo que discorre sobre o método de sensoriamento remoto.

Com base na visita de campo, os latossolos, que seriam equivalentes ao horizonte 5, apresentam evidências de terem sido gerados em momento posterior ao processo principal de alteração, responsável pelos demais horizontes. Apesar disso, esses latossolos representam bem o que seria essa cobertura gerada em momento contemporâneo ao perfil de alteração mais expressivo, sendo, então, mantidos como tal fácies.

Para melhor caracterização das fácies do perfil de intemperismo, as amostras coletadas na etapa de campo foram estudadas com auxílio de petrografia, análise química de rocha total e difração de raios X. A identificação dos locais de coleta das amostras, os litotipos amostrados e as formas de caracterização aplicada a cada amostra podem ser observados nos mapas dos APÊNDICES III e IV, respectivamente, para os alvos BJP e JAC; os resultados completos das análises químicas podem ser observados no APÊNDICE VI.

No alvo BJP se pôde elaborar um perfil de intemperismo esquemático completo abordando os xistos ultramáficos, acompanhado de caracterização química e mineralógica (Figura 37). Nesse se observa a distribuição dos teores de níquel ao longo do perfil de intemperismo, onde se destaca o pico de concentração do elemento no horizonte 4, plintificado, atingindo 0,42%. Nas descrições dos respectivos horizontes poderá ser encontrado melhor tratamento das informações de caracterização química e mineralógica.

Já para o alvo JAC apresenta-se o perfil de intemperismo esquemático identificado (Figura 38), baseado nas fácies desenvolvidas nos gnaisses. Tendo em vista que o presente trabalho tem como objetivo as concentrações supergênicas de níquel, justifica-se a diferença de detalhe nos perfis apresentados para os dois alvos, uma vez que nessa altura do trabalho o alvo BJP mostra maior potencial que o alvo JAC.

Destaca-se que as apreciações referentes aos teores químicos serão feitas comparativamente entre os horizontes, evitando-se de classificar ou nomear como anomalias ou teores anômalos, devido ao fato de não se ter volume de dados com representatividade estatística para essa finalidade. No caso de elementos que tiveram seus teores analisados por dois diferentes métodos, nos casos ICP-OES e ICP-MS, optou-se pelo uso dos resultados obtidos pelo primeiro método, onde a amostra é fundida por metaborato/tetraborato de lítio para se realizar a análise, enquanto no segundo caso, essa é digerida em água régia.

Figura 37 – Perfil de intemperismo identificado no corpo ultramáfico do alvo Bom Jesus da Penha. Nota-se ainda uma breve descrição dos horizontes e os resultados das caracterizações química e mineralógica. Teores em porcentagem são lidos no topo do gráfico, em linhas contínuas, enquanto em ppm são lidos na base, em linhas tracejadas.

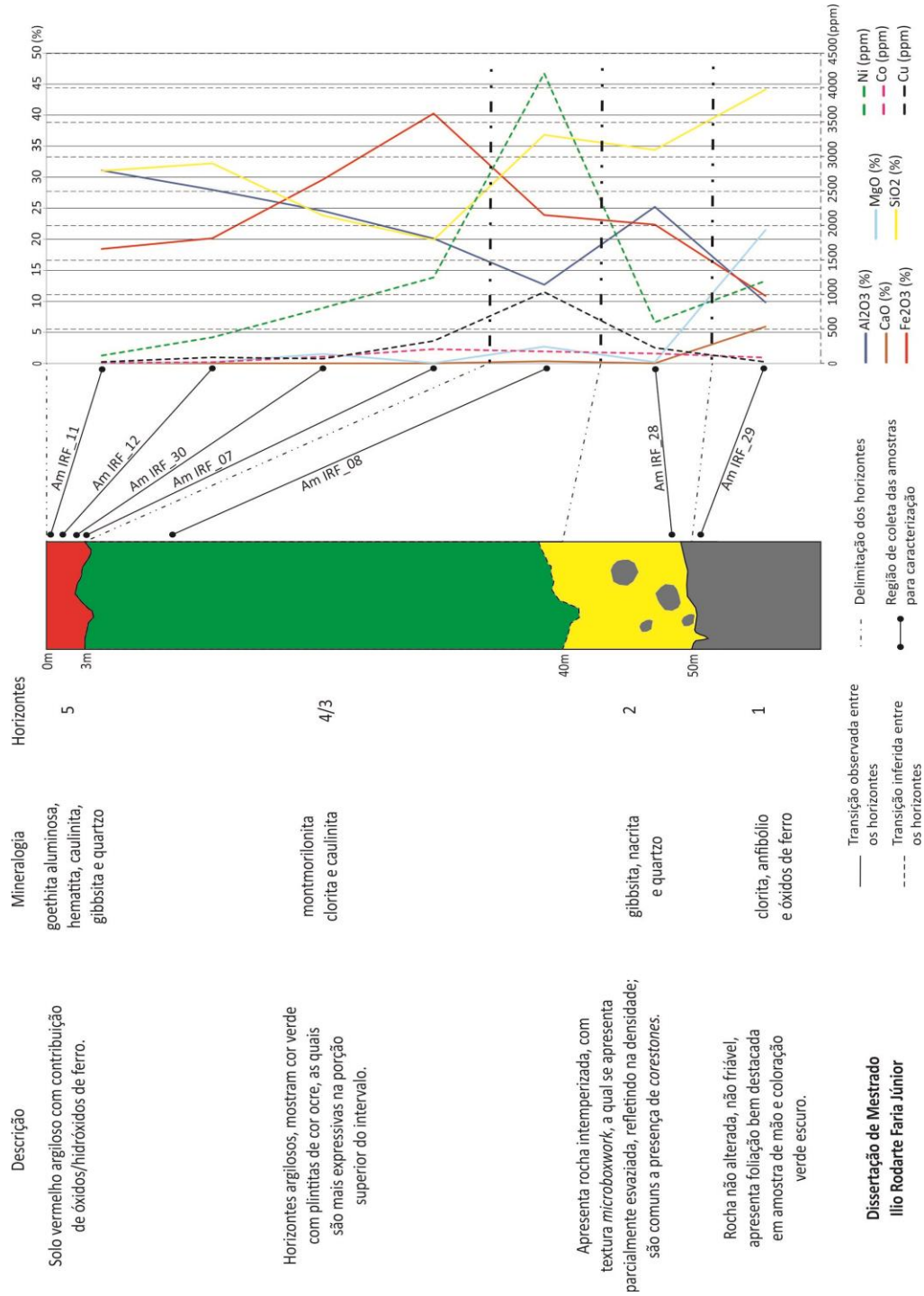
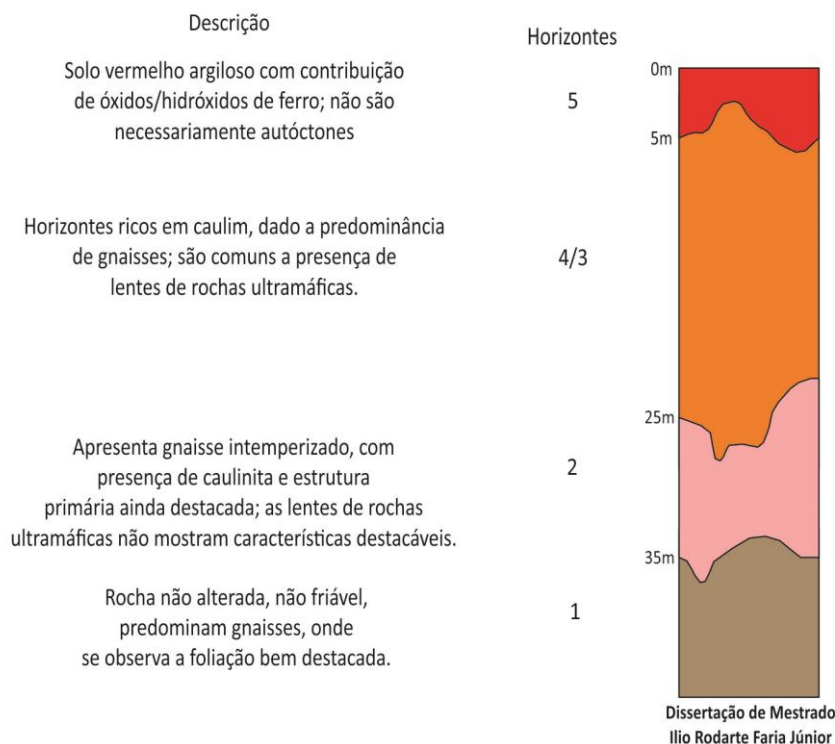


Figura 38 – Perfil de intemperismo identificado no alvo Jacuí. Nesse se destaca a presença de gnaisses, não se identificando corpo contínuo e expressivo de rochas ultramáficas.



9.1. Horizonte 5.

Representado por latossolos vermelhos, são comuns nos dois alvos visitados. Na imagem Landsat TM 754 se mostram com cor vermelho, com tendência para vermelho escuro nas regiões acima de rocha ultramáfica no alvo Bom Jesus da Penha, enquanto na composição RGB 742 também se mostram com cor vermelho. Com base nos dados de sensoriamento remoto, no alvo Bom Jesus da Penha dispõem-se acima da cota 1100 metros, com ápice em 1135 metros, enquanto no alvo Jacuí, relativamente mais baixo, se situam acima da cota 1060 metros, com ápice em torno de 1075 metros. Cabe destacar que o intervalo que ocupam não representam necessariamente a espessura real do horizonte.

Esses solos podem ser descritos como sendo de cor predominantemente vermelha, argilosos (Figura 39) e com contribuição de quartzo visível, em média, inferior a 20%, sendo que no alvo JAC essa contribuição é sensivelmente maior. Em direção à base do horizonte é marcante a diminuição na contribuição de óxidos/hidróxidos de ferro, fazendo com que esse transite gradativamente à coloração ocre, próximo à faixa limite para a fácies inferior. A presença de minerais ferrosos é facilmente detectada com auxílio de imã.

Esse horizonte não apresenta características distintivas suficientes que possam apontar o litotipo sobre o qual se desenvolveu. Sendo assim, em ambos os alvos, dificilmente servem como guia para mapeamento das rochas às quais se sobrepõem. Exemplo claro se destaca no Alvo Jacuí, onde esses solos se originaram associados a depósitos colúvio-aluvionares pretéritos, resultando em características muito similares àqueles desenvolvidos sobre o substrato *in situ* (Figura 40).

Figura 39 – Latossolo vermelho argiloso, sugere ter se desenvolvido *in situ*, sobre clorita-anfíbólio xisto. Afloramento IRF_MS1_12, Alvo Bom Jesus da Penha.



Figura 40 – Latossolo vermelho argiloso, desenvolveu sobre depósito colúvio-aluvionar, marcado por linha basal de seixos, encontra-se sotoposto a gnaisses. Afloramento IRF_MS1_42, Alvo Jacuí.



Essa homogeneidade também se repetiu nas caracterizações químicas e mineralógicas aplicadas a esse horizonte. Em ambos os alvos as análises químicas apresentaram teores de Al_2O_3 superiores a 20%, atingindo o valor máximo de 31% na amostra IRF_MS1_11, coletada no alvo BJP; o ferro (Fe_2O_3) mostrou comportamentos distintos, no alvo BJP esse se manteve acima de 18%, com ápice de 40% na amostra IRF_MS1_07, enquanto que no alvo JAC apresentou resultados de 10,98% e 15,61%, respectivamente para as amostras IRF_MS1_58 e 61. Essa diferença entre os dois alvos pode ser reflexo da rocha sobre a qual se desenvolveram esses solos, já que no alvo JAC predominam gnaisses, enquanto no alvo BJP esse solo foi coletado em domínio de

rocha ultramáfica. A sílica (SiO_2) também apresenta comportamentos distintos para os dois alvos, enquanto no BJP varia entre 19,9% e 32,21%, apontando um solo muito evoluído, no JAC essa é consideravelmente maior, com 40,49% e 54,48%, também possível reflexo dos protólitos. Como esperado, os álcalis, como cálcio (CaO), magnésio (MgO), potássio (K_2O) e sódio (Na_2O) se mostraram com teores pouco representativos, o que se dá devido ao seu lixiviamento das porções mais externas durante a evolução do intemperismo. O níquel (Ni) também apresentou baixos teores nos dois alvos, com larga maioria das amostras abaixo de 0,05% (500ppm), sendo o único teor expressivo em solos observado na amostra IRF_MS1_07, com 1246ppm (0,1246%); no alvo JAC os teores desse elemento foram sensivelmente inferiores ao alvo BJP, o que pode ser associado à maior expressão em área da rocha ultramáfica nesse segundo alvo. Ainda no alvo JAC, destaca-se a amostra IRF_MS1_58, que apontou teor de 21 ppb de ouro (Au), o equivalente a 0,021gr/ton.

As características químicas se refletem na mineralogia (Figuras 41 a 48), assim, se observa minerais portadores de alumínio, como gibbsita – $\text{Al}(\text{OH})_3$ – e caulinita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ –, destacando-se ainda a goethita aluminosa – $(\text{Fe},\text{Al})\text{OOH}$ – da amostra IRF_MS1_07, do alvo BJP. No caso do ferro, são identificados goethita – FeOOH – e hematita – Fe_2O_3 –, enquanto a sílica tem seu teor refletido na presença de caulinita e, em menor quantidade, de quartzo. Na amostra IRF_MS1_30 nota-se presença de clinocloro – $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Al})_6(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ –, uma variedade de clorita, que possivelmente se preservou durante o intemperismo. De acordo com Figueiredo et al (2006), o conteúdo de alumínio na goethita é um forte indicador do ambiente em que se formou, sendo que as goethitas com maiores teores de alumínio se formaram em condições de maior umidade, enquanto a menor quantidade do elemento no mineral indica condições de formação em ambiente mais seco.

No caso das amostras analisadas nos dois alvos e que apresentaram teores de sílica superiores a 30%, na caracterização mineralógica se observou a presença de quartzo – SiO_2 . A exceção da presença desse mineral se dá na amostra IRF_MS1_07, com teor de sílica de 19,9%, coletada no ápice do patamar local, em domínio autóctone sobre o corpo ultramáfico, representando assim um solo muito evoluído.

A espessura desse horizonte é muito variável, devido, principalmente, à intensidade de erosão a qual foi submetido. No alvo Bom Jesus da Penha a maior espessura identificada foi da ordem de 3,0 metros, enquanto que no alvo Jacuí a maior espessura aflorante identificada foi de 5,0 metros, podendo ainda ser superior a isso.

Figura 41 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_07, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; Al gt – goethita aluminosa).

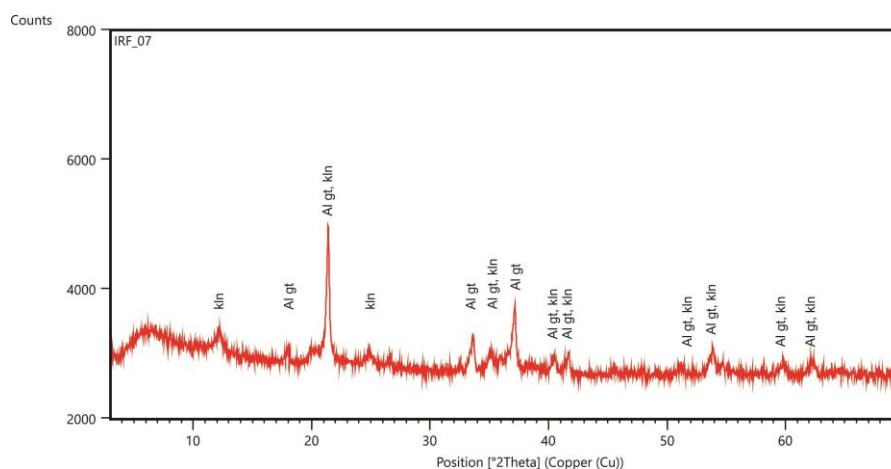


Figura 42 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_11, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).

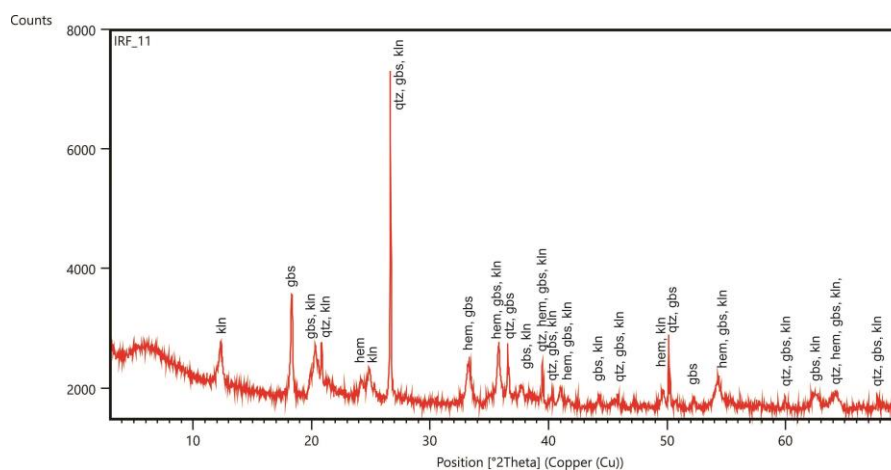


Figura 43 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_12, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).

