



*Processamento Digital de Imagens
de Sensoriamento Remoto*

ALVARO P. CRÓSTA



PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

(edição revisada)

Alvaro Penteado Crósta

**Instituto de Geociências
Departamento de Metalogênese e Geoquímica**

4ª Reimpressão 2002

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central - UNICAMP

Crósta, Alvaro Penteado

C884p Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto / Alvaro Penteado Crósta. - ed. rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, © 1992.

170p.

1. Sensoriamento Remoto. 2.
Proces-samento de imagens-Técnicas digitais. 1.
Título.

20. CDD - 621.367 8
621.381 958

ISBN 85 853 690 27

Índices para catálogo sistemático:

1. Sensoriamento remoto 621.367 8
2. Processamento de imagens - Técnicas digitais 621.381 958

Capa: Imagem LANDSAT Thematic Mapper da órbita 218, ponto 75 (região da Represa de Furnas, MG), Banda 4, processada para realce direcional de estruturas de direção noroeste, através de filtro de convolução do tipo "compass" ou de Prewitt.

ISBN 85-85369-02-7

*À Vera, por seu entusiasmado apoio e
constante companheirismo.*

*Ao Guilherme, como uma pequena compensação pelo tempo que deixamos
de passar juntos durante a preparação deste livro.*

*A Alvaro e Elcia, por toda uma
vida de estímulo.*

ÍNDICE

	Página
Prefácio	08
Apresentação	09
1. Introdução	13
2. Características das imagens de sensoriamento remoto	17
2.1 Estrutura das imagens de sensoriamento remoto	19
2.2 Resolução das imagens de sensoriamento remoto	21
3. O histograma de uma imagem	25
3.1 Histograma uni-dimensional	27
3.2 Histograma cumulativo	30
3.3 Histogramas multi-dimensionais	31
4. Aumento de contraste	35
4.1 Introdução	37
4.2 A função de transferência de contraste	39
4.3 Aumento linear de contraste	41
4.4 Aumento bilinear de contraste	44
4.5 Aumentos não-lineares de contraste	46
4.6 Aumento "quase-linear" de contraste	50
4.7 Conclusões	51
5. A cor no processamento digital de imagens	53
5.1 Introdução	55
5.2 A teoria básica das cores: o espaço RGB	56
5.3 As cores e o sistema visual humano	58
5.4 Composições coloridas	59
5.5 Aumento de contraste em composições coloridas	61
5.6 A correlação espectral e suas consequências na composição colorida	62
5.7 A transformação HSI	62
5.8 Pseudo-cor	66
6. Filtragem de frequências espaciais	69
6.1 Introdução	71
6.2 Filtragem com a janela móvel	73
6.3 Filtros passa-baixas ou de suavização	75
6.3.1 Filtro de Média	75
6.3.2 Filtro de Média Ponderada	76
6.3.3 Filtro de Moda	77
6.3.4 Filtro de Mediana	77
6.4 Filtros passa-altas ou de realce de bordas	77

6.4.1 Filtros Laplacianos	78
6.4.2 Filtros Laplacianos+Original	78
6.5 Filtros direcionais	78
6.6 Remoção de ruído por convolução	80
7. Operações aritméticas em imagens	81
7.1 Introdução	83
7.2 Adição de imagens	84
7.3 Subtração de imagens	85
7.4 Multiplicação de imagens	87
7.5 Divisão de imagens (razão de bandas)	88
8. Classificação	95
8.1 Introdução	97
8.2 O espaço de atributos	97
8.3 Conceitos básicos de classificação multiespectral	101
8.4 Fatiamento de níveis	102
8.5 Classificação supervisionada	104
8.5.1 Método do paralelepípedo	105
8.5.2 Método da distância mínima	107
8.5.3 Método da máxima verossimilhança (MaxVer)	109
8.6 Classificação não-supervisionada	114
8.7 Homogeneização de temas em imagens classificadas	119
9. Análise por Principais Componentes	123
9.1 Introdução	125
9.2 Correlação de imagens	126
9.3 Variância e covariância de imagens	129
9.4 A transformação por principais componentes	131
9.5 Aumento de contraste e composições coloridas de principais componentes	133
9.6 Interpretação de imagens Pcs	134
9.7 Modificações da Análise por Principais Componentes	136
9.7.1 Análise Canônica	136
9.7.2 Realce por decorrelação	137
10. Correção Geométrica e Registro de Imagens	139
10.1 Introdução	141
10.2 Fontes de distorção em imagens orbitais	142
10.3 Correção geométrica	143
10.3.1 Transformação baseada no modelo de geometria orbital	143
10.3.2 Transformação baseada em pontos de controle no terreno	144
10.4 Re-amostragem por interpolação	145
10.5 Registro de imagens	148
Referências	151

PREFÁCIO

O autor deste livro, Prof. Alvaro Penteado Crósta, formou-se em Geologia pela Universidade de São Paulo, em 1977, fazendo logo a seguir seu mestrado em sensoriamento remoto no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Mestre em 1982, trabalhou na iniciativa privada, retornando em seguida à academia, tendo se transferido em 1984 para o Instituto de Geociências da UNICAMP, então em fase de implantação. Fiel à sua linha de pesquisa preferida, fez seu doutorado em Sensoriamento Remoto no *Centre for Remote Sensing* do *Imperial College*, Universidade de Londres, obtendo o título no início de 1990. Em sua tese, estudando uma área brasileira, mais precisamente mineira, desenvolveu com sucesso uma abordagem metodológica própria, trazendo em sua bagagem de volta ao Brasil um notável conhecimento de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.

