

## CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL E MINERALÓGICA DAS ROCHAS DO MORRO DO NÍQUEL (MG) E CORRELAÇÕES COM O PROCESSO DE SERPENTINIZAÇÃO

TEXTURAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS OF MORRO DO NÍQUEL ROCKS (MG) AND CORRELATIONS WITH SERPENTINIZATION

Filipe Goulart LIMA<sup>1</sup>, Ilio Rodarte FARIA JÚNIOR<sup>1</sup>, Antenor ZANARDO<sup>2</sup>, Gergely Andres Julio SZABÓ<sup>3</sup>, Cibele Carolina MONTIBELLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo. Rodovia LMG-746, km 1, Monte Carmelo – MG.  
E-mails: filipe.lima@ufu.br; ilio@ufu.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1.515 - Bela Vista. Rio Claro – SP. E-mail: antenor.zanardo@unesp.br; cibelegeologia@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. R. do Lago, 562 – Cidade Universitária. Butantã, São Paulo – SP.  
E-mail: gajszabo@usp.br

Introdução  
Materiais e métodos  
Petrografia  
Difratograma de Raios X (DRX)  
Espectrometria Raman  
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)  
Contexto geológico e geotectônico do Morro do Níquel  
Aspectos geológicos do Morro do Níquel  
Caracterização geológica e petrográfica de testemunhos de um furo de sondagem no Morro do Níquel  
Petrografia  
Serpentinitos  
Talco-serpentina fels  
Difratogramas de Raios X  
Espectrometros Raman  
MEV/EDS  
Discussões  
Conclusões  
Referências

**RESUMO** - O Morro do Níquel, maciço serpentinitico situado na extensão sul da Faixa Brasília Meridional, no contexto da Nappe de Passos, foi objeto de estudo mineralógico e textural detalhado, desenvolvido com base em testemunho de sondagem, visando caracterizar os litotipos ali presentes. Esse corpo apresenta formato elipsoidal, com dimensões de 400 x 800 metros e espessura superior a 300 metros, constituído, unicamente, por serpentinito. Esses serpentinitos apresentam predominância de texturas *mesh*, *mesh-ribbon* e *ribbon*, constituídas de lizardita/crisotilo e pseudomorfos que remetem a cristais reliquias de olivina. A homogeneidade das amostras estudadas indica que o protólito potencialmente era composto de rocha com textura granular, granulação média/grossa (>0,5cm) e mineralogia constante, correspondendo, possivelmente, a um dunito. Nesse maciço são descritas condições indicativas de dois eventos metamórficos, um mais antigo que se desenvolveu em fácies anfíbolito, e um mais jovem, em fácies prehnita-pumpellyita, mas que preservou, parcialmente, feições do evento pretérito. A presença de awaruita e heazlewoodita descreve uma condição de serpentinação em condições de baixa fugacidade de O<sub>2</sub> e S<sub>2</sub>. A análise petrográfica, litológica e metamórfica aponta que esse corpo guarda características distintas dos serpentinitos do *Greenstone Belt* Morro do Ferro, unidade metavulcanossedimentar arqueana à qual é atualmente associado.

**Palavras-chave:** Serpentinitos. Difração de Raios-X. Espectrometria Raman. Textura mesh.

**ABSTRACT** - Morro do Níquel, a serpentinitic massif located in the southern extension of the Southern Brasília Belt, in the Passos Nappe context, was the subject of a detailed textural and mineralogical study, developed on a drillhole, aiming to characterize the rocks present there. This massif has an ellipsoidal shape, with dimensions of 400 x 800 meters and thickness greater than 300 meters, composed only by serpentinite. This serpentinite has a predominance of mesh, mesh-ribbon and ribbon textures, consisting of lizardite / chrysotile and pseudomorphs that refer to preterit olivine crystals. The homogeneity of the studied samples indicates that the protolith was a rock with granular texture, medium to coarse granulation (> 0.5 cm) and constant mineralogy, possibly a dunite. The conditions described for that massif indicate two metamorphic events, an older one that developed in amphibolite facies, and a younger one, developed in prehnite-pumpellyite facies, but that partially preserved features of the past event. The presence of awaruite and heazlewoodite suggests a serpentinization developed in low O<sub>2</sub> and S<sub>2</sub> fugacity. Petrographic, lithological and metamorphic analysis shows that this body has distinct characteristics from serpentinites of the Greenstone Belt Morro do Ferro, an Archean metavolcanossedimentary unit to which it is currently associated.

**Keywords:** Serpentinites. X-Ray diffraction. Raman spectrometry. Mesh texture.

### INTRODUÇÃO

O corpo serpentinitico do Morro do Níquel (MG) representa um depósito de níquel laterítico (MN) localiza-se no município de Pratápolis explorado nas últimas cinco décadas. Esse corpo

metaultramáfico é entendido como representante da Unidade Basal do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF) (Teixeira & Danni, 1979a; Teixeira & Danni, 1979b; Brenner, 2006), uma sequência metavulcanossedimentar arqueana (Teixeira et al, 1987; Pimentel & Ferreira Filho, 2002).

Nessa Unidade Basal do GBMF é descrito a presença de serpentinito associados a domínios de derrames komatiíticos (Teixeira & Danni, 1979 a,b; Brenner et al., 1990), onde a serpentinização seria resultante da alteração metassomática em condições de baixo grau metamórfico em zonas de cisalhamento tardias (Szabó, 1996).

Os estudos previamente desenvolvidos no MN abordaram, principalmente, os produtos de alteração intempérica geradores da mineralização (Griffon & Richter, 1976; Trescases & Oliveira, 1978; Melfi et al., 1988; Oliveira, 1990; Oliveira et al., 1992). Em contrapartida, pouco se desenvolveu acerca da caracterização petrográfica desse serpentinito, visando o entendimento do protólito desse maciço e suas condições de serpentinização, com exemplos em Santivañez (1965), Griffon & Richter (1976) e Lima (2017).

O serpentinito aflorante no MN apresenta, quando não intemperizado, coloração verde escuro, granulação muito fina e estrutura *fels*. Essa estrutura maciça do serpentinito se repete ao longo da extensão aflorante desse corpo, sem que se identifique indícios de variações nessa rocha (Faria Júnior, 2011). Junto disso, o furo de sondagem descrito no presente trabalho demonstrou que, ao longo de 300 metros de profundidade, esse serpentinito maciço se mantém, tal como

descrito em superfície, sem que se identifiquem modificações litológicas.

Caracterizações petrográficas de exemplares desse serpentinito no testemunho de sondagem demonstraram a presença de pseudomorfos de serpentina substituindo minerais pretéritos. Esses pseudomorfos podem apresentar formato granular a ovalar, comumente superiores a 0,5 centímetro, atingindo um máximo de 1 centímetro, onde se descreve a presença de textura *mesh*, *mesh-ribbon* e *ribbon*, além de cristais reliquiares de olivina no núcleo. Os pseudomorfos também podem ser de formato tabular, sem a presença de cristais reliquiares.

A descrição dessas mesmas amostras por petrografia (microscopia de luz transmitida e Microscopia Eletrônica de Varredura acoplado de Espectroscopia por Energia Dispersiva – MEV-EDS), assim como a caracterização por difração de Raios-X (DRX) e espectrometria Raman (ER) revelou a prevalência das serpentinas lizardita/crisolito nessa rocha. Enquanto isso, em diminutas e esporádicas passagens em que se descreveu a presença de talco nessa rocha, se identifica, além de lizardita/crisolito, antigorita.

A junção de informações geológicas de superfície com descrições de testemunhos de sondagem permitiu descrever o comportamento tridimensional do serpentinito ao longo desse corpo metaultramáfico. Com isso, se descreveu um corpo composto unicamente por serpentinito com estrutura *fels*, em que as texturas revelam apenas pontuais modificações na forma de organização entre os cristais de serpentina.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de caracterização litológica, mineralógica, textural e estrutural foram baseados no testemunho de sondagem de um furo de sondagem vertical executado no corpo serpentinito do Morro do Níquel. Esse furo teve uma extensão vertical total próxima a 402 metros. A descrição geológica do furo se voltou à distinção de litotipos, estruturas e texturas das rochas interceptadas. Com base nisso, foram coletadas 40 amostras ao longo desse testemunho de sondagem, exclusivamente de serpentinito, as quais foram utilizadas na caracterização litológica, mineralógica, textural e estrutural.

### Petrografia

A petrografia por luz transmitida foi realizada com o uso de microscópio Zeiss Axioscop do

Laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP - no Campus de Rio Claro. Esse trabalho se voltou à identificação das principais fases minerais existentes e relação dessas com as texturas microscópicas. Junto disso, também se buscou entender se as variações observadas no padrão da estrutura das amostras descritas, em escala macroscópica, refletiam mudanças mineralógicas/texturais em escala microscópica.

### Difratometria de Raios-X (DRX)

A difratometria de Raios-X foi aplicada às mesmas amostras descritas em petrografia buscando detalhar a mineralogia, em especial para o reconhecimento dos tipos de serpentinas presentes. Para esse trabalho foi utilizado o Difratômetro de

Raios X do Departamento de Geologia da UNESP – Campus de Rio Claro, equipamento da marca PANanalytical EMPYREAN, com radiação  $\text{CuK}\alpha_1$  ( $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ ) e filtro de níquel, utilizando módulo flat, com leitura contínua do goniômetro. A análise foi feita com corrente de 30 mA, tensão de 40 kV, ângulo  $2\theta$  inicial de  $3^\circ$  e final de  $65^\circ$ , com passo de  $3,8''$  e tamanho do passo de  $0,008^\circ$  (velocidade de scan de  $0,27^\circ/\text{s}$ ). Ao difratômetro foi acoplado módulo acelerador X'Celerator, que reduziu em 70% o tempo de análise, resultando em um tempo total de  $3'52''$ . Os difratogramas foram interpretados através do *software* X'Pert Highscore Plus.

