

BIBLIOTECA ESPECTRAL COMO SUPORTE À CARACTERIZAÇÃO DA GEODIVERSIDADE NA SUB-BACIA DE CAMPINAS (BA, BRASIL)

SPECTRAL LIBRARY AS A SUPPORT FOR THE CHARACTERIZATION OF GEODIVERSITY IN THE CAMPINAS SUB-BASIN (BA, BRAZIL)

Erica MEDEIROS DA SILVA, Deorgia Tayane Mendes de SOUZA, Washington de Jesus FRANCA ROCHA

Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamento de Ciências Exatas, do Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente. Avenida Transnordestina, s/n - Feira de Santana, Novo Horizonte - BA.

E-mails: erigeo2017@gmail.com; deorgiasouza.geo@gmail.com; wrocha@uefs.br

Introdução e objetivos
Metodologia
Área de estudo
Procedimentos metodológicos
Resultados e discussão
Comportamento espectral dos solos
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - O sensoriamento remoto tem sido cada vez mais utilizado para interpretação e caracterização de alvos na superfície da Terra, como também na prospecção mineral por meio da espectrorradiometria, que visa a discriminação espectral de alvos específicos a partir da sua curva espectral de reflectância. A coleção de diferentes padrões espectrais pode compor uma biblioteca espectral, que funciona como um catálogo digital de alvos, para ser estudada e consultada para fins ambientais. Assim, o objetivo desta pesquisa foi de elaborar uma biblioteca de padrões espectrais como suporte a inventários de ocorrências minerais visando a caracterização da geodiversidade na Sub-Bacia de Campinas, no estado da Bahia, onde se localizam as sucessões sedimentares neoproterozóicas, com ocorrência de unidades essencialmente carbonáticas do Grupo Una. Foi utilizada neste estudo uma coleção de 27 dados espectrais, com 22 amostras de rochas carbonáticas e 5 de solos, coletadas nos municípios de Morro do Chapéu, Várzea Nova e Jacobina, por meio do espectrorradiômetro FieldSpec 4 Hi-Res. Nos espectros das amostras de rochas, todas apresentam as bandas diagnósticas do CO_3^{2-} na faixa entre 2300 nm e 2350 nm, característico dos minerais carbonáticos (calcita e/ou dolomita), além de outras absorções resultantes das impurezas comuns de se encontrar na composição desses litotipos. Os espectros de solos apresentam feições de absorção decorrentes de oxi-hidróxidos de ferro nos comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo (VIS-NIR), e absorções de argilominerais no infravermelho de ondas curtas (SWIR).

Palavras-chave: Espectrorradiometria. Sensoriamento Remoto. Recursos Minerais.

ABSTRACT - Remote sensing has been increasingly used for the interpretation and characterization of targets on the Earth's surface, as in mineral prospecting through spectroradiometrics, which aims at spectral discrimination of specific targets, based on their spectral reflectance curve. The collection of different spectral patterns can compose a spectral library, which works as a digital catalog of targets, to be studied and consulted for environmental purposes. Thus, the objective of this research was to elaborate a library of spectral patterns as a support to inventories of mineral occurrences aiming at the characterization of the geodiversity in the Sub-Basin of Campinas, in the state of Bahia, where the Neoproterozoic sedimentary successions are located, with occurrence of essentially carbonate units of the Una Group. A collection of 27 spectral data were used in this study, with 22 samples of carbonate rocks and 5 of soils, collected in the municipalities of Morro do Chapéu, Várzea Nova, and Jacobina, using the FieldSpec 4 Hi-Res spectroradiometer. In the spectra of the rock samples, all of them show the diagnostic bands of CO_3^{2-} in the range between 2300 nm and 2350 nm, characteristic of carbonate minerals (calcite and/or dolomite), in addition to other absorptions resulting from the common impurities found in the composition of these lithotypes. The soil spectra show absorption features resulting from iron oxy-hydroxides in the visible and near-infrared wavelengths (VIS-NIR), and absorptions of clay minerals in the shortwave infrared (SWIR).

Keywords: Spectroradiometry. Remote sensing. Mineral Resources.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O Sensoriamento Remoto vem sendo utilizado em diversos segmentos de conhecimento das Ciências da Terra e apresenta-se como uma ferramenta essencial para fins de caracterização e interpretação de alvos na superfície terrestre. Essa tecnologia surgiu na década de 1960, a partir do desenvolvimento da área espacial, coletando automaticamente dados para levantamento e monitoramentos de recursos terrestres (Meneses, 2012).

Ele tem sido cada vez mais utilizado como

ferramenta, tanto para o mapeamento geológico, quanto para a prospecção mineral, a partir da espectrorradiometria. Neste caso, a ferramenta visa a discriminação espectral de alvos, através de uma assinatura espectral, produzida a partir dos processos eletrônicos e vibracionais resultantes da interação entre a energia eletromagnética em comprimentos de ondas específicos com os átomos que formam os minerais (Binotto, 2015).

Em suas aplicações pode-se prover detalhes

sobre os solos, minerais e rochas presentes na superfície, incluindo composição química, grau de cristalinidade e morfologia, por meio de sensores imageadores, como os sensores hiperespectrais, de dezenas a centenas de bandas (Souza Filho & Crosta, 2003).

Os minerais e rochas constituem um dos principais focos da espectroscopia de refletância, possuindo características espectrais singulares entre as faixas do visível, infravermelho próximo e de ondas curtas (Crosta, 2006, segundo Lima, 2011). Nos solos, o comportamento espectral depende diretamente da composição química, física, mineralógica, biológica e, especialmente, matéria orgânica e óxidos de ferro (Dalmolin et al., 2005). A coleção dos espectros de refletância de diferentes materiais constitui a biblioteca espectral (Binotto, 2015). Segundo Bellinaso (2009), a biblioteca espectral é uma importante ferramenta na simples comparação descritiva de curvas espectrais para a discriminação de classes dos alvos em estudo, além da praticidade e variabilidade na realização das análises, por ser uma técnica rápida, de baixo custo e não destrutiva, a exemplo de sua aplicação aos solos, auxiliando na detecção de minerais opticamente ativos, na identificação de alguns de seus atributos e possíveis classes, fazendo com que o levantamento pedológico tenha ganho de tempo, como também, agregando no conhecimento da geodiversidade.

