



Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do
Sensoriamento Remoto
2**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
CAPÍTULO 2	14
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
CAPÍTULO 3	25
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
CAPÍTULO 4	36
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
CAPÍTULO 5	54
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzzi Pezzi</i>	
CAPÍTULO 6	69
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
CAPÍTULO 7	80
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

CAPÍTULO 8 94

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

José Adriano da Silva
Vinicius Bitencourt Campos Calou
Adunias dos Santos Teixeira
Daniel Albiero

CAPÍTULO 9 105

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

Barbara de Oliveira Sousa Castro
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Flávia Luize Pereira de Souza
Letícia Albano Benites

CAPÍTULO 10 117

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

Thiago Vieira Nogueira Coelho
Lucas Moraes
Rafael Falcí Campos
Luis Carlos Carmo Jr.
Daniel Discini Silveira
André Luis Marques Marcato
Alexandre Bessa dos Santos

CAPÍTULO 11 134

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 12 144

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

Glauber Carvalho Costa
Igor de Carvalho Almeida
Rafael Claudino da Silva
Rubens José Souza Galvão
Rafael Bazílio Viana

CAPÍTULO 13 155

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos
Edson Eyji Sano
Pablo Santana Santos

CAPÍTULO 14 165

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

Erickson Melo de Albuquerque
Cícero Fidelis da Silva Neto
Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

CAPÍTULO 15..... 175

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

Marília Gabriela Lopes da Silva
Tássio Franco Cordeiro
Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira
Igor da Silva Narvaes
Alessandra Rodrigues Gomes
Marcos Adami
Lucas José Mazzei de Freitas
Dalton de Morrison Valeriano

CAPÍTULO 16..... 190

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

Alan dos Santos Pimentel
Vera Lúcia Reis
Ylza Marluce Silva de Lima
Luiz Alves dos Santos Neto
Diana de Souza Bezerra
Tatiane Mendonça de Lima
Irving Foster Brown

CAPÍTULO 17 201

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

Jean Marcel de Almeida Espinoza
Deivid Cristian Leal Alves
Silvia Beatriz Alves Rolim
Jefferson Rodrigues dos Santos
Maurício Soares Ortiz
Miguel da Guia Albuquerque

CAPÍTULO 18..... 213

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito
Roberto Rosa
Mirna Karla Amorim da Silva

CAPÍTULO 19..... 222

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

Caroline Bessi Fávero
Anderson Antonio da Conceição Sartori
Sidnei Fonseca Guerreiro
Victor Munhoz Ruiz
Rosane Maria Kaspary
Martha Santana Martins

CAPÍTULO 20..... 240

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

Maristela Ramalho Xaud
Cláudia Maria de Almeida
Haron Abraham Magalhães Xaud

CAPÍTULO 21..... 254

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

Gabriella Santos Arruda de Lima

Nilson Clementino Ferreira

CAPÍTULO 22..... 265

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

Teônia Casado da Silva

Madson Tavares Silva

Danielle Teixeira Alves da Silva

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Eduardo da Silva Margalho

SOBRE O ORGANIZADOR274

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

Jean Marcel de Almeida Espinoza

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Deivid Cristian Leal Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, PPG Geociências
Porto Alegre – RS

Silvia Beatriz Alves Rolim

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Geodésia
Porto Alegre – RS

Jefferson Rodrigues dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Maurício Soares Ortiz

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Miguel da Guia Albuquerque

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

RESUMO: Este trabalho objetivou a identificação de campos de mineração de ametista na região do município de Ametista do Sul (RS), utilizando processamento digital de imagens de satélite do sensor ASTER. Imagens de sensoriamento

remoto para mapeamento e discriminação de alvos geológicos são baseadas na interação entre a radiação eletromagnética (EMR) e os alvos. A interação entre radiação e alvo é registrada em unidades de terreno, representadas pelo valor do contador digital de cada pixel na imagem. Os valores observados correspondem à medição de um processo complexo de troca de energia envolvendo EMR (transmissão, reflexão e emissão). Essa interação ocorre através da absorção / emissão atômica / molecular de EMR ao interagir com átomos e moléculas dos minerais da rocha. Com base nesse conceito, a maneira pela qual esses compostos minerais interagem com o EMR é identificável por meio de suas respostas espectrais, ou seja, como cada mineral transmite, reflete, absorve e emite EMR. A referência cruzada desta assinatura com os valores correspondentes permite inferência estatística sobre qual tipo de rocha ou mineral está presente em um determinado pixel de uma imagem digital. Com isso em mente, utilizamos: uma imagem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission e Reflection Radiometer) da região do Ametista do Sul, devidamente calibrada e corrigida; um grupo de assinaturas espectrais correspondentes aos principais compostos de mineralização e rejeitos de mineração de ametista; e uma análise posterior da correspondência entre estas assinaturas e os valores da imagem ASTER, obtidos através

