

Caracterização Espectral de Minerais de Interesse à Prospecção Mineral e Sua Utilização em Processamento Digital de Imagens

ALVARO PENTEADO CRÓSTA

Instituto de Geociências - UNICAMP
Caixa Postal 6152
13081-970 Campinas, SP, Brasil
crosta@ccvax.unicamp.br

Abstract. One of the aims of mineral spectral analysis in the 0.4- 2.5 μm region is the establishment of criteria for using spectral information from remotely sensed imagery in prospecting for mineral deposits. Two classes of minerals have outstanding importance in this task: ferric iron oxides/hydroxides and clay minerals produced by hydrothermal alteration. This paper presents the partial results obtained from spectral characterization of ferric oxides/hydroxides of the Ni-Cu deposit known as the O'Toole deposit, in the southwest of Minas Gerais, the Zn deposit of Lapão, near Irecê (BA) and of clay minerals associated with hydrothermally altered gold deposits from the localities of Paracatu and Riacho dos Machados, Minas Gerais State. Some considerations are made regarding the application of diagnostic spectral features from some minerals to image processing, aiming the spectral enhancement and identification of such minerals in remotely sensed imagery.

Introdução

Os estudos clássicos de Hunt e seus co-autores, publicados entre 1970-79, estabeleceram as bases da caracterização espectral de minerais e rochas, consolidadas com o trabalho recente de Grove *et al.* (1992). O objetivo desses trabalhos foi o de estabelecer bibliotecas espectrais de referência e, por isso, a maioria dos minerais analisados por esses autores o foi sob a forma de amostras puras de um único mineral. Além disso, muitas das amostras utilizadas nesses estudos eram provenientes de regiões de clima árido a semi-árido, onde as transformações mineralógicas causadas pelo intemperismo superficial são pouco intensas quando comparadas com as equivalentes em climas sub-tropical e tropical.

O intemperismo característico do climas sub-tropical e tropical, vigente em grande parte do território brasileiro, acarreta transformações mineralógicas mais profundas, causando a ocorrência, em superfície, de misturas de minerais primários com seus correspondentes intempéricos. Por se situarem na cobertura superficial de possíveis áreas mineralizadas, essas misturas são o alvo principal do sensoriamento

remoto aplicado à prospecção mineral. Existe portanto a necessidade de uma caracterização espectral mais específica de algumas ocorrências desses minerais em território brasileiro, que sirva como referencia a futuras aplicações de sensoriamento remoto à prospecção mineral.

Este trabalho apresenta os resultados parciais de caracterização espectral de amostras dos dois grupos de minerais considerados de importância em exploração mineral: os óxidos/hidróxidos férricos e os argilo-minerais de alteração hidrotermal. Essas amostras são provenientes de algumas localidades brasileiras, encontrando-se associados a depósitos minerais conhecidos.

Características espectrais de minerais de interesse à prospecção mineral

Alguns minerais possuem, em sua composição, átomos e moléculas que determinam suas propriedades espectrais, que por sua vez definem o seu comportamento ao longo do espectro eletromagnético.

A. P. Crósta

Em sensoriamento remoto, o intervalo do espectro mais usado vai de 400 a 2.500 nanômetros, subdividido em duas regiões: entre 400 e 1.000 e entre 2.000 e 2.400 nanômetros.

A viabilidade de se utilizar a informação espectral de minerais nas regiões da radiação visível e infravermelho para detectar associações minerais relacionadas a alguns tipos de depósitos minerais foi estabelecida, entre outros, pelos trabalhos de Rowan (1972), Rowan *et al.* (1974, 1977), Abrams *et al.* (1977) e Hunt & Ashley (1979). Dentre as associações minerais passíveis de detecção por sensores que adquirem informações nessas regiões, esse autores apontaram os óxidos/hidróxidos de ferro e os minerais que contém a molécula O-H (hidroxila) como os de maior potencial para uso em exploração mineral.