A biblioteca espectral é muito utilizada na aplicação supervisionada de classificadores digitais

de alvos terrestres, como na técnica de Mapeamento por Ângulo Espectral (SAM - *Spectral Angle Mapper*), que permite um mapeamento rápido calculando a similaridade espectral entre os espectros da imagem com os espectros de refletância de referência da biblioteca espectral (Girouard et al., 2004).

Desse modo, sendo que o estado da Bahia possui um vasto patrimônio geológico, com um acervo de minerais abundantes e variados, que precisa ser conhecido e preservado, este trabalho tem como objetivo elaborar uma biblioteca de padrões espectrais de ocorrências minerais no domínio da Sub-bacia de Campinas, na porção centro-norte do estado da Bahia, ao Nordeste do Cráton do São Francisco, pertencente a unidade fisiográfica Chapada Diamantina, onde compreende sucessões sedimentares neoproterozoicas com ocorrência de unidades essencialmente carbonáticas.

Ademais, a área de estudo integra parte da área selecionada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para Geoparque Morro do Chapéu, sendo identificadas áreas de ocorrências de patrimônio geológico de grande relevância, com cadastro de 24 geossítios que registram histórias de sedimentação de unidades do Mesoproterozoico (Grupo Una), incluindo a presença de conglomerados diamantíferos (carbonados), depósitos de origem glacial e registros de vida primitiva na Terra (estromatólitos) (Schobbenhaus & Silva, 2012; Rocha & Pedreira, 2013).

METODOLOGIA

Área de estudo

A Sub-bacia de Campinas está inserida na porção centro-norte do estado da Bahia, de Campo Formoso ao norte de Morro do Chapéu, cartograficamente compreendendo as folhas topográficas Campo dos Cavalos (SC-24-V-C-VI), Juremal (SC-24-V-D-IV), Delfino (SC-24-Y-A-II), Brejão da Caatinga (SC-24-Y-A-III), Senhor do Bonfim (SC-24-Y-B-I), Umburanas (SC-24-Y-A-V), Mirangaba (SC-24-Y-A-VI), América Dourada (SC-24-Y-C-II) e Jacobina (SC-24-Y-C-III). A área de estudo desta pesquisa corresponde ao compartimento Sul da Sub-bacia de Campinas, abrangendo parcialmente os municípios de Morro do Chapéu, Várzea Nova, Jacobina, Mirangaba, oeste de Miguel Calmon, uma porção sul de Orolândia e uma pequena porção do extremo sul de Campo Formoso (Figura 1).

O acesso ao local por via terrestre pode ser

feito a partir de Salvador até Feira de Santana pela rodovia BR-324 e de Feira de Santana a Morro do Chapéu pela via BA-052 (Estrada do Feijão).

A área de estudo está inserida no domínio geológico da Sub-bacia de Campinas, no contexto da Bacia de Irecê, caracterizada pelo afloramento das rochas do Supergrupo São Francisco. Esse supergrupo tem ampla distribuição no estado da Bahia, com espessura máxima de 1.000 metros, aflorando rochas sedimentares carbonáticas e siliciclásticas acumuladas no período Criogeniano (850 a 630Ma), representado pelo Grupo Una na Chapada Diamantina e pelos grupos Macaúbas e Bambuí na região oeste do estado (Guimarães et al., 2012).

O Supergrupo São Francisco resulta da sedimentação de uma ampla plataforma carbonática que, segundo Dominguez (1993, 1996), se deu com a subida generalizada do nível do mar, no fim da glaciação Bebedouro-Macaúbas.