de padrões de reconhecimento DCDP (primeira derivada). Com base nesse método, imagens temáticas foram construídas para indicar a probabilidade de mineração de ametista e, posteriormente, validadas com dados de campo. Este trabalho demonstra que o uso de dados de satélite é uma ferramenta importante no monitoramento geológico e de atividades de mineração de campo.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

ABSTRACT: This work aims the identification of amethyst mining fields in the Ametista do Sul town (Rio Grande do Sul state) area using digital processing of satellite images from ASTER sensor. Remote sensing images for mapping and discrimination of geological targets is based on the interaction between electromagnetic radiation (EMR) and the targets. The radiation-target interaction is registered in terrain units, represented by the digital counter value of each pixel in the image. The observed values correspond to the measurement of a complex process of energy exchange involving EMR (transmission, reflexion and emission). This interaction occurs through atomic/molecular absorption/emission of EMR while interacting with atoms and molecules of the rock's minerals. Based on this concept, the manner in which these mineral compounds interact with EMR is identifiable by means of their spectral answers, that is, how each mineral transmits, reflects, absorbs and emits EMR. Cross-referencing this signature with the corresponding values allows statistical inference on which type of rock or mineral is present at a certain pixel of a digital image. With this in mind, we used: an ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) image from the Ametista do Sul region, duly calibrated and corrected; a group of spectral signatures corresponding to the main mineralization compounds and mining rejects of amethyst; and a posterior analysis of the correspondence between these signatures and the ASTER image values, obtained through DCDP recognition patterns (first derivative). Based on this method, thematic images were constructed to indicate the probability of amethyst mining, and were later validated with field data. This work demonstrates that the use of satellite data is an important tool in geological and field mining activity monitoring.

KEYWORDS: remote sensing, image processing, geology.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de dados de sensoriamento remoto tem sido importante na minimização de custos e tempo em campanhas de pesquisa e exploração mineral diversas, concentrando a atividade de campo apenas nos locais de real necessidade. Estudos utilizando essa abordagem têm sido obtidos com maior sucesso em regiões áridas e semiáridas do mundo, onde ocorrem maiores áreas com materiais expostos, permitindo aquisição direta da informação espectral do sistema rocha-solo-água como ao exemplo dos trabalhos de Amos e Greenbaum (1989), Emranet al.(1996) e Whiteet al.(1997), onde essas técnicas estão amplamente consolidadas. Já em ambientes

tropicais, a caracterização das propriedades espectrais desses alvos é normalmente influenciada pela cobertura vegetal.

Dessa forma, investigações sobre a presença mineral utilizando sensoriamento remoto devem considerar esse fato, constituindo associações rocha-solo-água-vegetação (LULLA, 1985; ALMEIDA FILHO et al., 1996; ALMEIDA FILHO et al., 1997) e, também, o grau de exposição de rocha-solo na cena imageada, segundo os autores. Novas perspectivas foram abertas para a discriminação desses alvos com o advento das imagens do sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a bordo da plataforma orbital Terra. O sensor ASTER representa um avanço, em termos de resolução espectral, quando comparado ao instrumento Enhanced Thematic Mapper (ETM+) do satélite Landsat-7. Um exemplo da maior potencialidade do sensor ASTER para a mineralogia ambiental foi apresentado por Van der Meer (1999), que discutiu o potencial de detecção de alguns minerais, como caulinita e muscovita, através desse sensor. Esses dois minerais são caracterizados por uma banda de absorção em aproximadamente $2,2\mu\text{m}$ devido à hidroxila (OH) (HUNT, 1971) correspondente à banda seis do sensor ASTER (Figura 01).