O intervalo de 400 a 1.000 nm é utilizado para avaliar a presença do íon férrico, associado a minerais do grupo dos óxidos e hidróxidos de ferro 3^+ . Dois tipos de feições de absorção de energia caracterizam o íon férrico nessa região, ambas do tipo eletrônico, uma que são produzidas a nível dos elétrons que o compõem (Hunt & Salisbury, 1970). O primeiro tipo é denominado **transferência de carga** e no íon férrico ele é representado por uma absorção generalizada que ocorre mais intensamente no ultravioleta e vai diminuindo progressivamente em direção à região do visível. O segundo tipo é denominado de **efeito de campo cristalino**, aparece associados aos minerais hematita, goethita e jarosita e é representado por três feições de absorção mais localizadas e de menor amplitude, situadas respectivamente por volta de 450, 650 e no intervalo 850-950 nm, dependendo do mineral considerado.

Esses três minerais formam uma mistura complexa comumente denominada limonita, que em climas tropicais e sub-tropicais constitui-se de misturas de proporções variáveis dos minerais goethita e hematita. A limonita pode se apresentar em concentrações anômala quando associada a alguns tipos de depósitos minerais, mas é também muito comum sob a forma de capas lateríticas ferruginosas, típicas de ambientes tropicais e que não possuem relação com depósitos minerais. Embora existam ainda poucos dados a respeito, têm sido encontradas evidências de limonita com uma maior concentração relativa de

goethita em *gossans* de jazidas de sulfetos (Fraser *et al.*, 1985, 1986; Raines *et al.*, 1985; Crósta, 1990). Por outro lado, os processos de laterização ferruginosa, muito comuns em climas tropicais e que produzem capas lateríticas formadas por óxidos de ferro sem qualquer relação com depósitos minerais, possuem uma tendência inversa à essa, produzindo limonita com maior quantidade de hematita em relação à goethita.

Raines *et al.* (1985) concluíram que os *gossans* poderiam ser diferenciados das lateritas ferruginosas baseado na maior concentração de goethita dos primeiros. Essa constatação estabeleceria um critério importante para o mapeamento de *gossans* através do sensoriamento remoto, com resultados positivos na prospecção de jazidas sulfetadas. Por outro lado, Fraser *et al.* (1986) colocaram reparos à essa afirmação, mostrando pelo menos um caso de em que a goethita não era predominante, na depósito sulfetado de Lady Loretta, Queensland, Austrália. Com base nessa fato, esses autores sugerem a necessidade de uma melhor caracterização espectral de *gossans* sob diferentes condições climáticas, para estabelecer critérios para o uso da informação espectral de minerais com o íon férrico na prospecção mineral.

Entre os depósitos minerais que contém óxidos/hidróxidos de ferro 3^+ estão as mineralizações auríferas relacionadas a zonas de alteração hidrotermal e os depósitos de sulfetos maciços de metais básicos (Cu, Ni, Cr, Zn). Em ambos, a limonita é um produto da alteração intempélica superficial de sulfetos.

O intervalo entre 1.400 e 2.400 nm contém as principais feições diagnósticas de vários minerais de alteração hidrotermal, entre eles kaolinita, pirofilita, alunita, montmorillonita, sericita, buddingtonita, clorita, epidoto e dickita, todos eles possuindo em comum a presença da molécula O-H. O processo que produz as feições de absorção nessa região é chamado **vibracional**, sendo causado por transições vibracionais de moléculas do grupo das hidroxilas (O-H). São três as feições de absorção características dos minerais que contém moléculas hidroxilas, situadas respectivamente por volta de 1.400, 1.900 e 2.200 nm. Essas feições são caracterizadas por intensa absorção de energia nessa

região, exibindo em decorrência inflexões características na curva espectral desses minerais.

O mesmo processo de alteração hidrotermal que forma os minerais contendo os grupos O-H é responsável pela concentração de alguns outros, incluindo minerais de importância econômica como o ouro.

As feições espectrais das regiões 400-1.000 e 1.400-2.400 nm, diagnósticas dos minerais mencionados, tornam possível a identificação dos mesmos em imagens de sensoriamento remoto. Nesse sentido, são utilizadas as posições onde as mesmas ocorrem, que variam ligeiramente de um mineral para outro, além da forma das mesmas.

Na prática, essa possibilidade teórica de se mapear minerais de interesse à exploração mineral sofre algumas limitações. A primeira delas diz respeito à própria disponibilidade de dados, uma vez que, dos sensores atualmente em operação, apenas o Thematic Mapper do satélite LANDSAT cobre o intervalo do espectro eletromagnético relativo aos minerais de alteração, assim mesmo com apenas uma de suas bandas.