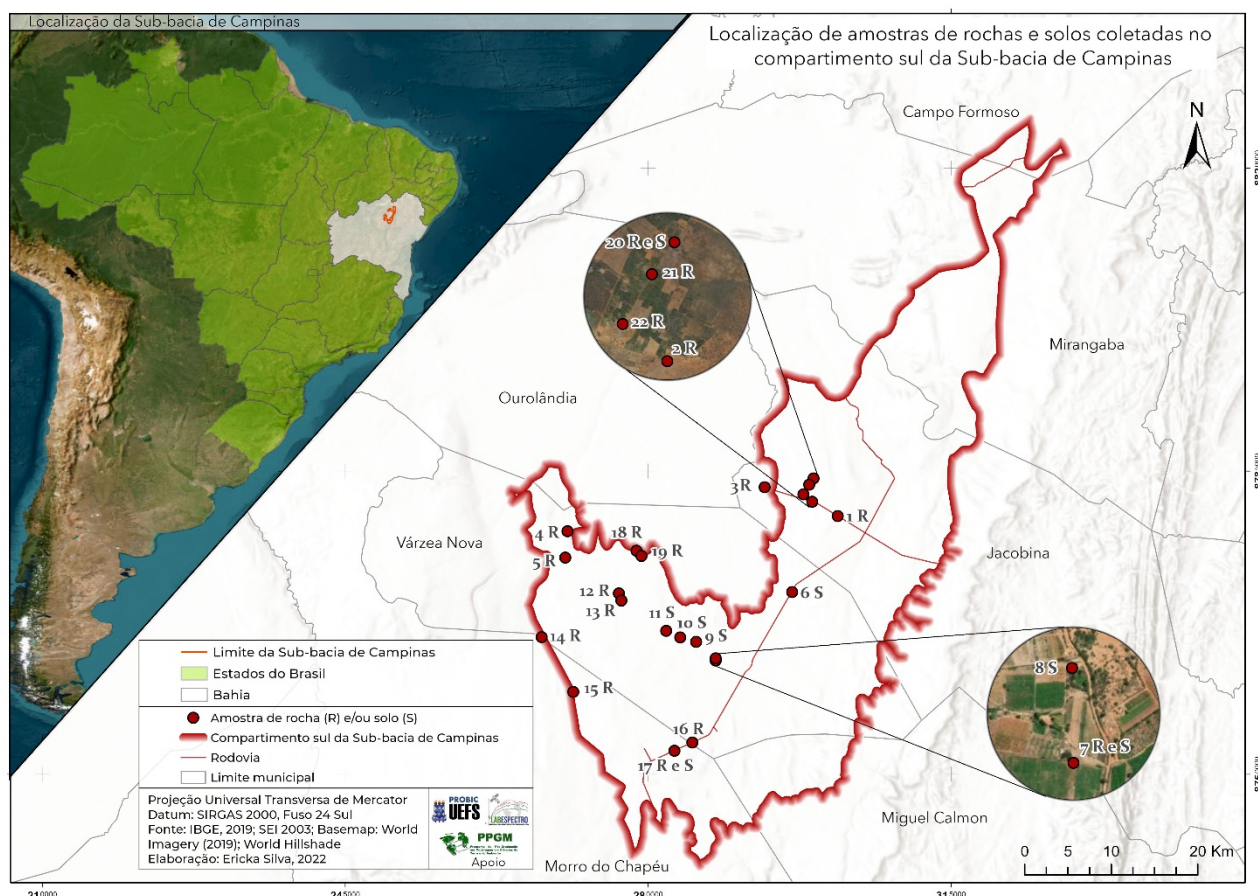


Figura 1 – Localização da área de estudo, com indicação dos municípios que apresentam extensão territorial na Sub-Bacia de Campinas e das amostras coletadas.

Na Chapada Diamantina, em sua metade Oriental, o Supergrupo São Francisco apresenta suas maiores áreas de ocorrência nas sub-bacias de Irecê, Una-Utinga e Campinas, representadas pelo Grupo Una, subdividido da base para o topo nas formações Bebedouro e Salitre. Assentam em discordância erosiva de caráter regional sobre rochas do embasamento cristalino, do Grupo Chapada Diamantina e da Formação Morro do Chapéu, e são recobertas por formações superficiais cenozóicas Ga (Guimarães et al., 2012).

A Formação Bebedouro está assentada em discordância erosiva e angular sobre o embasamento cristalino e em rochas do Supergrupo Espinhaço. Guimarães (1996) e Guimarães et al. (2012) interpretam a Formação Bebedouro como uma sedimentação glacioclástica, geradas em processos de fluxos de detritos, correntes de turbidez, derretimentos de icebergs, mecanismo de suspensão e, de forma localizada, processos eólicos que atuavam em ambiente extraglacial, retrabalhada por eventos de tempestade e sob condições climáticas severas. Segundo Misi (1979) e Misi & Silva (1996), essa formação caracteriza-se pela presença de metassedimentos siltico-argilosos, associados a lentes de metagrauvaca conglo-

merática, com clastos de formas angulares e tamanhos variados esparsamente distribuídos na matriz silto-argilosa.

A Formação Salitre está assentada em discordância erosiva e angular nas rochas do embasamento cristalino, do Grupo Chapada Diamantina e da Formação Bebedouro, sendo recoberta por formações superficiais cenozoicas. Conforme Guimarães et al. (2012), sua sedimentação é interpretada por Leão & Dominguez (1992), Guimarães (2000) e Loureiro et al. (2008) como depositadas em uma bacia intracratônica gerada e preenchida no final do Criogeniano em um ambiente marinho raso de plataforma do tipo rampa, caracterizada por declives suaves e ausência de um talude pronunciado. Ela foi elevada à categoria de formação por Pedreira et al. (1975) e posteriormente subdividida em quatro unidades litoestratigráficas, descritas no texto explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia coordenado por Barbosa e Dominguez (1996), sendo reconhecidas da base para o topo em unidades Nova América, Gabriel, Jussara e Irecê, limitadas entre si por de contatos gradacionais (Dominguez, 1996, Guimarães et al., 2012).

A Formação Salitre também é descrita e inter-

pretada em unidades informais estabelecidas por Misi (1979), que correspondem a pacotes lito-faciológicos chamados C, B, B1, A e A1. De acordo com a sua ocorrência na Bacia de Irecê, a unidade C é descrita por dolomitos e calcários dolomíticos vermelhos e argilosos, podendo se desenvolver na base dolomitos rosados com estruturas estromatolíticas circulares, não classificado; a unidade B constituída predominantemente por calcário cinza-claro, por vezes dolomítico, finamente laminado e interestratificado com leitos argilosos, e fácies inteiramente dolomíticas a medida que se aproxima da unidade B1. Esta, por sua vez, é representada por dolomitos silicosos, dolomitos oolíticos (dolarenitos) e dolutitos com lentes e nódulos individualizados de sílica; a unidade A constitui-se de siltitos, argilitos calcíferos e margas de coloração cinza-claro ou avermelhado, quando não alterado em cinza-escuro; e a unidade A1 com calcário escuro rico em matéria orgânica, calcarenito oolítico, onco-lítico e estratificações cruzadas (Misi & Silva, 1996).

As unidades litoestratigráficas propostas por Bomfim et al. (1985) foram correlacionadas por Misi & Silva (1996) às unidades estabelecidas por Misi (1979), que associaram a Unidade Jussara à unidade A1, Irecê e Gabriel à unidade A, Nova América à B1 e Irecê também à B (Figueirêdo, 2017). Conforme Figueirêdo (2017), a Formação Salitre ocupa a maior parte da Sub-bacia de Campinas, e em campanhas de campo foram identificadas as três unidades da Formação Salitre: C, B e B1.