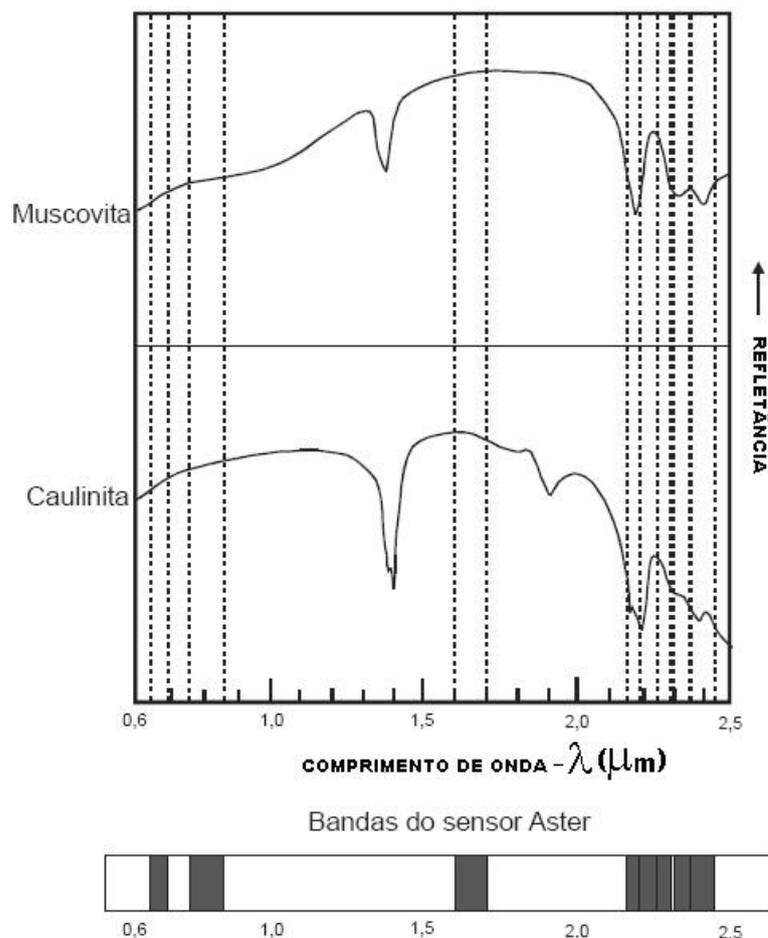


Figura 1: Espectros de reflectância da caulinita e da muscovita Vs. comprimento de onda e comparados às correspondentes bandas do sensor ASTER. FONTE: modificada de Hunt (1970-1971).

Essas informações espectrais podem ser detectadas das bandas cinco a nove do sensor ASTER. Já o sensor ETM+, que possui apenas a banda sete posicionada

nesse importante intervalo espectral para a geologia, registra, portanto, uma única resposta nessa faixa espectral, trazendo sobreposição de informação. Baseando-se nesses preceitos, efetuamos a caracterização espectral das rochas constituintes da porção sul da bacia do Paraná e, posteriormente, realizamos a classificação de dados-imagem do sensor ASTER, mostrando uma aplicação dos métodos de sinergia entre classificadores de imagens orbitais e caracterizadores espectrais de alvos.

Crósta et al. (2002) utilizaram dados do sensor ASTER para caracterizar halos de alteração hidrotermal em depósitos auríferos epitermais no distrito de Los Menucos, Argentina. Foram utilizadas tanto técnicas usualmente empregadas no processamento de imagens multiespectrais, como também técnicas especificamente desenvolvidas para o processamento de imagens hiperespectrais. Segundo aqueles autores, os resultados foram bastante satisfatórios, demonstrando os benefícios que a recente disponibilização de imagens orbitais multiespectrais de melhor resolução espectral pode trazer para atividades de exploração mineral.

Avaliando essas considerações, desenvolvemos a caracterização espectral das principais rochas que caracterizam essa região, como o Basalto, a Malaquita e o Biju (rocha arenítica local). Com o emprego de técnicas de processamento de imagem foi possível, a partir de dados ASTER, localizar alvos de afloramento dessas rochas, mostrando-se como um importante meio de apoio ao estudo geológico.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste desenvolvimento utilizamos dados cartográficos, geológicos, imagens de satélite do sensor ASTER e dados espectrorradiométricos de laboratório para constituir as informações fundamentais para esta investigação. Os dados cartográficos foram extraídos da carta topográfica da região, na escala 1:100.000 e na projeção UTM. As imagens obtidas do sensor ASTER compreenderam as bandas um a três do Visible and Near-infrared (VNIR – 400 a 1000 nm) e as bandas quatro a nove do Shortwave Infrared (SWIR – 1000 a 2500nm). Para elaboração das assinaturas espectrais das rochas da região de interesse, utilizou-se o espectrômetro GER-2100, fornecido em parceria pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e utilizado em laboratório para a aquisição de dados espectrais a partir de amostras coletadas em campo.