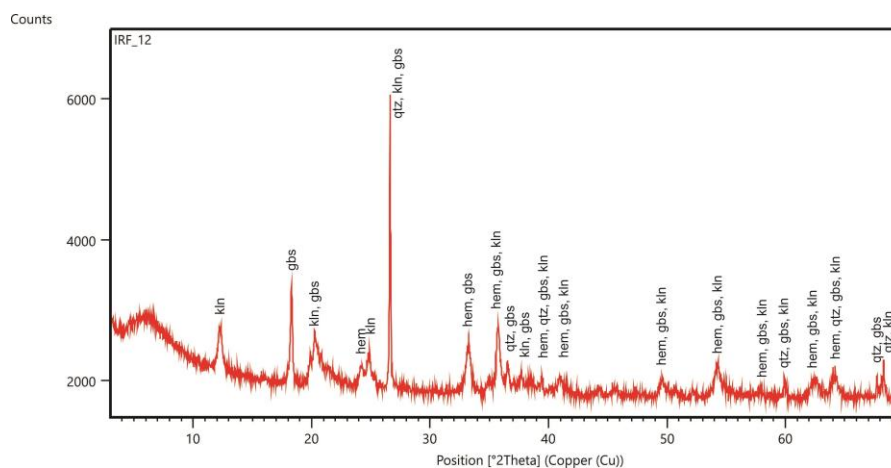


Figura 44 – Difratograma de raios X da amostra IRF_MS1_30, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo; chl – clinocloro).

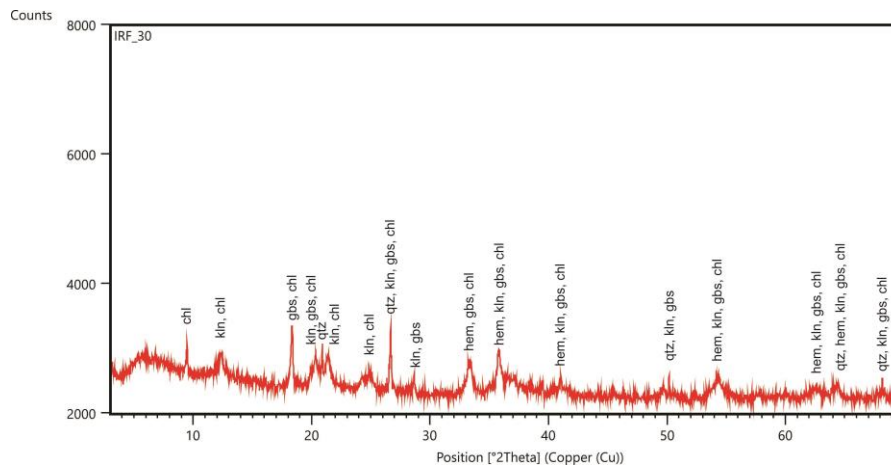


Figura 45 – Difratograma de raios X da amostra IRF_MS1_20, alvo BJP (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).

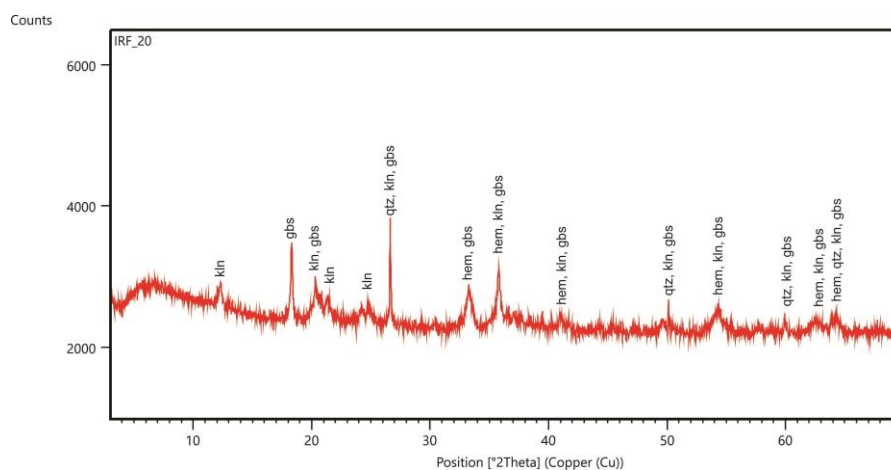


Figura 46 – Difratograma de raios X da amostra IRF_MS1_55, alvo JAC (abreviações: kln – caulinita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).

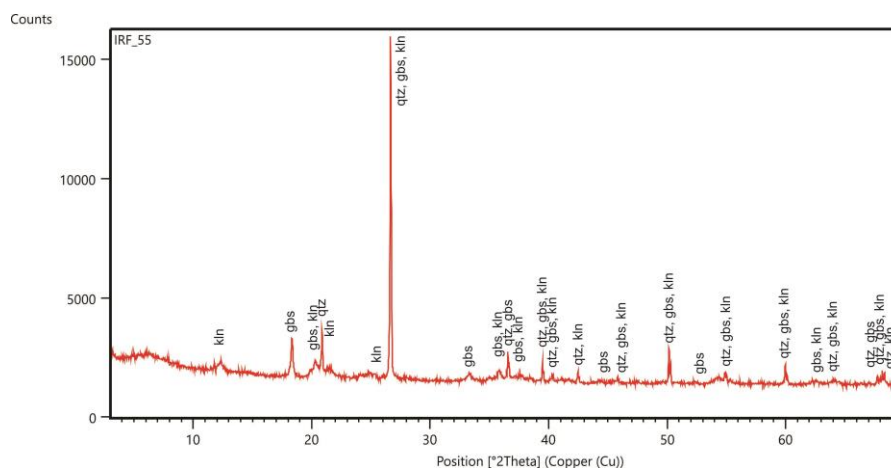


Figura 47 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_58, alvo JAC, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).

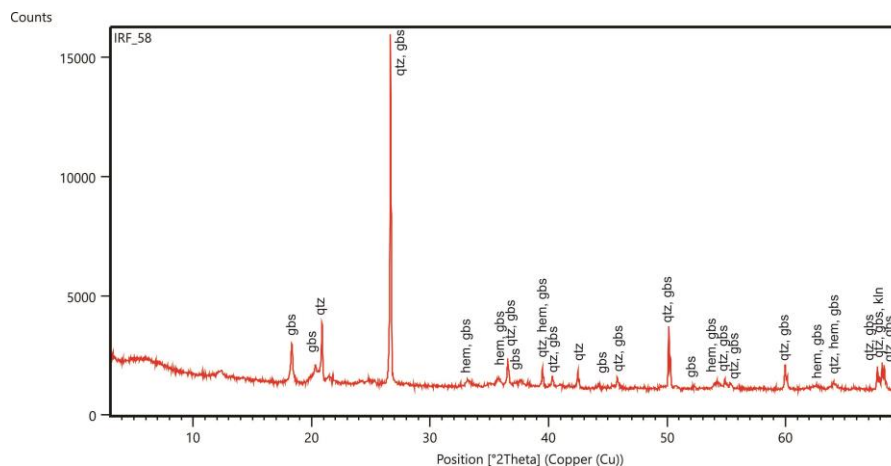
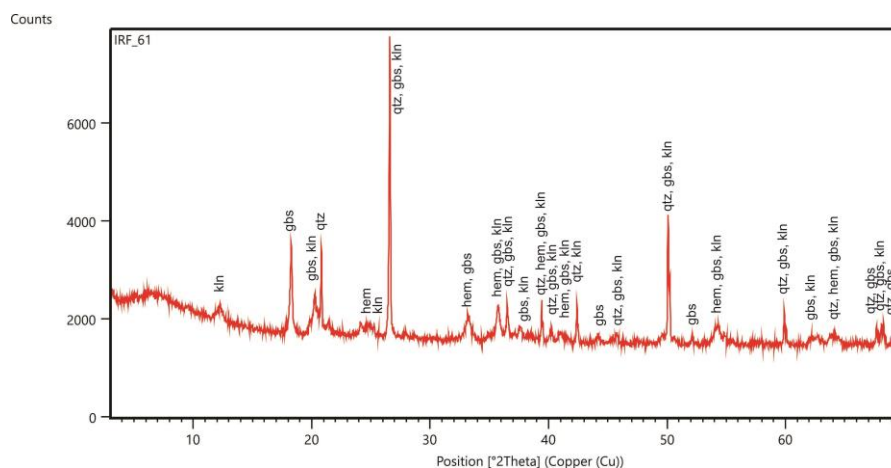


Figura 48 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_61, alvo JAC, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; hem – hematita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).



9.2. Horizonte 4/Horizonte 3.

Apresentados como horizontes ricos em argilas por Andrews Deller (2006), que descreve o 4 como aquele mosqueado (ou plintificado) e o 3 como essencialmente composto por argilas e livre de minerais ferrosos. A partir dos afloramentos visitados nos dois alvos não se identificou o equivalente ao horizonte 3 assim como ele foi descrito, sem contribuição de minerais portadores de ferro. Do ponto de vista de concentrações supergênicas de níquel, esses dois horizontes são aqueles de maior interesse quando desenvolvidos sobre rochas ultramáficas (DALVI et al, 2004).

O contato entre as fácies 3 e 4 se mostra pouco distintivo, no entanto, dessas duas fácies para as demais esse contato se destaca melhor, ainda que sejam gradativos.

Por esse motivo, e pela dificuldade de se encontrar a fácies 3 com sua exata, optou-se por agrupar esses dois horizontes.

Mesmo quando os saprolitos são descritos em seu menor grau de intemperismo, podem ainda ser encontrados minerais portadores de ferro nesses horizontes. Com isso, essa característica parece não ser distintiva para fácies nesse presente caso, sendo que a contribuição ferruginosa observada pode, na verdade, se associar a processos intempéricos posteriores ao perfil de intemperismo principal. Então se considerou aqui o horizonte 3 como aquele onde o saprolito, composto em grande parte por minerais neoformados pelo intemperismo, apresenta feições do prótólito melhor preservadas, sem que se reconheça contribuição significativa de núcleos pouco intemperizados (*corestones*).

Em ambos os alvos é mais expressivo o horizonte plintificado, com cores variegadas, as quais são diferentes entre as rochas metaultramáficas, os gnaisses e os quartzitos. Outro representante são aqueles sem destaque do horizonte mosqueado *stricto sensu*, porém com presença de hidróxidos de ferro em meio a saprolito composto por minerais neoformados. São observados em regiões de declividade levemente superior àquela do horizonte 5, e topograficamente abaixo desse, sendo expostos por ação da erosão.

Com auxílio do sensoriamento remoto, localmente se destacam bem as feições diagnósticas daquele que seria o horizonte 3, em azul ciano na imagem Landsat TM 742. No entanto, aquelas diagnósticas do horizonte 4 não se destacam, sendo verificáveis apenas os limites do que seria a mescla e/ou transição entre os horizontes 5 e 4 através da composição Landsat TM 754. Os critérios de sensoriamento remoto apontam, no alvo BJP, a base do Horizonte 5, e conseqüente início da transição para o horizonte 4, por volta da cota 1100 metros, enquanto o horizonte 3 apresenta limite inferior por volta da cota 1030 metros, com oscilações locais que não superam 20 metros. No alvo JAC, a base do Horizonte 5 se encontra na cota 1060 metros, com o limite inferior do Horizonte 3 por volta da cota 1020 metros. Novamente, os intervalos que ocupam não representam necessariamente a espessura real dos horizontes.

Nos xistos ultramáficos o equivalente ao horizonte 4 mostra maior expressão, com cor verde e plintitas de cor ocre (Figura 49). Nesse caso é observado o saprolito friável com estruturas preservadas, podendo até mesmo ocorrer núcleos do equivalente ao horizonte 3. No saprolito grande parte da mineralogia primária foi substituída por minerais neoformados, restando ainda esparsos anfibólios com hábito ripiforme. Dentre

os minerais substitutos predominam argilas, como esmectitas verdes, hidróxidos de ferro e calcedônia preenchendo planos de junta. Sua melhor exposição se encontra em corte de estrada no alvo BJP, com espessura aflorante de 4 metros, entendida como a mínima para o horizonte plintificado. Já no caso dos gnaisses, o horizonte 4 apresenta o bandamento original da rocha parcialmente preservado na forma de intercalações de bandas ricas em argilas vermelhas, acompanhada de minerais ferrosos, com outras bandas ricas em caulinita.

No alvo JAC, as lentes de rochas metamáficas/ultramáficas, são essencialmente de cor avermelhada a ocre, quando é possível se distinguir esses horizontes. Com isso, têm-se lentes, de espessura inferior a 1 metro, onde predomina a cor ocre com plintitas de cor branca, sugerindo serem compostas por caulinita (Figura 50). Esse fato é notável nas bordas dessas lentes, no contato com os gnaisses. Nesse caso, identificam-se resquícios de anfibólios com hábito ripiforme no xisto ultramáfico, enquanto os demais minerais estão intemperizados.

Figura 49 – Horizonte 4 de intemperismo, desenvolvido sobre clorita-anfibólio xisto, mostra cor verde com plintificado ocre. Afloramento IRF_MS1_08, Alvo Bom Jesus da Penha.



Figura 50 – Amostra de clorita-anfibólio xisto retirado de veio, com espessura de 0,5 metros, em meio a gnaisses. Apresenta horizonte 4 de intemperismo, com cor ocre e plintificado de cor branca. Esse último sugere ser contribuição de caulim. Afloramento IRF_MS1_08, Alvo Jacuí.



Os gnaisses desses alvos também apresentam saprolito friável nesses horizontes, podendo conter estruturas parcialmente preservadas. A mineralogia predominante são argilas de coloração avermelhada com bolsões de caulinita com cor branca (Figura 51). São comuns oscilações no grau de intemperismo, que refletem a variação do conteúdo de minerais primários, sendo o quartzo o mineral mais comum de se preservar nesses horizontes, enquanto as fases máficas se alteram para argilas e hidróxidos de ferro.

No alvo BJP, nos quartzitos aflorantes a sudoeste dos xistos ultramáficos, tem-se aquele mais próximo ao horizonte 3 identificado. Nesse caso foi descrito saprolito com cor ocre claro a amarelo pálido, friável, sem que se identificasse contribuição significativa de minerais ferrosos, sendo maior a presença de caulinita, de cor branca, preenchendo vazios do quartzito alterado.

Figura 51 – Horizonte 4 de intemperismo, se desenvolveu sobre gnaisses, formando bolsões de caulinita, em cor branca, em meio a argilas de cor vermelha. Afloramento IRF_MS1_02, localizado a norte do alvo BJP.



Como exemplo do horizonte 3, como descrito por Andrews Deller (2006), a norte desse alvo foi identificado afloramento de gnaiss intemperizado, rico em caulinita, resultando em cor branca predominante (Figura 52). No local a espessura do horizonte 2, inferior a esse, é pouco representativa e marcada por *corestones* em meio a saprolito grosso, situando o horizonte 3 próximo àquele basal.

Já no alvo JAC foram descritos gnaisses intemperizados, resultando em saprolito róseo. Esse é composto por argilas vermelhas e caulinita, sendo que a razão entre o conteúdo desses minerais pode oscilar muito entre afloramentos. Em comum, nesse caso, as feições da rocha original, como foliação e bandamento, são melhor preservados do que no caso do horizonte 4.

Figura 52 – Ilustração horizonte 3 típico nos gnaisses, composto essencialmente por caulim resultante do intemperismo dos minerais félsicos. Apesar disso, se tem em ocre já a contribuição de minerais ferrosos, resultantes da alteração de minerais máficos. Afloramento IRF_MS1_02, localizado a norte do Alvo Bom Jesus da Penha.



No alvo BJP foi coletada uma amostra de rocha ultramáfica plintificada e coloração esverdeada para análise química. Já no alvo JAC não foram coletadas amostras desse horizonte para essa análise. Como se nota na Figura 37, a amostra IRF_MS1_08 apresentou o mais expressivo teor de níquel (Ni), atingindo 4204ppm (0,42%), um enriquecimento de 350% em relação à rocha não alterada (protólito – IRF_MS1_29), o qual é acompanhado de um ressalto no teor de cobre (Cu), com pico de 1035ppm (0,103%), um enriquecimento de 50 vezes em relação ao protólito. O alumínio (Al_2O_3) apresentou decréscimo em relação ao horizonte 5, com 12,66%, enquanto o ferro (Fe_2O_3) se manteve comparável ao horizonte superior, com 23,9%. Já a sílica (SiO_2), teve comportamento contrário, com incremento no teor, chegando a 36,82%. Os álcalis também se mantiveram com baixos teores, destacando-se apenas o

incremento do magnésio (MgO) em relação ao horizonte 5, com resultado de 2,71%. O cromo (Cr₂O₃), por sua vez, mostra teor nesse horizonte de 1,145%, um enriquecimento relativo ao prótólito de 330% vezes.

Acerca dessa amostra encaminhada para análise química (IRF_MS1_08), também se fez a sua caracterização mineralógica, assim como à amostra de quartzito desse mesmo alvo (Figuras 53 e 54). No xisto ultramáfico plintificado se identificou a presença de clinocloro (uma variedade de clorita) – (Mg, Fe²⁺, Al)₆(Al, Si)₄O₁₀(OH)₈ –, montmorilonita (argila do grupo das esmectitas) – e caulinita. Esse primeiro mineral sugere se tratar de resquício da rocha original, enquanto que as duas argilas sugerem se tratar de produtos do intemperismo. O pico do teor de níquel pode estar associado à presença de montmorilonita, onde apresentaria concentração por ação supergênica, enquanto o magnésio pode se associar tanto a essa argila quanto à clorita. Se esse for o caso, e o incremento no teor de níquel estiver associado a essa argila, essa passa a ser denominada como saponita (montmorillonita níquelífera) – (Mg, Fe)₃(Si, Al)₄O₁₀(OH)₂.4H₂O –, onde o níquel tem a capacidade de substituir o magnésio na estrutura.

