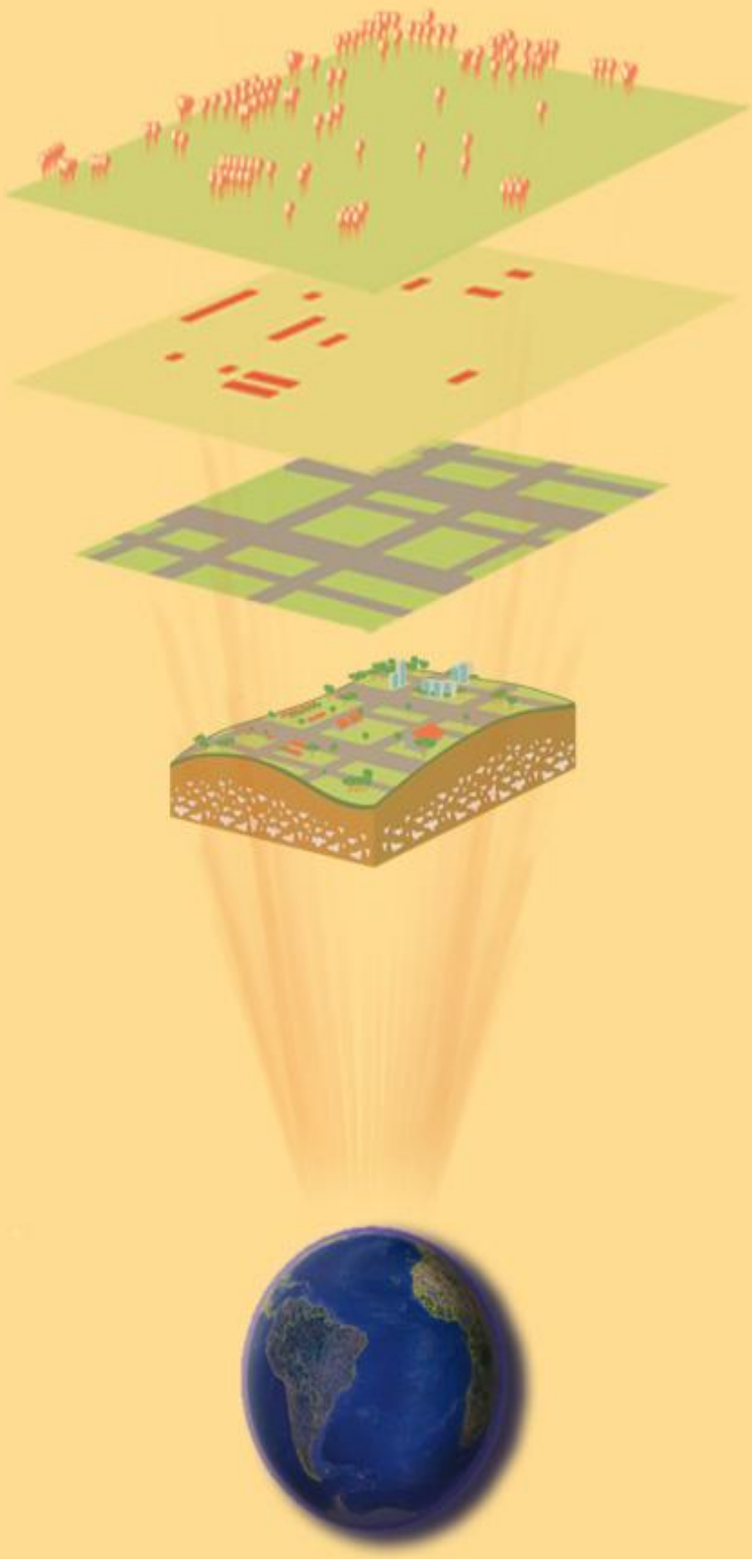
Ensino virtual de uso de geotecnologias para cursos de Graduação