### **Espectrometria Raman**

Com base na petrografia por luz transmitida, foram selecionadas seis amostras para caracterização por espectroscopia Raman. Para isso, foi utilizado o equipamento Departamento de Física da UNESP – Campus de Rio Claro. A técnica teve por finalidade a avaliação *in situ* dos tipos de serpentina associados às variações texturais, também análise quantitativa da composição de relictos de olivina. Para caracterizar a olivina, a análise dos conteúdos de Fo ( $\text{Fo} = \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$  razão molecular;  $\text{Fo}_0$ –

100) por meio dos picos no espectro da olivina se baseou nos trabalhos de Kuebler et al. (2006) e Foster et al. (2013). O espectrômetro Raman utilizado é da marca MonoVista Confocal Raman System (Monovista CRS), com aquisição por laser He-Ne, com comprimento de onda de 633nm, redes de difração de 300 e 1200 grooves/nm, com 10 acumulações com tempo de aquisição de 10 s.

### **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A descrição por microscopia eletrônica de varredura se deu com equipamento da marca Jeol (JSM-6010LA-Analytical Scanning Electron Microscope) do Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia da UNESP – Campus de Rio Claro, com tensão 20 kV e diâmetro do feixe de 62nm, o qual conta ainda com EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) acoplado. Aqui foram avaliadas as mesmas seis amostras utilizadas na microscopia Raman. O MEV/EDS foi utilizado na busca de fases minerais não identificadas por petrografia de luz transmitida, distinção das relações de contato dos minerais presentes e, com auxílio do EDS, obteve análises químicas semi-quantitativas para auxiliar na descrição dos minerais visualizados.

## **CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOTECTÔNICO DO MORRO DO NÍQUEL**

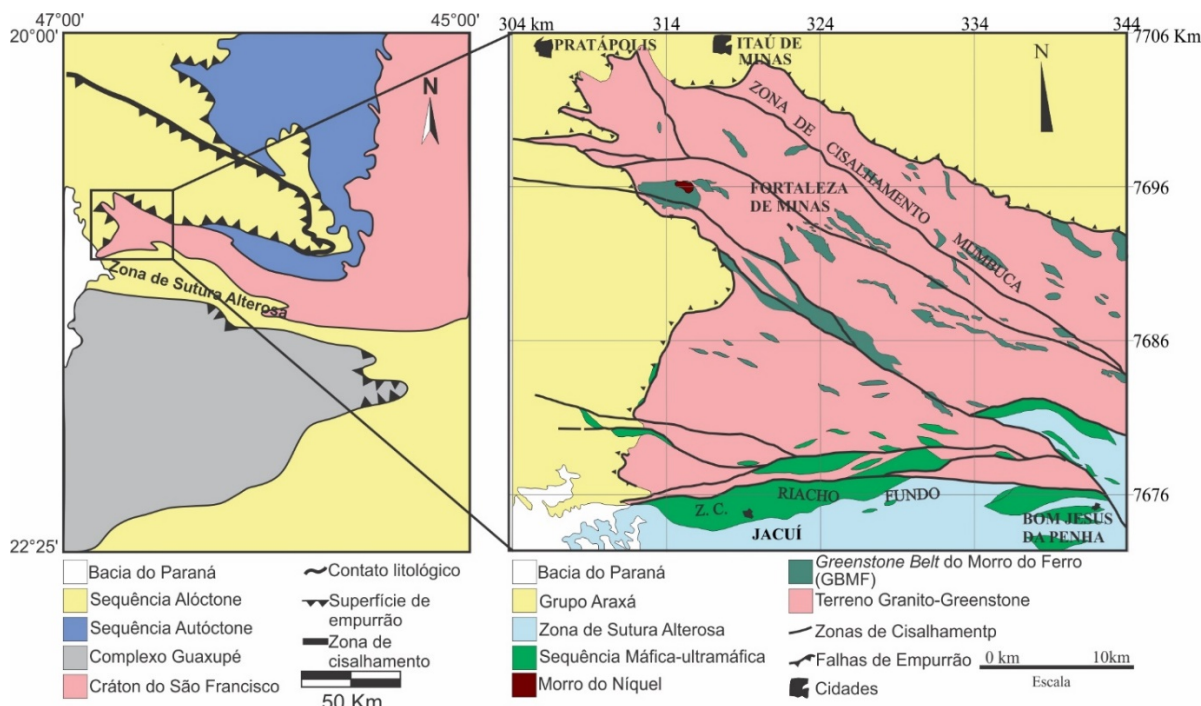
A região onde o Morro do Níquel se situa adjacente à borda sul do Cráton São Francisco e faz parte da Faixa Brasília Meridional (Fuck, 1990). O arcabouço geológico deste local é formado por unidades de diferentes evoluções, idades e gêneses, que foram amalgamadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro, no período de 750 a 510 Ma, responsável pela junção do Gondwana Ocidental (Fuck, 1994; Campos Neto et al., 2004; Valeriano et al., 2004; D'el-Rey Silva et al., 2011). (Figura 1).

O Morro do Níquel encontra-se encaixado no terreno granito-*greenstone* que representa o embasamento cristalino regional. Esse terreno é constituído por associações litológicas de idades arqueanas a paleoproterozoicas do tipo tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG) e por sequências *greenstone belt*, juntos aos quais ocorrem enclaves tectônicos de rochas metassedimentares neoproterozoicas (Cavalcante et al., 1979; Hasui & Quade, 1988; Pimentel & Ferreira Filho, 2002; Turbay & Valeriano, 2012).

As associações TTG podem ser atribuídas ao Complexo Barbacena (Hasui & Quade, 1988) ou ao Complexo Campos Gerais (Turbay & Valeriano, 2012), já as sequências tipo *greenstone*

constituem o *Greenstone Belt* do Morro do Ferro (GBMF) (Teixeira & Danni, 1979a, 1979b). Estas unidades estão inseridas no contexto da Zona de Cisalhamento Campo do Meio (ZCCM) (Cavalcante et al., 1979), que é formada por zonas de cisalhamento de caráter dúctil, dúctil-rúptil e, localmente, rúptil, com direção NW-SE a E-W e natureza levogira transpressiva, desenvolvida durante o Neoproterozoico (Zanardo, 1992; Morales, 1993; Zanardo, 2003).

Nesse terreno granito-*greenstone* estão registrados dois eventos metamórficos principais, um associado ao Paleoproterozoico e um evento posterior, desenvolvido no Neoproterozoico (Carvalho et al., 1992; Szabó, 1996; Zanardo, 1992). O mais antigo se desenvolveu em fácies anfíbolito superior, com temperaturas mínimas de  $650^\circ\text{C}$  e com retrometamorfismo em fácies anfíbolito a xisto verde (Carvalho, 1990; Szabó, 1996; Zanardo, 2003). O segundo sobrepõe o metamorfismo anterior e ocorreu em temperaturas da ordem de  $450 \pm 50^\circ\text{C}$ , sendo catalisado nas zonas de cisalhamento devido a atuação de fluidos (Szabó, 1996; Zanardo, 1992). Ambos os eventos se desenvolveram no campo de estabilidade da sillimanita.



**Figura 1** - Contexto geológico do Morro do Níquel. Adaptado de Zanardo (2003) e Zanardo et al. (2006).

O GBMF é constituído por uma grande variedade de rochas metamáficas e metaultramáficas com estruturas e estruturas distintas (Teixeira et al., 1987; Szabó, 1989, 1996; Carvalho, 1990; Carvalho et al., 1992; Zanardo, 1992, 2003). O principal litotipo dessa sequência *greenstone* são rochas metaultramáficas de composição komatiítica, subordinadamente rochas máficas de composições komatiítica, toleítica e, em menor proporção, cálcio alcalina (Carvalho, 1990; Szabó, 1996; Lima et al., 2015). Em geral essas rochas apresentam estruturação milonítica e em alguns locais são observadas texturas reliquiares associadas com derrames komatiíticos (*spinifex*, *pillow*) (Szabó, 1996). Também, ocorrem metassedimentos químicos e metapelitos (Carvalho, 1990).

Os serpentinitos do GBMF apresentam a antigorita como mineral principal, enquanto os opacos representam a segunda mineralogia em

abundância, com volumes entre 1 e 10%, além de poderem apresentar porfiroblastos de clorita e anfibólios (Szabó, 1989; Carvalho, 1990; Szabó, 1996; Lima, 2014). Diante de suas características modais e petrográficas, os serpentinitos podem se dividir em duas variedades, denominadas clorita serpentinitos porfiroblásticos homogêneos e serpentina xistos manchados (Szabó, 1989). O primeiro litotipo mostra estrutura isotrópica e textura placóide-entrelaçada (*bladed mat*) e/ou fitada (*ribbon*), os quais aparentemente se desenvolveram a partir de uma rocha de granulação média e aspecto granoblástico (Szabó, 1989). O segundo litotipo apresenta foliação S-C e/ou milonítica com textura placóide-entrelaçada intercalada e/ou mesclada com fitada (Szabó, 1989). Szabó (1996) considera que essas duas variedades de serpentinito foram geradas a partir do metassomatismo de clorita-anfibólio xistos/*fels*.