A coexistência de argilas do tipos 2:1 (montmorillonita) e 1:1 (caulinita) na rocha ultramáfica possivelmente se deve à superposição de processos de intemperismo, com transformação de parte das argilas do tipo 2:1 e outros silicatos em argilas do tipo 1:1, devido à lixiviação parcial da sílica. Essa situação de transição possui um estágio intermediário de interstratificação de caulinita-esmectita (PEDRO, 1979). No caso da amostra de quartzito caracterizada, tem-se caulinita e quartzo, mineralogia essa condizente com o intemperismo desse litotipo.

Em ambos os alvos foi possível se observar o contato entre os horizontes 5 e 4. Entretanto, como já citado, não se mostrou de forma evidente o contato entre os horizontes 4 e 3. Enquanto isso, o contato desses com o horizonte 2 também não pôde ser destacado em afloramento, possivelmente por estar coberto. A partir dos afloramentos descritos em campo, abordando os diversos litotipos e graus de intemperismo, e com auxílio do modelo digital de elevação do terreno é possível estimar que o horizonte 4/3 no alvo BJP apresenta espessura de 35 metros, enquanto que no alvo JAC a espessura estimada foi de 20 metros.

9.3. Horizonte 2

Apontado por Andrews Deller (2006) como a transição entre a rocha pouco ou não alterada e os horizontes alterados, contem uma mescla de resquícios de rocha pouco alterados (*corestones*) e saprolito grosso, marcado, segundo o autor, pelo enriquecimento em sílica. Com auxílio do sensoriamento remoto esse horizonte apenas foi destacado no alvo BJP, ainda assim, sendo difícil delimitá-lo. Já no alvo JAC, nem mesmo foram reconhecidas suas características nesse momento da pesquisa. Na imagem Landsat TM 742 se mostram com cor rosa claro a esbranquiçado, não sendo identificada a mesma resposta para a composição RGB 754. Com base nos critérios de sensoriamento remoto para o alvo Bom Jesus da Penha, a base desse horizonte se situa próximo à cota de 1000 metros, enquanto que seu limite superior se encontra por volta da cota 1020 metros, em geral, associado a terreno de declividade mais acentuada, superior a 7°. Uma vez que podem haver oscilações quanto ao grau de intemperismo, podem se encontrar localizados afloramentos, correlacionados a esse horizonte, em meio a limites do horizonte 3. No entanto, dado à sua pequena representatividade em área, não se destaca frente às imagens Landsat.

Figura 53 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_08, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: kln – caulinita; mnt – montmorilonita; chl – clinocloro).

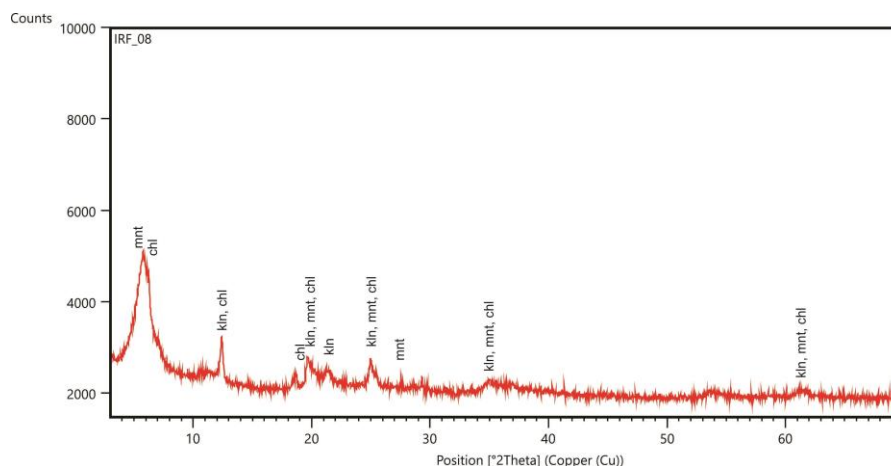
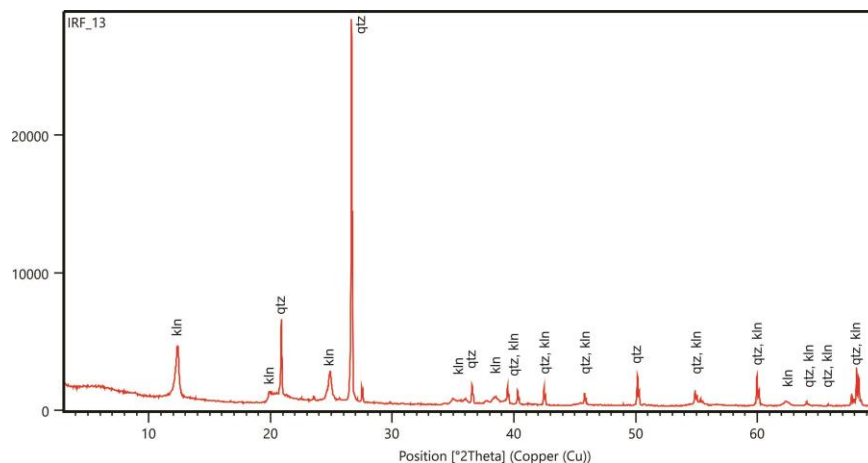


Figura 54 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_13, alvo BJP (abreviações: kln – caulinita; qtz – quartzo).



No alvo BJP os litotipos observados com melhor distinção desse horizonte foram os clorita-anfibólio xistos e os quartzitos. Não foram descritos gnaisses em situação correspondente a esse horizonte dentro desse primeiro alvo. No alvo JAC, apesar de não se distinguir esse horizonte por sensoriamento remoto, são encontrados litotipos representantes desse grau de intemperismo. Apesar da baixa representatividade em área, os xistos ultramáficos mostram características típicas, assim como o tremolito encontrado na forma de lente. Os gnaisses, como litologia predominante no alvo JAC, apresentam também esse horizonte.

No alvo BJP, os xistos ultramáficos apresentam esse horizonte marcado pela presença de uma textura *microboxwork*, visível com auxílio de lupa de aumento de 10 vezes. Seus afloramentos típicos são encontrados próximos às drenagens na região de domínio dessa litologia, onde se teve uma maior erosão do perfil de alteração. Esse saprolito se mostra menos friável e com menor contribuição de argilas do que nos horizontes superiores, sendo encontrado com cor ocre (Figura 55). Mostram densidade inferior àquela de xistos ultramáficos com pouca ou nenhuma alteração, o que pode ser explicado pela textura de *microboxwork*, onde os interstícios submilimétricos, antes preenchidos por xisto ultramáfico e argilas, foram parcialmente esvaziados. Por vezes se encontram afloramentos com presença de núcleos (*corestones*), menores que 0,5 metros, desse xisto ultramáfico pouco alterado, sendo esses os representantes mais preservados identificados para essa rocha. Nesses casos, esses *corestones* são de cor verde escuro, com grande parte da mineralogia preservada e feições estruturais bem destacadas.

Nos quartzitos desse alvo esse horizonte pode ser encontrado na forma de saprolito de cor creme claro, sendo esse menos friável do que aqueles de maior grau de intemperismo. Não se observa contribuição significativa de argilas ou minerais ferrosos,

enquanto o padrão de juntas é facilmente distinguível. Da mesma forma que no caso anterior, podem ocorrer *corestones* de quartzito pouco ou não alterado, o qual se destaca desse aqui descrito por exibir maior coesão e ser não friável.

No alvo JAC, os xistos ultramáficos, apesar de ocorrerem apenas como pequenas lentes, também apresentam esse horizonte com características semelhantes ao alvo anterior. São de cor ocre, pouco friáveis e com textura *microboxwork*, refletindo em uma baixa densidade para esse tipo de rocha. Nesses casos não se notou a presença de núcleos de rocha pouco ou não alterada. Esses afloramentos foram encontrados nas porções topograficamente baixas daquele reconhecido como horizonte 3 por sensoriamento remoto. Nesses locais predominam gnaisses, cujas características de alteração realmente se assemelham àquelas do horizonte 3, com presença de caulinita associada a minerais ferrosos.

Figura 55 – Fotografia ilustrando material interpretado como horizonte 2, mostra xisto ultramáfico parcialmente preservado, com cor ocre, não apresenta contribuição de argilas. Localmente podem ser identificadas juntas, de espessura submilimétrica, preenchidas por calcedônia. Afloramento IRF_MS1_17, Alvo Bom Jesus da Penha.



Fato semelhante ocorre onde se descreveu o tremolítico, encontrado em um único afloramento como lente em meio a gnaisses. Nesse caso a rocha ultramáfica se mostra, predominantemente, com cristais pouco alterados, com cor ocre, e parcialmente friável. Não se identifica calcedônia ou outros minerais neoformados preenchendo

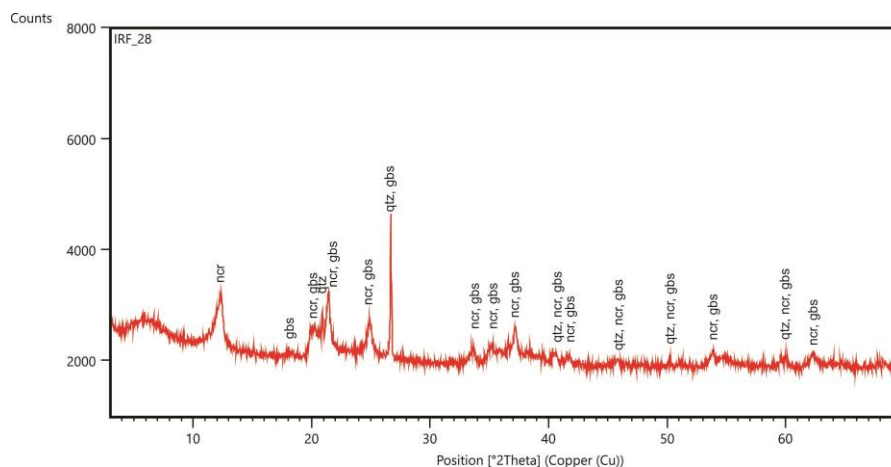
planos de junta. Os gnaisses no local apresentam características semelhantes à transição entre os horizontes 3 e 2, com saprolito variando em grau de friabilidade e preservação dos minerais, podendo até mesmo serem encontrados *corestones* de saprolito com baixo grau de intemperismo, em contraste a outros com caulim e minerais ferrosos.

O horizonte 2 também pode ser verificado em campo nos gnaisses desse alvo, dispostos nas porções topograficamente baixas, por vezes até mesmo em afloramentos isolados dentro de áreas destacadas por sensoriamento remoto como horizonte 3. Descreveu-se também esses gnaisses com características desse horizonte, cobertos por depósitos colúvio-aluvionares sobrepostos por pedogênese, colocando assim os horizontes 5 e 2 em contato direto. Comum nos gnaisses desse horizonte, nota-se maior preservação dos minerais, com menor contribuição de caulim e demais minerais neoformados, os quais, quando presentes, se confrontam com minerais originais ainda preservados. Nesse caso as feições estruturais são melhor destacadas, a coloração tende ao róseo claro e é comum reconhecer *corestones* de baixo grau de alteração.

No alvo BJP coletou-se uma amostra (IRF_MS1_28) desse horizonte para caracterização química e mineralógica. Nesse caso os teores dos álcalis se mantiveram baixos, menores que 0,5%, chamando atenção à redução do magnésio em relação ao horizonte superior, de 2,71% para 0,21%; enquanto isso, nota-se novo acréscimo no alumínio (Al_2O_3), atingindo 25,21%. O níquel (Ni) se posiciona em 595ppm, forte decréscimo em relação ao horizonte imediatamente superior, enquanto o ferro (Fe_2O_3) não sofre variação expressiva ao horizonte plintificado, com teor de 22,34%, da mesma forma que a sílica (SiO_2), apresentando resultado de 34,39%.

A caracterização mineralógica apontou a coexistência de nacrita – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ –, gibbsita – $\text{Al}(\text{OH})_3$ – e quartzo – SiO_2 – (Figura 56), mineralogia essa que destoa daquela esperada para esse horizonte, caso tivesse se mantido sem superposição de novos processo de intemperismo. No entanto, notam-se indícios de que nas regiões onde foi encontrado esse horizonte aflorante, se teve a superposição de novo processo intempérico, com remoção (lixiviação e/ou erosão) de argilas, o que pode se associar ao empobrecimento em álcalis, assim como em níquel, acompanhado do enriquecimento em alumínio, compondo nacrita e gibbsita.

Figura 56 – Difratoograma de raios X da amostra IRF_MS1_28, alvo BJP, conta com análise química (abreviações: ncr – nacrita; gbs – gibbsita; qtz – quartzo).



A partir dos afloramentos descritos em campo, abordando os diversos litotipos e graus de intemperismo, e com auxílio do modelo digital de elevação do terreno entendeu-se que o horizonte 2 apresenta espessura estimada de 10 metros em ambos os alvos estudados.

9.4. Horizonte 1.

Equivalente àquele não intemperizado, não foi identificado nos alvos com base em características de sensoriamento remoto. Na mesma linha, no alvo BJP não foram encontrados em campo afloramentos condizentes com esse horizonte. Nesse caso, os representantes de menor grau de intemperismo foram mesmo os *corestones* encontrados no horizonte 2. No alvo JAC foi identificado, em um único afloramento, gnaisses com condições condizentes com esse horizonte. Enquanto isso, os demais litotipos não apresentaram a mesma situação.

O afloramento de gnaisse desse horizonte ocorre nas imediações da cidade de Jacuí, localizado próximo ao leito da drenagem da saída noroeste da cidade. Nesse local se tem a rocha com pouco intemperismo, com a maior parte de sua mineralogia original e suas feições estruturais preservados. Tem-se uma leve alteração atingindo principalmente planos de junta, onde houve espaço para que se desse o intemperismo, o que não chega a ser representativo e, provavelmente, se associa a processos de intemperismo mais jovens. Nesse caso a rocha não é friável, se mostrando bastante coesa, se partindo majoritariamente em planos pré-definidos, enquanto sua densidade também não foi modificada sensivelmente.

Das amostras coletadas nos alvos (BJP IRF_MS1_29; JAC IRF_MS1_49), apenas àquela do BJP se fez análise química, ambas. Em ambos os casos a rocha foi classificada como clorita-anfibólio xisto, como descrito previamente.

A amostra IRF_MS1_29 mostra alumínio (Al_2O_3) com teor de 9,86%, e o ferro 10,88%. O níquel apresenta teor de 1198ppm (0,11%) e a sílica de 44,12%, condizente com rocha ultrabásica. O magnésio e o cálcio mostram, respectivamente, teores de 21,49% e 5,92%, mostrando que nos horizontes superiores esses sofreram grande lixiviação pelo intemperismo. Os metais cobalto (Co), cromo (Cr_2O_3) e cobre (Cu) apresentam teores, respectivamente, de 85,2ppm, 0,346% e 20,6ppm.

Os valores observados para a amostra foram condizentes com aqueles apontados por Lima (2014) para os xistos com presença de anfibólios e cloritas da unidade destacada como Faixa Ofiolítica. Da mesma forma, a mineralogia caracterizada por petrografia é comparável. No entanto, como já destacado, não se fez uso de tal distinção no presente trabalho.

9.5. Fator de enriquecimento no alvo BJP.

O fator de enriquecimento relativo dos elementos no perfil de intemperismo é calculado com base em elementos considerados imóveis no decorrer do intemperismo. Os elementos tidos como imóveis nessas condições são: Zr, V, Ti e Th. Segundo Thorne (2011), o cálculo é feito com base na fórmula:

$$\text{Fator de enriquecimento} = (C_{e,hz} / C_{i,hz}) / (C_{e,pr} / C_{i,pr})$$

Onde:

$C_{e,hz}$: teor de determinado elemento no horizonte de intemperismo;

$C_{i,hz}$: teor do elemento imóvel no horizonte de intemperismo;

$C_{e,pr}$: teor de determinado elemento no protólito;

$C_{i,pr}$: teor do elemento imóvel no protólitos.

Dessa forma, o teor de dado elemento é normalizado em relação ao elemento imóvel naquele mesmo horizonte. Com o cálculo, resultados próximos a 1 mostram que, apesar de o teor variar em relação ao protólito, não houve enriquecimento ou depleção de dado elemento. Caso esse seja inferior a 1, mostra que houve depleção do elemento no dado horizonte, sendo, possivelmente, lixiviado. Por fim, teores superiores a 1 mostram que houve enriquecimento de dado elemento no horizonte, possivelmente oriundos de horizontes superiores.