Procedimentos metodológicos

Para agregar informações no conhecimento da Geodiversidade na Sub-bacia de Campinas, foi levantada uma coleção de 27 dados espectrais, 22 amostras de rochas e 5 de solos, coletadas nos municípios de Morro do Chapéu, Várzea Nova e Jacobina, obtidas nos principais distritos minerais pelo projeto Mapa Metalogenético II.

O Projeto Mapa Metalogenético do Estado da Bahia II consiste em um levantamento de dados de campo e de laboratório com o objetivo de indicar e caracterizar áreas com grande potencial para mineralizações de interesse econômico, inicialmente realizada em duas províncias geoló-

gicas na região nordeste do Estado da Bahia. Esta pesquisa abrange a região norte de uma dessas províncias, em convênio com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que tem como uma das propostas criar um Sistema de Informações sobre a Geologia e os Recursos Minerais do Estado da Bahia. As medidas espectrorradiométricas das amostras de rochas e solos foram obtidas com o espectrorradiômetro portátil *FieldSpec 4 Hi-Res*, produzido pela ASD (*Analytical Spectral Devices, inc.*), de alcance espectral que vai desde a região do visível até o infravermelho de ondas curtas (350 - 2500 nm), com resolução espectral de 3 nm na faixa espectral do visível e infravermelho próximo (VNIR) e 8 nm na faixa infravermelho de ondas curtas (SWIR) (1000 – 250 nm).

A coleta dos dados espectrais foi realizada por meio do *software* RS3. Já as curvas espectrais foram processadas no *ViewSpec Pro* e a identificação dos minerais foi obtida com o auxílio do *The Spectral Geologist (TSG)*.

As medidas espectrais foram catalogadas em um banco de dados com coordenadas geográficas e descrições geológicas. Na interpretação dos dados espectrais elaborou-se uma biblioteca espectral no *software* ENVI 5.1. No referido *software* a técnica do contínuo removido foi aplicada e os padrões espectrais gerados em campo foram comparados com os da biblioteca espectral de referência do USGS, como procedimento de validação.

A técnica do contínuo removido, segundo Clark & Roush (1984), permite acentuar as feições de absorção com melhor detalhamento das bandas, reduzir os efeitos externos e identificar elementos.

A elaboração da biblioteca espectral com as amostras de solos e rochas está baseada no agrupamento dos padrões a partir das bandas de absorção, composição química das rochas e dos minerais presentes. Segundo Meneses & Almeida (2019), as rochas apresentam um complexo comportamento espectral devido a sua não homogeneidade, como misturas mineralógicas e qualquer alteração na composição química destes são suficientes para diferenciá-las mesmo pertencendo a uma mesma classe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras selecionadas na área de estudo estão classificadas em geral como pertencentes ao grupo de rochas carbonáticas calcárias, como os calciculitos, calcarenitos e margas, e dolomí-

ticas, pertencentes ao Grupo Una, da Formação Salitre, e as unidades C, B e B1, conforme estabelecidas por Misi (1979).

De acordo com Souza (2017), minera-

logicamente, a partir da interpretação de medidas espectrais da Sub-bacia de Campinas, foram identificados a calcita na unidade C, além da dolomita, montmorilonita e moscovita como os principais constituintes de rochas. Na unidade B, em análise de uma rocha, foi identificada essencialmente a calcita, podendo ocorrer traços da montmorilonita e siderita. Quanto à unidade B1, evidencia-se a predominância da dolomita, calcita em segundo plano e traços de montmorilonita e caulinita.

O calcário e o dolomito são as rochas carbonáticas mais comuns e comercializadas. Em sua análise e classificação é indispensável a identificação da matriz, cimento, grãos e a definição do tipo de suporte, ou seja, arcabouço – matriz – suportado ou grão-suportado (Terra et al., 2010). Para classificação das rochas calcárias são consideradas as variações nas proporções de calcita, dolomita, bem como dos componentes

não carbonatados, como as impurezas que, no comum, são argilominerais. Estes, quando aparecem em quantidade, podem converter um calcário de alto cálcio em marga (Pedrosa, 2010).

Os espectros de rochas são definidos, dentre alguns fatores, principalmente pela composição molecular dos minerais que constituem as rochas, e mesmo diante das misturas mineralógicas, é possível encontrar herança das bandas diagnósticas dos minerais componentes, especialmente como nas rochas carbonáticas, nas quais os minerais carbonáticos (como calcita e dolomita essencialmente) apresentam absorção característica na banda indicativa do íon CO_3^{2-} , entre ~2300 e ~2350 nm, que persistem em uma mistura (Meneses & Almeida, 2019). Assim, é evidente a predominância dessas absorções nos espectros das amostras coletadas da área de estudo, como podem ser observadas na figura 2, para efeito de comparação.

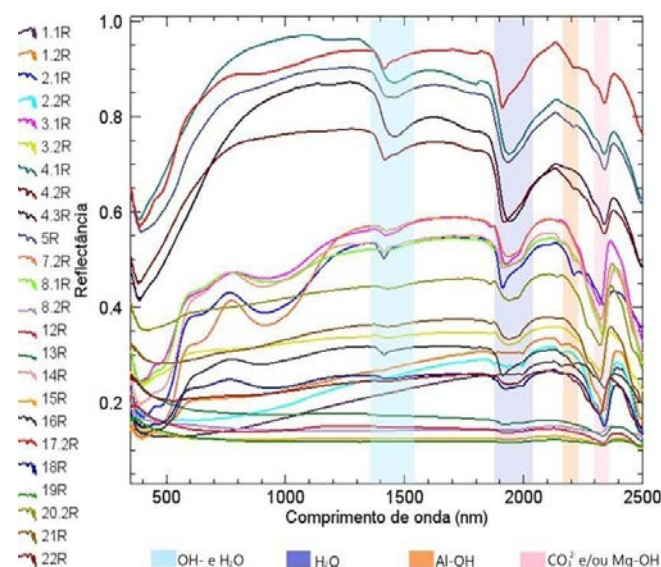


Figura 2: Assinaturas espectrais de rochas do compartimento sul da Sub-bacia de Campinas com os intervalos de comprimentos de onda das principais feições de absorção espectral do SWIR.

