

# EFEITOS DO INTEMPERISMO SOBRE O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE PRODUTOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

LAERTE GUIMARÃES FERREIRA JÚNIOR  
PAULO ROBERTO MENESES  
ÉDER DE SOUZA MARTINS

Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências  
70.910-900 Brasília, DF, Brasil

**ABSTRACT.** The spectral behaviour of hydrothermally altered rocks as well as its use to discriminate rock units from alteration zones in multispectral images, is well known. However, in areas with extensive weathering, such as in Brazil, not much is known about the influence of the intemperic process on the spectral signatures of minerals and rocks. In general, weathering is regarded solely as a masking agent of spectral features, which neutralize the spectral signature of the fresh bedrock. The investigation of thirteen visible and near-infrared spectra of meta-basic and hydrothermally altered meta-basic rocks with different degrees of weathering show that weathering can result in spectral characteristics which depend upon the nature of the bedrock.

## INTRODUÇÃO

As medidas espectrorradiométricas dos materiais constituintes da superfície terrestre são de extrema importância em sensoriamento remoto, para a discriminação e qualificação da informação contida em uma imagem. Neste sentido, há uma constante preocupação em se caracterizar o comportamento espectral dos diferentes materiais determinando-se as feições de absorção e reflectância que descrevem uma assinatura espectral típica para cada material. Para o caso específico de obtenção de medidas espectrais de rochas, grande atenção tem sido dada aos produtos de alteração hidrotermal, para os quais feições espectrais podem mais facilmente ser correlacionadas a mineralizações [Goetz et al. (1991); Krohn (1986); Crowley (1984); Hunt & Ashley (1979); Hunt (1979)]. Entretanto a utilização da informação espectral com fins prospectivos tem sido restrita às regiões de clima árido a semi-árido, onde coberturas limoníticas geralmente se associam à oxidação de sulfetos hidrotermais, ao contrário de regiões tropicais a sub-tropicais, onde a laterização das rochas é generalizada e extensa.

Para estas regiões, incluindo-se o Brasil, a utilização da informação espectral requer um análise adicional sobre os processos do intemperismo supergênico e dos seus efeitos sobre o comportamento espectral de diferentes tipos litológicos. Um estudo neste sentido está sendo conduzido sobre os meta-basaltos do **greenstone belt** de Guarinos, sobre os quais foi reconhecida, por Pulz (1990), a ação de processos hidrotermais. Os resultados aqui apresentados, embora ainda parciais, objetivam acrescentar novos dados aos trabalhos

pioneiros sobre comportamento o espectral de rochas existentes no Brasil [Meneses (1986); Paradella (1986); Vitorello & Galvão (1992)]. O melhor entendimento da informação espectral que tais estudos propiciam, se torna indispensável no momento em que algumas empresas de geologia no país começam a usar sensores de alta resolução, ou mesmo ante a perspectiva de poderosos imageadores orbitais em um futuro próximo, como é o caso do **HIRIS** [Goetz (1992)].

## ÁREA DE ESTUDO

As amostras de rocha utilizadas neste estudo provem de uma região a sul da cidade de Guarinos - GO, junto às ocorrências de ouro primário que constituem o depósito aurífero tipo Maria Lázara. Geologicamente estas ocorrências situam-se sobre rochas de idade Proterozóica do **greenstone belt** de Guarinos. A ocorrência de uma intrusão trondjemítica na porção setentrional da faixa de supracrustais de Guarinos, associada a uma tectônica transcorrente, induziram ao aparecimento de uma permeabilidade secundária, sendo a circulação de fluídos responsável pelos produtos de alteração hidrotermal associados às rochas miloníticas e ultramiloníticas que constituem a área de estudo. Os fluídos hidrotermais, devido a um controle tectônico atuaram comprovadamente a sul da intrusão, principalmente sobre protolitos basálticos, ocasionando o aparecimento de três halos hidrotermais. Estes halos de alteração, das porções mais externas para as mais internas com veios mineralizados compreendem as zonas propilíticas, potássicas e sericíticas.

## METODOLOGIA DE TRABALHO

Neste trabalho foram obtidos 54 espectros para 32 amostras de rocha e 4 amostras de solo, utilizando-se o espectrorradiômetro IRIS<sup>1</sup> em uma configuração de laboratório. O número de medidas priorizou os metabasaltos e as amostras provenientes do halo de alteração potássica, haja vista ser este o halo de maior expressão aflorante e a importância de compará-lo as amostras não hidrotermalizadas. Para a obtenção das medidas optou-se em preservar a granulação, textura e estrutura originais das amostras, julgando-se ser esta a maneira mais fidedigna de utilizar a informação espectral ou mesmo de compará-la com eventuais medidas obtidas em campo.

