

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas

2ª edição revista e atualizada

José Iguelmar Miranda

*Embrapa Informação Tecnológica
Brasília, DF
2010*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB) – Av. W3 Norte (final)
CEP 70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3448-4236
Fax: (61) 3448-2494
vendas@sct.embrapa.br
www.embrapa.br/liv

Embrapa Informática Agropecuária

Av. André Tosello, nº 209, Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
CEP 13083-886 Campinas, SP
Fone: (19) 3211-5700
Fax: (19) 3211-5754
sac@cnptia.embrapa.br
www.cnptia.embrapa.br

Coordenação editorial: *Fernando do Amaral Pereira, Mayara Rosa Carneiro e Lucilene Maria de Andrade*

Supervisão editorial: *Juliana Meireles Fortaleza*

Revisão e reestruturação de índice e bibliografia: *Cecília Maria MacDowell*

Projeto gráfico, revisão de texto e tratamentos de fotos: *Editora Perffil*

Editoração eletrônica: *Júlio César da Silva Delfino*

1ª edição

1ª impressão (2005): 1.000 exemplares

2ª edição

1ª impressão (2010): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Informação Tecnológica

Miranda, José Iguelmar.

Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas / José Iguelmar Miranda. –
2. ed. rev. atual. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2010.
425 p.

ISBN 978-85-7383-481-9

1. Análise de dados. 2. Cartografia. 3. Ciência da informação. 4. Geografia. I. Embrapa
Informática Agropecuária. II. Título.

CDD 658.05

© Embrapa 2010

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos que trabalharam na revisão de textos,
confeção de figuras, editoração e publicação do livro.

À Embrapa, que tem investido na minha formação profissional
e oferecido condições de trabalho para a realização desta obra.

A todos, meu muito obrigado.

APRESENTAÇÃO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possuem amplo espectro de aplicação. Em um cenário de preocupação crescente com o ambiente em que se analisa o impacto das ações humanas, temas como mudanças climáticas, desertificação, monitoramento de espécies vegetais e animais, e contaminação de aquíferos e de solos são parte integrante da agenda social. Além disso, os SIGs são aplicados na Saúde, no monitoramento da dispersão de doenças e no planejamento da instalação de novos postos de atendimento; em Demografia, no estudo de dinâmica de populações; e em muitas outras áreas.

Os SIGs, por sua própria característica de manipulação da informação visual, são essenciais tanto no mapeamento e monitoramento do ambiente quanto no planejamento de respostas apropriadas, pois coletam, armazenam e processam a informação referenciada geograficamente e auxiliam na sua análise.

Nos 11 capítulos deste livro, o autor apresenta de forma didática a evolução dos SIGs, contribuindo para o seu entendimento e uso potencial, de maneira que todos os profissionais que trabalham com algum tipo de informação espacial possam tirar proveito dele. Nesta segunda edição, os avanços recentes na disponibilização e manipulação de informações via Web são revisitados para que o leitor tenha em mãos um instrumento atual e de grande utilidade prática.

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Chefe-Geral da Embrapa Informática Agropecuária

PREFÁCIO

Atualmente é indiscutível a importância dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para auxiliar na compreensão e gestão do espaço terrestre. Mais do que armazenar, recuperar, visualizar e imprimir dados espaciais num sistema de projeção geográfica, o SIG tem a capacidade de efetuar análise e modelagem espacial. Essas características fazem com que, mais do que uma tecnologia, os SIGs possam ser considerados como uma ciência de informação espacial.

Pode-se dizer que a disseminação, popularização e evolução dos SIGs se confundem com a própria evolução dos microcomputadores, mas mais precisamente isso ocorreu no Brasil a partir dos anos 1990. O que era inimaginável realizar-se 20 anos atrás hoje se tornou corriqueiro nas instituições de ensino, pesquisa, gerenciamento e gestão. Acrescenta-se ainda a grande utilização pelas empresas de telecomunicações, eletricidade, água, esgoto e concessionárias de estradas, que se apropriaram desse conhecimento e que hoje é indispensável para o planejamento de suas atividades.

Em vista do seu caráter multidisciplinar, os SIGs podem ser utilizados amplamente por pessoas de diversas formações para diversas finalidades, cujas aplicações variam das mais simples, como construir o perímetro de uma propriedade, analisar sobreposição de mapas e encontrar o melhor caminho entre dois pontos, até análises mais complexas, como construção de cenários – extremamente importantes na área de planejamento.