O sensor opera na região do espectro eletromagnético de 400 a 2500 nm e adquire dados em intervalos espectrais de 2 nm. Nessa faixa de comprimento de onda, minerais que contêm, por exemplo, hidroxila (OH) e carbonato (CO₃⁻), entre outros, podem apresentar curvas de refletância com bandas de absorção em comprimentos de onda específicos que favorece sua detecção espectral.

O instrumento não necessita de iluminação solar, pois utiliza uma fonte de iluminação independente. Para a calibração das medidas é utilizado um padrão de

referência interno composto de uma placa de spectralon®. O instrumento gerou curvas espectrais de refletância que foram armazenadas como arquivos individuais.

Nas etapas de pré-processamento, processamento e análise digital dos dados foram utilizados os aplicativos The ENvironment for Visualizing Images (ENVI®) e seu pacote de correção atmosférica FAASH. O ENVI® foi utilizado no pré-processamento e processamento dos dados do sensor ASTER, bem como para a geração das curvas de assinatura espectral e imagens temáticas classificadas, buscando um teste-piloto para aplicação desses dados.

O aplicativo FAASH foi empregado também durante o pré-processamento dos dados para a correção das influências atmosféricas sobre a imagem. Já o software MATLAB® foi empregado como suporte para a programação de transformações sobre os dados-imagem, visando extrair os “endmembers” característicos de cada elemento da cena (descritores espectrais de um certo alvo de interesse). O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, a saber:

1) Aquisição de dados espectrais e análises radiométricas sobre as amostras de rochas coletadas em campo: Esta aquisição de dados foi realizada a partir do espectraloradiômetro anteriormente descrito, com uma cobertura de 400nm à 2500nm em intervalos de aquisição de 2nm de largura. Já a análise radiométrica das amostras foi feita em base à literatura estabelecida, em especial as análises descritas por Hunt (1971) e Crosta (2002), onde se busca avaliar regiões de absorção nos espectros de reflectância e correlacionar estas absorções a feições previamente estudadas. Segundo este método, buscamos conhecer o comportamento espectral dos possíveis componentes da amostra e, identificando estas características no espectro da própria amostra, caracterizá-la.

2) Reamostragem: A reamostragem das curvas de comportamento espectral para que estas curvas fossem representadas com a mesma resolução do dado-imagem ASTER (com nove valores centrados nos pontos centrais das nove primeiras bandas do sensor ASTER), foi realizada empregando algoritmos de cluster de dados com implementação através dos interpoladores “vizinho mais próximo” e “média ponderada”, tornando cada uma das assinaturas espectrais obtidas das amostras características coletada em campo um novo conjunto de nove valores correspondentes às bandas do ASTER;

3) Pré-processamento digital dos dados ASTER e de reflectância: A correção radiométrica das imagens adquiridas a partir do sensor ASTER foi efetuada a partir do modelo FAASH (RSI, 2013), pertencente ao Software ENVI®. A correção radiométrica foi efetuada a fim de subtrair os efeitos atmosféricos presentes em imagens orbitais e, assim, tornar possível a transformação dos valores atuais de contadores digitais para valores de reflectância para cada pixel.

4) Processamento digital dos dados ASTER: Para este estudo foram implementadas duas técnicas de classificação espectral sobre a imagem ASTER, sendo a primeira delas a técnica de Decomposição de Curvas por meio da Derivada Primeira (DCDP). A técnica DCDP seguiu os passos seqüenciais descritos no Quadro 01. A imagem processada constituiu de uma sub-cena, compreendendo a sede do município de Ametista do Sul e suas adjacência, perfazendo as áreas constituintes dos pontos de apoio de campo onde foram coletadas as amostras para radiometria.

Processos	
1	Leitura da imagem de entrada para processamento (já corrigida radiometricamente)
2	Leitura dos espectros de referencia (formato xls)
3	Aplicação da reamostragem de espectros: redução para resolução semelhante a da imagem
4	Aplicação da derivada primeira sobre o espectro de referencia (criação do vetor-derivada de referencia)
5	Aplicação da derivada primeira sobre cada elemento da imagem (criação do vetor-derivada para cada pixel)
6	Classificação da imagem coma aplicação a análise de similaridade estatística entre o vetor referencia e o vetor de cada pixel
7	Criação da imagem classificada exibindo a probabilidade de um pixel conter o elemento referencia

Quadro 01: Passos metodológicos do DCDP.