Para tal, essa banda teve que ser projetada cobrindo um intervalo bastante amplo, de 2.080 a 2.350 nanômetros, equivalente ao intervalo total de todas as feições de absorção de minerais de alteração hidrotermal. Isso significa que, em situações em que vários desses minerais estão presentes na superfície, a banda 7 do TM irá provavelmente registrar uma forte feição de absorção, referente à soma de todas as pequenas feições individuais. Por outro lado, se apenas um desses minerais ocorrer, a sua feição diagnóstica de absorção espectral ficará provavelmente diluída em meio ao espectro de outros materiais superficiais, dificultando a sua identificação.

Quanto aos óxidos férricos, embora eles possuam suas principais feições de absorção cobertas por 3 bandas (TM1, TM3 e TM4), a limitação encontrada nesse sensor diz respeito à diferenciação entre tipos de óxidos, notadamente entre hematita e goethita. Essa diferenciação não é possível com a resolução espectral do TM, pois tanto a feição característica da hematita quanto a da goethita encontram-se cobertas pela

banda 4 do TM. Assim, a utilização do TM permite apenas a identificação de concentrações anômalas de limonita *latu sensu*, incluindo tanto as goethíticas quanto as hematíticas.

Por outro lado, a importância de estudos sobre a utilização operacional dessas feições em exploração mineral por sensoriamento remoto deve-se ao fato de já existirem em operação sensores com resolução espectral adequada para tal fim, além de futuros sensores atualmente em fase de projeto. Incluem-se nessa categoria, por exemplo, o sensor multiespectral aeroportado GEOSCAN MK-II e o orbital JERS-1, este último com capacidade adequada apenas na região onde os minerais de alteração hidrotermal apresentam feições diagnósticas.

Características das amostras analisadas

As amostras utilizadas neste estudo foram divididas em dois grupos. O grupo I é constituído por 2 amostras, ambas de limonita formada pela oxidação superficial de corpos de sulfetos maciços de diferentes localidades, que constituem as formações denominadas de *gossans*. O grupo II é composto por 4 amostras de zonas de alteração hidrotermal, relacionadas à mineralizações auríferas, provenientes de 3 diferentes localidades. A Tabela 1 mostra as características dessas amostras.

Medidas espectrais

As medidas espectrais foram feitas utilizando dois tipos de instrumentos. O primeiro deles, um espectrofotômetro Beckman modelo DK-2 do Departamento de Física do Imperial College of Science, Technology and Medicine (Universidade de Londres), equipado com esfera de integração, foi utilizado para estabelecer as características espectrais da amostra de *gossan* FM2-G. As demais amostras foram analisadas utilizando-se um espectrofotômetro Beckman modelo UV-5240, igualmente equipado com esfera de integração, do Desert Research Institute, Universidade de Reno, Nevada. As curvas espectrais obtidas são apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3.

<u>Amostra</u>	<u>Tipo</u>	<u>Proveniência</u>	<u>Mineralização Associada</u>	<u>Análise por XRD</u>	<u>Observações</u>
FM2-G	<i>Gossan</i>	Depósito O'Toole, Fortaleza de Minas, MG.	Sulfetos maciços de Ni, Cu e platinídeos associados à <i>greenstone belt</i> .	Goethita+ (hematita)+ (gibbsita)+ (maghemita)	
IRE-G	<i>Gossan</i>	Jazida do Lapão, Irecê, BA.	Sulfetos de Zn.	---	
MO-1	Alteração hidrotermal	Mina do Morro do Ouro, Paracatu, MG.	Au em zona de alteração hidrotermal.	---	
QF-1	Alteração hidrotermal	Grupo Nova Lima, Barão de Cocais, MG.	Não está associado com mineralização (presença de sulfetos).	---	Localizada na mesma zona de falha que controla a mineralização Au de Morro Velho.
RM-1	Alteração hidrotermal	Mina de Riacho dos Machados, MG.	Au em zona de alteração hidrotermal.	---	
RM-2	Alteração hidrotermal	Mina de Riacho dos Machados, MG.	Au em zona de alteração hidrotermal.	---	

Tabela I - Características da amostras analisadas.