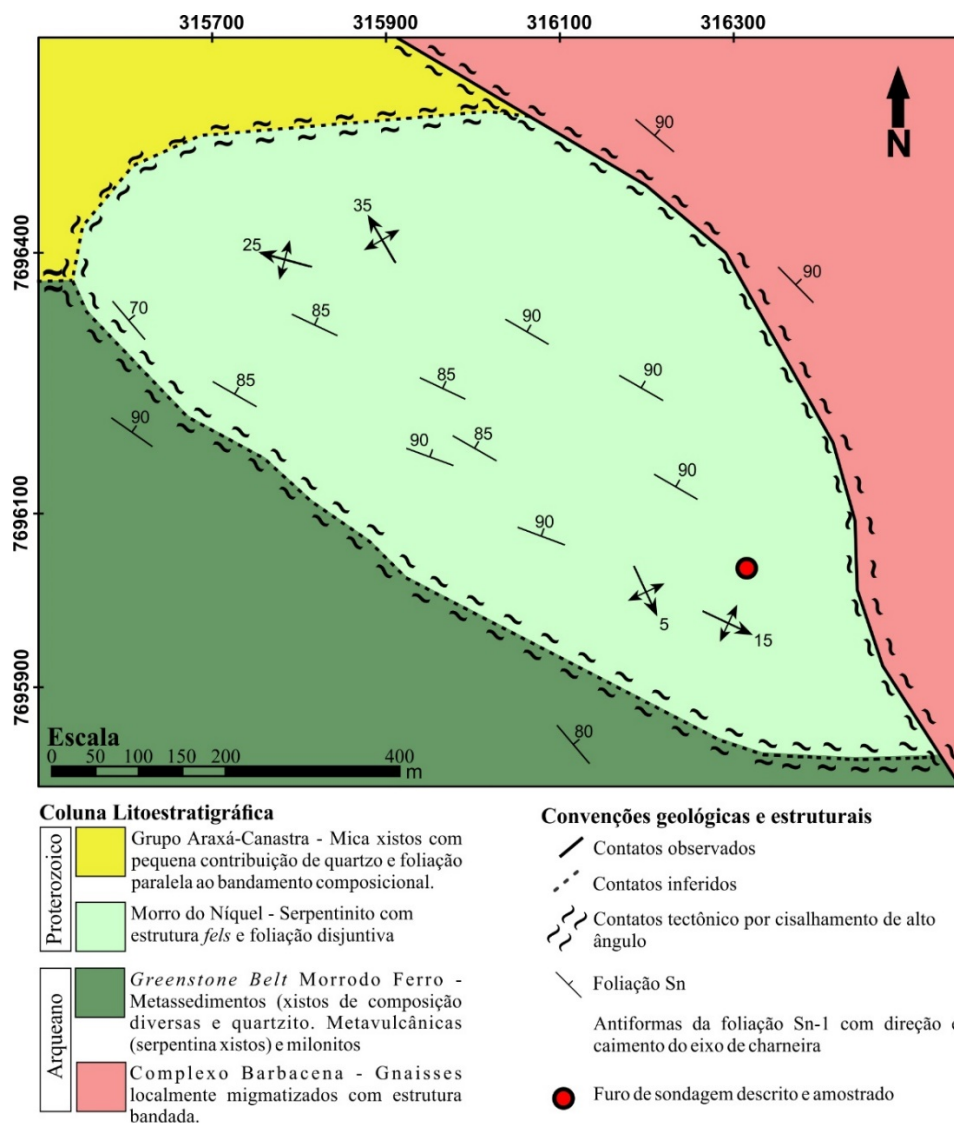
### ASPECTOS GEOLÓGICOS DO MORRO DO NÍQUEL

O Morro do Níquel é um corpo de formato elipsoidal, com o maior eixo orientado segundo a direção da ZCCM (Cavalcante et al., 1979; Morales, 1993). Destaca-se o diminuto número de publicações tratando os aspectos geológicos do Morro do Níquel. Dentre esses, os dados aqui apresentados se originam em Faria Junior (2011), onde se identifica o mapeamento geológico de detalhe em superfície nesse corpo serpentinitico.

O Morro do Níquel apresenta contatos tectônicos com alto ângulo de mergulho, orientado

segundo a ZCCM, com rochas do Complexo Barbacena e do GBMF, marcados por presença de rochas miloníticas (Figura 2). Os litotipos aflorantes no Morro do Níquel apresentam distinções unicamente associadas à ação tectônica nesse corpo geológico. Modificações mineralógicas identificadas advém, unicamente, da sobreposição do processo laterítico responsável pela gênese da mineralização níquelífera.

Nesse corpo, o serpentinito aflorante demonstra a zona central com menor incidência de deformação



**Figura 2** – Geologia do Morro do Níquel, adaptado de Faria Júnior (2011).

em relação às bordas. Nessa primeira predomina estrutura isotrópica, enquanto em direção às bordas nota-se um aumento gradativo da presença de foliação disjuntiva de alto ângulo e paralela aos contatos tectônicos, por vezes perfazendo, até mesmo, um aspecto xistoso nessa rocha, feição essa limitada à uma extensão da ordem de 10 metros na borda do corpo.

Os aspectos estruturais identificados nesse corpo serpentinitico se firmam como duas foliações disjuntivas. A foliação mais antiga (Sn-1) é identificada dobrada, compondo dobras abertas, com eixo horizontal e plano axial vertical orientado segundo a direção NW-SE. Por sua vez, a foliação mais jovem (Sn) é identificada

truncando a foliação mais antiga e compatível com o plano axial do dobramento da foliação Sn-1, direção essa idem àquela da ZCCM.

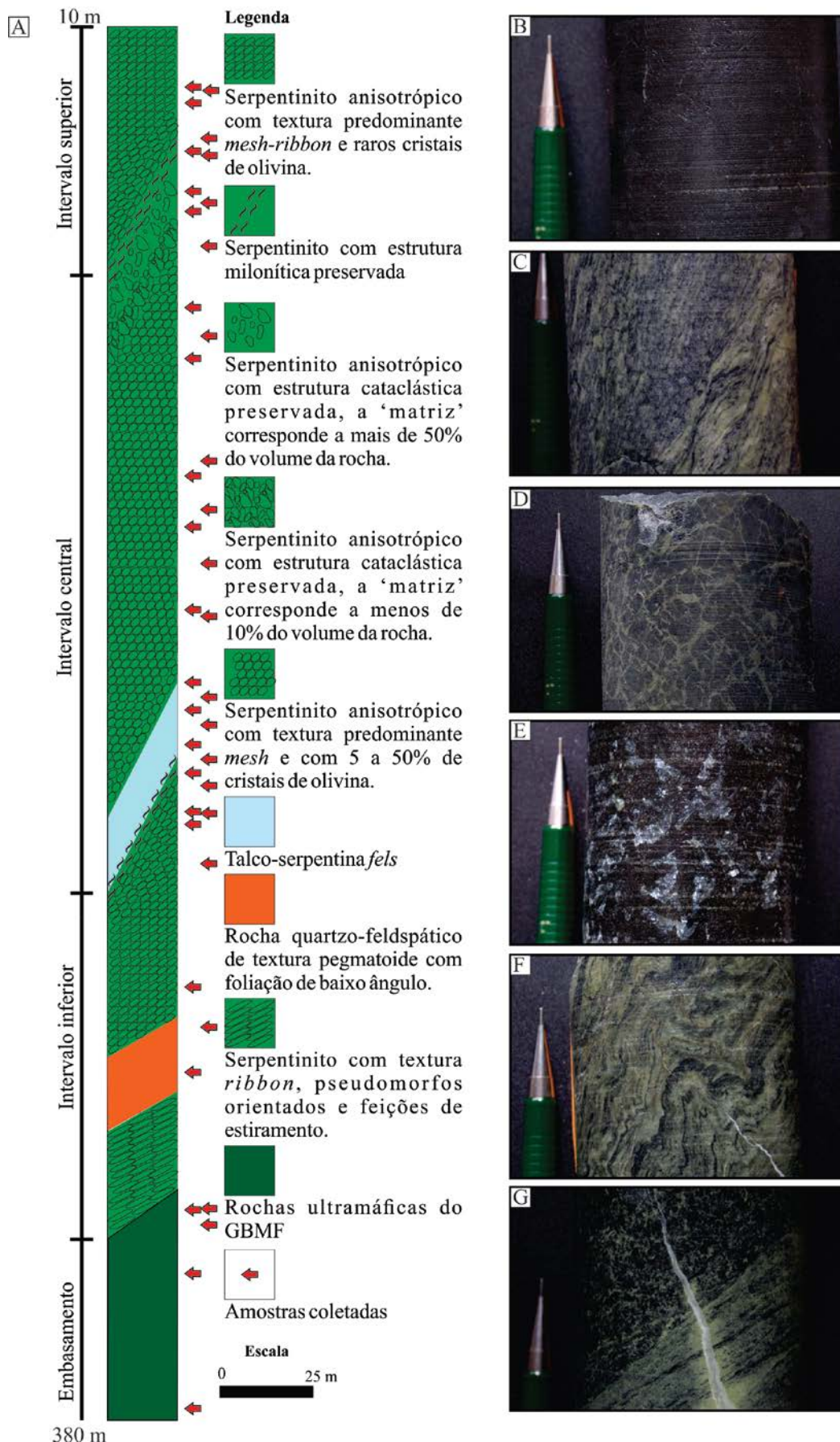
O serpentinito aflorante não demonstra orientação preferencial da serpentina, principal mineral presente. Assim, as foliações descritas como disjuntivas são marcadas pelo deslocamento preferencial da rocha segundo as direções descritas, sem que haver uma orientação mineralógica. Ainda tratando a mineralogia, é possível se identificar a presença de pseudomorfos de serpentinas substituindo a mineralogia pretérita. Os formatos preferenciais desses pseudomorfos são ovalados e tabulares, predominando o primeiro, ambos com tamanho máximo da ordem de 1 centímetro.

### CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E PETROGRÁFICA DE TESTEMUNHOS DE UM FURO DE SONDAGEM NO MORRO DO NÍQUEL

A descrição geológica do testemunho de sondagem do furo vertical executado no MN revelou que, ao longo da extensão do corpo metaultramáfico, o serpentinito de cor verde escuro a

preto, com aspecto maciço e granulação muito fina, o litotipo largamente predominante (Figura 3). Em meio a esse serpentinito, foram reconhecidas diminutas passagens de talco-serpentina *fels*,





**Figura 3** – A) Furo de sondagem executado no Morro do Níquel. B) Serpentinito de cor verde escuro a preto e aspecto maciço, onde a identificação dos pseudomorfos é dificultada pela coloração. C) Serpentinito com estrutura milonítica preservada, situada no contato entre o intervalo superior e central. D) Serpentinito com estrutura cataclástica preservada. E) Talco-serpentina *fels* com aspecto brechoide. F) Serpentinito com estrutura milonítica preservada no contato entre o intervalo central e inferior. G) Contato do Morro do Níquel com o embasamento cristalino.

as quais se repetem em poucas ocasiões e de forma aleatória, com espessura decimétrica predominante, podendo atingir intervalos com espessura real até métrica. Na base do intervalo de rocha metaultramáfica, próximo ao contato com o litotipo que representa o embasamento cristalino, foi observado a presença de um veio de rocha quartzo-feldspática com textura pegmatoide em meio ao serpentinito.

Os pseudomorfos descritos por Faria Júnior (2011) também foram reconhecidos em subsuperfície e, por meio destes, é possível se aventar acerca das texturas e estruturas pretéritas aos processos de serpentinitização. A principal estrutura preservada reconhecida é uma foliação de baixo ângulo, em relação ao furo de sondagem, marcada pela orientação preferencial dos pseudomorfos. A identificação desta feição, é dificultada devido a coloração escura do serpentinito e a elevada dimensão dos pseudomorfos, sendo melhor observada quando a rocha está alterada.

A partir da seção vertical do furo de sondagem, o corpo serpentinitico pode ser dividido em três intervalos, o superior, o central e o inferior, o que remete a acordo com a variação das estruturas preservadas e a textura do serpentinito (Figura 3 A). Por meio da petrografia, é possível

reconhecer que nos intervalos superior e inferior predomina a textura *mesh-ribbon* e a olivina ocorre como traços. No intervalo central ocorre a textura *mesh*, em que a olivina apresenta conteúdo variando entre 5 e 50% do serpentinito. O contato entre a porção central e os intervalos superior e inferior do corpo é transicional, marcada por modificação gradual da foliação Sn-1 para uma foliação milonítica de alto ângulo.

Após o contato do intervalo superior com o central (Figura 3 C), se identifica uma passagem de aproximadamente de 20 metros de serpentinito com estrutura de brecha preservada, composto por mais de 50% de matriz (Figura 3 D). Esse volume de matriz reduz gradativamente em direção ao intervalo central, até definir o serpentinito com a foliação Sn-1 em destaque. Já o contato entre a região central e a borda inferior, é marcado por um aumento gradual no volume de talco até se constituir um talco-serpentina *fels* de aspecto brechoide (Figura 3 E), com espessura de 20 metros, após essa rocha ocorre o serpentinito com estrutura milonítica preservada (Figura 3 F). O contato do MN com o embasamento cristalino é tectônico (Figura 3G), em que os serpentinitos exibem textura *ribbon* e os pseudomorfos possuem forma estirada.

## PETROGRAFIA

### Serpentinitos

A mineralogia principal do serpentinito é constituída por serpentina (>80%), brucita e minerais opacos, secundariamente ocorrem talco e cristais reliquias de olivina.

Os pseudomorfos podem responder por até 90% das seções delgadas. Essa substituição dos minerais pretéritos por serpentina possibilita a identificação de parte das relações de contato, forma e orientações da trama mineralógica que compunha a rocha antes de sua serpentinitização. Nesse caso, os aspectos sugerem que a rocha possuía granulação média a grossa e textura granular, sendo formada por cristais com dimensões comumente superiores a um centímetro, os quais correspondiam a mais de 90% da rocha.

Também foi reconhecida uma orientação preferencial nos pseudomorfos, que marca a foliação de baixo ângulo.

Os serpentinitos apresentaram três tipos texturais, a *mesh*, *mesh-ribbon* e *ribbon*. Os trabalhos desenvolvidos por Wicks & Whittaker (1977) e Maltman (1978) sobre estas texturas

demonstram que as mesmas se desenvolvem a partir da serpentinitização de cristais de olivina. Nos serpentinitos do MN com texturas *mesh* e *mesh-ribbon*, os cristais de serpentina no núcleo dessas texturas possuem uma maior concentração de minerais opacos quando comparados aos cristais de serpentina das cordas ou dos contatos entre pseudomorfos.

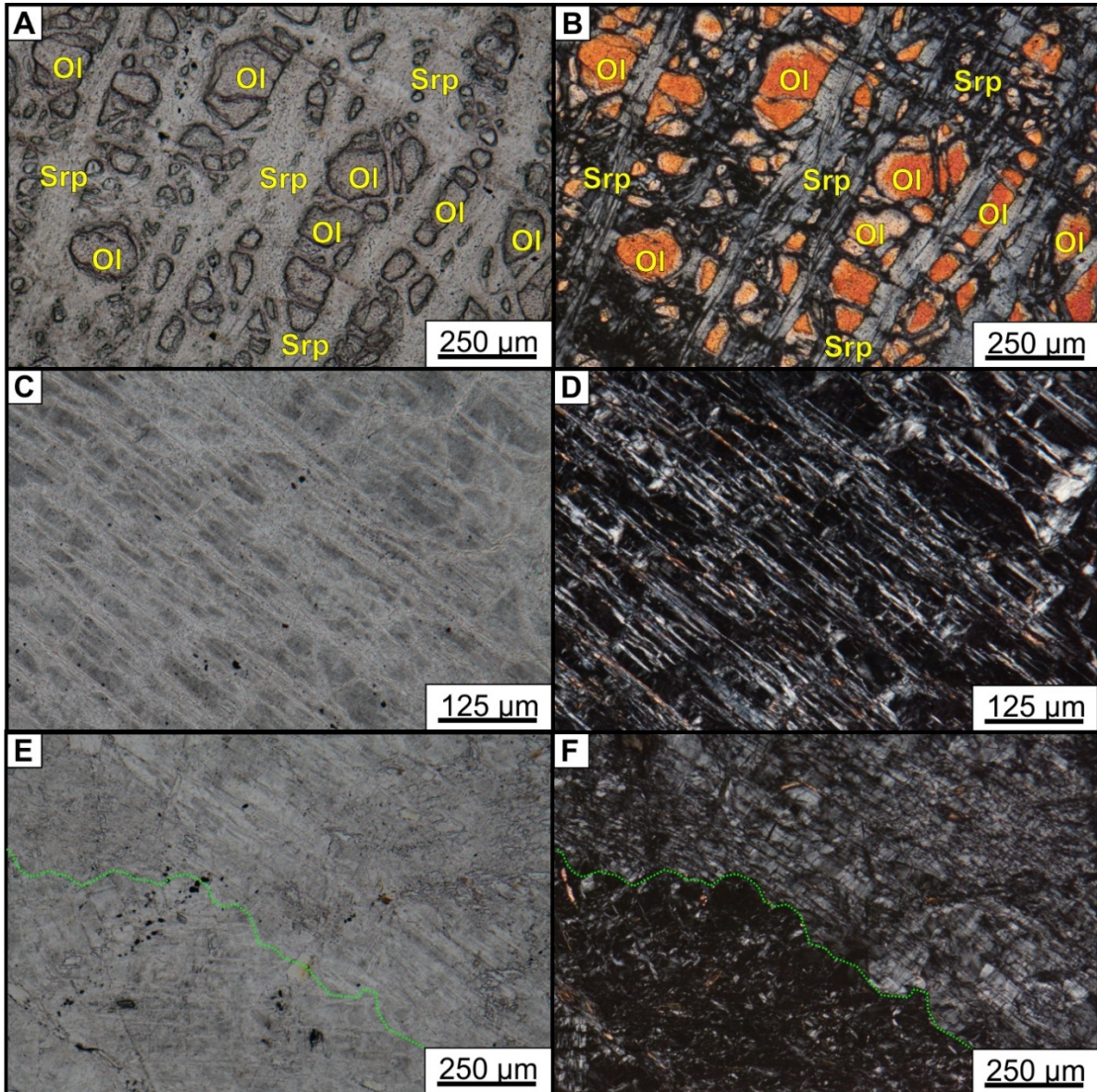
Na porção central do maciço do MN, o serpentinito possui estrutura anisotrópica e mostra predominância de textura *mesh*, onde o volume de cristais reliquias de olivina é constantemente superior a 15% (Figura 4 A, B). Por sua vez, essa textura é observada nas extensões internas dos pseudomorfos, os quais possuem formatos variando entre ovalados, irregulares e tabulares, todos esses com dimensões superiores a 5,0 mm. Em contrapartida, nas extremidades e nos contatos entre pseudomorfos há uma descaracterização dessa textura, o que se deve à impossibilidade de distinguir núcleos e cordas, acompanhado ainda da redução ou ausência de cristais reliquias de olivina e de minerais opacos.



O núcleo da textura *mesh* pode ser formado por uma combinação de distintas proporções entre olivina, serpentina e brucita (Figura 4 A, B), enquanto as cordas são compostas por serpentina- $\alpha$  com prevalência de orientação *cross-fiber* e, subordinadamente, *length-fiber*. Os minerais opacos que acompanham as serpentininas são anédricos e de dimensões inferiores a 5,0  $\mu\text{m}$ , mas também podem se

apresentar com tal repetição próxima de cristais que chegar a dificultar a distinção das características petrográficas das serpentininas. Em casos isolados podem ocorrer minerais opacos anédricos com até 30  $\mu\text{m}$  entre os pseudomorfos.

As olivinas, que são cristais reliquiares do processo de serpentinização, podem apresentar diâmetro de até 300  $\mu\text{m}$  nessa textura *mesh*.



**Figura 4** - A e B) Textura *mesh* dos serpentinitos que ocorre na porção central do maciço, em que se destaca a maior quantidade de olivina reliquiar. E e F) Textura *mesh-ribbon* que ocorre nas bordas do maciço, os núcleos estão estirados e o volume de olivina é menor. G e H) Textura *ribbon* que ocorre próximo ao contato entre o maciço e as rochas encaixantes e não é mais possível identificar os “núcleos” e as “bordas”. Ol = olivina; Srp = serpentina. As fotomicrografias D, F e H estão com os nicóis cruzados.