Num sistema composto de máquinas, softwares e pessoal, este último – que considero a peça mais fundamental do sistema – com certeza será o maior beneficiário deste livro, agora em sua segunda edição. Escrito de forma clara e com ótimos exemplos ilustrativos, pode ser utilizado tanto por iniciantes como por pessoas mais experientes no uso dos SIGs. Um livro dessa natureza, além de disseminar e facilitar o conhecimento, traduz o esmero do colega José Iguelmar Miranda, que soube colocar à disposição da comunidade acadêmica a sua experiência acumulada ao longo de uma vida dedicada à pesquisa.

João dos Santos Vila da Silva
Pesquisador
Embrapa Informática Agropecuária

PREFÁCIO À PRIMEIRA EDIÇÃO

A tecnologia de sistemas de informação geográfica está tendo um crescimento substancial no Brasil. De um tema restrito ao meio acadêmico e a alguns órgãos públicos no início dos anos 90, as geotecnologias representam hoje um segmento destacado das aplicações da informática no Brasil, cujos clientes incluem concessionárias de serviços de redes de telefonia, água e energia, prefeituras, empresas e instituições da área ambiental, estudos censitários e de políticas públicas. Além disso, registra-se a sua presença em setores de pesquisa acadêmica em Saúde, Ciências da Terra, Transporte, Ecologia, Demografia, Economia, Informática e Geografia.

Com um público-alvo tão heterogêneo, escrever um livro introdutório sobre sistemas de informação geográfica é desafio substancial. A seleção dos temas a incluir (e a omitir) e da melhor forma de expor os argumentos requer grande sensibilidade e uma combinação do saber acadêmico com experiência em projetos reais. Este amálgama de competências está muito presente em José Iguelmar Miranda, cuja trajetória combina projetos de aplicação em diferentes centros da Embrapa, com um doutorado na Clark University, um dos mais destacados centros de pesquisa em geotecnologias do mundo.

Ao organizar este livro, o autor foi extremamente cuidadoso em apresentar, com didática exemplar, as diferentes partes constitutivas de um sistema de informação geográfica: estruturas de dados espaciais, equipamentos de entrada e saída, sistemas GPS, projeções cartográficas, interpolação e álgebra de mapas. Em cada tema, é palpável seu cuidado em dialogar com o leitor, respeitando sua perspectiva e buscando levá-lo até um nível de conhecimento em que possa compreender toda a riqueza e o potencial das geotecnologias.

As dimensões amazônicas do Brasil trazem um desafio extraordinário para a gestão de nosso território, que só será vencido se conseguirmos, coletivamente, apropriarmo-nos das geotecnologias mais recentes e colocá-las a serviço da sociedade brasileira. Desta forma, o lançamento de um livro em português sobre o tema, ainda mais escrito com honestidade, cuidado e conhecimento, é motivo de orgulho e satisfação para todos os que trabalham na área. Que o autor se encoraje a escrever outros livros, pois, em termos de conhecimento, mais é sempre melhor.

São José dos Campos
Gilberto Câmara

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	
O QUE É UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	19
1.1 Definindo um Sistema de Informações Geográficas	19
1.1.1 Introdução	19
1.1.2 Um breve histórico da evolução do SIG	19
1.1.3 Definições e controvérsias	23
1.1.4 O SIG como disciplina e seu potencial	28
1.2 Componentes Básicos do Sistema de Informação Geográfica	30
1.2.1 Componentes de informática	31
1.2.2 Módulos de programas de aplicação	32
1.2.3 Recursos humanos	38
CAPÍTULO 2	
EQUIPAMENTOS USADOS PARA ENTRADA E SAÍDA DE DADOS	43
2.1 Equipamentos de Entrada de Dados	43
2.1.1 Introdução	43
2.1.2 A mesa digitalizadora	44
2.1.3 Rastreadores óticos (<i>scanners</i>)	52
2.2 Equipamentos de Saída	61
2.2.1 Introdução	61
2.2.2 Monitores	62
2.2.3 Impressoras	65
2.2.4 Traçadores gráficos (<i>plotters</i>)	68
2.3 Como Montar um Ambiente SIG	71
2.3.1 Equipamentos e programas	71
2.3.2 Como montar a base de dados no ambiente SIG	73
CAPÍTULO 3	
SISTEMAS DE REFERÊNCIA	77
3.1 Introdução	77
3.2 Sistema de Coordenadas Planas	77
3.3 O Sistema de Referência Espacial de Latitude-Longitude	80