Fonte: Adaptado de Curran, 1994.

A técnica empregada pode ser cuidadosamente avaliada e implementada a partir da bibliografia correspondente, publicada por Curran (1994) onde se expressam detalhadamente os passos para o método DCDP.

5) Análise e interpretação dos produtos gerados: Como análise e interpretação dos dados espectrais gerados, buscou-se avaliar as feições presentes às curvas espectrais segundo àquelas descritas por Hunt (1971), identificando presença de elementos químicos relevantes bem como a indicação da composição mineral com a presença de água. Já para a verificação da aplicabilidade destes dados como fonte de identificação da presença destes minerais em dados-imagens do sensor ASTER, foram utilizados pontos de controle coletados in loco para verificação dos resultados da DCDP. Finalmente, foi feita uma análise da acurácia deste produto-piloto através de áreas mapeadas em campo, a fim de determinar a confiança de tal método para os dados obtidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das amostras coletadas em campo, obteve-se a assinatura espectral para as diferentes rochas presentes na região estudada. Com essas assinaturas, foi buscada a formatação de um banco de dados espectrais dessas rochas, contendo características de composição química, localização preliminar, forma de apresentação, cor predominante, entre outras. Posteriormente, como aplicação para esse compêndio de informações, executou-se a classificação de uma imagem da região através da DCDP, como é descrito anteriormente.

Por consolidação em diversas pesquisas, sabe-se que curvas de refletância podem fornecer evidências da composição físico-química e mineralógica de rochas, por exemplo (SWAIN & DAVIS, 1978). Segundo Formaggio et al. (1996), ainda é pequena a disponibilidade de estudos espectrais sobre as rochas que compõem a mineralogia brasileira, apesar do potencial diagnóstico que essas curvas apresentam.

3.1 As assinaturas Espectrais

Variações características na refletância para as faixas do visível e do infravermelho próximo mostram que as bandas de absorção bem como determinadas declividades das curvas espectrais estão entre as feições mais informativas e são causadas por processos vibracionais e eletrônicos devidos à interação entre a radiação eletromagnética e as partículas da rocha (HUNT e SALISBURY, 1970). A Figura 02 ilustra as refletâncias bidirecionais de amostras dos principais componentes encontrados nos afloramentos rochosos estudados, como o basalto (constituintes de rejeito de garimpos de pedra ametista).

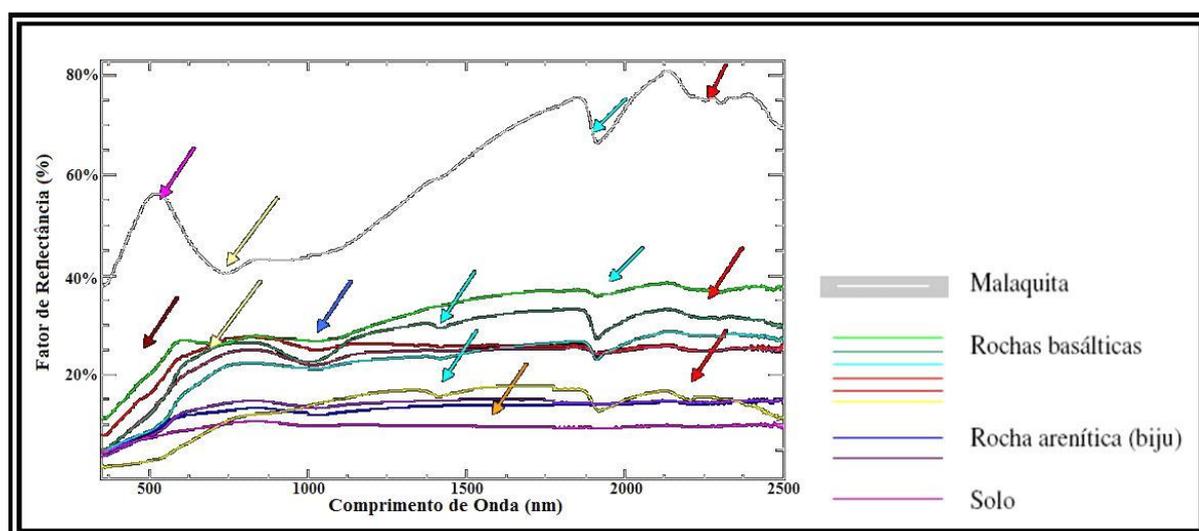


Figura 02 – Assinaturas espectrais das amostras coletadas em campo.