Conforme Meneses & Almeida (2019), entre as rochas carbonáticas calcárias e dolomíticas, independente da estrutura e da granulometria das rochas, há pouco deslocamento na posição central das suas bandas carbonáticas diagnósticas. As dolomíticas apresentam bandas de absorção em torno de ~2325 nm e as calcárias em torno de ~2335 nm.

Nos espectros de rochas das amostras desta pesquisa, além da absorção característica dos carbonatos, podem ser observadas nos espectros frequentes absorções na faixa do SWIR, em ~1400 nm e ~1900 nm, indicando a presença do grupo hidroxila (OH^-) e água (H_2O). Segundo Meneses & Almeida (2019), qualquer indício

dessas absorções em rochas carbonáticas significa, no mínimo, a existência de impurezas. Além delas, as absorções entre ~2160 nm e ~2200 nm, indicativa da presença de hidróxido de alumínio (Al-OH), aparecem com regularidade. Na faixa VNIR são frequentes as absorções características da presença de ferro no sistema.

Os argilominerais são as impurezas mais comuns presentes em rochas carbonáticas, representadas principalmente pela caulinita, illita, clorita, esmectita e outros tipos de micáceos. Além delas, outras impurezas como os compostos de ferro também podem ocorrer (Pedrosa, 2010).

Diante disso, tendo em vista a eficiência da técnica da espectrorradiometria para diagnosticar

alguns dos elementos e grupos moleculares, a discriminação mineralógica e litológica, especialmente para as rochas carbonáticas (as quais são protagonistas neste estudo) por seus padrões de reflectância característicos devido a dominância dos minerais primários, como a calcita e a dolomita, a elaboração de bibliotecas espectrais

se faz eficiente para auxiliar na interpretação dos espectros de rochas e solos e como se comportam nesses ambientes geológicos.

As 22 amostras de rochas foram agrupadas em 6 padrões espectrais, como mostra a figura 3. Entre as cinco amostras de solo, um único padrão de absorção foi constatado.

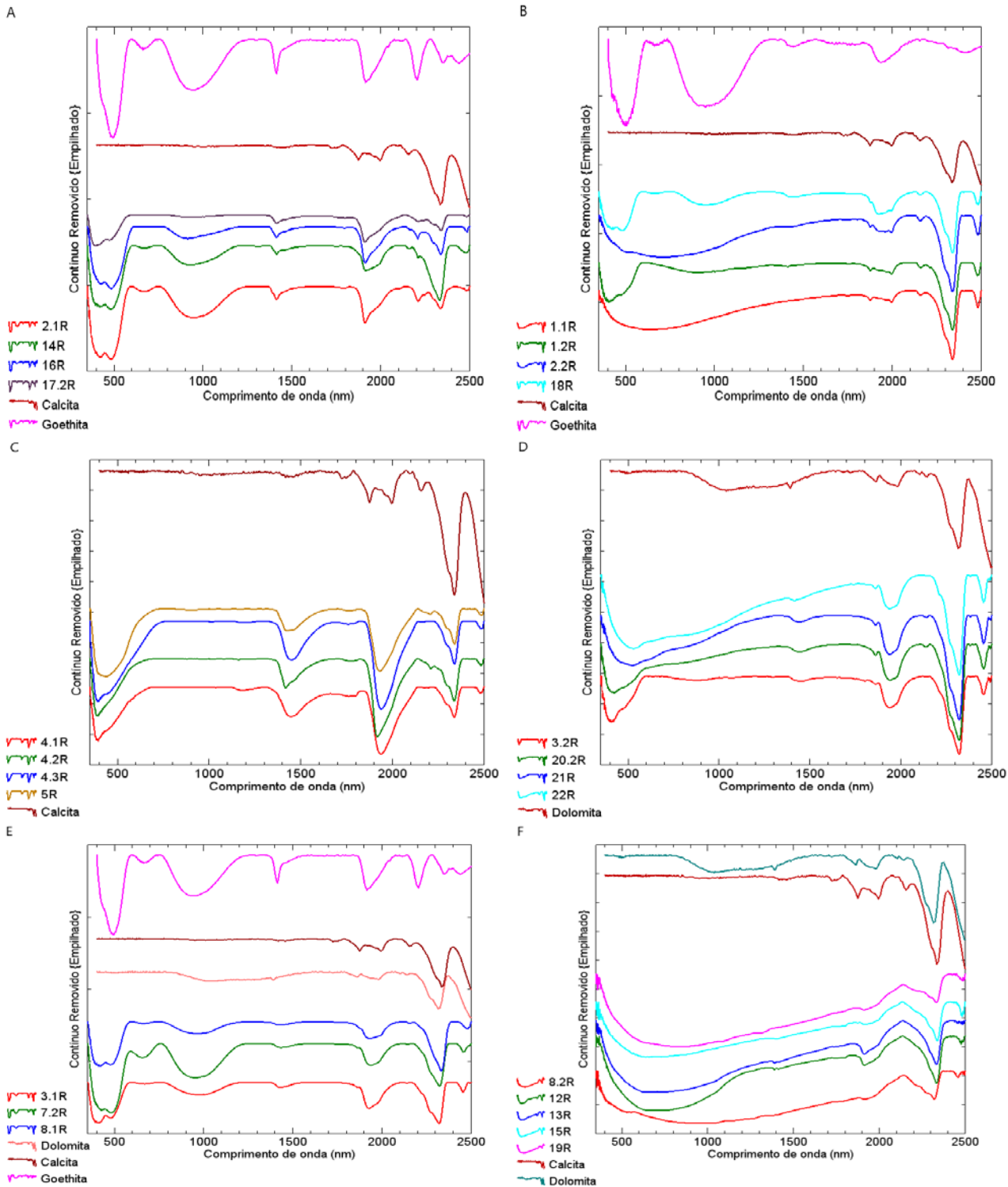


Figura 3: A, B, C, D, E e F – Assinaturas espectrais de amostras de rochas com espectros de minerais da USGS pelo método de remoção do contínuo.