As amostras de rocha fresca foram descritas através de técnicas petrográficas (lâminas delgadas), tendo sido utilizada a difração de raios-x para caracterizar mineralogicamente as amostras intemperizadas. Considerando-se que estas amostras consistem basicamente de argilo-minerais, foi utilizada a técnica de lâminas orientadas. Para a identificação de óxidos e hidróxidos de ferro por difração de raios-x, atacou-se as amostras intemperizadas com hidróxido de sódio. Independentemente do grau intempérico, amostras de metabasaltos e hidrotermalitas foram analisadas quimicamente para quantificar os teores de Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>.

Estudos de microscopia eletrônica e análises químicas pontuais de microsonda (EDS e WDS) foram realizadas sobre fragmentos de rocha e solo de 8 amostras do halo potássico. O objetivo destas análises foi de quantificar e qualificar quimicamente a evolução intempérica observada para estas amostras. Além disso, através das imagens eletrônicas e óticas procurou-se constatar variações granulométricas para os diferentes estágios do intemperismo.

As curvas espectrais obtidas foram consideradas séries temporais contínuas, consistindo de componentes de baixa e alta frequência. Tais considerações permitiram a aplicação de técnicas estatísticas como média rolante, autocorrelação, cálculo de variância e medidas de correlação entre valores de reflectância e razões geoquímicas. Também foram utilizados procedimentos matemáticos que consistiram no cálculo da primeira e segunda derivadas e integral das curvas espectrais.

#### ORIGEM DAS FEIÇÕES ESPECTRAIS

As feições espectrais de maior interesse em sensoriamento remoto situam-se no intervalo entre 450 a 2500 nm, sendo devidas às transições eletrônicas e vibracionais que ocorrem quando a energia eletromagnética

é absorvida. As absorções de origem eletrônica, observadas para comprimentos de onda menores que 1200 nm, envolvem os elementos de transição com elétrons de valência preenchendo os orbitais 3d, entre os quais o mais comum é o Fe. Estas transições resultam de efeitos de um campo cristalino sobre o íon, e transferências de carga entre íons do mesmo retículo (geralmente Fe<sup>3+</sup> -> O<sup>2-</sup>). Atribui-se a estas transferências as abruptas quedas de reflectância (denominadas de wings de absorção) em direção ao ultra-violeta, observadas em materiais intemperizados [Singer (1982)].

Por outro lado as absorções observadas para comprimentos de onda maiores que 1200 nm, são devidas às transições vibracionais, que ocorrem tanto a nível molecular quanto a nível de retículo cristalino. Em termos práticos interessam apenas as feições de origem molecular, pois as vibrações reticulares ocorrem para comprimentos de onda maiores que 50000 nm. Tais vibrações podem no entanto alargar bandas, ou mesmo gerar bandas combinadas, quando associadas a intensas vibrações harmônicas [Marel & Beutelspacher (1976)].

As vibrações moleculares são descritas através de poucos movimentos simples, denominados modos fundamentais ou normais, que ocorrem entre 3000 e 25000 nm. A estas transições fundamentais, associam-se feições secundárias, conhecidas por **overtones** e **combination tones**, observadas na região espectral do infravermelho próximo, o que as tornam de extrema importância na caracterização de materiais geológicos através de técnicas de sensoriamento remoto. Entretanto para este intervalo espectral, os **overtones** e **combination tones** restringem-se na maior parte das vezes aos grupos CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>O e OH<sup>-</sup>. Entre estes, a maior ocorrência e intensidade das feições de absorção deve-se ao íon OH e à molécula de água. Esta maior importância espectral deve-se tanto a presença quase constante de água nos materiais geológicos, quanto a alta polaridade da ligação OH que torna as absorções no infravermelho bem mais eficientes [Rossman (1988)].

#### ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando-se que as principais feições de absorção observadas em curvas espectrais para a grande parte dos materiais geológicos são devidas à presença de Fe<sup>3+</sup> e OH<sup>-</sup>, a discussão dos espectros a seguir será restrita aos óxidos férricos e minerais hidratados (filossilicatos e anfibólios).