Analisando as curvas de assinatura espectral produzidas, expostas anteriormente, como primeira feição espectral evidencia-se a baixa refletividade das amostras de solo, tanto para a faixa do visível quanto do infravermelho, a qual se atribui às altas

concentrações de magnetita (HUNT et al, 1971) que se caracteriza por ser um mineral de alta opacidade e sem presença de feições de absorção (HUNT et al., 1971), o que pode ser observado na Figura 03 (seta em laranja).

O conteúdo de matéria orgânica também mostra forte influência na resposta espectral, principalmente de solos (Montgomery, 1976); a concentração de matéria orgânica e a refletância mostram-se inversamente proporcionais, observando-se que para um aumento no conteúdo de matéria orgânica, vê-se uma queda na refletância para o intervalo de 600 nm a 1100 nm (seta em amarelo).

A forma iônica do átomo de ferro (Fe^{3+} , ferro trivalente) provoca fortes absorções para a faixa espectral no entorno de 550 nm e para comprimentos de onda menores (seta em vermelho-escuro) (HUNT et al., 1971). As bandas de absorção desta forma do átomo de ferro se dão devido a transferências de carga metal ligante ($Fe^{3+} \Rightarrow O_2^{2+}$), centralizada à região do ultravioleta e estendendo-se até a faixa do visível (HUNT et al, 1971).

Também se mostram marcantes as feições referentes à presença de água, localizadas em 1450 nm e 1950 nm, mesmo estando as amostras, no momento da radiometria de seus espectros, moídas e secas (HUNT et al., 1971). Essa presença pode ser observada na Figura 03 nas setas na cor turquesa. As intensas bandas de absorção da água, centradas em 1450 nm e 1950 nm, foram observadas por Hunt & Salisbury (1970), sendo estas atribuídas à água confinada, típica das montmorilonitas.

A faixa de absorção centrada no entorno de 900 nm é atribuída à presença de óxidos de ferro (HUNT et al, 1971) (seta em azul). Atribui-se à caulinita a banda de absorção centrada no entorno de 2200 nm (setas em vermelho). Já o espectro de refletância obtido para a malaquita (óxido de cobre) além de apresentar as faixas de absorção referentes aos componentes citados (água, ferro, óxidos de ferro), mostra um pico de refletância significativo para a faixa do visível, centrado para o comprimento de onda verde. Isso se explica por sua coloração característica em tom verde-claro.

A partir destes espectros característicos, foi buscada a formatação de um banco de dados espectrais dessas rochas, contendo características de composição química, localização preliminar, forma de apresentação, cor predominante, entre outros.

3.2 Classificação de imagens ASTER

A classificação da imagem ASTER local, composta pelas nove primeiras bandas do sensor, a partir das assinaturas espectrais das amostras coletadas em campo. As imagens ilustrando a classificação através do emprego da técnica proposta neste trabalho (DCDP) podem ser vistas em seqüência. A linha em vermelho-escuro representa o limite do município de Ametista do Sul.

A Figura 03 representa a sobreposição da classificação via DCDP com a imagem ASTER original. As zonas de maior coincidência entre o vetor referencia e o vetor de cada pixel representam-se como áreas de maior probabilidade de presença do alvo

de referência. A exemplo, zonas com coincidência entre as inflexões das derivadas do vetor de referencia e o vetor de um pixels acima de 90% determina este pixel como um elemento com 90% ou mais de probabilidade de pertencer a classe correspondente a o vetor de referência.