Os resultados obtidos para a amostra FM2-G, usando o Beckman DK-2, tiveram que ser sub-amostrados para entrada em um pacote gráfico de plotagem pelo fato do instrumento não ser computadorizado, o que diminuiu consideravelmente a resolução espectral da medida. Isso fez com que o espectro dessa amostra ficasse com uma aparência mais suavizada, como pode ser notado na Figura 1. Por outro lado, a posição das principais feições de absorção, objeto principal deste trabalho, encontram-se bem caracterizadas apesar da sub-amostragem, e puderam ser comparadas com as da amostra IRE-G.

Interpretação dos resultados

Amostras de gossan

A Figura 1 apresenta as curvas espectrais das duas amostras de *gossan* (limonita), FM2-G e IRE-G, ambas representando as porções mais superficiais de corpos mineralizados, constituídos de sulfetos de metais básicos. As feições eletrônicas típicas do íon férrico estão bem expressas em ambas, representadas pela transferência de carga responsável pela queda generalizada da reflectância entre 600 e 400 nm e pelas feições de campo cristalino produzindo duas

feições de absorção bem marcadas, em 650 e 913-915 nm respectivamente. Duas outras feições observadas no espectro da amostra IRE-G na Figura 1, localizadas respectivamente por volta de 1.400 e 1.900, são típicas da presença de moléculas com hidroxilas e não do íon férrico, e são provavelmente causadas pela presença de pequenas quantidades de minerais do grupo dos filossilicatos (K-mica?) em superfície.

A feição de 650 nm é típica de goethita, não existindo no espectro da hematita (Hunt & Ashley, 1979). A posição da segunda feição, por sua vez, denota igualmente a presença de goethita, pela sua localização em 913 nm na amostra IRE-G e 915 nm na amostra FM2-G.

Na realidade, a presença dessa feição de absorção nessa posição é provavelmente resultante de uma composição mineralógica mista entre hematita (cuja feição de absorção em amostra pura é localizada entre 870-900 nm, segundo Grove *et al.*, 1992) e goethita (feição localizada entre 920-940 nm segundo os mesmos autores) da limonita, com predomínio de goethita.

Dez amostras de solos lateríticos ricos em ferro, derivados de rochas máficas e ultramáficas da região de Fortaleza de Minas (MG), mas sem relação com *gossans*, foram analisados espectralmente por Crósta (1990). Os resultados mostraram que todas exibiam feições de absorção localizadas abaixo de 900 nm (tipicamente 850 nm), características da hematita. Os resultados da difratometria de raios-X obtidos por esse autor confirmaram a presença predominante de hematita nessas amostras.

Essas observações permitem concluir que as duas amostras de *gossan* analisadas possuem uma composição em que a goethita predomina sobre a hematita. Adicionalmente, a análise por difratometria de raios-X para a amostra FM2-G, a única disponível até o momento, revelam a predominância de goethita sobre hematita. Esses resultados corroboram aqueles obtidos por Raines *et al.* (1985) e reforçam a validade do uso da feição de absorção localizada acima de 900 nm como indicativa da predominância da goethita e, indiretamente, como um critério de uso dessa informação para prospecção de *gossans* associados a corpos sulfetados.

Amostras de alteração hidrotermal

As Figuras 2 e 3 apresentam as curvas espectrais das quatro amostras de alteração hidrotermal. Conforme mencionado, as três feições de absorção típicas de minerais contendo hidroxilas são situadas ao redor de 1.400, 1.900 e 2.200 nm, com variações conforme cada um dos minerais que as contém.

A Figura 2 mostra os espectros das amostras MO-1 (Morro do Ouro, Paracatu, MG) e QF-1 (Barão de Cocais, MG). Ambas exibem feições de absorção em 1.400 e 2.200 nm, porém com maior intensidade na amostra QF-1. Apenas esta última exhibe uma feição suave em 1.900 nm. O fato da feição de absorção de QF-1 ser dupla em 1.400 e 2.200 nm é sugestivo da presença de kaolinita, o que é reforçado pela presença de uma feição suave em 1.900, também característica desse mineral. A presença de sericita, constatada macroscopicamente, fica neste caso mascarada pelas feições da kaolinita em 1.400 e 2.200, embora a intensidade desta última observada na curva de QF-1 seja mais sugestiva da sericita. A amostra QF-1 exhibe ainda uma feição de absorção abaixo de 900 nm, característica de hematita. Essa amostra, embora não esteja associada diretamente com nenhum depósito aurífero, está localizada em extensa zona de falha que corta o Grupo Nova Lima e que controla regionalmente a mineralização aurífera da Mina de Morro Velho, umas das mais importantes do Quadrilátero Ferrífero. Acredita-se que o evento hidrotermal que a tenha produzido seja relacionado à própria mineralização, localizada em subsuperfície. A presença de sulfetos no local de onde foi coletada a amostra QF-1 não é significativa, tendo sido apenas observada pequena quantidade de sulfeto de ferro (pirita) oxidado.