Entre os diferentes tipos de rocha e solo para os quais se obteve medidas espectrais, optou-se em discutir apenas aqueles espectros referentes aos metabasaltos

<sup>1</sup> - medidas referidas a uma placa cinza de espectralon

tos (anfíbolitos xistos) não hidrotermalizados (Figura 1) e aos ultramilonitos da zona potássica (Figura 2), uma vez que para estes dois grupos de rocha há uma relação melhor definida entre o comportamento espectral e grau de intemperismo. A descrição das amostras, bem como diferentes razões espectrais, encontram-se na Tabela 1. Os espectros referentes a cada grupo de amostras são apresentados de maneira conjunta para facilidade de comparação. Por força de se usar um fator de exagero na escala vertical, ocorre uma distorção ou mesmo mascaramento das feições de absorção.

As amostras de meta-basaltos apesar de manterem as características químicas e mineralógicas próximas de rochas não intemperizadas, apresentam sutis feições intempéricas que variam de amostra para amostra. Em lâmina delgada estas feições se manifestam através de filmes férricos depositados ao longo dos planos de clivagem dos anfíbolios, e por um processo de argilização dos plagioclásios. As rochas meta-básicas de uma maneira geral, quando frescas, são caracterizadas por um patamar alto de reflectância entre 1600 e 2200 nm, delimitado por amplas feições de absorção em toda região abaixo de 1200 nm e por feições bem definidas e intensas em 2300 e 2400 nm. As absorções de origem eletrônicas são atribuídas a presença de minerais máficos e opacos [Hunt (1974)], enquanto que as feições de origem vibracional resultam de **combination tones** entre o estiramento fundamental do grupo  $\text{OH}^-$  próximo a 2700 nm e deformações de dobramentos que ocorrem quando  $\text{Mg}_2\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{MgFe}_2^{2+}$ ,  $\text{Fe}_2^{2+}$  associam-se ao grupo  $\text{OH}^-$  [Rossman (1988)]. Outras feições de origem vibracional ocorrem próximas a 1400 nm, devidas ao primeiro **overtone** do grupo OH e na região entre 2500 e 2700 nm, as quais são devidas entre outros fatores aos dobramentos da ligação Mg-OH, Al-OH, etc [Rossman, (1988)] e **combination tones** entre estiramentos dos grupos OH e Si-O [Hunt (1977)]. Estas feições espectrais podem ser observadas no espectro MB-1 referentes a um meta-basalto não intemperizado. Feições pouco intensas também observadas neste espectro na região próxima a 1900 nm são atribuídas a presença de água molecular.

Os espectros seguintes (MB-2 a MB-7), mostram uma diminuição gradativa para as feições em 2300 e 2400, ao mesmo tempo em que aparece uma feição em 2200 nm, provavelmente associada ao aparecimento de caolinita (MB-3 a MB-7). Esta feição que resulta de **combination tones** entre o estiramento do grupo  $\text{OH}^-$  e o dobramento da ligação Al-OH, é precedida de pequenas quebras em 2000 e 2100 nm nos espectros MB-1 e MB-2, respectivamente. A evolução destas feições espectrais observadas para comprimentos de onda maiores que 1200 nm é acompanhada de **wings** de

absorções crescentes nas regiões do visível e violeta, devidas à presença de óxidos férricos. Para as amostras MB-6 e MB-7, observa-se deslocamentos marcantes para a **wing** de absorção. Estes deslocamentos podem estar associados a um aumento de intensidade para as feições de campo cristalino, devido a maior concentração do íon Fe e pareamentos anti-ferromagnéticos nos óxidos férricos [Sherman & Waite (1985)].

As amostras frescas da zona potássica (ZK-1), compostas essencialmente por mica branca e quantidades subordinadas de clorita e biotita, se caracterizam por feições bem definidas em 1400 e 2200 nm. Outras feições de origem vibracional que também aparecem no espectro destas rochas, ocorrem próximas a 2300 e 2400 nm e na região entre 2500 e 2700 nm, devidas principalmente a clorita e biotita. Para a região menor que 1200 nm, aparecem poucas feições de origem eletrônica, sendo as principais próximas a 410 e 700 nm.