Assim como as serpentininas, esses cristais podem apresentar minerais opacos associados. Dentro dos domínios de um pseudomorfo se nota que os relictos de olivina apresentam a mesma orientação cristalográfica, com maior alongamento do pseudomorfo coincidente com o ângulo de extinção desses agrupamentos. Assim, esses núcleos de

olivina sugerem se tratar de resquícios de cristais maiores, com dimensões superiores a 1 cm, e que os pseudomorfos são de cristais de olivina.

A transição entre a porção central e as bordas do maciço é marcada pela presença da textura *mesh-ribbon* (Figura 4 C, D), enquanto próximo aos contatos com o embasamento predomina a



textura *ribbon* (Figura 4 E, F). Nessas duas texturas o volume de cristais reliquias de olivina é inferior a 1%, uma drástica redução em relação ao conteúdo identificado da textura *mesh*, predominante na porção central do maciço. Os pseudomorfos, quando reconhecidos, passam a ter predominância de formas prismáticas tabulares alongadas e estão orientados segundo a mesma direção, cujas dimensões médias são de 2,3 x 0,7 mm. A exemplo da textura *mesh*, na textura *mesh-ribbon* é possível identificar uma concentração de minerais opacos em seu núcleo. Também ocorrem minerais opacos dispersos pelas cordas da textura, os quais mostram dimensões superiores a 30 µm.

A textura *mesh-ribbon* possui os núcleos alongados segundo a direção de maior alongação dos pseudomorfos e são formados por cristais de lizardita de coloração esverdeada, que podem, ou não, apresentar comportamento óptico isotrópico (aparentemente próximo a seção circular) (Figura 4 C, D).

As cordas estão paralelas aos núcleos, sendo constituídas por serpentina- $\gamma$  com orientação *length-fiber* (Figura 4 C, D).

A textura *ribbon* possui as bandas com larguras da ordem de 0,1 mm e são constituídas por serpentina- $\alpha$  de orientação *length-fiber*. A concentração de opacos na serpentina é menor em relação às texturas *mesh* e *mesh-ribbon* (Figura 4 E, F). Como observado anteriormente, a presença dessa textura está associada à proximidade do contato entre o maciço e o embasamento.

As mudanças texturais e, conseqüentemente, de características mineralógicas, se dão de acordo com as variações resultantes dos condicionantes tectônicos, isso pode ser evidenciado nas diferenças observadas entre a porção central e as bordas do maciço. Na porção central, a forma granular dos pseudomorfos, o maior volume de cristais reliquias de olivina e a predominância da textura *mesh* indicam uma menor intensidade de deformação. Já nas bordas, a deformação catalisou a transformação de olivina em serpentina, formou as texturas *mesh-ribbon* e *ribbon* e, possivelmente, também é a responsável pela forma mais tabular dos pseudomorfos.

#### **Talco-serpentina *fels***

O talco-serpentina *fels* se apresenta distribuído por todo o maciço como faixas centimétricas a métricas. A identificação dessa variante do serpentinito se deu apenas em profundidade, através do furo de sondagem analisado. Em

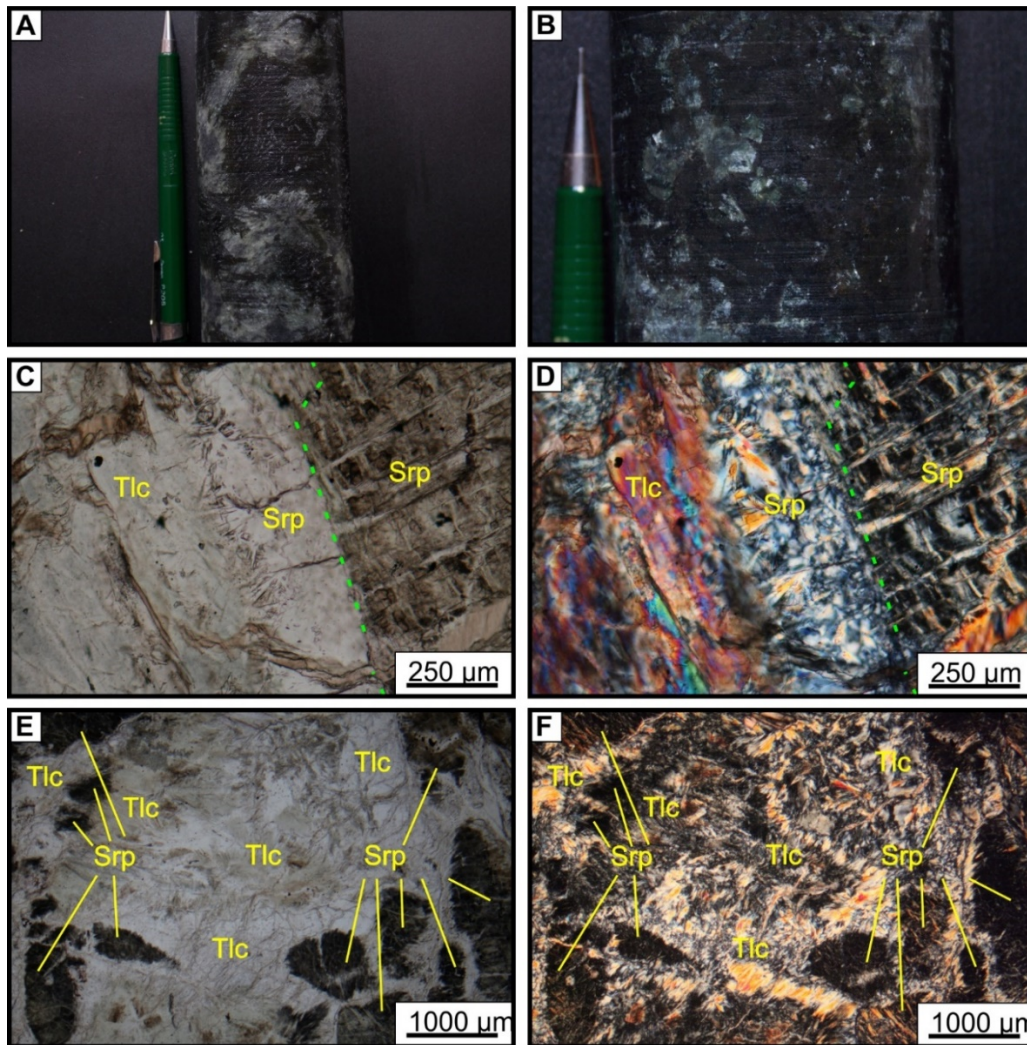
contrapartida, tal litotipo não foi reconhecido em superfície (Faria Júnior, 2011).

O contato com o serpentinito é transicional, marcado pelo aumento gradual de talco em direção ao talco-serpentina *fels* e pela diminuição da orientação preferencial dos pseudomorfos do serpentinito, até assumir um aspecto brechoide marcado por fragmentos angulosos de serpentinito sustentados por uma matriz de talco. Tal feição indica que a formação de talco poderia estar associada aos planos onde ocorreu maior cisalhamento, o que possibilitou a entrada de sílica no sistema e a atuação do metassomatismo.

A mineralogia principal da rocha é formada por serpentina (46-68%), talco (30-50%) e opacos (1-3%). A clorita é um mineral acessório (<1%), enquanto brucita e carbonatos se apresentam como traços. A olivina apresenta-se como cristais reliquias e pontualmente (<1%).

Essa rocha apresenta dois domínios distintos de cores, um verde escuro a preto e outro verde claro a esbranquiçado, de forma que esse último domínio envolve o primeiro (Figura 5 A, B). O domínio verde escuro representa locais onde não ocorreu a formação de talco preservando a textura e mineralogia do serpentinito. Nos intervalos situados na região intermediária do furo de sondagem, o talco-serpentina com textura *mesh*, enquanto os intervalos nos extremos do testemunho apresentam serpentinas com textura *mesh-ribbon* e *ribbon*. O domínio de coloração verde claro a esbranquiçado é irregular e constituído por talco, clorita e localizados cristais microcristalinos de carbonatos. Esse domínio apresenta dimensões centimétricas e pode predominar em algumas porções da rocha. O contato entre esses domínios apresenta cristais de serpentina com textura *interpenetrating* ou pelo contato direto de talco com as locais não afetados pelo metassomatismo (Figura 5 C, D).

Os cristais de talco são micáceos, subédricos e com dimensões que variam de 3,0 x 1,0 a 4,0 x 3,0 mm e organizam-se como agregados (Figura 5 E, F). É possível observar desde seções basais até longitudinais desse mineral, podendo ocorrer as duas no mesmo agregado, e onde parte dos cristais podem exibir extinção ondulante. Os cristais de clorita estão inter-crescidos com os agregados de talco, como cristais euédricos a subédricos e com dimensões de 0,2 x 0,05mm. A clorita comumente apresenta pleocroísmo verde claro e alguns cristais mostram extinção ondulante.



**Figura 5 - A e B)** Variedades da forma e volume dos domínios dos talco-serpentina *fels*. Em tons escuros se nota os domínios de serpentina. C e D) Detalhe do contato entre os agregados de talco com as porções não afetadas pelo metassomatismo, marcado pela presença da serpentina com textura *interpenetrating*. E e F) Exemplo do domínio constituído de talco-serpentina *fels* onde os agregados de talco estão englobando cristais de serpentina. Srp = serpentina; Tlc = talco. As fotomicrografias D e F estão com os nicóis cruzados.

### DIFRATOGRAMAS DE RAIOS X

Nos difratogramas do serpentinito e do talco-serpentina *fels* foram identificadas as estruturas da lizardita e do crisotilo (Figura 6), enquanto a antigorita foi detectada apenas no talco-serpentina *fels*. Os padrões da brucita ocorrem na maioria do serpentinito, entretanto, naquelas que possuem um maior volume modal

de talco estes picos estão mal definidos ou ausentes, o que se repete no talco-serpentina *fels*.