A amostra MO-1, coletada em uma das frentes de lavra do minério aurífero da Mina de Morro do Ouro, em Paracatu, é uma amostra típica da situação de intenso hidrotermalismo que caracteriza essa mineralização. A alteração é classificada como do tipo filica, formada por quartzo e sericita, além de sulfetos. Assim, seria de se esperar tanto a ocorrência de feições de absorção do íon férrico (relacionadas à oxidação dos sulfetos), quanto do grupo das hidroxilas (relacionadas à sericita, ou K-mica).

Observando-se o espectro de MO-1 na Figura 2

A. P. Crósta

constata-se que isso efetivamente ocorre, com feições simples bem conspícuas em 1.400 e 2.200, ligadas à sericita, e as feições típicas da goethita em 650 e 920 nm. Nota-se que a feição em 1.900 nm está ausente no espectro de MO-1.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de 2 amostras (RM-1 e RM-2), provenientes de duas diferentes unidades geológicas da mina de ouro da Vale do Rio Doce em Riacho dos Machados (MG). Ambas as unidades são compostas de xistos micáceos, constituindo minério aurífero, onde os fenômenos de alteração hidrotermal atuaram intensamente. As feições em 1.400 e 2.200 nm estão presentes nas duas amostras, sendo que na RM-2 elas são nitidamente duplas e na RM-1 são fracamente duplas, sugerindo a ocorrência de sericita e kaolinita, porém em uma proporção relativamente menor de kaolinita sobre sericita em RM-1. Ambas exibem uma conspícua feição de absorção simples perto de 1.900 nm. Além dessas, as feições relativas ao íon férrico estão também presentes em ambas as amostras, porém mais intensamente na amostra RM-2. São duas as feições desse tipo, ambas correlacionáveis à presença de goethita: em 650 e por volta de 920 nm.

Aplicações da caracterização espectral de minerais ao processamento de imagens de sensoriamento remoto

Em decorrência da associação entre minerais férricos e de alteração hidrotermal, os modelos exploratórios utilizando sensoriamento remoto em sistemas epitermais mineralizados a ouro no oeste dos Estados Unidos se baseiam na identificação conjunta de feições espectrais produzidas por limonita e por minerais contendo o grupo O-H (Abrams *et al.*, 1977). Já a exploração de jazidas de sulfetos maciços com sensoriamento remoto, principalmente em terrenos do tipo *greenstone belt*, utiliza apenas as informações espectrais relacionadas os minerais contendo o íon férrico (Fraser *et al.*, 1986; Raines *et al.*, 1985; Crósta & Moore, 1989)

Com base nessas feições, têm sido desenvolvidas técnicas dedicadas de processamento digital de imagens, capazes de extrair e realçar essa informação espectral devida a grupos específicos de minerais. A extração e realce se fazem necessários uma vez que

esse tipo de informação é, quantitativamente, praticamente insignificante dentro do conjunto de informações espectrais contido em uma imagem multiespectral de sensoriamento remoto. Por esse motivo, sem o processamento digital, essa informação fica "invisível" ao intérprete. Além das tradicionais técnicas de razão de bandas, bastante utilizadas até alguns anos mas de eficácia restrita, outras têm surgido mais recentemente, tais como a FPCS (Crósta & Moore, 1989; Loughlin, 1991) e a *log residuals* (Fraser *et al.*, 1986), que fazem uso de ferramentas estatísticas mais robustas.

Para que técnicas desse tipo seja aplicadas de forma mais eficaz, é necessário que uma boa caracterização espectral de amostras superficiais relacionadas a zonas mineralizadas seja feita, estabelecendo bibliotecas espectrais de referência. Daí a importância de estudos de caracterização espectral como o aqui apresentado.