3.4	Sistemas de Projeções de Mapas	83
3.5	A Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)	90
3.6	Sistemas de Referência Específicos	95
3.7	Necessidades do SIG em Relação a um Sistema de Referência	97
3.8	Sistema de Posicionamento Global – <i>Global Positioning System</i> (GPS)	99
3.9	Uso de Escalas	105
3.10	O SIG e o Uso de Mapas	111
3.11	Um Modelo Conceitual de SIG	112
CAPÍTULO 4		
MODELOS DE DADOS		115
4.1	Introdução	115
4.2	Pontos, Linhas e Áreas	120
4.3	Modelos de Representação Espacial	124
4.3.1	Introdução	124
4.3.2	Modelo de dado matricial	124
4.3.3	Modelo vetorial	131
4.3.4	Comparando os modelos matricial e vetorial	138
CAPÍTULO 5		
ESTRUTURAS DE DADOS ESPACIAIS		143
5.1	Introdução	143
5.2	Estruturas de Dados para Modelos Matriciais	144
5.2.1	Introdução	144
5.2.2	Estruturas matriciais	145
5.3	Estruturas de Dados para Modelos Vetoriais	156
5.3.1	Introdução	156
5.3.2	Estrutura <i>spaghetti</i>	157
5.3.3	Estrutura topológica	162
5.4	Conversão entre os Modelos Matricial e Vetorial	167
5.5	Representação de Superfícies	169
5.5.1	Estrutura de grade regular	170
5.5.2	Estrutura vetorial	171

5.6 Qualidade de Dados e Erros	176
5.6.1 Erros que são independentes do processamento do SIG (erros extrínsecos)	180
5.6.2 Erros introduzidos no processamento de dados do SIG (erros intrínsecos)	181
5.6.3 Erros nos métodos usados para coletar dados (erros extrínsecos)	182
5.6.4 Exatidão e precisão	184

CAPÍTULO 6

FUNÇÕES FUNDAMENTAIS DE ANÁLISE

187

6.1 Introdução	187
6.2 Reclassificação	190
6.2.1 Reclassificação no ambiente matricial	190
6.2.2 Reclassificação no ambiente vetorial	193
6.3 Operações Pontuais	199
6.3.1 Introdução	199
6.3.2 A operação de sobreposição	200
6.4 Álgebra de Mapas e Modelagem Cartográfica	213
6.4.1 Tipos de modelos cartográficos	216
6.4.2 Modelagem indutiva e dedutiva	218
6.4.3 Fluxograma do modelo	218
6.4.4 Considerações sobre os modelos	221

CAPÍTULO 7

OPERAÇÕES DE VIZINHANÇA

225

7.1 Introdução	225
7.2 Operações Espaciais	225
7.3 Funções de Vizinhaça	229
7.3.1 Proximidade	229
7.3.2 Dilatação	234
7.3.3 Funções de espalhamento	240
7.3.4 Funções de visibilidade	245
7.3.5 Análise de rede	247
7.4 Filtros	252
7.4.1 Filtros de passa-baixa ou de suavização	257
7.4.2 Filtros de passa-alta para detecção de bordas	260
7.4.3 Filtros direcionais	263

CAPÍTULO 8	
INTERPOLAÇÃO	265
8.1 Estatística Clássica e Espacial	265
8.2 O que é Interpolação	265
8.3 Rede Amostral Densa e Esparsa	270
8.4 Superfícies Representadas	270
8.5 Coleta de Dados	271
8.6 Transformação Ponto — Área	273
8.7 Estimativa de Ponto	273
8.7.1 Polígonos	275
8.7.2 Triangulação	280
8.7.3 Média da amostra local	284
8.7.4 O método do inverso da distância	285
8.8 Método de Krige	287
8.9 Modelo Numérico de Terreno (MNT)	296
8.10 A Rede Triangular Irregular — <i>Triangulated Irregular Network</i> (TIN)	302
8.11 Vizinhança do Ponto Estimado	304
CAPÍTULO 9	
AVANÇOS NA ANÁLISE ESPACIAL	307
9.1 Introdução	307
9.2 Combinação Linear Ponderada	308
9.3 A Lógica Difusa	310
9.4 Análise Multicritério	316
9.5 Modelos de Probabilidade Bayesiana	325
9.5.1 Teoria Bayesiana	325
9.5.2 Pesos de evidência	337
9.5.3 Teoria de Dempster-Shafer	340
CAPÍTULO 10	
SAÍDAS	349
10.1 Introdução	349