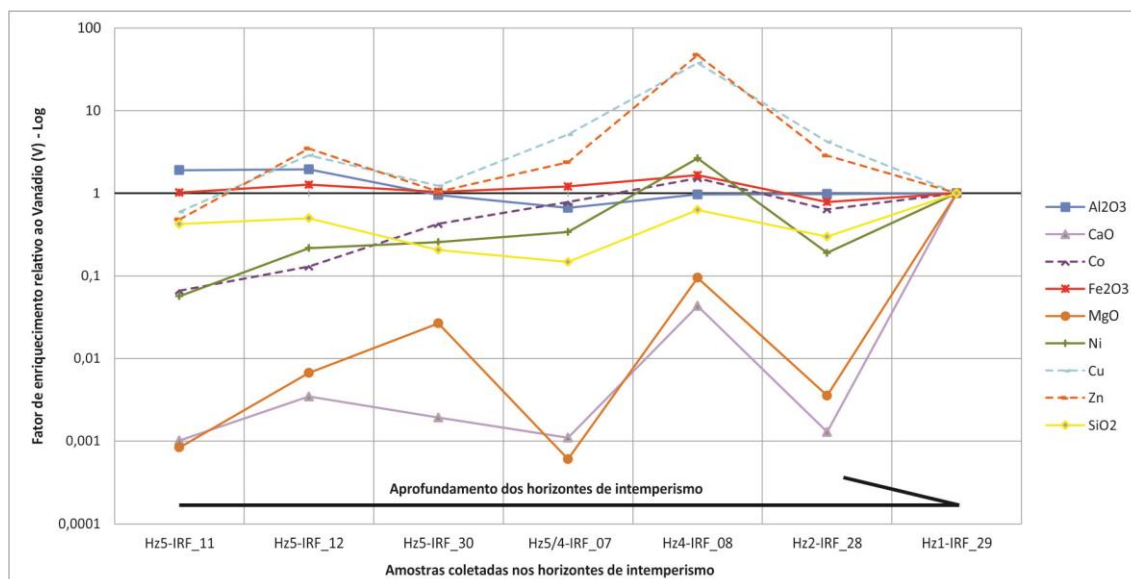
No presente trabalho fez-se o cálculo do fator de enriquecimento para os horizontes de intemperismo desenvolvidos na rocha ultramáfica no alvo BJP. Segundo Hill et al (2000), o vanádio (V) apresenta comportamento similar ao tório (Th) no perfil de intemperismo. Com isso, optou-se pelo vanádio para normalização, uma vez que a relação entre sua maior concentração e o prótólito é de 3 vezes. Os demais elementos destacados como imóveis mostram maiores variações nessa relação, podendo assim refletir variações de conteúdo dos elementos no prótólito. A própria relação de concentração do vanádio situa-se acima do ideal para o cálculo, que seria inferior a 2 vezes (THORNE, 2011), no entanto, essa é a melhor possibilidade para realização do cálculo buscando evidenciar o comportamento dos elementos ao longo dos processos intempéricos.

Com base no gráfico da Figura 57, com os principais elementos no perfil de intemperismo do alvo BJP, tem-se:

- Apesar das variações nos teores, nota-se que ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3) apresentaram, respectivamente, máximo fator de 1,65 e 1,94, exibindo até mesmo depleção na base do perfil de intemperismo, com menores fatores de 0,78 e 0,66, respectivamente, que podem se associar a processos erosivos superpostos ao horizonte, com remoção de argilas e óxidos/hidróxidos. Nota-se que, de forma geral, ferro e alumínio se mantiveram próximos ao conteúdo do prótólito, com pouca variação se comparados aos demais elementos;
- Cálcio (CaO), magnésio (MgO) e sílica (SiO_2) mostraram depleção, que é mais intensa nos álcalis, situando seus fatores constantemente inferior a 1, evidenciando lixiviamento dos elementos. Nos três casos a menor depleção se deu no horizonte plintificado, enquanto que no horizonte 2 tem-se novo pico de depleção, reforçando a proposta de superposição de novo processo de intemperismo que teria atuado com horizonte 2 mostrando pouca ou nenhuma cobertura;
- O zinco (Zn) e o cobre (Cu) se comportaram de formas similares, mantendo seus conteúdos próximos ao prótólito nos horizontes mais externos, mostrando enriquecimento na transição dos horizontes 5 e 4 e maior enriquecimento no horizonte 4 (plintificado); uma vez que não apresentam forte depleção no horizonte 5, aponta-se a possibilidade de que seu enriquecimento se deu durante o processo de intemperismo anterior, mais intenso, sendo que seus horizontes mais externos foram posteriormente erodidos e submetidos a novo processo de

intemperismo que, no entanto, não foi capaz de produzir expressiva depleção desses elementos nesse novo horizonte externo;

Figura 57 – Fator de enriquecimento calculado em relação ao vanádio (V) para os principais elementos no alvo BJP.



- Por fim, o níquel (Ni), que apresenta concentração máxima de 350% em relação ao protólito, e o cobalto (Co), como esperado, também mostraram comportamentos similares desse fator, com depleção no horizonte mais externo e enriquecimento no horizonte plintificado, voltando a apresentar depleção no horizonte 2; novamente, o enriquecimento no horizonte 4 possivelmente se dá por depleção dos elementos dos horizontes mais externos e acúmulo nesse horizonte, o mesmo das argilas de estrutura 2:1 (montmorillonitas), enquanto que a depleção no horizonte 2 novamente reforça a proposta de superposição de processo intempérico, com lixiviação e/ou erosão desses elementos.

9.6. Elementos terras raras.

Os elementos terras raras também são influenciados pelo desenvolvimento do perfil de intemperismo, fazendo com que suas concentrações se alterem ao longo dos horizontes. De acordo com Nesbitt (1979), a mobilidade desses elementos durante o processo de intemperismo se relaciona à mineralogia da rocha sobre o qual se desenvolve o intemperismo, especialmente à estabilidade desses minerais portadores frente ao intemperismo. Apesar disso, nota-se que, no geral, os elementos terras raras leves (La, Ce, Pr, Nd, Pr, Sm, Eu e Gd) são menos móveis nas condições de

intemperismo se comparadas às terras raras pesadas (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), resultando assim em enriquecimento das primeiras (BRAUN et al, 1990).

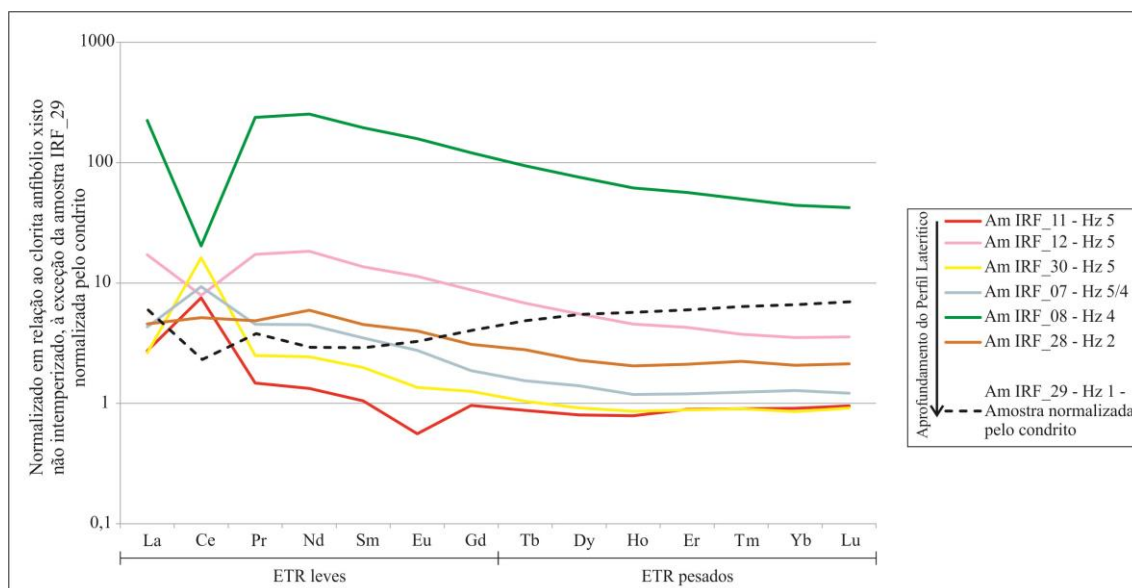
A distribuição relativa desses elementos terras raras pode ainda fornecer indícios dos horizontes do perfil de intemperismo, a exemplo do que ocorre com o cério (Ce), que tende a apresentar anomalias positivas no horizonte mais externo (BRAUN et al, 1990; Bao & Zhao, 2008). Ainda, segundo Braun et al (1990) a razão La/Yb é geralmente utilizada para quantificar o fracionamento dos elementos. Por fim, as variações nos fatores responsáveis pelo intemperismo, somado à mineralogia da rocha sobre o qual se desenvolve o intemperismo, podem ainda gerar anomalias que diferem do padrão destacado, e que, por esses motivos, podem auxiliar no estudo do desenvolvimento dos perfis lateríticos.

Uma vez que foi possível coletar amostras dos distintos horizontes de intemperismo destacados no alvo BJP, apresenta-se a seguir um os resultados químicos dos elementos terras raras para os respectivos horizontes (Figura 58). Seguindo modelos de tratamentos dos dados químicos apresentados na literatura sobre esses elementos, optou-se pela normalização em relação à rocha não alterada para demonstrar a variação relativa da concentração nos horizontes de intemperismo. Os resultados químicos da rocha não alterada foram normalizadas pelo condrito para permitir representação no mesmo diagrama.

Os dados observados na Figura 58 mostram condições distintas de concentrações relativas dos elementos terras raras ao longo dos horizontes de intemperismo. Ainda que os teores totais desses elementos em rocha não alterada sejam inferiores a 200 ppm, seu comportamento relativo se mostra muito destacado, dentre eles citam-se:

- De maneira geral, os elementos terras raras pesados (ETRP) mostram empobrecimento em relação aos elementos terras raras leves (ETRL), sendo que as amostras IRF_MS1_11 e 30, situadas no horizonte 5, exibem concentração de ETRP até mesmo inferior a rocha não intemperizada (IRF_MS1_29); a amostra IRF_MS1_07, situada na transição entre os horizontes 5 e 4, mostra também comportamento muito semelhante, porém, mostra concentração, tanto em ETRP quanto em ETRL, em relação à rocha não intemperizada.

Figura 58 – Distribuição dos elementos terras raras ao longo dos horizontes de intemperismo do Alvo Bom Jesus da Penha. Os valores dos horizontes de intemperismo foram normalizados em relação ao clorita-anfíbólio xisto não intemperizado, à exceção da amostra IRF_29 normalizada em relação ao condrito



- As amostra IRF_MS1_12 e IRF_MS1_08, respectivamente nos horizontes 5 e 4 (plintificado), mostram comportamento muito semelhante da concentração relativa, sendo que a amostra do horizonte plintificado exibe concentração relativa expressiva para todos os elementos terras raras, em média essa concentração foi de 116 vezes em relação à rocha não intemperizada.
- No caso da amostra IRF_MS1_28, situada no horizonte 2, nota-se um enriquecimento médio de 3,4 vezes em relação à rocha não intemperizada, no entanto, também se destaca que a concentração ente os ETRP e os ETRL não mostra tanta distinção como nos horizontes superiores.
- A amostra IRF_MS1_29, representa a rocha não alterada, se mostrando enriquecida em ETR em relação ao condrito, apresentado anomalia negativa em Ce, pontos esses que corroboram os resultados de Lima (2014) para as rochas máficas/ultramáficas da região. Porém, ao contrário do exposto pelo mesmo autor, os ETRP se mostram com maior concentração relativa do que os ETRL, podendo ser esse um efeito estatisticamente não representativo ou então se associar à migração dos ETRP da parte superior do perfil de intemperismo para a parte inferior.

Por não ser o objetivo principal do presente trabalho, os estudos mineralógicos aqui realizados não são capazes de apontar os minerais portadores desses elementos, tanto no caso da rocha não alterada quanto em seus respectivos horizontes de intemperismo.

Apesar desse fato, é notável a alta concentração dos ETR no horizonte plintificado, onde se destaca a presença de argilas esmectíticas, semelhante à situação descrita por Bao & Zhao (2008) para casos de adsorção desses elementos por argilas.

Por fim, como pode ser observado, o elemento cério (Ce) apresenta um comportamento distinto dos demais ETRL. Esse elemento mostra expressivo incremento no horizonte mais externo, à exceção de uma amostra, enquanto que no horizonte 4 é notável sua depleção.

Seguindo o cálculo do cério anômalo $[Ce/Ce^* = 3 * Ce / Ce_{condrito} / ((2 * La/La_{condrito}) + (Nd/Nd_{condrito}))]$ proposto por Prudêncio et al (1995), o horizonte mais externo dessa perfil exibe para as amostras os resultados: IRF_MS1_11 – 1,43; IRF_MS1_12 – 0,21; IRF_MS1_30 – 3,04; IRF_MS1_07 – 0,98. Assim, à exceção da amostra 12, se nota uma predominância de anomalias positivas, que, segundo Prudêncio et al (1995), indicam condições de intemperismo duradouro em clima quente e úmido. Tal comportamento é compatível com as descrições feitas por Braun et al (1990) e Bao & Zhao (2008) como sendo inerente ao desenvolvimento de perfis lateríticos. Esses autores apontam que a associação desses elementos aos óxidos e hidróxidos de ferro são responsáveis por tal incremento nos horizontes mais externos.

Como já enunciando anteriormente, para o alvo JAC foram realizadas análises químicas de 2 amostras de solos, coletadas no topo do patamar local. O cálculo do cério anômalo apresentou resultados de 3,34 e 3,74, para as amostras 58 e 61, respectivamente. Com isso, apesar de não se ter indício efetivo se os solos se desenvolveram sobre unidade autóctone ou alóctone, com base em Braun et al (1990), Prudêncio et al (1995) e Bao & Zhao (2008), tem-se indícios de que esses foram submetidos à condições de intemperismo duradouro em clima quente e úmido.

10. Considerações sobre as bases de dados e *softwares*.

O uso de imagens de radar SRTM para geração de modelos digitais de terreno, principalmente em escalas de maior detalhe (p.ex. 1:50.000), ainda enfrenta certas barreiras em razão de certas imprecisões, inerentes ao método indireto de levantamento dos dados. Apesar disso, optou-se por utilizar essas imagens devido à possibilidade de

geração dos modelos digitais de elevação e declividade de forma homogênea para uma grande área, sendo que se verificou, em campo, uma boa correlação entre os modelos e o relevo no caso dos alvos detalhados. Aponta-se ainda, quanto à topografia, que o site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) já dispõem de grande volume de cartas topográficas do Brasil, em diferentes escalas, as quais estão disponibilizadas para download gratuito, em formatos de imagem e vetorizado. Esse último tipo é direcionado para *softwares* SIG (Sistema de Informações Georreferenciadas), sendo possível também, a partir desses dados, confeccionar modelos digitais de declividade do terreno.

O domínio do *Greensonte Belt* do Morro do Ferro possui levantamentos geológicos com volume significativo de informações públicas, com estudos litológicos e econômicos. No entanto, em regiões onde se tem um menor volume de informações de mapeamentos geológicos, a fase inicial dos programas exploratórios, voltados para prospecção de rochas ultramáficas, podem ser auxiliados por levantamentos geofísicos em escala regional, como aeromagnético, aerogamaespectrométrico e aerogravimétrico (MARSH et al, 2013).

Quanto aos *softwares* proprietários (particulares), aplicados para o processo prospectivo, existem substitutos livres que podem ser utilizados, sendo que possuem todas as ferramentas utilizadas nesse trabalho. Apontam-se como possibilidades, o SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), como substituto do ENVI, e o Quantum GIS e o gvSIG como alternativas ao ArcGIS.

11. Conclusões.

Dentre as composições de imagens de satélite Landsat, apresentadas por Andrews Deller (2006) para mapeamento de fácies lateríticas, a RGB 5/4 3/2 7/5 não apresentou nenhum resultado compatível entre a área aqui estudada e aquela onde o autor aplicou a técnica. Já as composições RGB 754 e 742 apresentaram resultados compatíveis com aqueles propostos, com destaque para o caso da composição RGB 742, onde se observaram certas distinções entre os solos desenvolvidos nos locais com expressiva presença de rochas máficas-ultramáficas, onde geralmente apresentam cor vermelha mais intensa, e aqueles oriundos de outros materiais geológicos, o que pode se dar devido à variação no conteúdo de minerais ferrosos. Se comparados os dois alvos aqui estudados, destacam-se maiores teores de ferro nos solos do BJP, onde se tem essa resposta.

Devido às condições diferenciadas daquelas onde o sensoriamento remoto foi aplicado pioneiramente por Andrews Deller (2006), se torna imprescindível a aplicação dos modelos digitais de terreno (declividade e elevação) para se tentar efetuar a delimitação da possível arquitetura de fácies de intemperismo, o que também confere maior confiança durante a execução da fase de sensoriamento remoto para escala local. Esse fato fica evidente quando comparado aos resultados das imagens Landsat apontados pela literatura.

Dessa forma, o sensoriamento remoto aplicado se mostrou uma ferramenta produtiva, principalmente quando se integram as imagens Landsat e os modelos digitais de terreno. Com a soma dos critérios geológicos, geomorfológicos e de sensoriamento remoto, sustentou-se a possibilidade de ocorrência de perfil de intemperismo nas rochas ultramáficas, de forma a justificar a visita de campo em busca de evidências diretas de ocorrências de concentrações supergênicas de níquel.

Durante a etapa de campo se identificou a presença de corpos ultramáficos, a exemplo de clorita-anfibólio xistos, anfibólio xistos e tremolititos, colocados em formas de lentes, com extensões e continuidades variadas. Esses litotipos, em primeiro momento, satisfizeram a necessidade litológica para prospecção de ocorrências significativas de concentrações supergênicas de níquel.