Conclusões

Embora os resultados aqui apresentados devam ser considerados ainda como parciais, face à necessidade do exame de uma maior número de amostras e de uma caracterização mineralógica complementar por difração de raios-X (XRD) das amostras já analisadas espectralmente, algumas conclusões podem ser adiantadas.

As duas amostras de *gossan* aqui apresentadas, bem como as dez amostras de lateritas ferruginosas analisadas, reforçam a hipótese proposta por Raines *et al.* (1985) de que a presença de goethita é um indicativo importante na caracterização espectral de um *gossan* verdadeiro. Essa constatação reforça o estabelecimento de um critério para uso de imagens de sensoriamento remoto na prospecção de jazidas de minerais metálicos associadas a sulfetos.

No caso das amostras de alteração hidrotermal, constatou-se em todas as amostras a presença de feições bem definidas de absorção, localizadas em 2.200 nm, ligadas à presença de sericita (K-mica). Em algumas delas observou-se também a ocorrência de kaolinita, sendo que a separação entre quantidades relativas desses dois minerais só será possível, nesses casos, através de análise mineralógica por XRD.

Três das quatro amostras de alteração hidrotermal (MO-1, RM-1 e RM-2) exibem, além das feições ligadas aos minerais contendo hidroxilas, feições bem marcadas de óxidos/hidróxidos de ferro, correlacionáveis à presença predominante de goethita. Essa constatação confirma o critério definido por Abrams *et al.* (1977) para regiões de clima árido, permitindo sua extrapolação para regiões de climas subtropical a tropical. Ela também reforça a validade do desenvolvimento de técnicas dedicadas de processamento de imagens voltadas para o realce conjunto dessas feições espectrais, conforme proposto por Crósta & Moore (1989) e Loughlin (1991).

Finalmente, os resultados obtidos indicam a necessidade de um aprofundamento das pesquisas de caracterização espectral de minerais dos dois grupos aqui analisados e no desenvolvimento de técnicas dedicadas de processamento digital de imagens, principalmente com a entrada em operação de sensores orbitais e aerotransportados com maior resolução espectral, capazes de identificar minerais dentro de cada um dos dois grupos considerados.

Referências

- M.J. Abrams, R.P. Ashley, L.C. Rowan, A.F.H. Goetz, A.B. Kahle, Mapping of hydrothermal alteration in the Cuprite mining district, Nevada, using aircraft scanner images for the spectral region 0.46 to 2.36 μm . *Geology* 5:713-718, 1977.
- A.P. Crósta, Mapping of residual soils by remote sensing for mineral exploration in SW Minas Gerais State, Brazil. PhD. thesis, Imperial College, Univ. London, 1990.
- A.P. Crósta, J.McM. Moore, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain. *Proceedings of the 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary, Canada, 2:1173-1187, 1989.
- C.I. Grove, S.J. Hook, E.D. Paylor II, Laboratory reflectance spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometers. JPL Publication 92-2, NASA-Jet Propulsion Lab, 1992.
- S.J. Fraser, J.F. Huntington, A.A. Green, M.R. Stacey, G.P. Roberts, Discrimination of iron and vegetation anomalies with the MEIS narrow band imaging system. *Proceedings of the 4th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, San Francisco, USA, pp. 233-253, 1985.
- S.J. Fraser, A.R. Gabell, A.A. Green, J.F. Huntington, Targeting epithermal alteration and gossans in weathered and vegetated terrains using aircraft scanners: successful Australian case histories. *Proceedings of the 5th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Reno, USA, pp. 63-84, 1986.
- G.R. Hunt, J.W. Salisbury, Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. *Modern Geology*, 1:283-300, 1970.
- G.R. Hunt, R.P. Ashley, Spectra of altered rocks in the visible and near-infrared. *Economic Geology*, 74:1613-1629, 1979.
- W.P. Loughlin, Principal component analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57:1163-1170, 1991.
- G.L. Raines, L.G. McGee, S.J. Sutley, Near-infrared spectra of West Shasta gossans compared with true and false gossans from Australia and Saudi Arabia. *Economic Geology*, 80:2230-2239, 1985.
- L.C. Rowan, Near-infrared iron absorption bands: application to geological mapping and mineral exploration. *Proceedings of the 4th Annual Earth Resources Program Review*, Houston, USA, pp. 1-18, 1972.
- L.C. Rowan, P.H. Wetlaufer, A.F.H. Goetz, F.C. Billingsley, J.H. Stewart, Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in south-central Nevada by the use of computer enhanced ERTS images. *USGS Prof. Paper* 883, 1974.
- L.C. Rowan, A.F.H. Goetz, R.P. Ashley, Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images, *Geophysics*, 42:522-535, 1977.