Através das análises químicas pontuais por EDS e WDS realizadas sobre as amostras da zona potássica observa-se que o intemperismo atua principalmente sobre os minerais ferromagnesianos (biotita e clorita), preservando a muscovita mesmo nas amostras em avançado estágio de alteração. Entretanto um processo de ilitização, ainda que incipiente, pode ser observado na amostra ZK-1. A partir da amostra ZK-4, já se observa eventualmente a presença de caolinita, a qual passa a predominar, juntamente com óxidos férricos, a partir da amostra ZK-5. Estas transformações mineralógicas podem ser acompanhadas nos espectros ZK-2 a ZK-6. Nestes espectros as feições em 1400 e 2200 nm apresentam um aumento de intensidade contínuo, observado em todas as amostras, enquanto que a feição em 1900, apenas apresenta um aumento de intensidade significativo no espectro ZK-6. Para a região menor que 1200 nm, a partir da amostra ZK-2 já se observam feições de absorção mais intensas devidas a transferências de carga entre  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{O}^{2-}$ . De maneira semelhante ao que ocorre para amostras de meta-basaltos, estes **wings** de absorção mostram um deslocamento progressivo em direção ao visível, o qual é marcado por inflexões em 550, 604 e 614 nm nas amostras ZK-2, ZK-3, ZK-4 respectivamente. Entretanto, apenas para as amostras hidrotermalizadas ocorre um progressivo pico de reflectância próximo a 760 nm, que é observado a partir da amostra ZK-4. Este aumento de reflectância, explica, em parte, a maior profundidade das **wings** de absorção observadas nas amostras ZK-5 e ZK-6 sendo responsável diretamente pelo progressivo matiz vermelho observado nas amostras da zona potássica. Ao progressivo aumento de reflectância em 760 nm, também se observa uma re-

flectância crescente no intervalo espectral de 1200 a 2200 nm. Este aumento real de albedo pode ser interpretado como devido a uma diminuição granulométrica relacionada ao maior grau intempérico, observada apenas para as amostras da zona potássica. Uma menor granulometria, apesar de aumentar a complexidade entre os grãos e conseqüentemente o trajeto da luz, ocasiona uma maior possibilidade de reflexões [Adams & Filice (1967)].

A provável ocorrência de argilo-minerais 2:1 a partir da alteração dos anfibólios nas amostras de metabasaltos, pode explicar a crescente intensidade das feições próximas a 1900 nm, aumento este que não é observado nas amostras da zona potássica. Os minerais interestratificados, ao contrário das hidro-muscovitas e illitas identificadas nos produtos da zona potássica, apresentam duas camadas de água interfoliar, o que além de explicar a maior intensidade, justifica a razoável definição espectral observada para estas feições, a qual não ocorreria caso a água excedente fosse apenas água adsorvida ou absorvida.

Para os dois grupos de amostras, as feições de alta frequências observadas entre 2500 e 2700 nm mostram uma diminuição progressiva em número e intensidade, com o aumento da alteração intempérica. Esta diminuição, quantificada através do cálculo da variância sobre a segunda derivada das curvas espectrais (Tabela 1), relaciona-se principalmente à maior intensidade da feição em 2700 nm. O aumento na intensidade desta feição por sua vez indica uma maior presença de grupos OH<sup>-</sup> na estrutura dos minerais, característico de processos de argilização. À diminuição de variância, também associam-se um progressivo abaulamento das curvas espectrais e crescentes intensidades nas feições em 1400 e 2200 observadas para as amostras ZK-1 a ZK-6. Entretanto o cálculo da variância para o intervalo espectral entre 360 e 760 nm, mostra uma correlação entre diminuição de frequência e grau intempérico apenas para amostras da zona potássica. Estes dois resultados demonstram a importância dos filossilicatos, principalmente a caolinita, e dos óxidos férricos no modelamento das feições espectrais.

As correlações entre razões geoquímicas e razões entre intervalos espectrais para os meta-basaltos e hidrotermalitos (Tabela 2), com exceção da razão (760-900 nm)/(1550-1750 nm), demonstram haver uma dependência mais direta entre comportamento espectral e teores de Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup>, para as amostras hidrotermalizadas. Este resultado, em parte esperado, haja vista o intemperismo mais conspicuo observado para estas amostras, permite-nos concluir que as feições espectrais observadas para os meta-basaltos, com exceção

daquelas observadas para as amostras MB-1 e MB-2, são fortemente influenciadas por minerais neoformados (caolinita, óxidos férricos, argilas 2:1), em pequenas quantidades que não chegam a influenciar o conteúdo modal dos minerais primários. Outro resultado que se depreende da Tabela 2 é a alta correlação entre a razão (1550-1750 nm)/(2080-2350 nm) e as razões Fe<sup>2+</sup>/Fet e Fe<sup>3+</sup>/Fet, o que corrobora a hipótese de um aumento de albedo em função de uma diminuição granulométrica a qual por sua vez é controlada pelo grau intempérico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos espectros das rochas meta-básicas não hidrotermalizadas e dos hidrotermalitos potássicos, fica clara a discriminação espectral entre estes dois grupos de rochas quando frescas. Há uma grande possibilidade que esta discriminação mantenha-se mesmo sob a ação intempérica, apesar dos hidrotermalitos da zona potássica e os meta-basaltos apresentarem estágios de intemperismo não correlacionados. Contribuem à esta possível diferenciação a presença mais significativa nos meta-basaltos de argilo minerais interestratificados, responsáveis pela maior intensidade das feições próximas a 1900, bem como a persistência das feições em 2300 e 2400 nm. Por outro lado, as rochas potássicas apresentam crescentes intensidades nas feições em 2200 e 1400 nm, relacionadas diretamente a hidratação e caolinização dos minerais filossilicáticos.