Módulo IV – SIG – Sistemas de Informação Geográfica



SEaD/FURG - Edital 15

Conteúdo programático

4. Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica
  4.1. Introdução
    4.1.1. Definição de Geoprocessamento
      4.1.1.1. Sistemas de Geoprocessamento
      4.1.1.2. Definições de Sistemas de Informações Geográficas (SIG)
  4.2. Componentes de um SIG
  4.3. Dados Georreferenciados
    4.3.1. Estrutura de dados no SIG
      4.3.1.1. Dados espaciais
        4.3.1.1.1. Arquivo Raster (Matricial)
        4.3.1.1.2. Arquivo Vetorial
      4.3.1.2. Dados não espaciais
    4.3.2. Introdução de Dados em um SIG
      4.3.2.1. Digitalização
      4.3.2.2. Vetorização
  4.4. Processamento Digital de Imagens
    4.4.1. Pre-Processamento
      4.4.1.1. Correção Radiométrica
      4.4.1.2. Correção Atmosférica
      4.4.1.3. Correção Geométrica
    4.4.2. Realce de Imagens
      4.4.2.1. Ampliação de Contraste
      4.4.2.2. Composição Colorida
    4.4.3. Classificação de Imagens
      4.4.3.1. Classificação Supervisionada
      4.4.3.2. Distância Mínima
      4.4.3.3. Máxima Verossimilhança
      4.4.3.4. Classificação não Supervisionada
    4.4.4. Entrada e Integração de Dados
  4.5. Operações sobre Dados Geográficos
    4.5.1. Coleta, Entrada e Verificação
    4.5.2. Armazenamento e Georreferenciamento
    4.5.3. Processamento
    4.5.4. Visualização e Apresentação
  4.6. Introdução a Estatística Espacial
    4.6.1. Métodos de Interpolação

4.7. Interpretação Visual de Alvos
4.7.1. Princípios Gerais de Interpretação de Imagens
4.7.2. Propriedades Fundamentais de Imagens Fotográficas
4.7.3. Etapas da Interpretação Visual
4.7.4. Elementos de Interpretação ou Elementos de Reconhecimento
4.7.4.1. Tonalidade
4.7.4.2. Textura
4.7.4.3. Sombra
4.7.4.4. Tamanho
4.7.4.5. Forma
4.7.4.6. Padrão
4.8. Aplicações de SIG
4.8.1. Agricultura e planejamento do uso do solo
4.8.2. Silvicultura e gerenciamento da vida silvestre
4.8.3. Arqueologia
4.8.4. Geologia
4.8.5. Aplicações municipais
5. Bibliografia

4. INTRODUÇÃO AO SIG E GEOPROCESSAMENTO

4.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é comum empregar-se o termo informática, palavra formada a partir de “informação” e “automática”. Assim, a informática realiza o processamento automatizado da informação, através do uso de equipamentos computacionais, técnicas e procedimentos adequados a esse fim. Ao longo das últimas décadas, a informática tem evoluído conceitualmente e isso tem se refletido nas mais diversas ciências.

Os sistemas de informações geográficas fazem parte dessa evolução, surgiram há mais de três décadas, tornando-se ferramentas valiosas nas mais diversas áreas do conhecimento. Tais sistemas constituem um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganho adeptos no mundo todo. É interessante observar que o emprego do conceito de computação para o processamento de dados geográficos reporta-se ao século passado, quando Herman Hollerith, funcionário do *Bureau of census* americano, criou e empregou cartões perfurados e uma máquina tabuladora para agilizar as atividades relativas ao censo de 1890, tendo finalizado após três anos, um imenso avanço ao censo anterior (1880) que demorou 08 anos para ser completamente processado por vias convencionais.

Tremblay e Bunt (1983) comentam também que o Bureau of census inovou mais uma vez quando em 1951 instalou o primeiro UNIVAC I, um computador automático universal, o qual era o mais avançado de sua geração e que se tornou o primeiro a entrar em linha de produção. Entretanto, a comunidade científica ressentia-se com a falta de ferramentas matemáticas adequadas para descrever quantitativamente a variação espacial. Os primeiros desenvolvimentos apropriados em Matemática, segundo Burrough (1989), para lidar com problemas espaciais começaram por volta dos anos '30 e '40 do século passado, em paralelo com desenvolvimentos em métodos estatísticos e análise de séries temporais. O progresso prático efetivo foi completamente bloqueado pela ausência de ferramentas computacionais adequadas. Foi somente após 1960 que, com a disponibilidade do computador digital, floresceram tanto os métodos conceituais de análise espacial, quanto às reais possibilidades de mapeamento temático quantitativo e análise espacial, de acordo com Burrough (op.cit). A história relata diversas iniciativas efetivas no sentido de empregar a tecnologia computacional no processamento de dados espaciais.

Entretanto, o primeiro SIG que se tem notícia surgiu em 1964 no Canadá (*Canada Geographic Information System*) por iniciativa do Dr. Roger Tomlinson, que embora tenha construído os módulos básicos de *software*, impulsionando o desenvolvimento de *hardware* e elaborado uma complexa base de dados, só publicou seus trabalhos uma década depois. Na verdade, somente no final de 1970 é que a indústria dos SIGs começou a amadurecer, favorecendo inclusive, no início de 1980, o surgimento da versão comercial dos primeiros sistemas, que passaram a ter aceitação

mundial. Naquela ocasião, os Governos Federais, seja o americano, o canadense e alguns europeus (Suécia, Noruega, Dinamarca) apoiavam financeiramente iniciativas voltadas tanto à Cartografia Assistida por Computador (CAC), quanto aos SIGs. Foi naquele período que o USGS (*United States Geological Survey*) passou a tornar disponíveis ao público bases de dados digitais, tais como os modelos digitais de elevação ou DEMs (*Digital Elevation Models*).