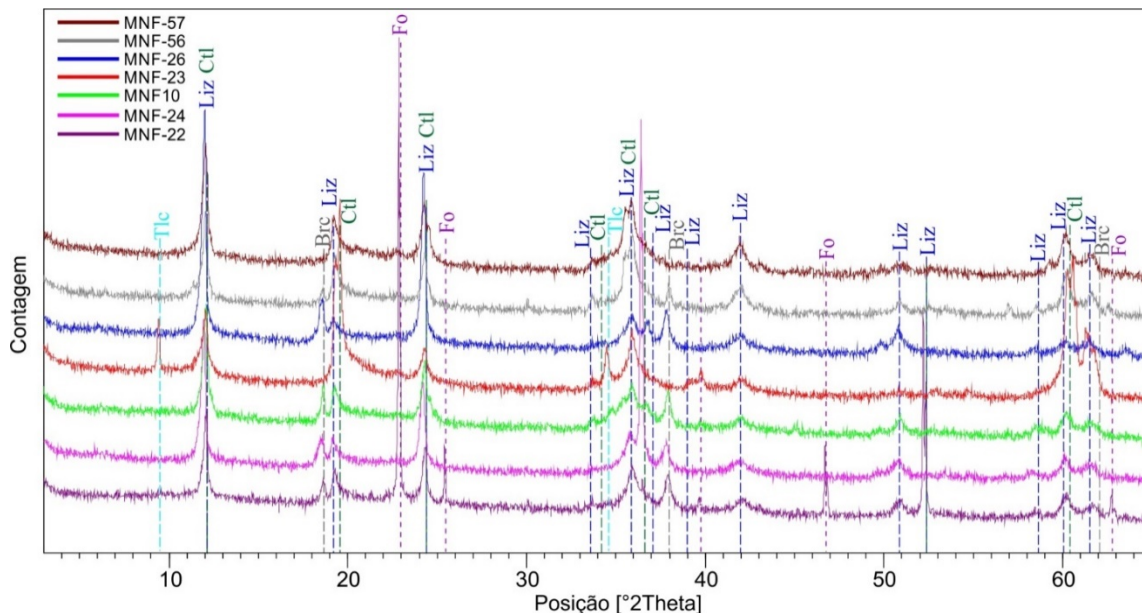
No serpentinito de textura *mesh* a olivina também apresentou picos no difratograma, refletindo o elevado volume desses minerais poupados pela serpentinização.

### ESPECTROS RAMAN

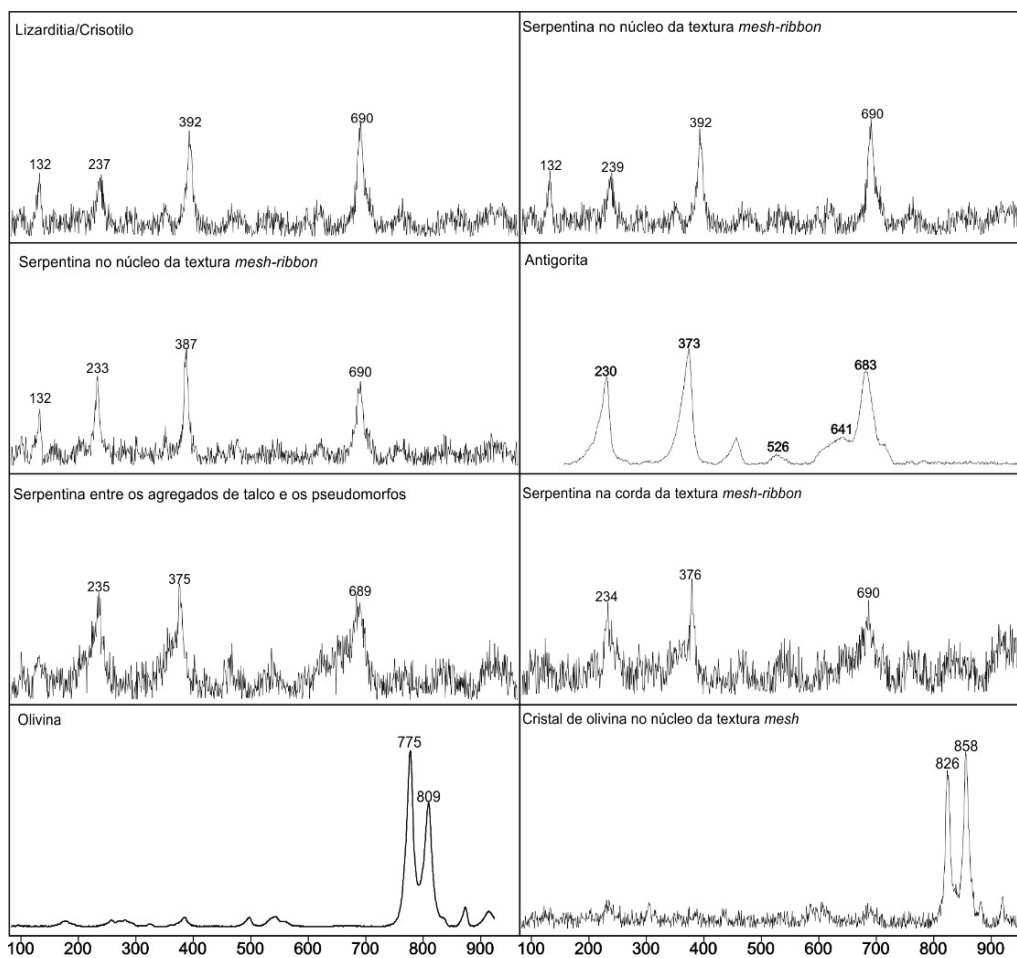
Os espectros Raman obtidos nos núcleos da textura *mesh-ribbon* e *mesh* (Figura 4) apresentaram padrões compatíveis com a lizardita/crisotilo (Figura 7), indicando que a textura *mesh* e *mesh-ribbon* se desenvolveram em temperaturas inferiores a 300°C (Evans, 2004; Bucher & Grapes, 2011).

A serpentina formando a textura *interpenetrating* (Figura 5 C, D), localizada no contato entre as porções não afetadas pelo metassoma-

tismo e os agregados de talco, gera os espectros da antigorita que é estável em temperaturas superiores a 300°C (Figura 7) (Evans, 2004; Bucher & Grapes, 2011). Os espectros Raman dos cristais de olivina indicam composições de forsterita superiores a 95% (Kuebler et al., 2006; Foster et al., 2013) (Figura 7). Estes teores elevados de magnésio nos cristais reliquias de olivina, provavelmente, são produtos da serpentinização da olivina (Deer et al., 1982).



**Figura 6** - Difratoogramas de Raios X dos serpentinitos e talco-serpentina *fels* do Morro do Níquel coletados em testemunhos de sondagem. Brc=brucita; Ctl=crisotilo; Fo=forsterita; Liz=lizardita; Tlc-talco.



**Figura 7** - Espectros Raman obtidos nos cristais de serpentina em diferentes contextos das texturas observadas na petrografia e espectros Raman obtidos em cristais de olivina.

### MEV/EDS

Por meio das análises de MEV/EDS foi possível determinar que os minerais opacos anédricos dispersos na rocha são cromo-magnetitas e ferri-cromitas. Já aqueles intimamente associados com a serpentina, são representados,

principalmente, por awaruita ( $\text{Ni}_3\text{Fe}$ ) e, mais raramente, por heazlewoodita ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ), enquanto as inclusões no interior dos cristais de olivina são cromo-magnetitas e magnetitas. Já no interior dos cristais de ferri-cromita foram identificados



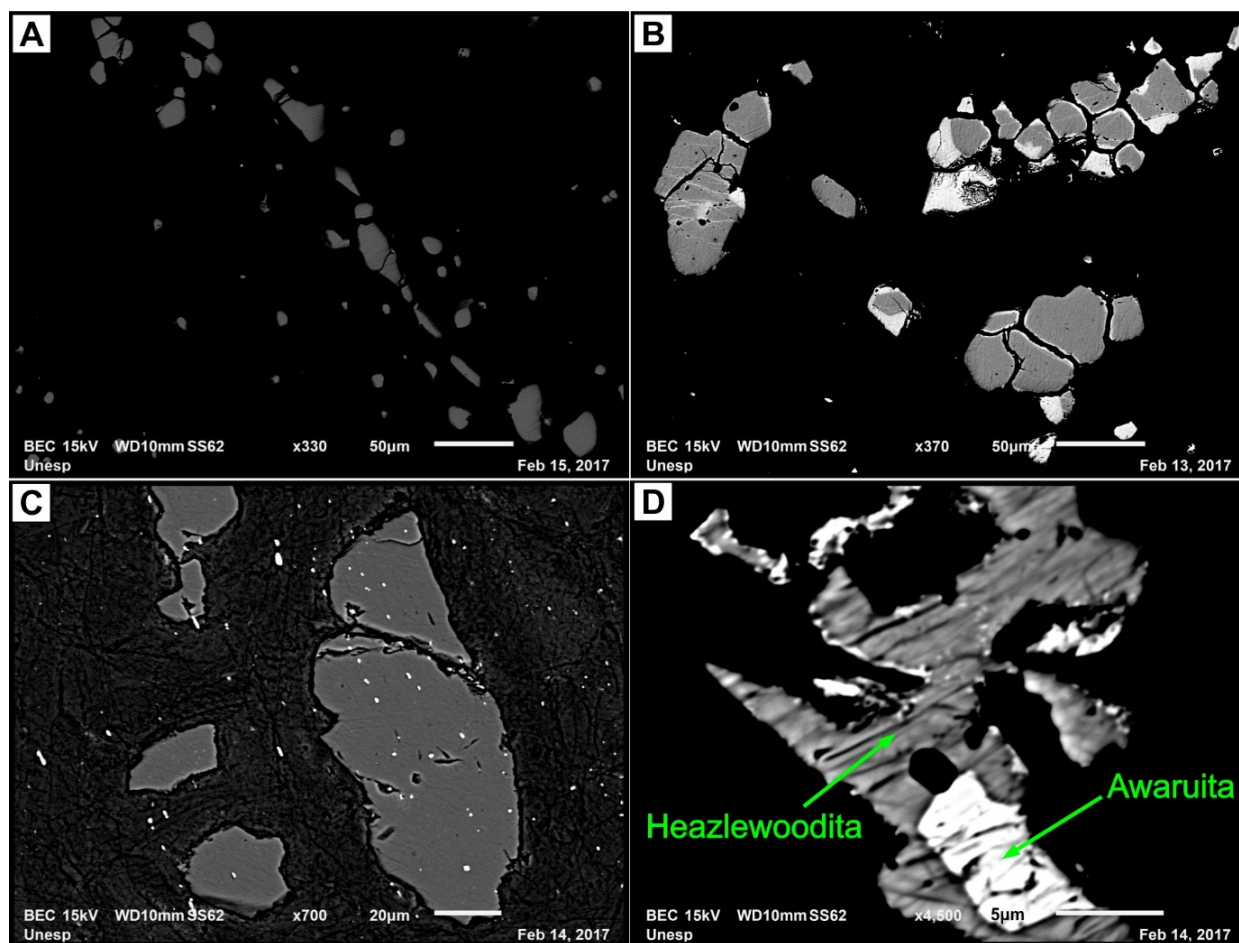
pequenos cristais (<5 µm) de sulfetos de ferro, níquel e cobalto.