Um ponto importante que também deve ser considerado, é a possibilidade de o intemperismo ocorrer com velocidades diferentes para estes dois grupos de rochas. Apesar de minerais como hornblenda e actinolita se meteorizarem mais rapidamente que os minerais filossilicáticos de uma maneira geral [Besoian (1987)], a presença de inclusões de arsenopirita na biotita hidrotermal, pode levar a uma desestabilização mais rápida que a observada nos anfibólios. A esta desestabilização mais acentuada, certamente contribui a fábrica do tipo S, que facilita a percolação de água, observada nos ultramilonitos hidrotermalizados, em contraposição a fábrica tipo L encontrada nos metabasaltos não hidrotermalizados. O tipo de fábrica se torna ainda mais importante, quando se considera o regime tectônico dúctil que atuou nos depósitos auríferos de Guarinos, o que limita ainda mais a percolação de fluidos meteóricos.

## AGRADECIMENTOS

Gostariamos de manifestar nossos agradecimentos ao Sr. Carlos Steffen e a Sra. Elizabeth (LARAD/INPE) e

ao doutorando Lênio Soares Galvão (IG-USP/INPE) pela inestimável ajuda na obtenção das medidas espectrais. Também agradecemos ao geólogo Walter Riehl Jr. pelas valiosas discussões e sugestões ao texto.

## REFERÊNCIAS

- J.B. Adams & A.L. Filice, Spectral reflectance 0.4 to 2.0 microns of silicate rock powders, *Journal of Geophysical Research*, **72** (22) 5705-5715, 1967.
- E. Besoain, Mineralogia de arcillas de suelos., San José, Costa Rica, IICA. 1205 p, 1985.
- J.K. Crowley, Near-infrared reflectance of zunyite: Implications for field mapping and remote-sensing detection of hydrothermally altered high alumina rocks., *Economic Geology*, **79** 553-557, 1984.
- A.F.H. Goetz, P. Hauff, M. Shippert, A.G. Maecher, Rapid detection and identification of OH-bearing minerals in the 0.9-1.0 m region using a new portable field spectrometer. In: Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, 8. Denver, 1991. Proceedings... Denver, 1-11.
- A.F.H. Goetz, Imaging spectrometry for earth observations. *Episodes*, **15** (1) 7-15, 1992.
- G.R. Hunt, J.W. Salisbury & C.H. Lenhoff. 1974. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: IX. Basic and ultrabasic igneous rocks. *Modern Geology*, 5:15-22.
- G.R. Hunt, Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, **42** (3) 501-513, 1977.
- G.R. Hunt. . Near infrared (1.3-2.4 m) spectra of alteration minerals - Potential for use in remote sensing. *Geophysics*, **44** (12) 1974-1986, 1979.
- G.R. Hunt & R.P. Ashley, Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, **74** 1613-1629, 1979.
- M.D. Krohn, Spectral properties (0.4 to 25 microns) of selected rocks associated with disseminated gold and silver deposits in Nevada and Idaho. *Journal of Geophysical Research*, **91** (B1) 767-783, 1986.
- H.W. van der Marel & H. Beutelspacher, Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Amsterdam, Elsevier. 396 p, 1976.
- P.R. Meneses, Avaliação e seleção de bandas do sensor "ThematicMapper" do LANDSAT-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semide-talhe. São Paulo. 233 p. (Tese de Doutorado, IG/USP), 1986.
- W.R. Paradella, O significado litológico da informação espectral e temporal (sazonal) de dados digitais MSS do satélite Landsat-3 para o Baixo Vale do Rio Curuçá, Bahia. *Rev. Bras. Geociências*, **16** (2) 135-148, 1986.
- G.M. Pulz, Geologia do depósito aurífero tipo Maria Lázara (Guarinos-Goiás), Brasília, 139 p. (Dissertação de Mestrado, IG-Universidade de Brasília), 1990.
- G.R. Rossman, Vibrational spectroscopy of hydrous components. In: Hawthorne, ed. *Spectroscopic methods in mineralogy and geology*. Michigan, BookCrafters, Inc. p. 193-204, 1988.
- D.M. Sherman & T.D. Waite, Electronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. *American Mineralogist*, **70** 1262-1269, 1985.
- R.B. Singer, Spectral evidence for the mineralogy of high-albedo soils and dust on mars. *Journ. of Geoph. Research*, **87** (B12) 10.159-10.168, 1982.
- I. Vitorello & L.S. Galvão, Espectroscopia de reflectância e uma nova abordagem estatística para discriminação litológica. In: XXXVII Congr. Bras. Geol., São Paulo, Anais... , 1 167-168, 1992.