No alvo BJP foi observado corpo ultramáfico com indícios de maior representatividade em área, enquanto que no alvo JAC os corpos ultramáficos são lentes que não superam a barreira dos 10 metros de extensão.

Observou-se, nesses alvos selecionados para detalhamento com base na soma de critérios geológicos, geomorfológicos e topográficos, evidências de expressivo perfil de intemperismo, tanto em área quanto em espessura. Em ambos se encontrou um patamar local desenvolvido, com baixa declividade, que se desmantela em encostas de declividade média, revelando, parcialmente, os horizontes resultantes do perfil de intemperismo mais proeminente. Além desse, também se observou características de sobreposição de processos intempéricos àquele mais antigo e mais expressivo.

Durante o estudo de campo dos alvos se descreveu, ainda que com variações, o equivalente aos 5 horizontes aplicados por Andrews Deller (2006). Porém, dado à sobreposição de processos intempéricos, esses horizontes foram parcialmente mascarados, notando-se até mesmo expressiva substituição mineralógica.

No alvo BJP, com base nos dados de campo, nota-se que seu perfil intempérico desenvolvido na rocha ultramáfica sugere espessura de 50 metros de profundidade, do

ápice do patamar local até o domínio do saprolito grosso. Enquanto isso, no alvo JAC, o perfil de intemperismo, desenvolvido nos gnaisses, sugere espessura de 35 metros de profundidade, do ápice do patamar local até o domínio do saprolito grosso.

Em ambos os alvos se reconheceram evidências da presença de, no mínimo, duas fases distintas de intemperismo proeminente. A mais antiga é também mais intensa e responsável pela geração do perfil de intemperismo mais profundo e melhor diferenciado. Esta fase é reconhecida em ambos os alvos. A esse momento se associariam os horizontes 4, 3 e 2, e certo nivelamento regional.

Posterior a esse evento, se desenvolveu uma fase de erosão, ao qual se associa o desmantelamento parcial do perfil previamente desenvolvido, seguida de novo processo intempérico. A atuação desse novo evento sobre as fácies expostas do perfil mais antigo seria responsável pela geração de um novo horizonte 5, formado por solo ferruginoso, argiloso, de cor vermelha. Como evidência disso, pode se apontar a formação de filmes de goethita sobre seixos na base de depósitos coluvionares, além de considerável homogeneização regional, na forma de solos vermelhos, dos produtos expostos. Essa interpretação é corroborada pelas modificações químicas e mineralógicas observadas no horizonte 2 e a coexistência de argilas do tipo 2:1 e 1:1 no horizonte 4, assim como pelas variações mineralógicas e químicas apontadas para os solos desenvolvidos nas unidades alóctones e autóctones, em ambos os alvos, e também para o horizonte 2 do alvo BJP.

A superposição desses eventos vem acompanhada de mudanças mineralógicas nos horizontes, o que resulta em interferências para as respostas captadas pelo sensoriamento remoto com imagens Landsat. Essas interferências sugerem ser, em conjunto com a presença de vegetação e unidades alóctones (depósitos colúvio-aluvionares), responsáveis pelo truncamento, e até mesmo omissão, de fácies, como apresentados nos mapas de sensoriamento remoto. Como exemplo, cita-se o alvo JAC, onde um depósito colúvio-aluvionar sofreu pedogênese, resultando em características que respondem ao sensoriamento remoto como a fácies 5, sotoposto a gnaisses com grau de intemperismo equivalente a fácies 2.

Do ponto de vista de concentrações supergênicas de níquel, o alvo BJP apresentou os melhores resultados. Nesse se identificou um corpo de xisto ultramáfico submetido a processos intempéricos que resultaram na formação de um horizonte plintificado, com espessura e largura mínima aflorante de, aproximadamente, 4 por 250 metros, respectivamente. Esse horizonte apresentou teor de níquel de 0,42% associado à

presença de montmorillonita (argila do grupo das esmectitas), uma concentração relativa de 350% em relação ao prótólito. Essa concentração relativa é condizente com aquelas apontadas por Marsh et al (2013) para formação de depósitos lateríticos desse elemento, no caso, superior a 1%. No entanto, aqui não se atingiu concentrações absolutas atrativas devido ao prótólito apresentar teor de níquel de 0,12% (IRF_MS1_29). Apesar disso, se evidencia um processo de concentração supergênica, com evidências de enriquecimento do metal nesse horizonte, corroborado pelo comportamento de outros elementos químicos e também pelas associações mineralógicas.

Já no alvo JAC se identificou larga predominância de gnaisses, resultando em baixo potencial para presença de expressivas concentrações supergênicas de níquel. Apesar disso, esse alvo foi afetado pelos mesmos processos de intenso intemperismo que o BJP e, considerando-se as rochas mais expressivas na região, que são os gnaisses, poderia se direcionar a pesquisa para presença de caulim ou outras ocorrências minerais do tipo lateríticas.

Referências bibliográficas.

AB'SABER, A. N. **O quaternário na bacia de Taubaté: estado atual dos conhecimentos.** Geomorfologia, São Paulo, v.7, p.52-54, 1969.

ALMEIDA, C. M. **Gênese dos corpos de sulfeto maciço hidrotermal e platinóides associados no depósito de Fortaleza de Minas (MG).** 2003. 110f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de. **O Pré-Cambriano Superior da América do Sul.** Boletim de Geociências-USP, São Paulo, v.7, p.45-80, 1976.

ALMEIDA F. F. M. **O Cráton do São Francisco.** Rev. Bras. Geociências, São Paulo, v.7, p.349-364, 1977.

- ALMEIDA, F. F. M. **O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco**. In: Simpósio sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais, 1981, Salvador. Anais Sociedade Brasileira de Geologia, p.1-10, 1981.
- ANDREWS DELLER, M. E. **Facies discrimination in laterites using Landsat Thematic Mapper, ASTER and ALI data-examples from Eritrea and Arabia**. International Journal of Remote Sensing, v.27(12), p.2389-2409, 2006.
- ANGELI, N. **Pesquisa dos jazimentos de níquel e geologia da Folha Ipanema – Minas Gerais**, 1988. 289f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1988.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. **Geologia do triângulo mineiro (Projeto Chaminés)**. Boletim DNPM, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Rio de Janeiro, n.136, p.1-140, 1970.
- BAO, Z. AND ZHAO, Z. **Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China**. Ore Geol. Rev., 33, 519-535. 2008.
- BIONDI, J.C. **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. Oficina de textos**. SP. 528p. 2003.
- BRAND, N.W., BUTT, C.R.M., ELIAS, MICK. **Nickel laterites—Classification and features**. AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, v. 17, p. 81–88, 1998.
- BRAUN J., PAGEL M., MULLER J., BILONG P., MICHARD A. & GUILLET B. **Cerium anomalies in lateric profiles**. Geochim. Cosmochim. Acta, 54, 781-795. 1990.
- BRENNER, T. L.; TEIXEIRA, N. A.; OLIVEIRA, J. A. L.; FRANKE, N. D.; THOMPSON, J. F. H. 1990. **The O’Toole nickel deposit, Morro do Ferro Greenstone Belt, Brazil**. Economic Geology, v. 85 (5), p. 904-20, 1990.

BRITO NEVES, B. B. DE; CAMPOS NETO, M. C.; FUCK R. A. **From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-PanAfrican cycle and orogenic collage.** Gondwana Research, v. 22, n. 3, p.155-166, 1999.

BUTT, C. R. M. **Nickel laterites and bauxites.** CSIRO Australia, Division of Mineralogy. Perth. Report FP12, 34p, 1975.

CARVALHO, S. G.; BRENNER, T. L. **Depósito de Ni-Cu-Co-Au-EGP de Fortaleza de Minas, Minas Gerais.** In: KUYUMJIAN, R.M. (Org.). Modelos de depósitos de cobre do Brasil e sua resposta ao intemperismo. Brasília, CPRM, 2010 p. 99-126.

CARVALHO, S. G. **Geologia e potencial de mineralização nos arredores de Fortaleza de Minas – MG.** 1983. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

CARVALHO, S. G.; SOARES, P. C.; ANTONIO, M. C.; ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M. A. F. **Geologia da Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG).** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.23 (1), p.38-51, 1993.

CARVALHO, S. G.; SOARES, P. C.; BARBOUR, A. P. **Mineralizações nos terrenos greenstone de Alpinópolis e Fortaleza de Minas.** Geociências, Rio Claro, v.11 (1), p.19-47, 1992.

CARVALHO, S. G.; ZANARDO, A.; DEL LAMA, E. A.; ANGELI, N. 1998. **Evolução metamórfica da Seqüência Metavulcano-sedimentar de Alpinópolis: Um estudo integrado de petrografia, química mineral e termobarometria.** Geociências, Rio Claro, v.17 (1), p.9-59, 1998.

CARNEIRO, M. A. & BARBOSA, M. S. C. **Implicações geológicas e tectônicas da interpretação magnetométrica da região de Oliveira, Minas Gerais.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 26, n.1, p. 87-98, 2008.

CAVALCANTE, J. C.; CUNHA, H. C.; CHIEREGATI, L. A.; KAEFFER, L. G.; ROCHA, J. M.; DAITX, E. C.; COUTINHO, M. G.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND,

J. B. V.; ROSA, D. B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí: Estado de São Paulo e Minas Gerais**. DNPM/CPRM, Brasília, 299p. 1979.

CHRISTOFOLETTI, A & QUEIROZ NETO, J. P. **Estudos geomorfológicos a respeito da serra de Santana (SP)**. Boletim Paulista de Geomorfologia, São Paulo, v.38, p.3-20, 1961.

CERNY, P. **Comments on serpentization and related metasomatism**. *American Mineralogist* 53(7-8): 1377-1385, 1968.

COSTA, P. C. C.; CARNEIRO, M. A.; TEIXEIRA, W.; GIRARDI, V. A. V.; NALINI Jr, H. A.; OLIVEIRA, A. H.; FERNANDES, R. A. **Estudo geoquímico e petrológico dos diques máficos da Região de Candeias-Campo Belo-Santo Antônio do Amparo (MG), porção meridional do Cráton São Francisco**. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, v.5(2), p.65-84, 2006.

COX, D. P., e SINGER, D. A. **Mineral deposit models**. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379p. 1986.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS. **Folha SF23 Rio de Janeiro em escala 1:1.000.000**. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>> Acesso em 13 jan. 2014.

CROSTA, A.P.; MOORE, J.M. **Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A Prospecting case history in greenstone belt terrain**. In: Proceedings of the 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, Canada, p. 1173–1187, 1989.

DALVI, A. D.; BACON, W. G.; OSBORNE, R. C. . **The past and the future of nickel laterites**, 2004. In: PDAC 2004 - International Convention, Trade Show & Investors Exchange. Disponível em <<http://www.pdac.ca/pdf-viewer?doc=/docs/default-source/publications---papers-presentations---conventions/techprgm-dalvi-bacon.pdf>>. Acesso em 15 jan. 2014.

DARDENNE M.A. & SCHOBENHAUS C. **Metalogênese do Brasil**. CPRM, Brasília, Editora UnB, 392 p. 2001.

DARDENNE M.A. **The Brasilia fold belt**. In: CORDANI, U. G., MILANI, E. J., THOMAZ FILHO, A., & CAMPOS, D. A. (eds.) Tectonic Evolution of South America, International Geological Congress, 31., 2000, Rio de Janeiro, p.231-263, 2000.

EBERT, H. **A Tectônica do sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes**. Relatório Anual do Diretor, Rio de Janeiro, DNPM/DGM, p. 97-107, 1957.

EBERT, H. **Ocorrências da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipóteses sobre sua origem**. An. Acad. Brasil. Ciênc. 40 (supl.), p.215-219, Rio de Janeiro, 1968.

EBERT, H. **Os Paraibides entre São João Del Rey, Minas Gerais e Itapira, São Paulo, e a bifurcação entre Paraibídes e Araxaídes**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25., 1971, São Paulo, Brasil, Bol Especial, São Paulo, v.1, p.177-178, 1971.

EBERT, H. **Relatório de atividades**. Relatório anual do Diretor, Rio de Janeiro, DNPM-CGM, p. 97-107, 1956.

FEOLA, J. L. **Mineralizações auríferas hospedadas na faixa metavulcano-sedimentar Jacuí-Bom Jesus da Penha – Sudoeste de Minas Gerais**. 211p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

FERNANDES, N. H. **Origem e Evolução das Formações Ferríferas Bandadas no Sudoeste do Estado de Minas Gerais**. 2004. 190f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP. Rio Claro, 2004.

FERNANDES N.H., BRENNER T.L., CARVALHO S.G., SOARES P.C., MORALES N. **Late Proterozoic iron and phosphatic formations in the Brasilia Colisional Belt, south Minas Gerais, Brazil**. In: Internacional Geological Congress,

31., 2000, Rio de Janeiro. Abstract Volume CD Rom... Rio de Janeiro: IGC Organizing Committee, 2000.

FIGUEIREDO M. do A., FABRIS J. D., VARAJÃO A. F. D. C., LOUTFI, I. S., AZEVEDO I. S., GARG V. K., COUCEIRO P. R. C. **Óxidos de ferro de solos formados sobre gnáisse do Complexo Bação, Quadrilátero Ferrífero, estado de Minas Gerais.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n.2, p. 313-321, 2006.

FILGUEIRAS, A. M. C. **Estudos litoestruturais do Greenstone Belt morro do ferro entre a faixa mumbuca e a faixa morro do ferro, Minas Gerais, e sua implicação para mineralizações sulfetadas.** 2000. 98F. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Campinas. Campinas, 2000.

GOLIGHTLY, J.P. **Nickeliferous laterites: a general description.** In: International laterite symposium, 1979, New Orleans. Society of Mining Engineers American Institute of Mining and Metallurgical, and Petroleum Engineers, Incorporated, p. 24-37, 1979.

GOLIGHTLY, J.P. **Nickeliferous laterite deposits.** Economic Geology. 75th Anniversary Volume, pp 710-735, 1981.

GUIMARÃES, D. **Arqui-Brasil e sua evolução geológica.** In: Boletim DNPM/DFPM, Rio de Janeiro, n. 88, p.1-314, 1951.

HARALYI, L.E.; HASUI, Y. **The gravimetric information and the Archean Proterozoic structural framework of Eastern Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.12 (1), p.160-166, 1982.

HASUY, Y. & ALMEIDA, F. F. M.. **Geocronologia do centro-oeste brasileiro.** Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, v.19 (1), p.6-26, 1970.

HASUI, Y.; EBERT, H. D.; COSTA, J. B. S. **Estruturação da extremidade oriental da chamada Cunha de Guaxupé.** In: Congresso Brasileiro de Geociências, 36., 1990, Natal, Anais, Natal, SBG v.5, p.2296-308, 1990.

HASUI, Y. & OLIVEIRA, M. A. F. 1984. **Província Mantiqueira, setor Central (Complexos Juiz de Fora, Barbacena e Varginha)**. In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (Coords.) O Pré-Cambriano do Brasil, 1984, Edgard Blucher, São Paulo, p.308-44. 1984.

HASUI, Y.; RODRIGUES, E. P.; OLIVEIRA, M. C. B.; HENS, J.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KULLER, M.L.; FRASCA, M.H.B.O. **Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformação de rochas pré-cambrianas antigas do leste de São Paulo**. Fase I, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Relatório IPT n. 25908, v.3, 1988.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C. M.; ZIMBRES E. **O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG**. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 4., 1987, Belo Horizonte. Boletim... Belo Horizonte: SBG, v.7, p.179-98, 1987.

HILL, I. G., WORDEN, R. H., MEIGHAN, I. G. **Geochemical evolution of a palaeo-laterite: the Interbasaltic Formation, Northern Ireland**. Chemical Geology 166 (1-2), 65-84. 2000.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. **Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geologia, vol. 39, n. 2, p. 256-266. 2009.

KING, L. C. **A geomorfologia do Brasil oriental**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.147-265, 1956.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de cultura economica, Mexico, 478p., 1948.

LELONG, F., TARDY, Y., GRANDIN, G., TRESCASES, J.J., BOULANGE, B. **Pedogenesis, Chemical Weathering and Processes of Formation of some Supergene**

Ore Deposits. In: Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits. Ed. R.H. WOLF, Elsevier, vol. 3, pp. 92-173. 1976.

LIMA, F. G. **Evolução petrogenética das rochas máficas/ultramáficas na área ao sul do Cráton São Francisco, entre as cidades de Fortaleza de Minas e Jacuí-MG.** 104 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

MARSH, E., ANDERSON, E., GRAY, F. **Nickel-cobalt laterites—A deposit model,** chap. of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–H, 38 p. 2013

MELFI, A. **Características geoquímicas e mineralógicas dos estádios iniciais da alteração superficial das rochas ultrabásicas de Barro Alto (GO).** Boletim IG, V5, 117-128. 1974

MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B. **Les "laterites" nickelíferes du Brésil.** Cah. Orstom, Sér. Geol., vol. 11, p. 15-42, 1980.

MORALES, N.; CARVALHO, S. G.; CHOUDHURI, A.; FIORI, A. P.; OLIVEIRA, M. A. F.; RODRIGUES, M. F. B.; SOARES, P. C.; ZANARDO, A. **Geologia das folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí, Nova Resende, MG.** In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 2, 1983, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBG-MG, v. 3, p.411-422, 1983.

MORALES, N. **Evolução tectônica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio na porção ocidental.** 256f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

NESBITT, W. **Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite.** Nature 279,206-210. 1979.

OLIVEIRA, S. M. B. **Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v.11 (2), p. 49-57, 1990.