Entre o final da década passada e o início da atual houve um crescimento acentuado das aplicações de SIGs, o que se deve, em parte, ao advento e à disseminação do microcomputador pessoal (*Personal Computers*), além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de *performance*, tais como as estações de trabalho (*Workstations*). Os desenvolvimentos técnicos etecnológicos entre 1985 e 1990 foram tão acentuados e rápidos, que se pode até mesmo afirmar que eles é que impulsionaram as aplicações, ou seja, exatamente o oposto do que ocorreu no início do processo em 1960, quando havia aplicações, mas não existiam recursos físicos, nem mesmo para digitalização ou plotagem automatizados.

Um dos grandes desafios atualmente é mais de natureza organizacional e política do que tecnológica, pois cabe à nossa geração avaliar a necessidade de implantação de SIGs, descobrir maneiras de enxertá-los nas organizações burocráticas, encontrar maneiras eficientes e seguras de gerenciar, além de compartilhar e atualizar os dados. Este é um dos problemas-chave que sempre deverão ser observados e monitorados: a questão do acesso aos dados, a responsabilidade de sua manutenção e até mesmo a preocupação intelectual. Se, com o passar do tempo, a informação passou a ser um bem de consumo ou mercadoria, ela pode ao mesmo tempo em que é vendida para o usuário, ser conservada pelo vendedor, que não necessariamente é seu produtor.

Em alguns países, e em especial na Inglaterra, além do serviço de venda de mapas analógicos aos usuários, surgiu outra alternativa: o arrendamento de dados através do estabelecimento de contratos, definindo inclusive a frequência com que as atualizações (*updates*) deve ser remetidas ao contratante.

Vale lembrar que com o surgimento dos Sistemas de Informação, associou-se à "informação" o conceito de valor adicional (*added value*), que é obtido ao se reunir de forma ordenada conjuntos de dados que previamente estavam não relacionadas, e cuja combinação pode ser usada a fim de se realizar tarefas adicionais.

As constantes alterações da paisagem, bem como as diferentes necessidades de informações da superfície requeridas por diversos usuários, conduzem à utilização de sistemas computadorizados que aperfeiçoam a produção e atualização de mapas. Desta forma, a moderna Cartografia vem se desenvolvendo para atender a tais demandas por meio da utilização da Computação Gráfica e da Multimídia. A Computação Gráfica permitiu a substituição de um produto cartográfico tradicionalmente elaborado - o mapa gráfico -, por um novo produto - o mapa digital -,

um conjunto de dados cartográficos armazenados em forma compatível com o computador e que pode ser apresentado na forma do tradicional mapa impresso bem como ser visível no monitor de um computador. A Cartografia envolve necessariamente multimeios e, portanto, a Multimídia mostra-se como uma alternativa viável e adequada para integrar os diversos e variados dados cartográficos e produtos de informação.

4.1.1. DEFINIÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO

O Geoprocessamento, de acordo com Rodrigues (1988), é tido como "a tecnologia de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento de sistemas que as utilizam".

4.1.1.1. SISTEMAS DE GEOPROCESSAMENTO

Rodrigues (1988) apresenta uma classificação dos Sistemas de Geoprocessamento em aplicativos, de informação e especialistas.

1) **Sistemas aplicativos:** conjuntos de programas que realizam operações associadas a atividades de projeto, análise, avaliação, planejamento, etc., em áreas tais como Transportes, Mineração, Hidrologia, Urbanismo; são sistemas voltados à representação de entes de expressão espacial e a realização de operações sobre estas representações; visam a realização de um largo espectro de tarefas e podem ser agrupados segundo classes de sistemas voltados à entrada de dados, à saída de dados e a realização de tarefas específicas; como por exemplo: projeto assistido por computador, mapeamento automatizado;

2) **Sistemas de informações:** SIG, *stricto sensu*, denota *software* que desempenha as funções de coleta, tratamento e apresentação de informações sobre entes de expressão espacial e sobre o contínuo espacial. SIG, *lato sensu*, denota o *software*; o *hardware*; os procedimentos de entrada e saída dos dados; fluxos de dados de supridores para o sistema e deste para os consumidores; normas de codificação de dados; normas de operação; pessoal técnico; etc., que desempenham as funções de coleta, tratamento e apresentação de informações.