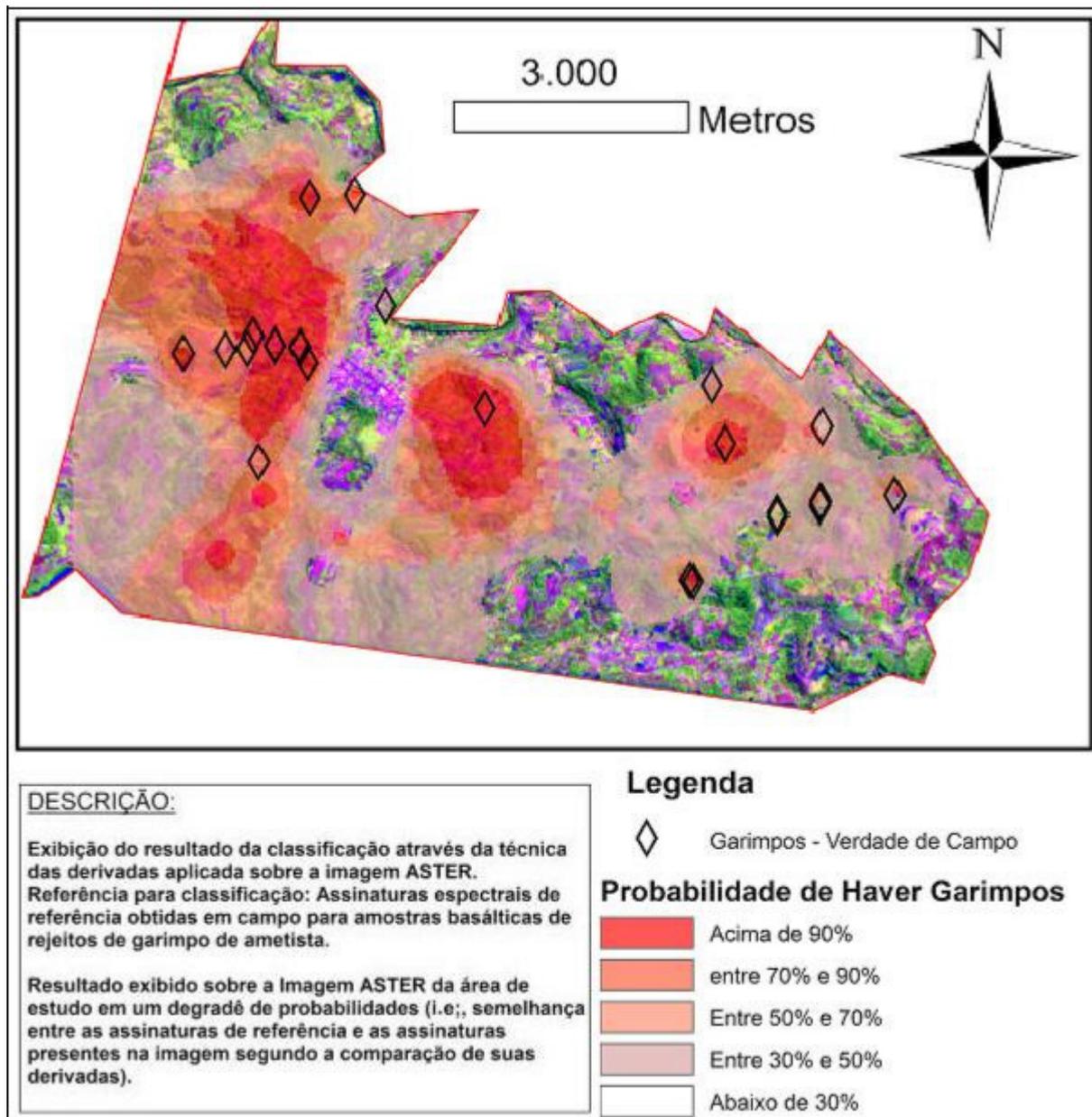


Figura 03 – Imagens representativas da classificação realizada a partir das assinaturas espectrais.

A classificação a imagem ASTER pelo método DCDP permitiu inferir as probabilidades de um pixel em questão fazer parte da classe garimpo. Esta análise, em comparação aos pontos de localização de garimpos, observados em campo, exibiu uma coincidência estatística de 85%, aproximadamente. Dos 46 pontos de garimpo observados em campo, 39 pontos acabaram representados em zonas com valores de 90% ou mais de probabilidade de coincidência entre o vetor de referencia e o vetor local, obtido através da análise DCDP.

Segundo Curran (1994) a análise comparativa entre espectros tomados a distintas

iluminações, mas de alvos semelhantes melhor representado através da análise da derivada dos espectros do que pelos espectros diretamente. Isto se explica pelo fato de que a intensidade de um espectro é uma função da iluminação e das condições de coleta, enquanto as derivadas dos espectros (inflexões) tem a tendência de se manterem semelhantes, mesmo sob condições distintas.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no trabalho apontam o uso concomitante de imagens ASTER e da técnica DCDP como uma forma robusta de mapeamento de garimpos de ametista, apresentando valores expressivos de aproximadamente 85% de acerto para área analisada. Considerando as características estruturais das rochas abordadas neste trabalho, ficou evidente a possibilidade da caracterização espectral das mesmas e o posterior emprego dessa caracterização para classificação de imagens orbitais ASTER como forma de apoio ao trabalho geológico de campo.