OLIVEIRA, S. M. B. **A alteração intempérica das rochas ultrabásicas de Santa Fé (GO) e gênese do depósito níquelífero**. 238f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1980.

PEDRO, G. **Characterization générale des processus de l'alteration hydrolytique**. Sci. Soil, 2:93-105, 1979.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAÚ DE MINAS. **História de Itaú de Minas**, 2010. Disponível em <<http://www.itaudeminas.mg.gov.br/arquivos/historia-de-itaude-minas.pdf>>. Acesso em 13 jan. 2014.

PRUDÊNCIO, M.I., GOUVEIA, M.A., SEQUEIRA BRAGA, M.A.S. **REE distribution in present-day and ancient surface environments of basaltic rocks (central Portugal)**. Clay Miner. 30, 239– 248. 1995.

RADAMBRASIL. Ministérios de Minas e Energia. **Levantamento dos recursos naturais – Folhas SF 23/24, Rio de Janeiro/Vitória**. 1983. 780p. Rio de Janeiro, v. 32, 1983.

RETALLACK, G. J. **Lateritization and bauxitization events**. Economic Geology, v. 105, p. 655–667, 2010.

ROBB, L. **Introduction to ore-forming processes**. Blackwell Publishers, 373 p, 2004.

RUSSO, M. L. C. **Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito**. 172 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

SANFORD, R. F. **Mineralogical and chemical effects of hydration reactions and applications to serpentinization**. American Mineralogist, v. 66, p. 290 – 297, 1981.

SANTIVANEZ, A. O. **As serpentinas niquelíferas do Morro do Níquel em Pratápolis, Minas Gerais**. Engenharia, Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, v. 42, n. 248, p. 61-64, 1965.

SEER, H. J. **Evolução tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na sinforma de Araxá, Minas Gerais**. 267f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 1999.

SIMÕES, L. S. A. **Evolução tectono-metamórfica da *Nappe* de Passos, sudoeste de MG**. 149 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1995.

SIMÕES, L.S.A.; VALERIANO, CM. **Porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília: estágio atual do conhecimento e problemas de correlação tectono-estratigráfica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. Anais. Natal, SBG, v. 6, p.2564-2575, 1990.

SIMÕES, L. S. A.; VALERIANO, C. M.; ZANARDO, A. **Zonação Metamórfica inversa do grupo Araxá-Canastra na região de São Sebastião do Paraíso-Alpinópolis, MG**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., 1988, Belém, Anais... Belém: SBG, v.3, p.1203-1215, 1988.

SMIRNOV, V.I. **Geologia de yacimientos minerales**. Edición Española. Ed. Mir Moscow, 654 p. 1983.

SOARES, P.C.; FIORO, A.P.; CARVALHO, S.G. **Tectônica oblíqua entre o bloco Paraná e a margem sul do craton do São Francisco, no maciço de Guaxupé**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. Natal, 1990. Anais ... Natal: SBG. v.6, p. 2723-2734, 1990

SOUSA, L. & LOPES, F. **Tutorial: correção atmosférica, processo dark subtract**. Belém, 2010. Disponível em:

<<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfcYAH/tutorial-envi-correcao-atmosferica>>. Acesso em 25 jul. 2013.

STRIEDER, A. J. **Serpentinização e metassomatismo em rochas ultramáficas: discussão das características e recomendações para o tratamento químico.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 22 (3), p. 329 – 337, 1992.

SZABÓ, G. A. J. **Contexto geológico e petrologia das rochas metaultramáficas de Alpinópolis, MG.** 212p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SZABÓ, G.A.J. **Petrologia da suíte metaultramáfica da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na Região de sul a oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais).** 354 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

TEIXEIRA, N. A. **Geologia e petrologia e prospecção geoquímica da seqüência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG).** 202f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1978.

TEIXEIRA, N. A. & DANNI, J. C. M. **Contribuição à estratigrafia do Grupo Araxá-Canastra na região de Passos (MG).** In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, SBG, 1978. Anais... Recife, SBG, v.2, p. 700-10, 1978.

TEIXEIRA, N. A.; DANNI, J. C. M. **Geologia da raiz de um greenstone belt na região de Fortaleza de Minas, Minas Gerais.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.9 (1), p.17-26, 1979a.

TEIXEIRA, N. A.; DANNI, J. C. M. **Petrologia de lavas metabásicas da Seqüência Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG).** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.9 (2), p.151-158, 1979b.

TEIXEIRA, N. A.; GASPAR, J. C.; BRENNER, T. L. **Geologia e implicações geotectônicas do greenstone belt do Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG).**

Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.17 (2), p.209-220, 1987.

THORNE, R. L. **Nickel laterites, origin and climate.** PhD Thesis - Faculty of Engineering, Science and Mathematics School of Ocean and Earth Science, University of Southampton. 2011.

TRESCASES, J. J.; OLIVEIRA, S. M. B. **Alteração dos serpentinitos de Morro do Níquel (MG).** In: Congresso Brasileiro de Geologia, 30., 1978, Recife. Anais... Recife, v. 4, p. 1655-1669. 1978.

VALERIANO C.M., ALMEIDA J.C.H., SIMÕES L.S.A., DUARTE B.P., HEILBRON M. **Evolução estrutural do domínio externo da Faixa Brasília no sudoeste de Minas Gerais: registros de uma tectônica pré-brasiliana.** Revista Brasileira de Geociências, 25:221-234. 1995.

VALERIANO, C. M.; MACHADO, N.; SIMONETT, I A.; VALLADARES, C. S.; SEER, H. J.; SIMÕES, L. S. **U-Pb geochronology of the southern Brasília Belt (SE Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West-Gondwana.** Precambrian Research, v.130 (1), p.27-55, 2004.

VALERIANO, C.M., PIMENTEL, M. M., HEILBRON, M., ALMEIDA, J. C. H., TROUW, R. A. J. **Tectonic evolution of the Brasilia Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana.** Geological Society, v.294, p.197-210, 2008.

WICKS, F. J. **Serpentine mineralogy, petrology and paragenesis.** Canadian Mineralogist, v. 17 (4), p. 673 – 677, 1979.

WICKS, F. J. & WHITTAKER, E. J. W. **Serpentine textures and serpentinization.** Canadian Mineralogist, v. 15, p. 459 – 488, 1977.

ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)**. 270p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

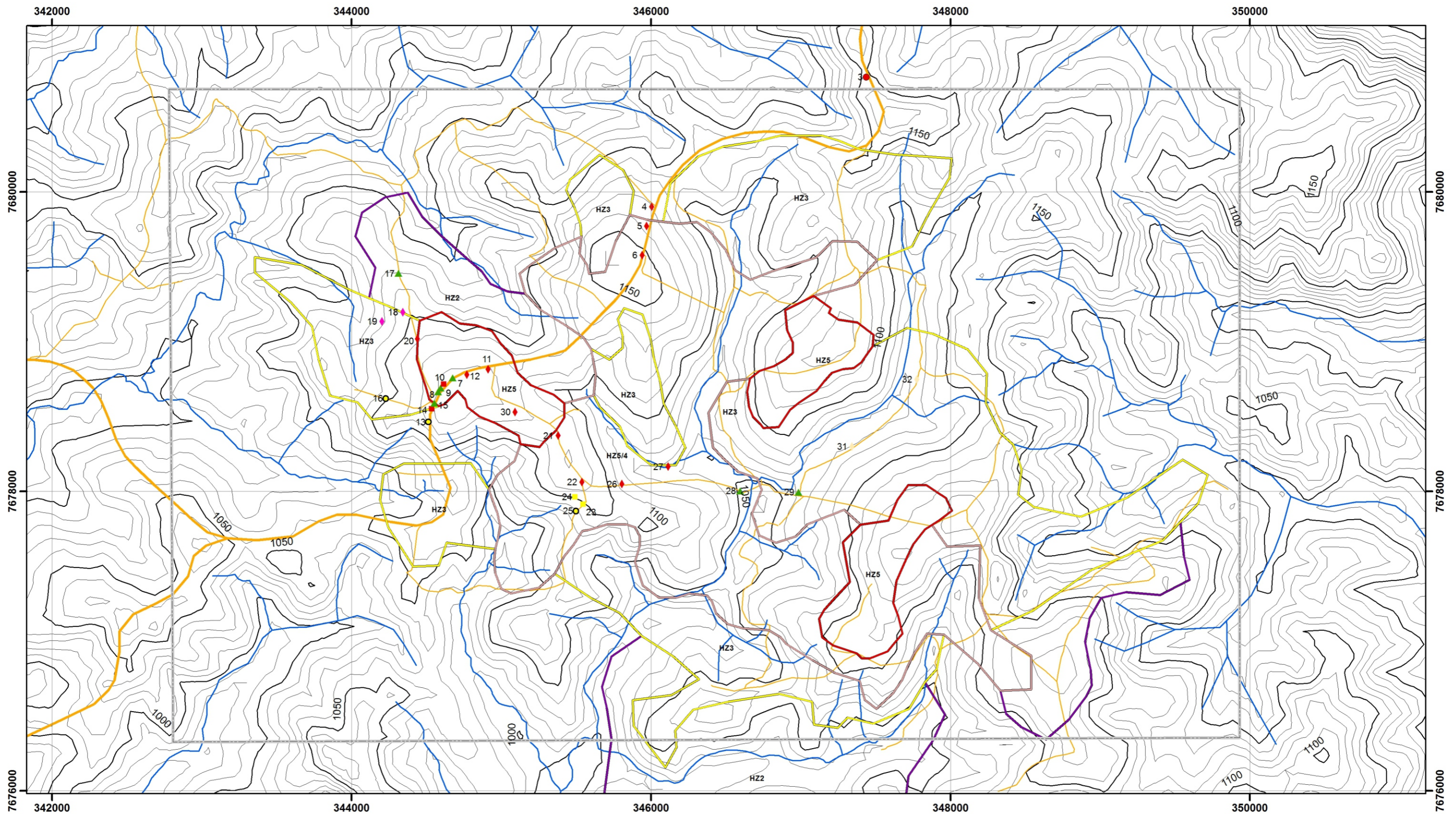
ZANARDO, A.; MORALES, N.; CARVALHO, S. G. **Evolução metamórfica da porção sul do Cráton Paramirim**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., 1990, Natal. Anais... Natal: SBG, 1990. v. 4, p. 1945-1951, 1990.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; DEL LAMA, E. A. **Evolução geológica das rochas granulíticas da região de Guaxupé, Sudeste do Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40., 1998, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SBG, 1998, p.25, 1998.

ZANARDO, A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M. A. F. & DEL LAMA, E. A. **Associação tectono-litológica da paleozona de sutura Alterosa, sudeste do Brasil**. Revista UnG-Geociências, 5(1): 103-117. 2006.

ZANARDO, A. **Pesquisa geológica e de matérias-primas cerâmicas do centro nordeste do Estado de São Paulo e vizinhanças: sistematização crítica da produção técnico-científica**. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

APÊNDICES



Afloramentos visitados durante etapa de campo

- Depósitos colúvio-aluvionares compostos por fragmentos de rocha e argila
- ◆ Latossolo vermelho, argiloso apresenta contribuição de quartzo inferior a 30%; é comum a presença de concreções ferruginosas
- ◆ Solo vermelho, argiloso, apresenta oscilação no conteúdo de quartzo; não é comum a presença de concreções ferruginosas visíveis a olho nu; podem ser encontradas variações locais chegando a cor ocre, menos predominante.

- Veios graníticos, encontrados alterados em meio aos xistos ultramáficos, não apresentam foliação marcante
- Quartzito de granulometria média, mostra-se, geralmente, alterado, com característica friável e estruturas pouco destacadas
- ▲ Anfibólio serpentina xisto, apresenta foliação bem destacada pela orientação das serpentinas; destaca-se seus afloramentos de horizonte plintificado, resultando em cor verde com plintitas ocre.
- Biotita gnaiss (predominante) observado alterado

Limites de horizontes determinados por sensoriamento remoto a partir das composições RGB 754 e 742

- HZ5 Horizonte 5 - Solo ferruginoso
- HZ5/4 Zona de transição entre solo ferruginoso e horizonte plintificado (horizontes 5 e 4)
- HZ3 Horizonte 3 - Caolínico
- HZ2 Horizonte 2 - Rocha semi-alterada

Convenções

- Alvo Bom Jesus da Penha selecionado para detalhamento
- Principais drenagens no alvo de pesquisa
- Vias Principais
 - Vias asfaltadas
 - Vias em leito natural
- Curvas de nível



1:25.000



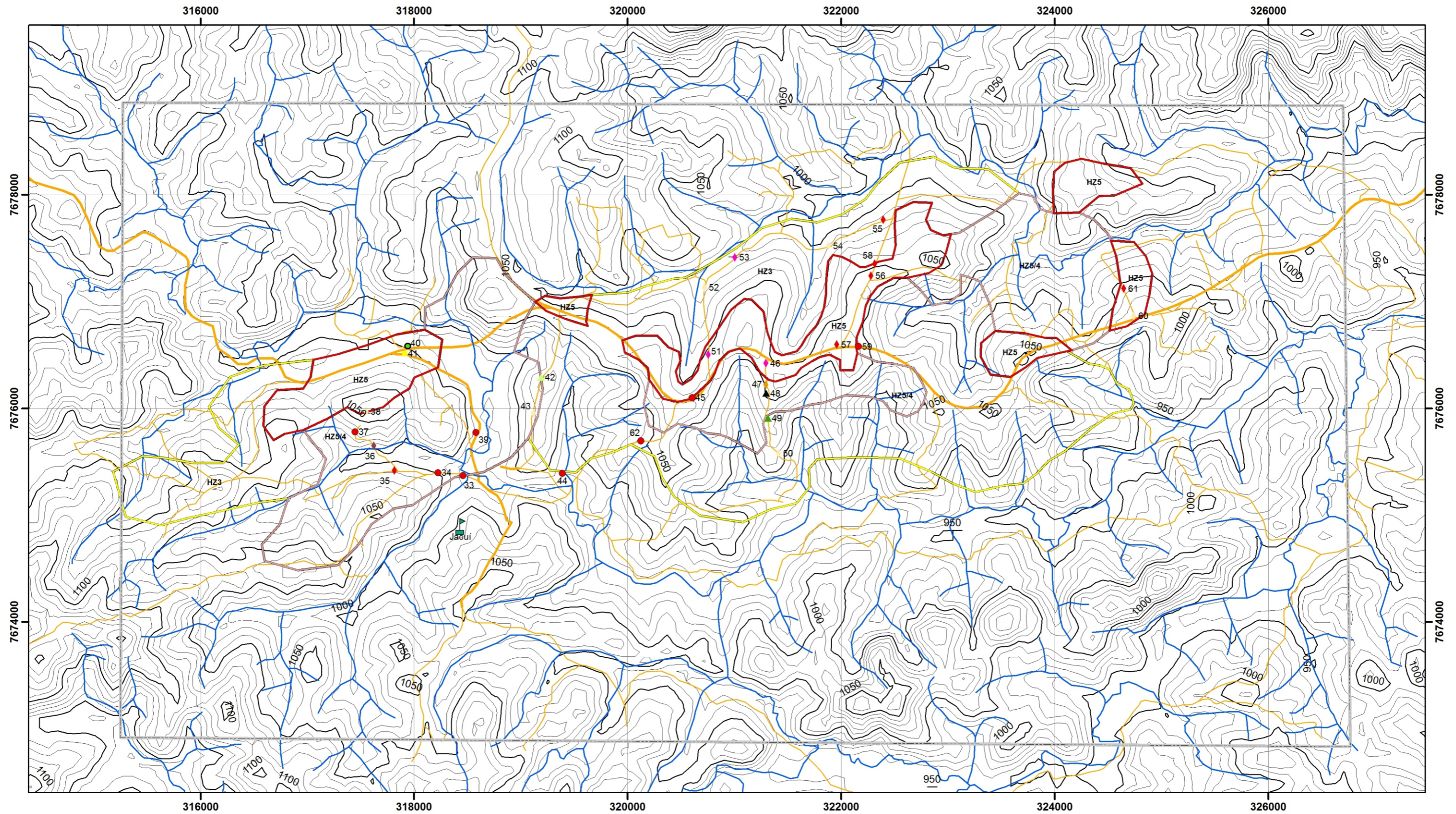
Sistema de Coordenadas UTM
Datum Horizontal SAD69/Zona 23S
Curvas de nível geradas com base em imagem de Satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)
Equidistância das curvas de nível: 10 metros

unesp
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

APÊNDICE I
Mapa de distribuição de afloramentos visitados no alvo Bom Jesus da Penha

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - UNESP Rio Claro

Autor: Ilio Rodarte Faria Júnior
Fevereiro/2015



Afloramentos visitados durante etapa de campo

- Depósitos colúvio-aluvionares compostos por fragmentos de rocha e argila
- ◆ Solo marrom, argilo-arenoso, sugere ter se desenvolvido in situ
- ◆ Latossolo vermelho, argiloso apresenta contribuição de quartzo inferior a 30%; é comum a presença de concreções ferruginosas
- ◆ Solo alaranjado a róseo, argilo-arenoso, ocorrem blocos de gnaiss alterados
- ◆ Solo vermelho, argiloso, apresenta oscilação no conteúdo de quartzo; não é comum a presença de concreções ferruginosas visíveis a olho nu.
- ◆ Solo de cor ocre a alaranjado, argilo-arenoso
- Mica xisto de coloração acinzentada
- ▲ Tremolítico, mostra cor amarela dado o intemperismo
- ▲ Anfibólio serpentina xisto, apresenta foliação bem destacada pela orientação das serpentinas; destaca-se seus afloramentos de horizonte plintificado, resultando em cor verde com plintitas ocre.
- Biotita gnaiss (predominante), podendo ocorrer granada biotita gnaiss, observado alterado