3) **Sistemas especialistas:** sistemas computacionais que empregam o conhecimento na solução de problemas que normalmente demandariam a inteligência humana; emulam o desempenho de um especialista atuando em uma dada área do conhecimento.

Entretanto, Rodrigues (1990) nos alerta que o estabelecimento destas classes não significa que sistemas de geoprocessamento tenham uma única classificação, pelo contrário, sistemas existentes atualmente têm, no mais das vezes, características múltiplas com predominância de um particular conjunto de funções. Aquele autor conclui afirmando que, subjacente a todos estão às técnicas e metodologias de desenvolvimento de sistemas computacionais e as de tratamento de dados espaciais. Tendo em vista a relativa dificuldade em diferenciar os diferentes sistemas de geoprocessamento, julgamos relevante explicitar melhor algumas definições, tomando por base Korte (1994) que apresenta a diferenciação entre CADD, CAM AM/FM e GIS:

4) **CADD (*Computer Aided Design and Drafting*), ou Projeto Assistido por Computador:** é uma tecnologia normalmente empregada pelo CAM (*Computer Assisted Mapping*), ou Mapeamento Assistido por Computador, para a produção de mapas como substituição ao processo cartográfico tradicional. Os dados são organizados em camadas (*layers*), empregados para organizar as feições do mapa por temas. CAM pode reduzir em muito o tempo de produção de mapas e possibilitar economias de recursos financeiros quando comparado aos processos cartográficos tradicionais, tornando as atualizações mais simples e rápidas, uma vez que modifica somente o elemento selecionado sem causar alteração nos demais. CAM, entretanto, não é um sistema muito adequado para realizar análises; as relações espaciais não são definidas na estrutura de dados, requerendo processamentos especiais para a inspeção de tais relações, o que torna demorada a resposta a perguntas complexas.

5) **AM/FM: *Automated Mapping*, ou mapeamento Automatizado, *Facility Management*, isto é, Gerenciamento de Serviços de Utilidade Pública:** baseiam-se também em tecnologia CADD. Entretanto, a apresentação gráfica geralmente não é tão precisa e detalhada como em sistemas CAM; a ênfase de AM/FM está centrada no armazenamento, na análise e na emissão de relatórios. As relações entre os componentes do sistema de utilidade pública são definidas como redes (*Networks*) que são associadas à atributos, permitindo assim modelar e analisar a operação do sistema de utilidade pública. Atributos não-gráficos podem ser ligados aos dados gráficos. Dentre as limitações estão a não-definição de relações espaciais.

6) **GIS: *Geographic Information System*, ou Sistema de Informação Geográfica:** é mais recomendado para a análise de dados geográficos; difere dos dois sistemas anteriormente apresentados por definir as relações espaciais entre todos os elementos dos dados. Esta convenção conhecida como topologia

dos dados, vai além da mera descrição da localização e geometria das feições cartográficas. A Topologia também descreve como as feições lineares estão conectadas, como as áreas são limitadas, e quais áreas são contíguas. Para definir a topologia do mapa, o GIS usa uma estrutura de dados especial, empregando nós (pontos), arcos (linhas) e áreas (polígonos). O *GIS* também contém dados atributos, além de dados geométricos espaciais, os quais são associados com os elementos topológicos, provendo maiores informações descritivas. Por permitir acesso a ambos os dados (espaciais e atributos), ao mesmo tempo, o SIG possibilita buscar o dado atributo e relacioná-lo com o dado espacial e vice-versa.

Assim sendo, Korte (1994) conclui que, enquanto CAM e AM/FM são empregados para o armazenamento, a manipulação e a recuperação de dados geográficos, um SIG construído especificamente para efetuar análises espaciais torna-se necessário para analisar de forma completa os dados geográficos.

4.1.1.2. DEFINIÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

A fim de melhor compreendermos o que se tem definido como Sistema de Informações Geográficas (SIG), vamos inicialmente revisar as definições de sistema, informação geográfica e sistema de informação. Considerando:

- Sistema como sendo "conjunto ou arranjo de elementos relacionados de tal maneira a formar uma unidade ou um todo organizado, que se insere em sistema mais amplo";
- Informação geográfica como "conjunto de dados ou valores que podem ser apresentados em forma gráfica, numérica ou alfanumérica, e cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial";
- Sistema de informação como "conjunto de elementos inter-relacionados que visam a coleta, entrada, armazenamento, tratamento, análise e provisão de informações".

Podemos agora apresentar as definições de Sistemas de Informações Geográficas, de acordo com os autores mais conceituados internacionalmente;

- "Classe ou categoria de sistema de informações caracterizada pela natureza espacial das informações, tais como a identificação, descrição e localização de entidades, atividades, limites e objetivos" (Tomlinson, 1972 apud Queiroz Filho, 1993).