No padrão espectral exibido na figura 3A podem ser observadas feições de absorção na região do VNIR entre ~417 e ~480 nm, em ~673

nm nas amostras 2.1R e 14R, e em ~920 nm nas amostras 2.1R, 14R e 16R. As absorções nessa região são produzidas em consequência de pro-

cessos eletrônicos, onde átomos de metais de transição, e particularmente o ferro (Fe), quando presente, estão sujeitos às forças de atração eletrostática dos seus ligantes que se dispõem simetricamente ao seu redor (Meneses, 1986; Hunt, 1977). Essas absorções no VNIR podem indicar a presença de minerais com Fe, como a goethita, com absorções em ~480 nm e ~917 nm (Fang et al., 2018).

No referido padrão espectral, em ~1913 nm e ~1415 nm, ocorrem absorções relacionadas respectivamente, à presença das moléculas de água e OH, e em ~2209 nm atribuídas à presença da molécula Al-OH na composição da amostra (Pontual et al. 1997, segundo Lima, 2011; Fang et al., 2018), podendo ser justificadas pela deposição dos sedimentos em ambientes com água no processo de diagênese, formando argilominerais na matriz da rocha. A partir do infravermelho próximo, os espectros apresentam feições de absorção em ~2338 nm, indicativo do íon CO_3^{2-} e diagnóstico do mineral calcita (Meneses & Almeida, 2019).

Os espectros exibidos na figura 3B apresentam comportamentos espectrais similares no intervalo do infravermelho de ondas curtas (SWIR), com absorção similar ao da calcita, que possui basicamente feições de absorção em ~1878 nm, ~1994 nm, ~2156 nm e em ~2338 nm, sendo esta última feição com pico de absorção mais representativo, diagnóstica dos carbonatos e característica da calcita, resultante da ligação carbono e oxigênio - C-O. Nota-se também a presença da goethita com as feições de absorção na região do VNIR, nas amostras 1.2R e 18R.

De acordo com Souza (2017), os carbonatos da unidade B são os que apresentam maior grau de pureza, com os maiores teores de carbonato de cálcio, quando comparados aos das demais unidades. Por isso, os espectros dos calcários puros apresentam um padrão parecido ao espectro da calcita. Nos espectros da figura 3C ocorrem absorções no infravermelho de ondas curtas, centradas em ~1445 nm e ~1938 nm nas amostras 4.1R, 4.3R e 5R, indicativo da presença de hidroxila (OH) e água na composição mineralógica. Já na amostra 4.2R, essas absorções apresentam-se com um deslocamento para a esquerda em relação às demais, posicionando-se em ~1413 nm e ~1917 nm. Além delas, a presença da absorção em ~2209 nm nas amostras 4.2R e 5R, decorrente do íon Al-OH, constatando a presença de argilomineral. A

absorção posicionada em ~2338 nm é diagnóstica dos carbonatos, com a presença da calcita.

Nos espectros da figura 3D as feições de absorção em ~1862 nm, ~1927 nm, ~2140 nm, 2320 nm e ~2498 nm, são diagnósticas do mineral dolomita, assim como nos espectros do padrão da Figura 3E, nas amostras 3.1R e 7.2R. A amostra 8.1R, apesar de similar absorção, apresenta-se com um deslocamento de 10 nm para a direita, característico da calcita em relação à dolomita (Meneses & Almeida, 2019). Nesse padrão 3D é constatada também a presença da goethita.

Nos espectros exibidos na Figura 3F identificou-se a presença da calcita pela absorção centrada em ~2335 nm, exceto na amostra 8.2R que se apresenta com um deslocamento para esquerda, típico da dolomita, sendo resultante do íon CO_3^{2-} .

Comportamento espectral dos solos

O comportamento espectral dos solos também é afetado por diversos fatores, como a presença de matéria orgânica, umidade, óxidos, hidróxidos, minerais primários e minerais de argila (Dalmolin et al., 2005). Quanto à mineralogia, nos espectros de solos (Figura 4A) são notadas absorções características da presença de argilominerais, em função das absorções na faixa de ~1400 nm, ~1900 nm e ~2200, e a presença de óxidos de ferro expressos na região do visível.

No padrão espectral de solos, percebe-se que absorve na faixa de ~400-490 nm e ~891 nm. Absorções nessa faixa do espectro, de 350 – 1000 nm, são decorrentes da interação eletromagnética com os óxidos e hidróxidos de ferro, como da hematita e goethita (Mesquita, 2018; Fang et al., 2018). De acordo com Meneses & Almeida (2019), a predominância de um ou outro mineral está relacionada geralmente a fatores pedohídricos, predominando a hematita em ambientes mais secos.

No SWIR, ocorrem absorções centradas em ~1414 nm, ~1916 nm, devido a vibrações fundamentais do grupo hidroxila e da água, em ~2207 nm, atribuídas à ligação Al-OH, constatando a presença de argilominerais, como a caulinita, que responde nessas bandas espectrais. Outras absorções menos intensas ocorrem em ~2312 nm, ~2354 nm e ~2378 nm, como mostra o espectro da caulinita do USGS. Essas absorções podem ser melhor observadas na Figura 4B, com aplicação do contínuo removido, que acentua essas feições de absorção.