No serpentinito com textura *mesh-ribbon* e *ribbon* ocorre apenas a cromomagnetita (Figura 8 A). Já no serpentinito com textura *mesh* se verificou um zoneamento desses cristais anédricos, onde o núcleo é formado por cromomagnetita e as bordas por ferri-cromitas (Figura 8 B). Deve se destacar que a transformação da ferri-cromita para cromomagnetita é um produto comum da serpentinização de rochas ultramáficas (Evans & Frost, 1975; Cândia et al, 1997).

A presença de cromomagnetitas no interior dos cristais de olivina é um tipo de exsolução

comum que ocorre nos planos de partição da olivina (001) e (100). Esse produto se deve à presença de Fe<sup>3+</sup> no cristal, que é expulso no reequilíbrio da olivina (Ashworth, 1979; Deer et al., 1982; Moseley, 1981) (Figura 8 C).

A awaruita e a heazlewoodita possuem dimensões que variam de <2 µm a >12 µm, onde a relação de contato entre estes minerais indicam que a awaruita se formou a partir da heazlewoodita (Figura 4.D). Klein & Bach (2009) descreveram a formação de awaruita a partir da heazlewoodita em peridotitos serpentinizados e consideraram que esta reação ocorre em condições de baixa fugacidade de O<sub>2</sub> e S<sub>2</sub>.



**Figura 8** - A) Cristais de cromomagnetitas não zonados que ocorrem nos serpentinitos com textura *mesh-ribbon* e *ribbon*. B) Cristais zonados que ocorrem no serpentinito com textura *mesh*, os núcleos são constituídos de ferri-cromita (cinza) e as bordas por cromomagnetita (branco). C) Cristais de cromomagnetita (cor branca) no interior de cristais de olivina (cor cinza escuro). D) Heazlewoodita em contato com a awaruita. Imagens de elétrons retroespalhados.

## DISCUSSÕES

A descrição do testemunho de sondagem demonstrou que, ao longo da extensão interceptada do maciço do Morro do Níquel, se mantém um serpentinito de estrutura maciça até a profundidade de 320 metros. Ao longo desse, estreitas passagens de talco-serpentina *fels* descrevem diminutas zonas onde a presença de talco é uma variante dentro desse corpo

geológico.

Apesar deste serpentinito apresentar uma estrutura isotrópica, é possível reconhecer uma foliação de baixo ângulo preservada pela orientação preferencial dos pseudomorfs que predomina na seção descrita. Essa estrutura estaria relacionada à foliação disjuntiva Sn-1 definida por Faria Júnior (2011). Reconheceu-se

também uma variação estrutural, textural e mineralógica do serpentinito da borda para a porção central do maciço, sendo a primeira mais deformada. Tal padrão é semelhante ao que ocorre com cisalhamento em um corpo rígido em matriz dúctil (Simpson & Schmid, 1983).

O serpentinito analisado possui mais de 90% de seu volume constituído pelas texturas *mesh*, *mesh-ribbon* e *ribbon*, segundo Wicks & Whittaker (1977) e Maltman (1978) tais feições se formam a partir da serpentinização de cristais de olivina, o que, junto aos cristais reliquiais de olivina, descritos nos núcleos dessas texturas, indicam que o provável protólito destas rochas seria um dunito. As ocorrências do talco-serpentina *fels* estariam associadas aos locais onde o cisalhamento foi mais atuante, o que permitiu a entrada de sílica e a atuação do metassomatismo.

Os pseudomorfos tabulares ocorrem com mais frequências nas bordas do maciço que estão mais deformadas. Entretanto, é possível que alguns pseudomorfos tabulares podem ter se formados a partir de anfibólios e/ou piroxênios. Não foram observados outros cristais reliquiais.

As assembleias descritas no serpentinito lizardita/crisolito + antigorita + talco e talco + forsterita são estáveis em temperaturas entre 500 e 650°C (Bucher & Grapes, 2011), fácies anfibolito inferior a médio.

Devido ao aspecto brechoide do talco-serpentina *fels*, a esteatização teria se desenvolvido em locais onde o cisalhamento foi mais atuante, gerando planos que possibilitaram uma maior percolação de fluidos e a formação do talco. Tais condições são compatíveis com o evento tectonometamórfico que afetou a região durante o Paleoproterozoico (Fernandes et al., 2003; Szabó, 1996; Zanardo, 1992, 2003).

A assembleia antigorita + brucita + magnetita é estável entre temperaturas de 300 e 400°C,

fácies xisto verde inferior à média (Bucher & Grapes, 2011).

Posteriormente, ocorreu o reequilíbrio em temperaturas inferiores a 250°C, fácies prehnita-pumpellyita, registrado pela recristalização da antigorita para a lizardita/crisolito (Bucher & Grapes, 2011), sendo estas condições as que permaneceram por mais tempo, devido a predominância da lizardita/crisolito nas amostras analisadas. O menor volume de olivina preservada nas bordas do maciço e a predominância de cristais de cromo-magnetita zonados neste mesmo local, indicam que a serpentinização foi catalisada pela atuação da ZCCM.

Esses valores de temperatura, associados à catálise destas reações por zonas de cisalhamentos, são típicas do metamorfismo Neoproterozoico que atuou na região (Szabó, 1996; Zanardo, 1992, 2003; Zanardo et al., 2000). A presença da awaruita indica que a serpentinização ocorreu em baixa fugacidade de oxigênio e enxofre (Klein & Bach, 2009).

Essas considerações se opõem a proposta de Santivañez (1965) e Abreu (1973), que consideram a serpentinização do Morro do Níquel como um produto de processos supérgenos formado pela reação  $2(2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2)\text{-olivina} + 2\text{H}_2\text{O}_{\text{água meteórica}} + \text{CO}_2 \rightarrow 3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{\text{serpentina}} + \text{MgCO}_3\text{magnesita}$ .

Acerca da origem desse maciço serpentinitico, os indicativos mineralógicos pretéritos, que remetem à predominância de olivina, continuidade tridimensional do corpo e condições de serpentinização divergem do que é descrito para os serpentinitos do GBMF por Teixeira & Danni (1979b) e Szabó (1996).

Da mesma forma, os aspectos da origem do corpo também não condizem com a interpretação de Brenner et al. (1990), que descrevem o MN como uma das intrusões que afetaram o GBMF.

## CONCLUSÕES

As litologias avaliadas em superfície ao longo do corpo, tal como o perfil interceptado em profundidade, indicam que esses intervalos avaliados dizem respeito, possivelmente, a um protólito de mineralogia homogênea. Mais de 90% do volume do serpentinito do MN é constituído por texturas pseudomórficas de olivina, esse fato, junto a presença dos cristais reliquiais de olivina, sugerem que o possível protólito destas rochas seria um dunito. Também,

a dimensão dos pseudomorfos remetem à uma granulação média a grossa.

Esses resultados obtidos se opõem ao modelo de que o MN seria a porção basal da sequência *greenstone belt*, pois o serpentinito do MN se distingue daqueles do GBMF em razão das suas diferenças mineralógicas e texturais.

Nos trabalhos que estudaram os serpentinitos do GBMF na região de Alpinópolis – MG e Fortaleza de Minas – MG (Szabó, 1989; Carvalho,

1990; Szabó, 1996; Lima, 2014), não são descritas as ocorrências de lizardita/crisolito, brucita e olivina, assim como não são descritas texturas *mesh* e *mesh-ribbon*. A mineralogia principal destas rochas é constituída por antigorita, podendo apresentar porfiroblastos de clorita e/ou anfíbólio, a estrutura é isotrópica ou milonítica e a textura é placóide-entrelaçada (*bladed mat*) e/ou *ribbon*. A pirita e a pirrotita são minerais normalmente encontrados nestas rochas, indicando elevada fugacidade de enxofre durante a serpentinização. Tais características acima apontam que os serpentinitos do GBMF se formaram em condições de temperaturas mais elevadas e com uma maior fugacidade de enxofre que os serpentinitos do MN.