- "Sistemas voltados à aquisição, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente" (Marble, 1984).
- *Geographical Information Systems* (*Geographical* e não *Geographic*, como escrevem os americanos) constituem "um conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos"(Burrough, 1989).

  Outras definições, apresentadas por autores brasileiros merecem destaque:
- "Sistema Geográfico de Informação (SGI) constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do Geoprocessamento", este último sendo (um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados ou mais evoluidamente, sobre bancos de dados geográficos executa análise, reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis" (Silva e Souza, 1987).
- "Sistemas de Informações Geográficas são modelos do mundo real úteis a certo propósito; subsidiam o processo de observação (atividades de definição, mensuração e classificação), a atuação (atividades de operação, manutenção, gerenciamento, construção, etc.) e a análise do mundo real" (Rodrigues e Quintanilha, 1991).
- "SIGs são constituídos por uma série de programas e processos de análise, cuja característica principal é focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial; utilizam uma base de dados computadorizada que contém informação espacial, sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais; baseiam-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não-espaciais e temporais e na geração de informações correlatas" (Teixeira et al, 1992).
- SIGs são sistemas cujas principais características são: "integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados" (Câmara, 1993).

4.2. COMPONENTES DE UM SIG

Por ser um sistema capaz de armazenar e trabalhar com uma variedade de dados (informação), o SIG tornou-se uma importante ferramenta para tomada de decisão por parte do usuário. Sendo o SIG interpretado aqui como um *software*, atualmente existem vários no mercado, cada um com suas especificidades. Mesmo

assim, a estrutura de todos deve ser bem planejada a fim de permitir uma boa interação usuário-máquina.

Logo, um SIG é constituído pelos seguintes componentes (Fitz, 2008):

1) *Hardware* – a plataforma utilizada;

2) *Software* – programas, módulos e outros sistemas vinculados (os chamados periféricos);

3) Dados – são as informações que serão colocadas no sistema; e

4) *Peopleware* – o usuário que irá manipular todos os três componentes anteriores.

4.3. DADOS GEORREFERENCIADOS

Um SIG, como já discutido anteriormente, parte do princípio de existência de dados georreferenciados ou que se ligue a estes dados (mais precisamente um banco de dados).

Outra premissa básica do SIG é que todos os dados devem se relacionar entre si, seguindo critérios específicos (o principal sendo o sistema de coordenadas conhecido – Módulo Cartografia) e outros que serão discutidos ao longo deste módulo.

4.3.1. ESTRUTURA DE DADOS NO SIG

Diferente dos outros sistemas que trabalham com dados, o SIG é o mais adequado para a análise espacial de dados geográficos (Rocha, 2007). Esta capacidade que difere o SIG dos demais sistemas é chamada de ***Topologia*** (estudo genérico dos lugares geométricos, com suas propriedades e relações). A estrutura baseada em topologia permite definir as relações de conectividade (conectado a, ligado a, relacionado com), contiguidade (adjacência, proximidade) e pertinência (continência e interseção), todas fundamentais para o desenvolvimento de um SIG.

A capacidade de análise espacial dos SIGs deve agrupar as seguintes características:

1) Capacidade de coletar e processar dados obtidos de diversas fontes;

2) Capacidade de armazenar, recuperar, atualizar e corrigir os dados processados;

3) Capacidade de manipular e realizar procedimentos de análise de dados armazenados, possibilitando assim a execução de diversas tarefas, como: alterar a forma dos dados.

4) Capacidade de controlar a exibição e saída de dados em vários formatos (gráficos e tabulares, por exemplo).

Para que seja possível entender estas relações existentes entre dados é necessário definir os dois tipos de dados existentes dentro de um SIG, sendo eles: espacial e não espacial, que serão discutidos a seguir.

4.3.1.1. DADOS ESPACIAIS

Dados geográficos podem possuir uma variedade de fontes, tais como: 1) mapas digitalizados; 2) fotografias aéreas; 3) imagens de satélite; 4) levantamento topográfico; 5) levantamento por GPS e DGPS; 6) dados censitários; 7) questionários; e etc. A validade destes dados depende do comprometimento com que os dados foram adquiridos (precisão e acurácia) e, após, transferidos para um SIG. De acordo com o exposto anteriormente, podemos dividir os dados em dois tipos: os espaciais e os não espaciais.

Para os dados espaciais, a forma adequada com que estes são representados é considerada o fator chave para que o SIG tenha um bom ou mau desenvolvimento. Logo, o sucesso de estruturação de dados geográficos requer uma combinação de conhecimento e tomada de decisão por parte do organizador do SIG.