A formação inicial do autor em sensoriamento remoto deu-se ainda no período heróico dessa técnica, ao menos no Brasil. Os mestres, muito poucos, eram autodidatas. O laboratório de processamento, o único no país. Hoje, Alvaro tem em suas mãos na UNICAMP um poderoso sistema de processamento de imagens e pode dar vazão à sua vontade de pesquisar e ensinar: os tempos já não são tão heróicos e o mestre - ele - já não é autodidata, mas dono de uma sólida formação. E capaz de dominar uma linguagem que permitiu a elaboração deste livro, de leitura fácil mas rigoroso na conceituação. Em suma, um livro que permitirá aos jovens estudantes e pesquisadores um rápido avanço no processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.

Ao leitor, boa sorte em suas pesquisas e aplicações. E também um alerta. O fato de poderem começar mais à frente não implica em objetivo alcançado. Ao contrário, espera-se que avancem mais, muito mais, na evolução do conhecimento.

São Paulo, Maio de 1992.

Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida
Instituto de Geociências - USP

APRESENTAÇÃO

Imagens de sensoriamento remoto vêm se tornando cada vez mais parte do nosso dia-a-dia. A previsão meteorológica é ilustrada nos jornais e na televisão por imagens de satélites meteorológicos, regiões de conflitos internacionais são mostradas na mídia através de imagens obtidas do espaço, da mesma forma que imagens de satélite passam cada vez mais a ilustrar livros, catálogos, calendários, posters e muitas outras formas de comunicação visual.

Do ponto de vista técnico-científico, imagens de sensoriamento remoto vem servindo de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros. Acima de tudo, as imagens de sensoriamento remoto passaram a representar uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam. Neste momento em que a humanidade começa a encarar seriamente a necessidade de monitorar as mudanças globais que vem ocorrendo na superfície do planeta, o sensoriamento remoto aparece como uma das ferramentas estratégicas para o futuro.

Por isso, um número progressivo de países e consórcios internacionais vem se envolvendo em programas espaciais voltados ao lançamento e operação de satélites de levantamento e monitoramento de recursos naturais, incluindo o Brasil, e para o desenvolvimento de sofisticados sistemas sensores aeroportados. Ao mesmo tempo, os sensores aperfeiçoam-se rapidamente, no sentido de atender a demandas mais sofisticadas, por maiores resoluções dos dados gerados. Uma das primeiras consequências disto é o aumento brutal na quantidade de dados sendo gerados continuamente, dados esses quase sempre representados por imagens digitais.

Todo esse avanço ficaria sem sentido se não ocorresse simultaneamente a contrapartida em relação às técnicas de processamento das informações contidas nas imagens de sensoriamento remoto. A necessidade de processamento advém do fato da imagem conter uma quantidade muito maior de informações do que a que o olho humano conseguiria perceber. Faz-se necessário portanto torná-la mais visível, ou representá-la de uma forma pela qual ela possa ser percebida. Justamente aí se coloca o papel fundamental do processamento de imagens, no sentido de traduzir essa informação para o intérprete, extraíndo dela apenas a parte essencial aos fins determinados.

Tendo se iniciado através da manipulação de fotos aéreas, obtidas por balões ao final do século passado, as técnicas de processamento evoluíram velozmente em tempos mais recentes, através de sua migração para sistemas de computação digital. Os anos 80 trouxeram a explosão tecnológica dos processadores digitais e uma queda acentuada nos custos envolvidos. Esse fatores causaram fortes reflexos na computação gráfica, na qual se baseia o processamento digital de imagens. Em consequência, os sistemas especializados no processamento de imagens de sensoriamento remoto ficaram ao alcance de uma comunidade muito maior de usuários, sendo comum encontrá-los hoje nas universidades, instituições

públicas, empresas e até mesmo escolas.

O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens.

O texto que se segue foi elaborado como um roteiro de curso de pós-graduação, ministrado pela primeira vez pelo autor em 1991 no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas e na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Seu principal objetivo é o de suprir parcialmente a carência de literatura em português, voltada especificamente para o usuário de sensoriamento remoto, que deseja extrair o máximo possível da informação contida em imagens digitais.

Optou-se por abordar as principais técnicas de processamento digital de imagens sob o ponto de vista dos conceitos teóricos envolvidos e não dos conceitos matemáticos. Além disso, procurou-se tratar dos aspectos de aplicação dessas técnicas à solução de problemas comuns em processamento de imagens de sensoriamento remoto, buscando assim atingir a maior parte dos usuários dessa técnica.

Um texto sobre processamento de imagens de sensoriamento remoto deveria, idealmente, conter fartas ilustrações. Infelizmente, não é este o caso, principalmente devido aos altos custos envolvidos na reprodução de imagens coloridas. Em que pese essa grande limitação, espera-se que o texto consiga cumprir o seu objetivo maior, qual seja o de tornar claros os conceitos por trás das técnicas de processamento digital de imagens, levando a uma melhor compreensão de seus resultados.

A preparação deste livro foi motivada pelo entusiasmo de algumas pessoas e pelo apoio de instituições, aos quais são devidos agradecimentos. Dentre eles estão:

- os alunos e colegas dos cursos de Mestrado em Geociências do Instituto de Geociências da UNICAMP e de Pós-Graduação em Geoprocessamento da Escola Politécnica da USP, turmas de 1991, pela sua colaboração;
- Prof. Dr. Teodoro I. Ribeiro de Almeida, do IG-USP, pela leitura dos originais e sugestões;
- o Instituto de Geociências da UNICAMP, na pessoa de seu Diretor, Prof. Dr. Bernardino R. Figueiredo, por possibilitar a publicação deste livro;
- a Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas e auxílios concedidos, graças aos quais pode-se consolidar os conhecimentos de processamento digital de imagens.