A. P. Crósta

Agradecimentos

O autor expressa seus agradecimentos ao CNPq e à Fapesp, respectivamente pela bolsa de pesquisa e auxílio concedidos, ao Desert Research Institute (DRI), nas pessoas dos Drs. Z. Chen, C. Elvidge and D. Mouat, pelo uso de seu laboratório de análise espectral, à Rio Tinto Desenvolvidos Minerais, Docegeo, CBPM e ao Geólogo Emanuel P. Barbosa pela cessão de algumas das amostras utilizadas neste trabalho.

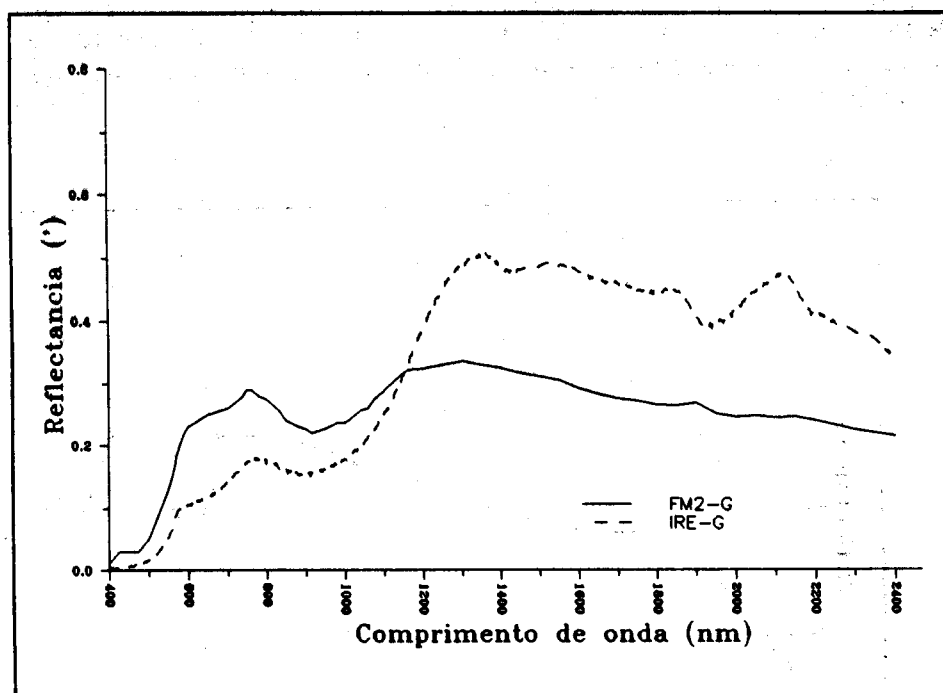


Figura 1 - Curvas espectrais das amostras de *gossans* relacionados a mineralizações sulfetadas (Amostra FM2-G, do depósito O'Toole, Fortaleza de Minas, MG, e IRE-G, de Irecê, Bahia).