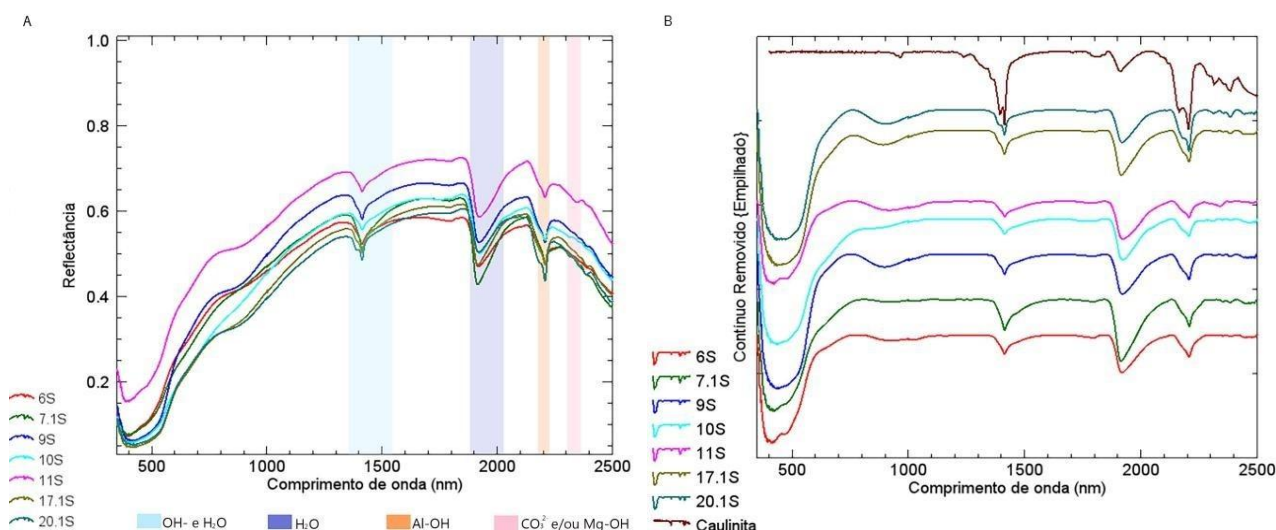


Figura 4: Assinaturas espectrais de solos do compartimento sul da Sub-bacia de Campinas. A – Com os intervalos de comprimentos de onda das principais feições de absorção espectral do SWIR; B – Com método de remoção do contínuo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, as amostras da área de estudo, inseridas sob o domínio da Formação Salitre, de unidades essencialmente carbonáticas, com rochas calcárias e dolomíticas, onde puderam ser identificadas os minerais calcita, dolomita e goethita, foram agrupadas em seis padrões espectrais que diferenciam-se em posição, formas, profundidades e/ou largura de algumas feições de absorção, apesar de apresentarem minerais em comum, como ocorre entre os padrões A, B e E, que constata a presença da calcita e goethita, e diferem-se por maior ou menor expressão de um ou outro mineral.

As absorções das amostras estudadas geralmente não se ajustam perfeitamente às da biblioteca espectral de referência devido às variações de composição, como no teor de impurezas que se expressam pela presença dos argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro, comuns de serem

encontrados em rochas carbonáticas.

No entanto, sendo rochas carbonáticas, com características comuns em sua composição, espectralmente todas apresentam as bandas diagnósticas do CO_3^{2-} na faixa entre 2300 nm e 2350 nm, e quanto mais similares os seus espectros ao mineral que predominantemente constitui esse litotipo (calcita e/ou dolomita), maior é o grau de pureza, como foi observado no padrão 3B discutido. Essas características diagnósticas que caracterizam as rochas carbonáticas tornam favoráveis e eficazes a elaboração de bibliotecas espectrais para bacias sedimentares inseridas neste contexto.

Com isso, os dados existentes com esta pesquisa contribuem com os estudos que dão suporte ao inventário mineral e a produção de conhecimento acerca da Geodiversidade da Sub-bacia de Campinas, que abrange parte da área proposta ao Geoparque Morro do Chapéu.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM) e ao Laboratório de Espectrorradiometria (LABESPECTRO), da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

REFERÊNCIAS

- BELLINASSO, H. **Biblioteca espectral de solos e sua aplicação na quantificação de atributos e classificação**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo.
- BINOTTO, R.B. **Identificação de padrões espectrais em depósitos minerais: uma aplicação nas Minas de Camaquã/RS, Brasil**. Porto Alegre, 2015. Tese (Doutorado). Universidade Federal.
- BONFIM, L.F.C.; ROCHA, A.J.D., PEDREIRA, A.J.; MORAIS, J.C.P.; GUIMARÃES, J.T.; TESCH, N. A. **Projeto Bacia de Irecê**. Salvador, CPRM, Relatório Final, 1985
- CLARK, R. N. & ROUSH, T. L. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, 89(B7), p. 6329-6340, 1984.
- CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Instituto de Geociências/UNICAMP, Campinas.
- DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, v. 35, p. 481-489, 2006.
- DOMINGUEZ J.M.L. **As Coberturas do Cráton do São Francisco: Uma abordagem do ponto de vista da análise de**