Outro fator que corrobora na distinção dessas rochas são os seus protólitos, os serpentinitos do GBMF são compreendidos como originados de

derrames komatiíticos (Teixeira & Danni, 1979 a, b; Brenner et al., 1990). Já o serpentinito do MN teria se originados a partir de um dunito, possivelmente de granulação média a grossa, com dimensões entre 400 x 800 metros e mais de 300 metros de espessura, tais feições não permite correlacionar essas rochas à derrames. A presença de awaruita e heazlewoodita são descritas por Klein & Bach (2009) em serpentinitos abissais, formados a partir de peridotitos mantélicos exumados em fundo oceânico. Aqui, a ocorrência desses minerais, junto as dimensões e feições apresentadas, direcionam para uma possível origem mantélica.

As diferenças notadas desse corpo em relação ao GBMF, assim como seu potencial de origem mantélica, podem contribuir para entender o fato de esse maciço serpentinito representar a única mineralização laterítica de níquel nessa região.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S.F. **Recursos minerais do Brasil**. São Paulo. Editora E. Blucher, 1973
- ASHWORTH, J. Two kinds of exsolution in chondritic olivine. **Mineralogical Magazine**, v. 43, n. 328, p. 535–538, 1979,
- BRENNER, T.L. **The Fortaleza de Minas Nickel, Copper and Platinoids Deposit - Ore Types, Tectonics and Volcanological Aspects**. Rio Claro, 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- BRENNER, T.L.; TEIXEIRA, N.A.; OLIVEIRA, J.A.L.; FRANKE, N.D.; THOMPSON, J.F.H. The O’Toole nickel deposit, Morro do Ferro Greenstone Belt, Brazil. **Economic Geology**, v. 85, p. 904–920, 1990.
- BUCHER, K. & GRAPES, R. **Petrogenesis of Metamorphic Rocks**. Springer Science & Business Media, 2011.
- CAMPOS NETO, M.C. C.; BASEI, M.A.S.; VLACH, S.R.F.; CABY, R.; SZABÓ, G.A.J.; VASCONCELOS, P. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem Brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE-Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 4, n. 1, p. 13-40, 2004.
- CÂNDIA, M.A.F.; GASPAR, J.C.; SZABÓ, G.A.J. Ferricromita: revisão e implicações petrogenéticas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 4, p. 349–354, 1997.
- CARVALHO, S.G. **Geologia, petrologia e metalogenia da Sequência Vulcano - Sedimentar de Alpinópolis, Minas Gerais**. São Paulo, 1990. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CARVALHO, S.G.; SOARES, P.C.; BARBOUR, A.P. Mineralizações nos terrenos Greenstone de Alpinópolis e Fortaleza de Minas- MG. **Geociências (São Paulo)**, São Paulo, v. 11, p. 19- 47, 1992.
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.; CHIEREGATI, L.A.; KAEFFER, L.Q.; ROCHA, J.M.; DAITX, E.C.; COUTINHO, M.G.N.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; RAMALHO, R. **Projeto Sapucaí. Estado de São Paulo e Minas Gerais**. 1979.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **Rock Forming Minerals**. Volume 1A: Orthosilicates. The Geological Society, 919p, 1982.
- D’EL-REY, L.J.H.S.; OLIVEIRA, I.L.L.; POHREN, C.B.; TANIZAKI, M.L.N.; CARNEIRO, R.C.; FERNANDES, G.L.D.F.; ARAGÃO, P.E. Coeval perpendicular shortenings in the Brasília belt: Collision of irregular plate margins leading to oroclinal bending in the Neoproterozoic of central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2011.
- EVANS, B.W. & FROST, B.R. Chrome-spinel in progressive metamorphism-a preliminary analysis. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, n. 6-7, p. 959-972, 1975
- EVANS, B.W. The Serpentine Multisystem Revisited: Chrysotile is Metastable. **International Geology Review**, v. 46, p479-506, 2004.
- FARIA JÚNIOR, I.R. **Modelo estrutural da mineralização na jazida Morro do Níquel, Pratápolis, MG**. Rio Claro, 2011. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.
- FOSTER, N.F.; WOZNAKIEWICZ, P.J.; PRICE, M.C.; KEARSLEY, A.T.; BURCHELL, M.J. Identification by Raman spectroscopy of Mg-Fe content of olivine samples after impact at 6 kms-1 onto aluminium foil and aerogel: In the laboratory and in Wild-2 cometary samples. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 121, p. 1–14, 2013.
- FUCK, R.A. Dobramentos Neoproterozoicos da Margem Ocidental do Cráton São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990. **Anais...Sociedade Brasileira de Geologia**, 1990, p. 288–289.
- FUCK, R.A. A Faixa Brasília Meridional e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 4, 1994. **Anais... p. Sociedade Brasileira de Geologia**, 1994, p. 184–186.
- GRIFFON, J.C. & RICHTER, H. Geologia, mineração e tratamento de minério de níquel do Morro do Níquel - MG. **Geologia e Metalurgia**, v. 40, p. 385–405, 1976.
- HASUI, Y. & QUADE, H. Structural evolution of the Precambrian in the southern Minas Gerais region. In: GEOWISSENSCHAFTLICHES LATEINAMERIKA-KOLLOQUIUM, 11, 1988. **Anais... Hannover**, p. 53.
- KLEIN, F. & BACH, W. Relações de fase Fe-Ni-Co-O-S nas interações peridotito-água do mar. **Journal of Petrology**, v. 50, n. 1, p. 37-59, 2009.
- KUEBLER, K.E.; JOLLIFF, B.L.; WANG, A.; HASKIN, L.A. Extracting olivine (Fo-Fa) compositions from Raman spectral peak positions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 70, n. 24, p. 6201–6222, 2006.
- 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.** Rio Claro. 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LIMA, F.G. **Morro do Níquel: fragmento de manto exumado na Faixa Brasília Meridional.** Rio Claro. 2017. Tese (doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- LIMA, F.G., ZANARDO, A.; NAVARRO, G.R.B. Geoquímica das Rochas metamáficas e metaultramáficas da Sequência Greenstone Belt Morro do Ferro na região de Fortaleza de Minas-MG. **Geochimica Brasiliensis**, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2015.
- MALTMAN, A.J. Serpentine textures in Anglesey, North Wales, United Kingdom. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 89, n. 7, p. 972–980, 1978.
- MELFI, A.J.; TRESCASES, J.J.; CARVALHO, A. The lateritic ore deposits of Brazil. **Sciences Geologiques - Bulletin**, v. 41, n. 1, p. 5–36, 1988.
- MORALES, N. **Evolução tectônica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental**, 1993. São Paulo. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- MOSELEY, D. Ilmenite exsolution in olivine. **American Mineralogist**, v. 66, p. 976-797, 1981.
- OLIVEIRA, S.M.B. Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel no Brasil e no mundo. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v. 11, n. 2, p. 49–57, 1990.
- OLIVEIRA, S.M.B.; TRESCASES, J.J.; MELFI, A.J. Lateritic nickel deposits of Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 27, n. 2, p. 137–146, 1992.
- PIMENTEL, M.M.P. & FERREIRA FILHO, C.F. Idade Sm-Nd de komatiitos do Greenstone Belt Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 147-148, 2002.
- SANTIVANEZ, A.O. As Serpentinhas níquelíferas do “Morro do Níquel” em Pratápolis, Minas Gerais. **Engenharia, Mineração e Metalurgia**, p. 61–64, 1965.
- SIMPSON, C. & SCHMID, S. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. **Geological Society of America Bulletin**, v. 94, n. 11, p. 1281-1288, 1983.
- SZABÓ, G.A.J. **Contexto Geológico e Petrologia das Rochas Metaultramáficas de Alpinópolis, MG**, São Paulo. 1989. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SZABÓ, G.A.J. **Petrologia da Suíte Metaultramáfica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na região sul a oeste de Alpinópolis, MG (domínio norte do Complexo Campos Gerais)**, São Paulo. 1996. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, C.M. Petrologia de Lavas Ultrabásicas e Básicas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro de Ferro, Fortaleza de Minas (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, p. 151–158, 1979a.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, C.M. Geologia na Raiz de um Greenstone Belt na Região de Fortaleza de Minas, MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 17–26, 1979b.
- TEIXEIRA, M.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L. Geologia e implicações geotectônicas do Greenstone Belt Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 3, p. 209-220, 1987.
- TRESCASES, J.J. & OLIVEIRA, S.M.B. Alteração dos serpentinitos de Morro do Níquel (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978. **Anais...** Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. v. 4, p. 1655-1669.
- TURBAY, C.V.G. & VALERIANO, C.D.M. Litogeoquímica do Complexo Campos Gerais e granitoides intrusivos, Arqueano / Paleoproterozoico, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 663–689, 2012.
- VALERIANO, C.M.; MACHADO, N.; SIMONETT, IA.; VALLADARES, C.S.; SEER, H.J.; SIMÕES, L.S. U-Pb geochronology of the southern Brasília Belt (SE Brazil): sedimentar provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of West-Gondwana. **Precambrian Research**, v. 130, n. 1, p. 27-55, 2004
- WICKS, F.J. & WHITTAKER, E.J.W. Serpentine texture and serpentinization. **Canadian Mineralogist**, v. 15, p. 459–488, 1977.
- ZANARDO, A. **Análise petrográfica, estratigráfica e microestrutural da região de Guaxupé-Passos-Delfinópolis (MG)**, Rio Claro, 1992. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZANARDO, A. **A pesquisa geológica e de matérias-primas do centro nordeste do Estado de São Paulo e Vizinhanças**, 2003. Rio claro. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- ZANARDO, A.; MORALES, N.; CARVALHO, S.G.; LAMA, E.A. DEL. Complexo Barbacena em seu extremo oeste: composição e evolução. **Geociências**, v. 19, n. 2, p. 253-264, 2000.
- ZANARDO, A.; MORALES, N.; OLIVEIRA, M. A.F.; LAMA, E.A. DEL. Tectono-Lithologic Associations of the Alterosa Paleo Suture Zone - Southeastern Brazil. **Revista da Universidade de Guarulhos**, v. 5, p. 103–117, 2006.

*Submetido em 12 de fevereiro de 2021  
Aceito para publicação em 5 de agosto de 2021*