Resultados diferenciados devem ser esperados quando consideramos a dinâmica da refletância de rochas com cobertura vegetal pronunciada, devido a influência da vegetação e problemas como o sombreamento diferenciado em função da variação do ângulo de incidência solar, como por exemplo, a determinação do grau de pureza dos pixels classificados na imagem, tentando evitar conflitos de classificação como a sobreposição rocha/sombras e os falso-positivos na classificação. Para tanto sugere-se como alternativa de refinamento à técnica DCDP, a aplicação da técnica DCDP sobre imagens-fração em uma análise sub-pixel.

Os resultados alcançados através da biblioteca espectral desenvolvida neste trabalho são bastante expressivos, visto que esta abrange uma relevante base temática para a região de interesse. Com as informações contidas na biblioteca espectral espera-se auxiliar pesquisas que busquem melhor compreender o comportamento espectral de determinados alvos rochosos em conjunto com a sua composição físico-química, além de viabilizar a consolidação de técnicas de emprego da caracterização espectral e do sensoriamento remoto junto à geologia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I.; BINS, L.S. Application of image merging, segmentation and region-classification techniques as a new approach for the detailed thematic mapping of soil-vegetation assemblages. *Revista Brasileira de Geociências*, v.27, n.2, p.207-210, 1997.

ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I.; CORREIA, V.R.M. Use of landsat thematic mapper imagery as mineral prospecting tool in the Tin Province of Goiás, Brazil. *Geocarto International*, v.11, n.1, p.61-69, 1996.

AMOS, B. J.; GREENBAUM, D. Alteration detection using TM imagery, the effect of supergene weathering in an arid climate. *International Journal of Remote Sensing*, v.10, n.3, p.515-527, 1989.

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 3 ed. Campinas, SP. 1992. 170p.

CROSTA, A.P.; SOUZA FILHO, C.R.; AZEVEDO, F. Caracterizando halos de alteração hidrotermal em depósitos auríferos epitermais com os sensores multiespectrais orbitais LANDSAT/TM e ASTER: o caso do Distrito de Los Menucos, Argentina. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41., João Pessoa, 2002. Anais. João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002

CRÓSTA, A.P.; SOUZA FILHO, C.R.; AZEVEDO, F.; BRODIE, C. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24 (21), p.4233–4240, 2003.

CURRAN, P.J. 1994. Imaging spectrometry - its present and future role in ENVI®ronmental resarch. p.1-23. In J. Hill and J. Megier (ed.) *Imaging spectrometry - a tool for ENVI®ronmental observations*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

EMRAN, A.; HAKDAOUI, M.; CHOROWICZ, J. Anomalies on geologic maps from multispectral and textural classification: the Bleida Mining District (Morocco). *Remote Sensing of ENVI®ronment*, v.57, n.1, p.13-21, 1996.

ENVI®: Guia do usuário. Disponível no sitio eletrônico "<http://www.sulsoft.com.br/index.php/downloads/>.

Acessado em 29/02/2013.

FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento Espectral (450-2450 nm) de Solos Tropicais de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20: 467-474. 1996.

FLAASH "User's Guide". Disponível no site: <http://www.rsinc.com/ENVI®/>, acesso agosto de 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E – Processamento de Imagens Digitais. 3ª ed. Pearson, SP. (2009).

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: Silicate Minerals.

Modern Geology, 1: 283-300. 1970.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks:

III. Oxides and Hidroxides. *Modern Geology*, 2: 195- 205. 1977

LULLA, K. Some observations on geobotanical remote sensing and mineral prospecting. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.11, n.1, p.17-39, Jul. 1985.

MOREIRA, A. D. A. Identificação de Conflito no Uso da terra em uma Microbacia Hidrográfica. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa, MG: UFV, 1999. 61p.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 1 ed. São José dos Campos, SP. 2001. 250p.

RICHARDS, J.A.. Remote sensing digital image analysis – an introduction. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, 1993.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. Remote Sensing: The Quantitative Approach. 1.ed. McGraw-Hill Book Company, 1978.

VAN DER MEER, F. Can we map swelling clays with remote sensing? International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.1, n.1, p.27-35, 1999

WHITE, K.; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper data. Remote Sensing of Environment, v.62, n.1, p.30-39, 1997

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais-CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482