- bacias. In: J.M.L. DOMINGUEZ & MISI, A. (eds.), **O Cráton do São Francisco**. SBGSGM-CNPq. Ed. Especial, v. 137-159, 1993.
- DOMINGUEZ, J.M.L. As coberturas plataformais do proterozóico médio e superior. In: J.S.F. Barbosa & J.M. Landim. (Orgs.), **Geologia da Bahia: texto explicativo para o mapa geológico ao milionésimo**, p. 105-125, 1996. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais.
- FANG, Q., HONG, H., ZHAO, L., KUKOLICH, S., YIN, K., & WANG, C. Visible and near-infrared reflectance spectroscopy for investigating soil mineralogy: A review. **Journal of Spectroscopy**, v. 2018, 2018.
- FIGUEIRÉDO, A.L.D.C. **Quimioestratigrafia, correlações e evolução das sequências neoproterozóicas da Sub-Bacia de Campinas-BA com implicações fosfogênicas**. Salvador, 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia.
- GIROUARD, G.; BANNARI, A.; EL HARTI, A.; DESROCHERS, A. Validated Spectral Angle Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative Study between Quick bird and Landsat TM. In: XXTH ISPRS CONGRESS. TECHNICAL COMMISSION IV, 2004. Istanbul. Turkey. **ISPRS Archives...** Istanbul. Turkey, XXXV Part B4, 2004, 12-23.
- GUIMARÃES, J.T. Formação Bebedouro no estado da Bahia: faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação. 1996. Salvador 146 p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- GUIMARÃES, J.T. Neoproterozoic glaciation record on the central part of Francisco Craton, North-East Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31, 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts...** Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 1 CD-ROM.
- GUIMARÃES, J.T.; ALKAMIN, F.F.; CRUZ, S.C.P. Supergrupos Espinhaço e São Francisco. IN: J.S.F. BARBOSA; J.F. MASCARENHAS; L. CORREA-GOMES; J.M.L. DOMINGUEZ; S. SOUZA, (Orgs.), **Geologia da Bahia: pesquisa e atualização**, v. 2, p. 33-83, Salvador, BA: CBPM, 2012.
- HUNT, G. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, v. 42, n. 3, p. 501-513, 1977.
- LEÃO, Z.M.A.N. & DOMINGUES, J.M.L. Plataformas carbonáticas pré-cambrianas: o exemplo da Fm. Salitre – proterozoico superior – estado da Bahia: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Boletim de resumos expandidos...** São Paulo: SBG, 1992. v. 2, p. 451.
- LIMA, L.G.L.M. **Deteção de unidades litológicas na bacia de Una-Utinga por espectroscopia de reflectância e dados do sensor multiespectral aster**. Feira de Santana, 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Feira de Santana.
- LOUREIRO, H.S.C. Notas sobre o mapeamento geológico da Chapada Diamantina Ocidental e Espinhaço Setentrional, Bahia (Projeto Barra-Oliveira dos Brejinhos). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, p. 99, 2008.
- MENESES, P.R. **Avaliação e seleção de bandas do sensor thematic mapper do Landsat-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalle**. São Paulo, 1988. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, SP.
- MENESES, P.R. Princípios do Sensoriamento Remoto. In: P. R. MENESES & T. ALMEIDA. (Orgs.), **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**, p. 1-31. Brasília, UNB, 2012. <http://memoria.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>.
- MENESES, P.R. & DE ALMEIDA, T. Refletância das Rochas. In: Almeida, P.R.; Almeida, T.; Baptista, G.M.M. (org.), **Reflectância dos materiais terrestres**. Oficina de Textos, 2019.
- MESQUITA, F.F. **Caracterização espectrorradiométrica de solos para a determinação da evolução pedogenética dos regolitos da região de Alvorada do Norte, Goiás**. Brasília, 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade de Brasília.
- MISI, A. & SILVA M.G. **Chapada Diamantina Oriental, Bahia: Geologia e depósitos minerais**. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996.
- MISI, A. O Grupo Bambuí no Estado da Bahia. In: H.V. In da (Ed.), **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia**. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia; textos básicos. Salvador: SME/CPM, v. 1, p. 120-154, 1974.
- PEDREIRA, A.J.; ARCANJO, J.B.; PEDROSA, C.J.; OLIVEIRA, J.E.; SILVA, B.C.E. **Projeto Bahia: Geologia da Chapada Diamantina: texto e mapas: relatório final**. Salvador, DNP/CPRM, v. 2, 1995.
- PEDROSA, S. A. **Discriminação espectral de variações faciológicas de carbonatos por meio de espectrorradiometria e imagens aster na região da Serra do Ramalho -BA**. Brasília. 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília.
- PONTUAL, S.; MERRY, N.J.; GAMSON, P. **Practical Applications Handbook**, v 1-8, G-Mex spectral analysis guides for mineral exploration. Ausspec International Publications, 1997.
- ROCHA, D.J.A. & PEDREIRA, A.J. Geoparque Morro do Chapéu (BA). In A.F. Ribeiro (Org.), **Geoparque Morro do Chapéu – Bahia – (Proposta)**. Salvador: CBPM, v. 14, p. 15-64, 2013.
- SCHOBENHAUS, C. & SILVA, C.R. O papel do Serviço Geológico do Brasil na Criação de Geoparques e na Conservação do Patrimônio Geológico. In: **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, p. 11-28, 2012.
- SOUZA FILHO, C.R. & CRÓSTA, A.P. Geotecnologias aplicadas à Geologia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 1-4, 2003.
- SOUZA, D.P.C.D. **Integração de dados espectrais de imagens do sensor ASTER e dados aerogamaespectrométricos no mapeamento de unidades neoproterozóicas da Sub-Bacia de Campinas**. Salvador, 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia.
- TERRA, G.J.S.; SPADINI, A.R.; FRANÇA, A.B.; SOMBRA, C.L.; ZAMBONATO, E.E.; JUSCHAKS, L.D.S.; ARIENTI, L.; ERTHAL, M.; FRANCO, M.; WINTER, W. R. Classificação de rochas carbonáticas aplicável às bacias sedimentares brasileiras. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 18, n. 1, p. 9-29, 2010.

Submetido em 12 de setembro de 2022

Aceito para publicação em 23 de fevereiro de 2023