Amostra	Petrografia e mineralogia	Variância (nm)		Razões entre intervalos espectrais			
		360-760	2500-2680	<u>760-900</u> 1550-1750	<u>450-520</u> 1550-1750	<u>630-690</u> 450-520	<u>1550-1750</u> 2080-2350
MB-7	Solo Grosseiro e estruturado em blocos subangulosos (5 a 20 mm). Cor 7.5 Y.R. 4/6 (marrom)	4.52E-5	7.00E-8	0.596	0.145	2.98	1.13
MB-6	Verde claro fosco com manchas marrom-avermelhadas. Textura nematoblástica com níveis granoblásticos. Há concentração de opacos nos níveis granoblásticos com percolação interna de filmes férricos.	4.71E-5	1.97E-7	0.45	0.14	2.33	1.18
MB-5	Verde oliva fosco, com textura nematoblástica, descontínua pela fase intersticial. Filmes férricos ao longo de clivagens e envolvendo os anfibólios. Mineralogia: anfibólio (75%), félsicos (20%) e opacos (5%).	2.73E-5	1.26E-7	0.44	0.32	1.23	1.13
MB-4	Rocha bastante alterada (níveis férricos e cauliniticos). Textura nematoblástica grosseira. Plagioclásio intensamente saussuritizado. Quartzo com contatos poligonais envolto por películas de óxidos. Mineralogia: actinolita (75%), quartzo (5%) e plagioclásio (15%)	2.48E-5	2.80E-7	0.36	0.17	1.84	1.20
MB-3	Cor verde oliva fosco, com textura nematoblástica. Matriz moída de anfibólio. Níveis de filmes e óxidos férricos paralelos à foliação. Minerais félsicos (quartzo-feldspato) intersticiais. Actinolita 90-95%.	3.72E-5	1.93E-7	0.34	0.29	1.05	1.12
MB-2	Cor cinza esverdeada (porções ocre), textura nematoblástica com níveis granoblásticos. Níveis de opacos anastomosados. Actinolita aprox. 85%.	2.19E-5	5.58E-7	0.36	0.29	1.07	1.15
MB-1	Cor cinza esverdeado com pontos de oxidação ocre-dourados. Mineralogia: actinolita, com cristais bem orientados (85%) qz.-feldspatos intersticiais (15%) e opacos (hem./ilm.).	2.47E-5	7.96E-7	0.29	0.23	1.06	1.16
ZK-6	Solo fino (transição saprolito). Cor 7.5 Y.R. 7/6 (laranja) Mineralogia: caolinita, goetita, hematita	3.77E-5	1.02E-7	0.69	0.18	3.16	1.27
ZK-5	Cor vermelho claro, brilho fosco Foliação proeminente marcada por níveis de Mn e boxworks de granada. Mineralogia: clorita/esmectita, illita, caolinita, goethita	3.85E-5	3.47E-7	0.85	0.46	1.71	1.21
ZK-4	Cor rosa claro, com brilho sedoso. Foliação delimitada por níveis sílticos micáceos, granadíferos (alterados). Mineralogia: clorita/esmectita, clorita mica branca/illita; caol., goet. e hemat.	4.50E-5	5.48E-7	0.76	0.57	1.27	1.13
ZK-3	Cor amarelo-esverdeado, com brilho sedoso e textura lepidoblástica, com fenoblastos de granada alterados. Mineralogia: clorita/vermiculita, illita/ mica branca, hidrobiotita/goethita.	5.48E-5	3.15E-7	0.735	0.54	1.35	1.18
ZK-2	Cor cinza azulada, com tons amarelo-dourados. Textura lepidoblástica, fenoblastos de biot., gran. e arsenop. Mineralogia: mica branca, clorita, granada, quartzo, biotita, hidrobiotita, felds.-K, albita, sulfetos e sulfarsenietos.	1.72E-4	6.55E-7	0.69	0.43	1.41	1.06
ZK-1	Cor cinza azulada, brilho sedoso. Textura lepidoblástica, com fenoblastos de biotita, arsenopirita e granada. Mineralogia: biotita, feldspato-K, mica branca, quartzo, granada, ilmenita, clorita, albita, sulfetos e sulfarsenietos.	4.15E-4		0.52	0.48	1.02	0.95

Tab. 1- Descrição das amostras, razões espectrais e variância das curvas em trechos do visível e infravermelho próximo.