O SIG utiliza duas estruturas principais de dados espaciais: vetorial e matricial. Entendendo cada um destes modelos, você terá uma ideia mais clara da importância dos dados geográficos, bem como um entendimento distinto das vantagens e desvantagens de cada um.

4.3.1.1.1. ARQUIVO RASTER (MATRICIAL)

Uma das formas utilizadas para representar o espaço geográfico é a imagem, que possui o nome técnico de arquivo *raster* (Fig. 3/1). Estas são geradas por sensores remotos (terrestres, suborbitais e orbitais) que captam de forma sequencial a radiância média de uma área do terreno, equivalente ao tamanho do *pixel* (*picture element*) (Fig. 3/2). Estas são constituídas por um conjunto de *pixels* arranjados de forma matricial, onde cada um tem uma localização definida através de uma função bidimensional f(x,y), onde x e y são coordenadas espaciais e o valor de f no ponto (x,y) representa o brilho ou radiância da área correspondente ao *pixel* no terreno. Tanto x e y (linha e coluna) quanto f só assumem valores inteiros.

Cada *pixel* assume um atributo numérico que representa o nível de cinza, variando de preto ao branco, chamado de número digital (ND). Este ND está relacionado com a média da intensidade da energia eletromagnética (REM) refletida e/ou emitida pelos diferentes materiais existentes na área da superfície da Terra, que correspondem ao tamanho do pixel.

Figura 3/1. Arquivo matricial (*raster*), destacando a região estuarina da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul).

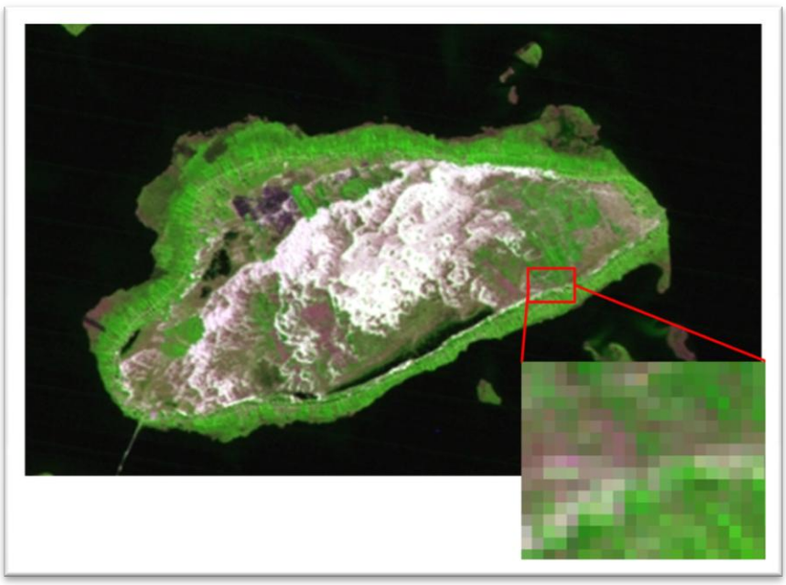


Figura 3/2. Imagem da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande, RS) mostrando uma área em detalhe com a identificação dos *pixels*.

Como já discutido no módulo Sensoriamento Remoto quanto maior o intervalo de possíveis valores do *pixel*, maior a sua resolução radiométrica; e quanto maior o número de elementos da matriz por unidade de área do terreno, maior a sua resolução espacial. Os níveis de cinza podem ser analisados através de um histograma, que representa a frequência numérica ou porcentagem de ocorrência, além de fornecer informações referentes ao contraste e nível médio de cinza. A média dos níveis de cinza corresponde ao brilho da imagem, enquanto que a variância refere-se ao contraste. Quanto maior a variância, maior será o contraste da imagem.

Os dados *raster* mais comuns atualmente, e que estão sendo empregados amplamente, são gerados por satélites de sensoriamento remoto, que capturam informações contidas tanto da superfície quanto da atmosfera terrestre. Como exemplo, podemos citar o Mapeador temático Landsat (*Landsat Thematic Mapper*) o qual é usado amplamente em SIG, possuindo uma resolução espacial de 30m (aproximadamente 0.1 hectar).

4.3.1.1.2. ARQUIVO VETORIAL

O modelo de dado vetorial é utilizado para representar fenômenos geográficos que possuem característica geométrica bem definida, podendo esta representação ocorrer através de pontos, linhas ou áreas (polígonos) (Fig. 3/3). É importante informar que todo arquivo vetorial dentro de um SIG deverá possuir coordenadas geográficas e um sistema de projeção, afinal estão representando uma informação espacial.