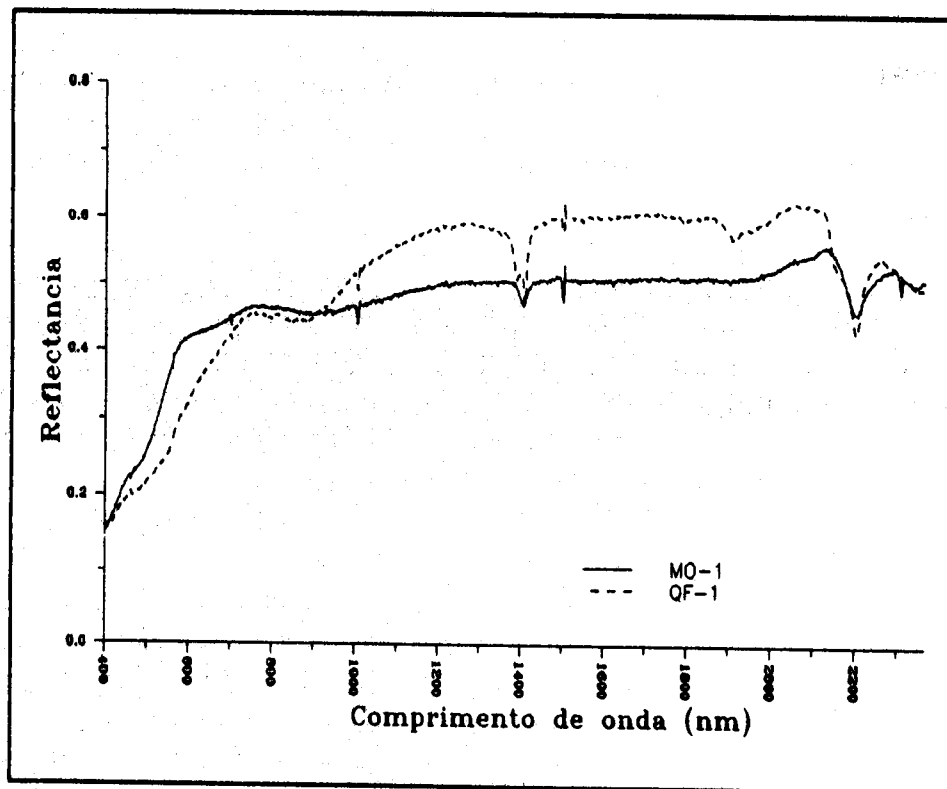


Figura 2 - Curvas espectrais das amostras de minerais de alteração hidrotermal relacionados a mineralizações auríferas (Amostras MO-1, do Morro do Ouro, Paracatu, MG e QF-1, de Barão de Cocais, MG).

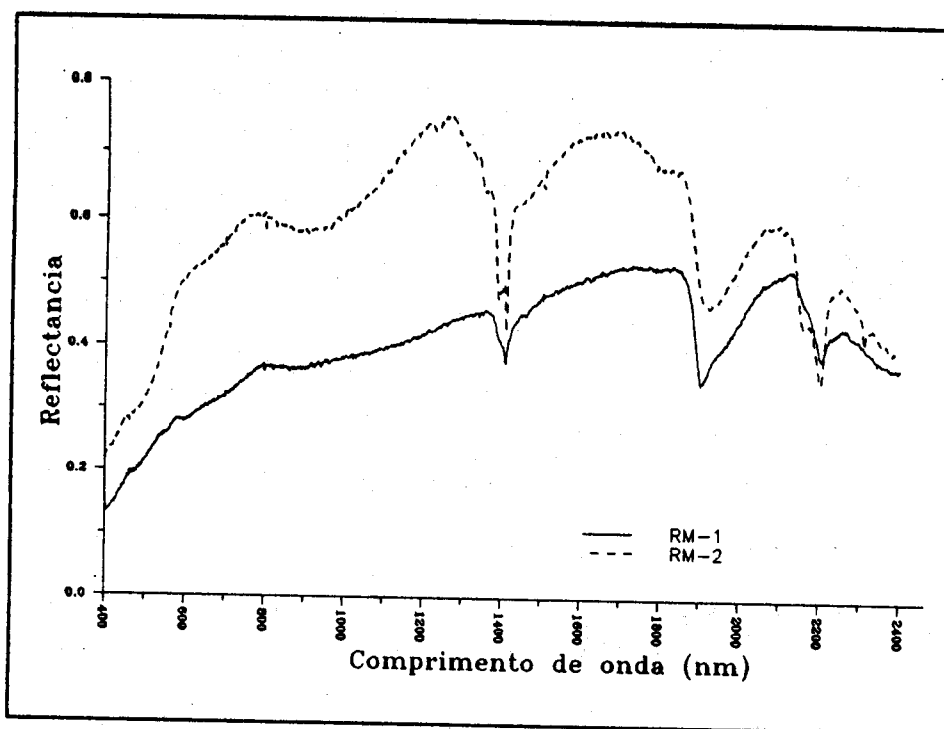


Figura 3 - Curvas espectrais das amostras de minerais de alteração hidrotermal relacionados a mineralizações auríferas (Amostras RM-1 e RM-2, de Riacho dos Machados, MG).