Limites de horizontes determinados por sensoriamento remoto a partir das composições RGB 754 e 742

- HZ5 Horizonte 5 - Solo ferruginoso
- HZ5/4 Zona de transição entre solo ferruginoso e horizonte plintificado (horizontes 5 e 4)
- HZ3 Horizonte 3 - Caolínico

Convenções

- Alvo Jacuí selecionado para detalhamento
- Principais drenagens no alvo de pesquisa
- Vias Principais**
- Vias asfaltadas
- Vias em leito natural
- ▲ Sede municipal
- Curvas de nível



1:35.000



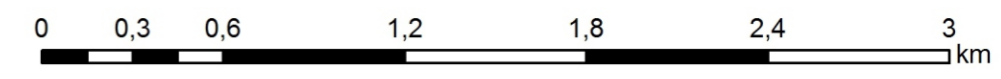
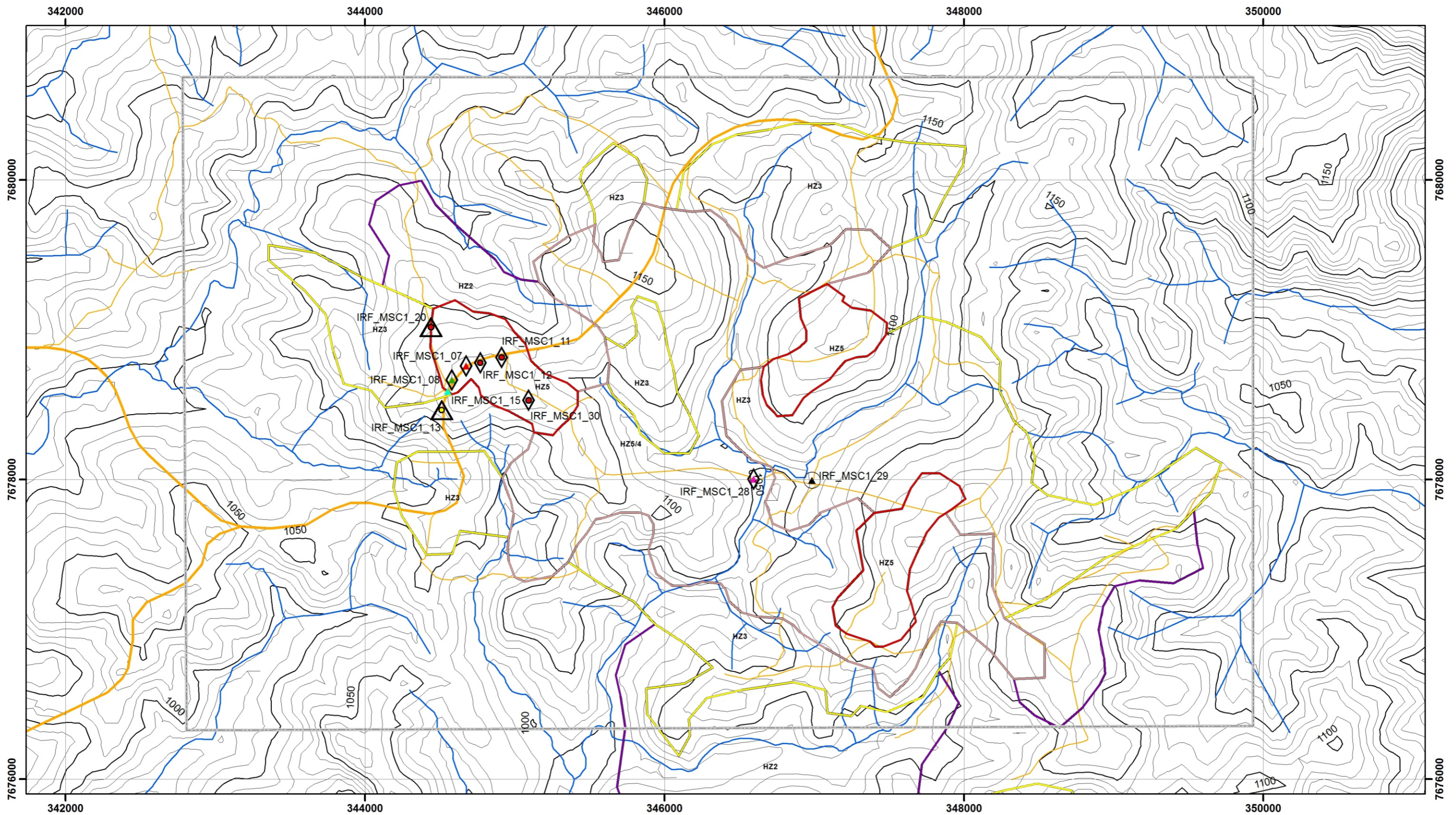
Sistema de Coordenadas UTM
Datum Horizontal SAD69/Zona 23S
Curvas de nível geradas com base em imagem de Satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)
Equidistância das curvas de nível: 10 metros

unesp
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

APÊNDICE II
Mapa de distribuição de afloramentos visitados no alvo Jacuí

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - UNESP Rio Claro

Autor: Ilio Rodarte Faria Júnior
Fevereiro/2015



1:25.000



Sistema de Coordenadas UTM
Datum Horizontal SAD69/Zona 23S
Curvas de nível geradas com base
em imagem de Satélite SRTM
(Shuttle Radar Topography Mission)
Equidistância das curvas de nível: 10 metros

Litotipo amostrado e fácies laterítica equivalente

- Latossolos vermelhos, equivalente ao horizonte 5
- Quartzito amarelo equivalente à transição entre os horizontes 4 e 3
- ▲ Clorita anfíbio xisto ocre, equivalente à transição entre os horizontes 5 e 4
- ▲ Clorita anfíbio xisto plintificado, equivalente ao horizonte 4
- ▲ Clorita anfíbio xisto, equivalente à transição entre os horizontes 4 e 3
- ▲ Clorita anfíbio xisto com presença de boxwork, equivalente ao horizonte 2
- ▲ Clorita anfíbio xisto de cor verde, equivalente ao horizonte 1

Caracterização química e ou mineralogia aplicada à amostra

- ▲ Difração de raios-X
- Análise química e seção delgada
- ◇ Análise química e difração de raios-X

Limites de horizontes determinados por sensoriamento remoto a partir das composições RGB 754 e 742

- HZ5 Horizonte 5 - Solo ferruginoso
- HZ5/4 Zona de transição entre solo ferruginoso e horizonte plintificado (horizontes 5 e 4)
- HZ3 Horizonte 3 - Caolínico
- HZ2 Horizonte 2 - Rocha semi-alterada

Convenções

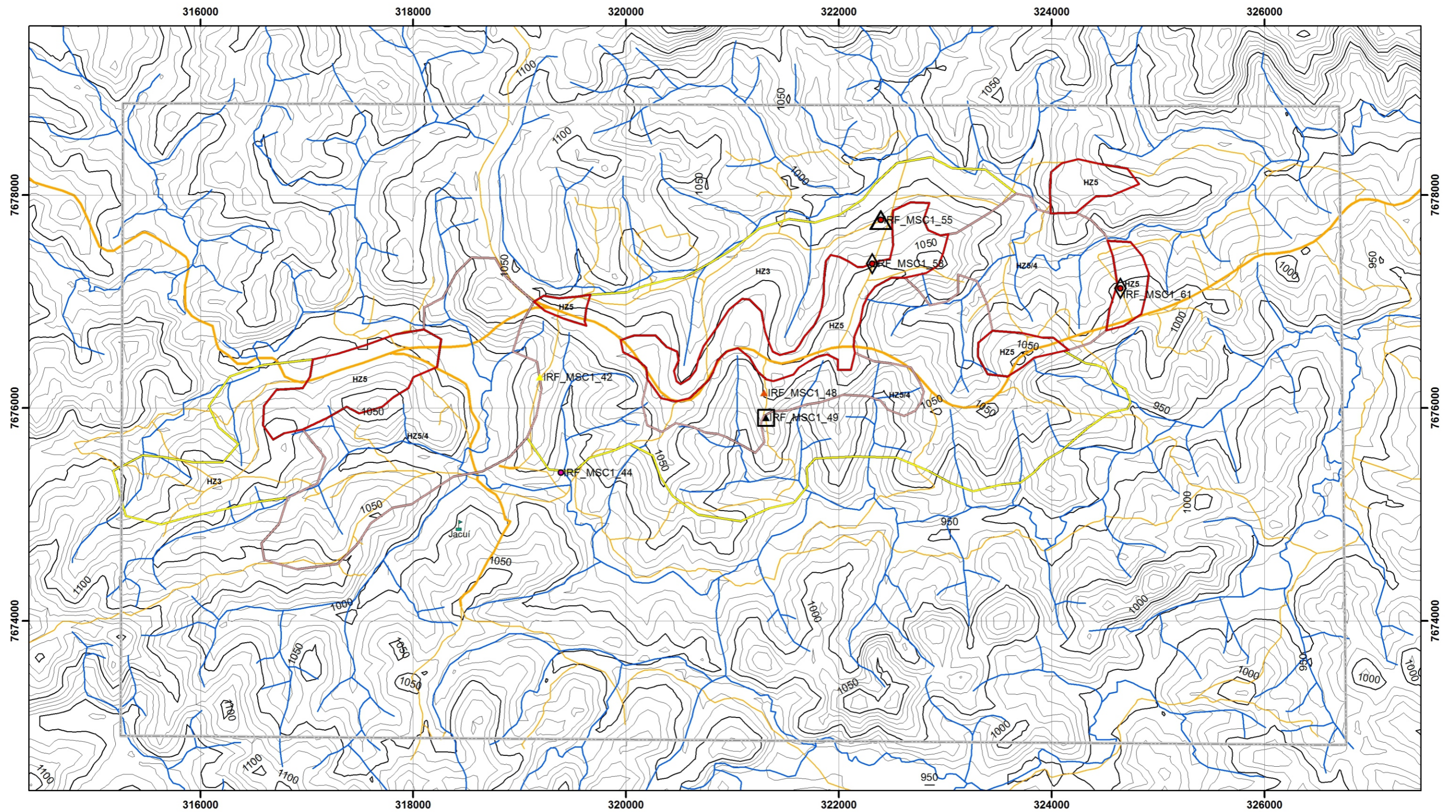
- Alvo Bom Jesus da Penha selecionado para detalhamento
- Principais drenagens no alvo de pesquisa
- Vias Principais**
- Vias asfaltadas
- Vias em leito natural
- Curvas de nível

unesp
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

APÊNDICE III
Mapa de afloramentos com caracterização química e/ou mineralógica no alvo Bom Jesus da Penha

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - UNESP Rio Claro

Autor: Ilio Rodarte Faria Júnior
Fevereiro/2015



Litotipo amostrado e fácies laterítica equivalente

- Latossolos vermelhos, equivalente ao horizonte 5
- ▲ Tremolítico de cor ocre-amarelado, equivalente ao horizonte 2
- ▲ Clorita anfíbólio xisto de cor verde claro, equivalente à transição entre os horizontes 2 e 1
- ▲ Clorita anfíbólio xisto de cor verde, equivalente ao horizonte 1
- Biotita gnaíse ocre-avermelhado, equivalente ao horizonte 2

Caracterização química e ou mineralogia aplicada à amostra

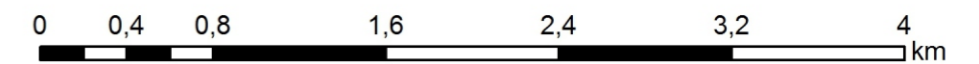
- ▲ Difração de raios-X
- Seção Delgada
- ◇ Análise química e difração de raios-X

Limites de horizontes determinados por sensoriamento remoto a partir das composições RGB 754 e 742

- HZ5 Horizonte 5 - Solo ferruginoso
- HZ5/4 Zona de transição entre solo ferruginoso e horizonte plintificado (horizontes 5 e 4)
- HZ3 Horizonte 3 - Caolínico

Convenções

- Alvo Jacuí selecionado para detalhamento
- Principais drenagens no alvo de pesquisa
- Vias Principais**
- Vias asphaltadas
- Vias em leito natural
- ▲ Sede municipal
- Curvas de nível



1:35.000



Sistema de Coordenadas UTM
Datum Horizontal SAD69/Zona 23S
Curvas de nível geradas com base em imagem de Satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)
Equidistância das curvas de nível: 10 metros

unesp
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

APÊNDICE IV
Mapa de afloramentos com caracterização química e/ou mineralógica no alvo Jacuí

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente - UNESP Rio Claro

Autor: Ilio Rodarte Faria Júnior
Fevereiro/2015

APÊNDICE V – DESCRIÇÕES PETROGRÁFICAS.

Lâmina – IRF_29.

Descrição Mesoscópica: Rocha de cor verde claro, pouco alterada, mostra partição contínua, que sugere a presença de foliação, paralela à qual se nota a presença de cristais ripiformes de anfibólio associado a menor contribuição de clorita.

Descrição Microscópica.

Estrutura/Textura: Na seção de corte a rocha apresenta baixo grau de orientação mineral, com foliação insipiente e textura granoblástica inequigranular serial a nematoblástica, com domínios lepidoblásticos, com grande quantidade de cristais de anfibólio cortados perpendicular à seção basal, apresentando formas subedrais a euedrais. A granulação é fina com os maiores cristais raramente atingindo 500µm de comprimento e a granulação média é inferior a 150 µm.

Composição modal estimada visualmente.

Tremolita-actinolita	(±70%)	Hidróxidos de ferro	(± 3%)
Clorita	(±26%)	Minerais opacos	(< 1%)

Descrição e relações:

O anfibólio forma cristais pequenos, normalmente com comprimento menores que 500µm, predominantemente com formas subedrais, levemente esverdeado, com pleocroísmo quase imperceptível e alta birrefringência. Alguns cristais mostram terem sido fraturados. A maioria dos cristais, com corte perpendicular a seção basal, mostra típica clivagem em duas direções que se cruzam com ângulo de 60° e 120°. Alguns poucos cristais podem ser encontrados em corte paralelo ao seu eixo de maior alongação, exibindo hábito ripiforme. O contato com as cloritas é reto nos cristais melhor desenvolvidos e difuso nos demais.

A clorita forma cristais e pequenos agregados intersticiais ao anfibólio, em relação ao qual se mostra melhor orientada, embora localmente apareça desenhando difusas dobras e crenulações descontínuas. A clorita apresenta baixa birrefringência, além de cor verde muito pálida e quase ausência de extinção anômala, evidências essas de alto conteúdo em magnésio.

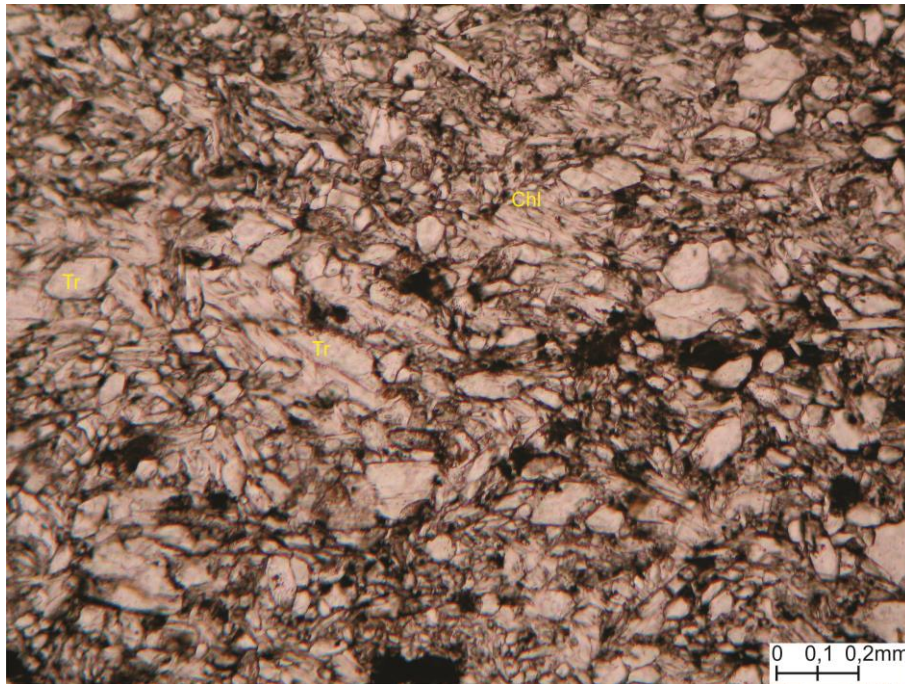
Os hidróxidos de ferro formam películas intersticiais, de cor ocre a avermelhado, e estão heterogeneamente distribuídas gerando difusas manchas.

Os opacos são representados por alguns cristais anedrais a subedrais alongados, que aparentam tratar-se de ilmenita, por vezes sugerem se tratar de concentração maciça de hidróxido de ferro ou magnetita parcialmente alterada.