10.2 Mapa Temático	349
10.3 Visualizando o Mapa Temático	350
10.4 Desenhando o Mapa Temático	354
10.5 Papel dos Símbolos no Mapa Temático	356
10.6 Princípios de Desenho Gráfico	360
CAPÍTULO 11	
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E A WEB	367
11.1 Introdução	367
11.2 Breve Histórico da Internet	369
11.3 Arquitetura da Aplicação	370
11.3.1 Definir o objetivo da página	371
11.3.2 Modelo do servidor de mapas	371
11.3.3 Interação com um banco de dados	379
11.4 Condições Atuais de Mapas na Web	381
11.5 Servidores de Mapas Disponíveis na Web	388
11.5.1 Servidores de mapas proprietários	388
11.5.2 <i>Thread</i> : comunicação cliente-servidor	389
11.5.3 Servidores de mapas livres	391
11.5.4 Visualizadores de mapas	399
11.5.5 Instalação do servidor de mapas	400
11.5.6 Mapas na Web: estáticos e dinâmicos	400
11.5.7 Mapas na Web: em busca de um padrão	401
11.6 Google Earth	403
11.6.1 Introdução	403
11.6.2 Keyhole Markup Language	403
11.6.3 Google Earth	405
11.7 Sig de Acesso Livre	406
11.7.1 Introdução	406
11.7.2 Software de código aberto	406
11.7.3 Bibliotecas compartilhadas em C	407
11.7.4 Aplicações em C	407
11.7.5 Bibliotecas compartilhadas em Java	408
11.7.6 Aplicações em Java	409

REFERÊNCIAS

411

ÍNDICE

421

CAPÍTULO 1 – O QUE É UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

1.1 Definindo um Sistema de Informações Geográficas

1.1.1 Introdução

O conceito de um sistema de informações geográficas (SIG) evoluiu nos últimos anos. Seu objetivo não mudou, mas, observando as definições a seguir, nota-se que o contexto da definição foi mudado à medida que o uso destes sistemas evoluiu abrangendo diferentes campos de pesquisa. Burrough (1986), como muitos outros naquela década, definia SIG como um sistema (automatizado) de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados cartográficos. Esta definição tem grande influência de uma linguagem comum, quase jargão, da área de computação. Isto pode levar o leitor a pensar que um SIG só passou a existir com o advento do computador.

Tais sistemas já existiam bem antes do aparecimento do computador e do conseqüente desenvolvimento de sistemas computacionais. Os SIGs evoluíram a partir de séculos de produções de mapas e da compilação de registros geográficos. Os romanos foram os primeiros a empregar o conceito de registro de propriedades, no *capitum registra* – registro da terra. E em muitos países o termo cadastro designa o registro de mapas e propriedades (BERNHARDSEN, 1999).

A evolução do conceito de SIG se relaciona com as diferentes áreas de pesquisa que contribuíram para o seu desenvolvimento como informática, que enfatiza a ferramenta banco de dados ou linguagem de programação; geografia, que o relacionam a mapas, e outros que ainda enfatizam aplicações como suporte à decisão. Nos próximos itens um breve histórico da evolução de SIG, suas definições e conseqüentes contradições e, por último, o surgimento do SIG como uma nova disciplina, vista como uma verdadeira ciência da informação, e seu potencial ainda não totalmente exaurido.

1.1.2 Um breve histórico da evolução do SIG

Na década de 80 houve um crescente interesse na manipulação da informação geográfica por computador. A informação geográfica se relaciona a locais específicos, possuindo um sistema de referência ou localização espacial através de um sistema de coordenadas. Este processo resultou no desenvolvimento e evolução de sistemas que ficaram conhecidos como SIG. Enfatiza-se que o uso das informações na forma digital (legível por computador) não representa fato novo, mas o uso do termo no dia-a-dia desenvolveu-se naquela década. O SIG não evoluiu de forma isolada, mas do esforço conjunto de outras tecnologias e áreas de aplicação. A tecnologia de SIG representa uma convergência entre diferentes disciplinas que têm a localização geográfica como seu objeto de estudo (MARTIN, 1996).