Além disto, arquivos vetoriais possuem uma tabela de atributos (Fig. 3/4). Em SIG, cada arquivo vetorial (ponto, linha ou polígono) possui uma tabela de atributos que contém às informações alfanuméricas sobre o mesmo. No tópico a seguir (3.1.2 Dados Não Espaciais) será destacada a importância desta tabela de atributos em um arquivo vetorial.

1) **Vetor ponto ou nó**: representam tanto uma característica discreta em uma determinada escala, como uma cidade, um sítio arqueológico ou um hospital, ou amostras com características contínuas, como os dados das estações meteorológicas, elevação de pontos medidos, local de coleta de amostras sedimentológicas, etc.

2) **Vetor linha**: são utilizadas para representar estradas, ferrovias, rios, ou redes de serviço público, etc.

3) **Vetor área (polígono)**: são utilizados para representar os tipos de solo, as categorias de uso da terra, lagos, zoneamento das áreas urbanas, etc.

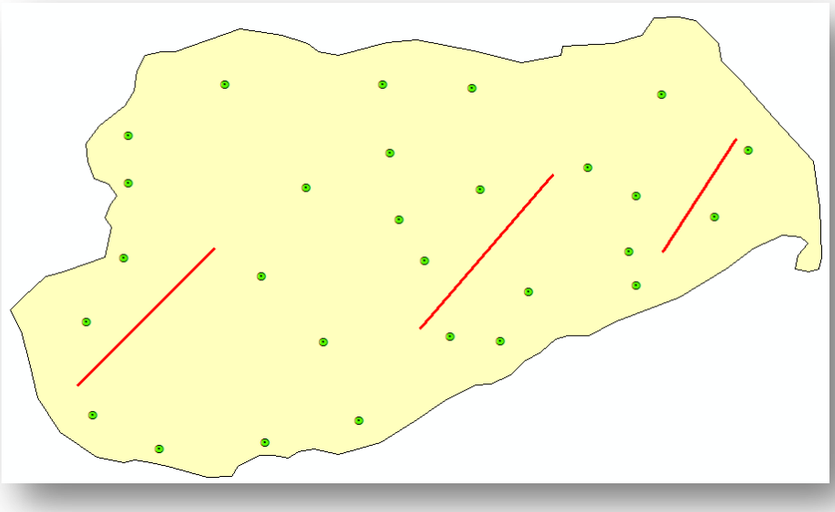


Figura 3/3. Dados vetorias: 1) ponto (cor verde); linha (cor vermelha); e 3) polígono (cor creme).

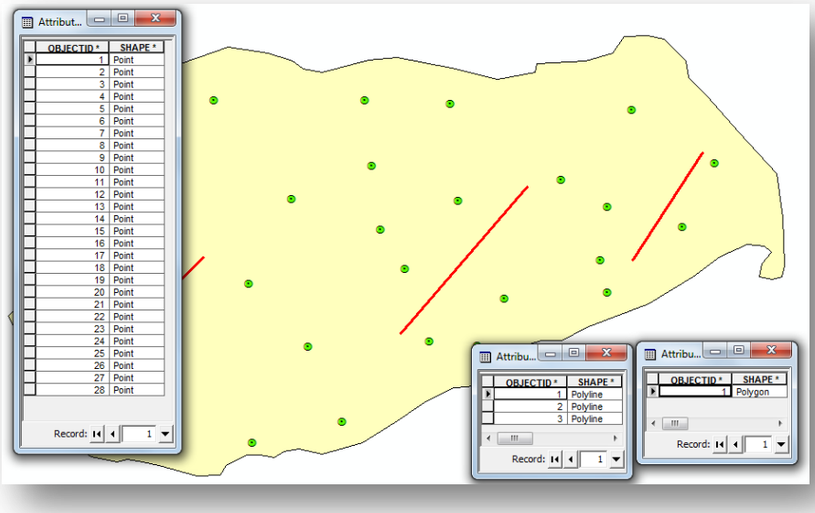


Figura 3/4. Tabelas de atributos para cada um dos tipos de arquivos vetoriais (ponto, linha e polígono).

4.3.1.2. DADOS NÃO ESPACIAIS

Dados não espaciais, ou alfanuméricos, são constituídos de caracteres (letras, números) na maioria das vezes armazenados em tabelas. Já que um SIG possui como característica fundamental ter um sistema de coordenadas geográficas determinado pelo usuário, é preciso destacar que os dados não espaciais, como o próprio nome já diz, não possuem tal informação.