Razões espectrais (nm)	Hidrotermalitos				Metabasaltos			
	$Fe^{3+}/Fe_t$		$Fe^{2+}/Fe_t$		$Fe^{3+}/Fe_t$		$Fe^{2+}/Fe_t$	
	Coef. correlação	$R^2$	Coef. correlação	$R^2$	Coef. correlação	$R^2$	Coef. correlação	$R^2$
<u>450-520</u> 1550-1750	-0.68	46.07	0.68	46.1	-0.42	17.7	0.42	18.01
<u>630-690</u> 450-520	0.87	70.04	-0.84	70.04	0.679	46.2	-0.68	46.5
<u>760-900</u> 1550-1750	0.51	25.9	-0.51	25.9	0.80	64.19	-0.80	64.2
<u>1550-1750</u> 2080-2350	0.81	65	-0.80	65.1	-0.45	20.6	0.45	20.27

Tab. 2- Correlação entre razões geoquímicas (Fe) e razões espectrais ( $R^2$  - coeficiente de ajuste linear).

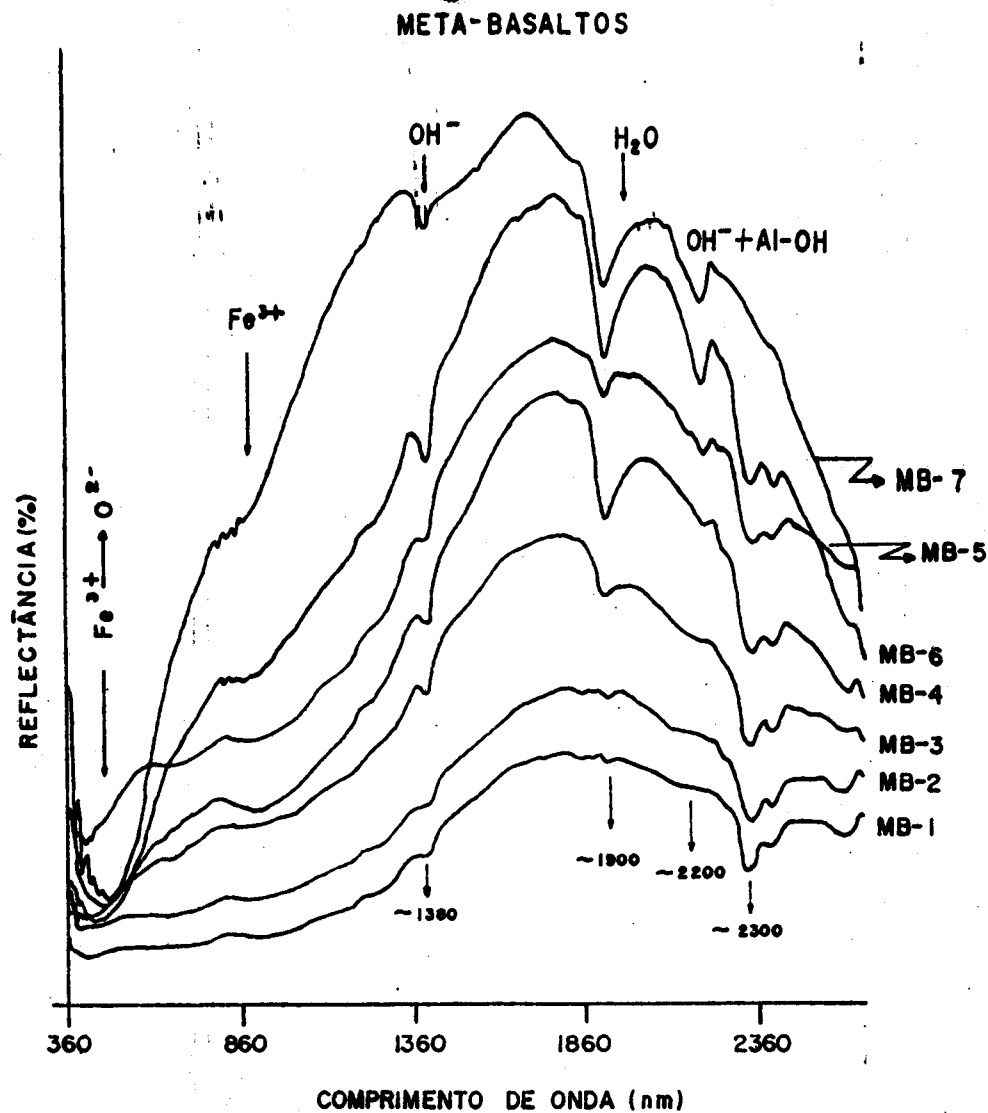


Fig. 1 - Curvas espectrais dos meta-basaltos não hidrotermalizados (espectros deslocados para melhor comparação)

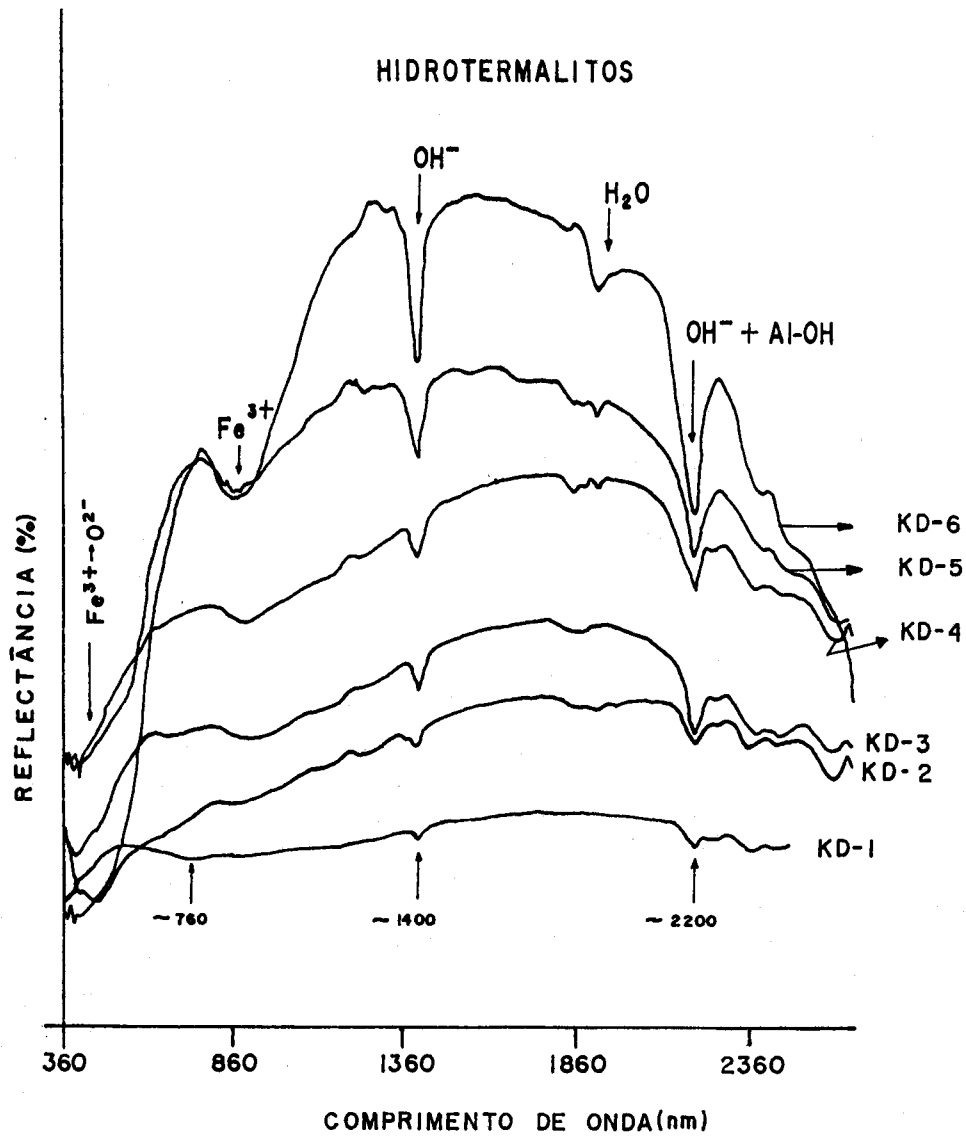


Fig. 2 - Curvas espectrais dos ultramilonitos potássicos (hidrotermalitos) (espectros deslocados para melhor comparação)