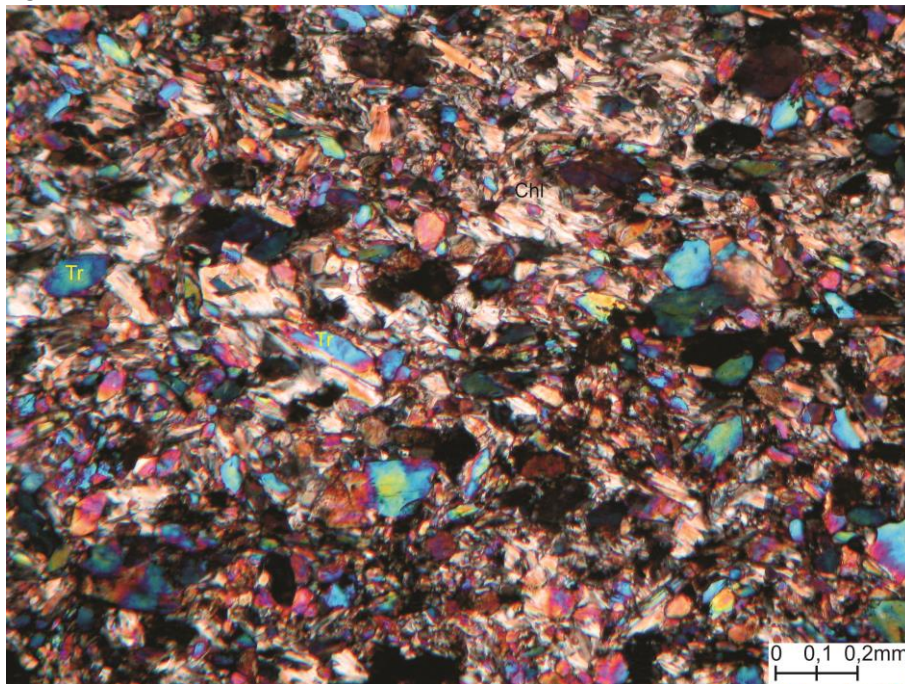
Interpretação: Os aspectos mineralógicos sugerem protolito de natureza ultrabásica a básica (peridotito ou olivina piroxenito), material de natureza efusiva ou plutônica que foi fortemente deformado, recristalizado e neomineralizado em condições de fácies xisto verde alto a anfíbolito.

Classificação: Clorita-anfíbólio xisto fino.

Fotomicrografia com nicóis paralelos. Tr – Tremolita; Chl – Clorita; em preto nota-se opacos, possivelmente óxidos/hidróxidos de ferro.



Fotomicrografia idem à anterior, dessa vez com nicóis cruzados.



Lâmina – Irf_49

Descrição Mesoscópica: Rocha de cor verde claro, pouco alterada, mostra partição contínua, que sugere se tratar de foliação, paralela à qual se nota a presença de cristais ripiformes de anfibólio associado a menor contribuição de clorita.

Descrição Microscópica.

Estrutura/Textura: Na seção de corte a rocha apresenta boa orientação mineral, bem marcada pelas cloritas e anfibólios, definindo uma xistosidade, embora que com a presença de cristais de anfibólio exibindo-se segundo a seção basal. A textura é lepidoblástica a nematoblástica inequigranular serial, com os maiores cristais atingindo 4 mm de comprimento e a granulação média é da ordem de 200 µm.

Composição modal estimada visualmente.

Antofilita e tremolita	(±55%)	Óxidos/Hidróxidos de ferro	(± 3%)
Clorita	(±42%)	Minerais opacos	(± 1%)

Descrição e relações:

O anfibólio forma cristais relativamente grandes e delgados, com hábito prismático, chegando a atingir mais de 4 mm de comprimento, e pequenos, predominantemente com formas subedrais a anedrais, praticamente incolores e, frequentemente, apresentam no mesmo cristal de simetria ortorrômbica (antofilita) bandas e lamelas monoclinicas (tremolita), sugerindo desmisturação, indicando que foi formado a temperaturas superiores a 700°C. Alguns cristais estão corroídos por clorita ou fraturados, sendo os que os melhor formados apresentam contato reto com as cloritas. A diferença entre os anfibólios também se dá na birrefringência, mais alta na tremolita do que na antofilita, fazendo com que a cor desse último seja próxima às cloritas, no entanto, os ambos os anfibólios mostram relevo mais alto que a clorita. Não é incomum a tremolita apresentar leve pleocroísmo.

A clorita pode formar cristais pequenos e isolados e, mais comumente, forma agregados policristalinos lepidoblásticos, que apresentam ondulações e anastomosamento. Mostra-se melhor orientada que o anfibólio, embora localmente apareça desenhando difusas dobras e crenulações descontínuas. A clorita apresenta baixa birrefringência, além de cor verde muito pálida e quase ausência de extinção anômala, evidências essas de alto conteúdo em magnésio.

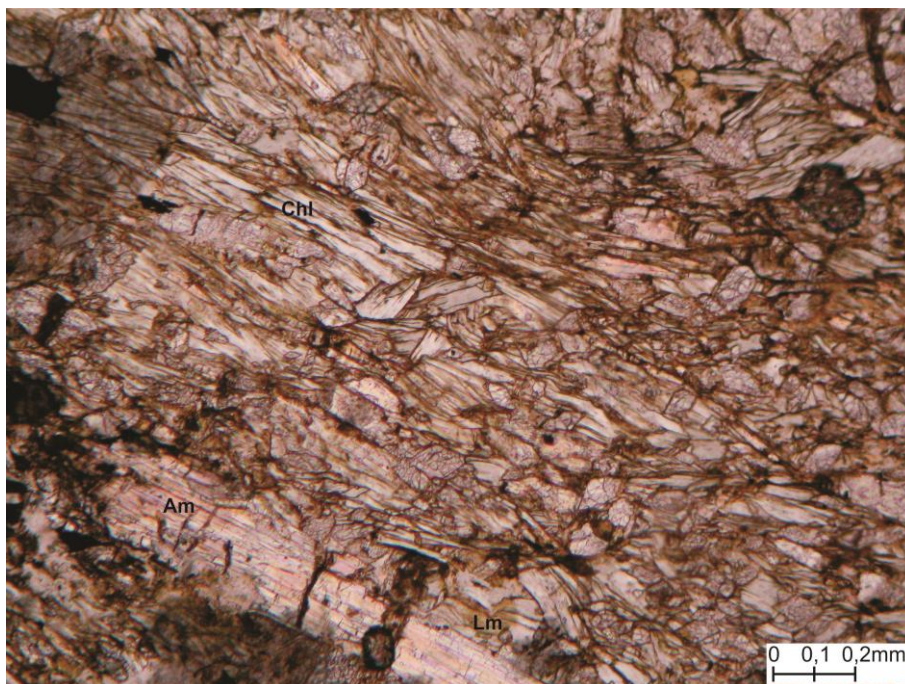
Os óxidos/hidróxidos de ferro (goethita/hematita) constituem cristais irregulares que aparentam ser produto de alteração de magnetita e/ou sulfetos, formando película intersticiais que encontram-se heterogeneamente distribuídas, gerando difusas manchas.

Os opacos são representados por alguns cristais anedrais a subedrais alongados, que aparentam tratar-se de ilmenita, por vezes sugerem se tratar de concentração maciça de hidróxido de ferro ou magnetita parcialmente alterada/martitizada.

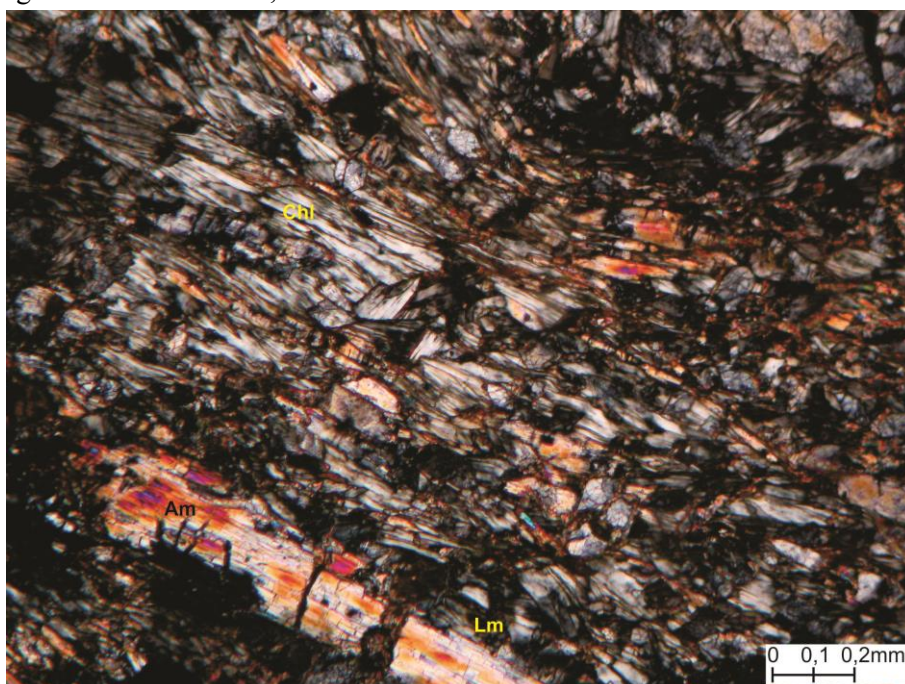
Interpretação: Os aspectos mineralógicos sugerem protolito de natureza ultrabásica (peridotito), material de natureza efusiva ou plutônica que foi fortemente deformado, recristalizado e neomineralizado em condições de fácies xisto verde alto a anfibolito.

Classificação: Clorita-antofilita/actinolita xisto fino.

Fotomicrografia com nicóis paralelos. Am – Anfibólio (ocorrem na rocha tremolita e antofilita); Chl – Clorita; Lm – hidróxidos de ferro; em preto nota-se opacos, possivelmente óxidos/hidróxidos de ferro.



Fotomicrografia idem à anterior, dessa vez com nicóis cruzados.



APÊNDICE VI – RESULTADOS DAS ANÁLISE QUÍMICAS.

Método de análise	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
Analito	Al2O3	Ba	Be	CaO	Ce	Co	Cr2O3	Cs	Dy	Er	Eu	Fe2O3						
Unidade	%	PPM	PPM	%	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	%
Limite de detecção	0,01	1	1	0,01	0,1	0,2	0,002	0,1	0,05	0,03	0,02	0,04						
IRF-07	20,13	126	2	0,02	17,7	204,9	1,088	<0,1	2,54	1,55	0,69	40,26						
IRF-08	12,66	219	8	0,34	38,6	172,4	1,145	3,2	137,01	72,82	39,50	23,90						
IRF-11	31,09	12	<1	0,01	14,3	9,4	0,176	0,6	1,45	1,15	0,14	18,44						
IRF-12	27,98	21	<1	0,03	15,0	16,2	0,241	0,7	10,03	5,53	2,84	20,15						
IRF-28	25,21	45	2	0,02	9,8	142,8	0,190	0,2	4,13	2,73	1,00	22,34						
IRF-29	9,86	2	<1	5,92	1,9	85,2	0,346	<0,1	1,81	1,29	0,25	10,88						
IRF-30	24,56	41	1	0,03	30,8	95,4	0,815	0,3	1,66	1,14	0,34	29,63						
IRF-58	20,07	86	<1	0,03	70,5	6,6	0,049	3,8	1,64	1,15	0,32	10,98						
IRF-61	25,28	16	<1	<0,01	43,4	10,3	0,085	0,4	1,06	0,66	0,21	15,61						

Método de análise	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
Analito	Ga	Gd	Hf	Ho	K2O	La	LOI	Lu	MgO	MnO	Na2O	Nb						
Unidade	PPM	PPM	PPM	PPM	%	PPM	%	PPM	%	%	%	PPM	PPM	%	%	%	PPM	PPM
Limite de detecção	0,5	0,05	0,1	0,02	0,01	0,1	-5,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1						
IRF-07	24,1	2,02	3,2	0,51	<0,01	8,2	16,0	0,28	0,04	0,20	<0,01	4,9						
IRF-08	14,6	130,58	1,9	26,47	0,05	425,4	19,8	9,75	2,71	0,22	0,01	4,0						
IRF-11	37,1	1,04	11,0	0,34	0,03	5,2	16,9	0,22	0,03	0,05	<0,01	20,2						
IRF-12	33,6	9,46	8,9	1,96	0,04	32,6	16,9	0,82	0,21	0,06	<0,01	16,1						
IRF-28	23,4	3,34	1,7	0,88	0,03	8,7	15,9	0,49	0,20	0,29	<0,01	2,0						
IRF-29	6,1	1,08	0,4	0,43	0,02	1,9	6,6	0,23	21,49	0,16	0,11	0,2						
IRF-30	29,0	1,36	5,1	0,37	0,02	5,0	17,3	0,21	1,50	0,14	<0,01	10,0						
IRF-58	23,2	1,44	9,8	0,34	0,26	10,5	12,2	0,23	0,18	0,04	0,02	17,0						
IRF-61	29,4	0,90	12,9	0,22	0,04	5,8	16,3	0,15	0,11	0,05	<0,01	16,3						

Método de análise	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
Analito	Nd	Ni	P2O5	Pr	Rb	Sc	SiO2	Sm	Sn	Sr	Sum	Ta						
Unidade	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	%	PPM						
Limite de detecção	0,3	20	0,01	0,02	0,1	1	0,01	0,05	1	0,5	0,01	0,1						
	8,1	1246	0,07	2,09	0,2	119	19,90	2,03	<1	1,7	99,73	0,3						
	456,3	4204	0,07	109,19	4,8	60	36,82	113,02	<1	9,2	99,30	0,2						
	2,4	113	0,08	0,68	1,1	38	31,02	0,61	4	6,4	99,83	1,7						
	33,1	379	0,10	7,95	1,5	40	32,21	7,91	3	5,7	99,82	1,2						
	10,7	595	0,05	2,23	0,3	88	34,39	2,62	<1	0,6	99,81	0,2						
Amostras	1,8	1198	0,04	0,46	1,1	31	44,12	0,58	<1	5,1	99,91	<0,1						
	4,4	804	0,12	1,15	0,8	69	23,83	1,15	2	3,6	99,82	0,8						
	6,9	77	0,08	1,99	17,5	24	54,48	1,40	5	7,8	99,85	1,7						
	3,7	133	0,12	0,98	1,1	34	40,49	0,75	3	2,6	99,83	0,9						

Método de análise	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200	LF200
Analito	Tb	Th	TiO2	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	TOT/C	TOT/S						
Unidade	PPM	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	%	%						
Limite de detecção	0,01	0,2	0,01	0,01	0,1	8	0,5	0,1	0,05	0,1	0,02	0,02						
	0,37	0,8	1,85	0,26	0,3	512	0,6	9,6	1,87	113,3	0,08	0,02						
	22,55	0,9	1,05	10,50	0,3	222	1,3	694,8	64,56	86,3	<0,02	<0,02						
	0,21	11,9	2,02	0,19	2,4	277	3,1	10,0	1,33	402,0	0,41	<0,02						
	1,63	9,8	1,85	0,79	2,0	244	3,4	55,2	5,15	322,5	0,55	<0,02						
	0,67	0,2	1,07	0,47	<0,1	437	<0,5	19,4	3,03	54,6	0,05	<0,02						
Amostras	0,24	<0,2	0,24	0,21	<0,1	167	<0,5	11,1	1,46	12,4	0,09	<0,02						
	0,25	4,7	1,72	0,19	1,2	438	3,1	8,5	1,25	180,4	0,93	<0,02						
	0,24	15,8	1,41	0,19	2,0	155	2,7	9,7	1,41	370,6	0,65	<0,02						
	0,15	7,9	1,68	0,13	1,4	247	1,0	5,2	0,85	508,1	1,12	<0,02						

Método de análise	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200	AQ200
Analito	Ag	As	Au	Bi	Cd	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Se						
Unidade	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM						
Limite de detecção	0,1	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5						
Amostras	IRF-07	<0.1	<0.5	4,3	<0.1	324,2	<0.01	<0.1	906,2	1,0	0,1	<0.5						
	IRF-08	<0.1	<0.5	5,3	0,3	1035,1	<0.01	0,1	4019,8	9,4	<0.1	3,4						
	IRF-11	<0.1	12,9	5,5	0,9	20,4	0,07	1,7	56,3	10,5	0,4	<0.5						
	IRF-12	<0.1	10,8	5,7	0,8	86,8	0,07	1,3	329,1	11,7	0,2	<0.5						
	IRF-28	<0.1	<0.5	2,5	<0.1	225,1	<0.01	<0.1	246,0	0,9	0,1	<0.5						
	IRF-29	<0.1	<0.5	<0.5	<0.1	20,6	<0.01	0,1	370,6	0,9	<0.1	<0.5						
	IRF-30	<0.1	4,2	16,2	0,4	<0.1	66,2	0,7	406,8	14,3	0,3	<0.5						
	IRF-58	<0.1	3,7	21,0	0,4	<0.1	24,9	0,03	30,9	15,3	0,1	<0.5						
IRF-61	<0.1	4,3	1,8	0,2	<0.1	30,7	0,02	61,3	14,8	<0.1	<0.5							

Método de análise	AQ200	AQ200
Analito	Tl	Zn
Unidade	PPM	PPM
Limite de detecção	0,1	1
Amostras	IRF-07	0,2
	IRF-08	0,5
	IRF-11	<0.1
	IRF-12	<0.1
	IRF-28	<0.1
	IRF-29	<0.1
	IRF-30	<0.1
	IRF-58	0,1
IRF-61	<0.1	