Na maioria das vezes, dados não espaciais inseridos dentro de um SIG fazem referência a alguma região, lugar, local, etc., que pode ser representado espacialmente através de um arquivo vetorial. Tais dados podem ser de um censo demográfico, levantamento de campo, etc. Entretanto, os dados que estão nestas tabelas devem possuir algum tipo de dispositivo que permita a ligação destes a alguma representação do espaço. Este vínculo é chamado de atributo (por exemplo, números) que também devem estar presentes na tabela de atributos do arquivo vetorial (Fig. 3/5).

Attributes of Brasil

GEO_CODIGO	ID_IBGE	ID_UF	REGIAO	SIGLA_REGIAO	MESORREGIAO
1	1101	11	Norte	RO	Madeira-Guaporé
2	1102	11	Norte	RO	Leste Rondoniense
3	1201	12	Norte	AC	Vale do Juruá
4	1202	12	Norte	AC	Vale do Acre
5	1301	13	Norte	AM	Norte Amazonense
6	1302	13	Norte	AM	Sudoeste Amazonense
7	1303	13	Norte	AM	Centro Amazonense
8	1304	13	Norte	AM	Sul Amazonense
9	1401	14	Norte	RR	Norte de Roraima
10	1402	14	Norte	RR	Sul de Roraima
11	1501	15	Norte	PA	Baixo Amazonas
12	1502	15	Norte	PA	Marajó
13	1503	15	Norte	PA	Metropolitana de Belém
14	1504	15	Norte	PA	Nordeste Paraense
15	1505	15	Norte	PA	Sudoeste Paraense
16	1506	15	Norte	PA	Sudeste Paraense
17	1601	16	Norte	AP	Norte do Amapá
18	1602	16	Norte	AP	Sul do Amapá
19	1701	17	Norte	TO	Ocidental do Tocantins
20	1702	17	Norte	TO	Oriental do Tocantins
21	2101	21	Nordeste	MA	Norte Maranhense
22	2102	21	Nordeste	MA	Oeste Maranhense
23	2103	21	Nordeste	MA	Centro Maranhense
24	2104	21	Nordeste	MA	Leste Maranhense
25	2105	21	Nordeste	MA	Sul Maranhense
26	2201	22	Nordeste	PI	Norte Piauiense
27	2202	22	Nordeste	PI	Centro-Norte Piauiense
28	2203	22	Nordeste	PI	Sudoeste Piauiense
29	2204	22	Nordeste	PI	Sudeste Piauiense
30	2301	23	Nordeste	CE	Noroeste Cearense
31	2302	23	Nordeste	CE	Norte Cearense

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 139

Figura 3/5. Tabela de atributos.

4.3.2. INTRODUÇÃO DE DADOS EM UM SIG

A introdução de dados em um SIG se dá através da aquisição de produtos de SR, levantamentos topográficos (planimétrico e/ou altimétrico), uso de sistemas de posicionamento global, digitalização e vetorização.

4.3.2.1. DIGITALIZAÇÃO

Também conhecido como “escanerização”, este procedimento se dá quando os produtos que deverão ser utilizados no SIG estão no formato analógico (fotos, mapas, etc.) e precisam ser introduzidos no computador através do uso de *scanner*. O produto desta “escanerização” será um arquivo matricial, nos formatos *tiff, bmp, jpeg* e *gif*.

Como o produto gerado será um arquivo matricial é importante destacar que faz-se necessário que a imagem mantenha as características originais do mapa ou foto (Fitz, 2008). Logo, o conceito de GSD – *Ground sample Distance* (Distância Correspondente do Terreno), que se refere ao tamanho real em terreno que determinado *pixel* possui em relação à resolução de uma imagem e à sua escala.

A GSD é dada pela fórmula: $GSD = N/R$

em que:

GSD – Distância Correspondente no terreno;

N – Denominador da Escala;

R – Resolução da imagem em dpi (Pontos por Polegadas).

4.3.2.2. VETORIZAÇÃO

A vetorização consiste em transformar digitalmente, através do uso de um *mouse*, elementos de uma imagem (carta, fotografia, imagem de satélite) para o formato vetorial. Assim como no formato matricial, também existem extensões específicas para arquivos no formato vetorial, sendo os mais conhecidos: DWG, DWF e SHP.

O processo de vetorização pode ocorrer de forma manual ou automática:

a) **Manual** – procedimento realizado por um operador que, através do *mouse*, desenha as feições constantes no mapa, foto ou imagem que está na tela do computador. Para isso, é necessário o uso de um programa específico que possua as ferramentas necessárias.

Como já discutido anteriormente, o arquivo vetorial pode ser de pontos, linhas e polígonos, e a criação destes está diretamente ligada à resolução do arquivo que está sendo vetorizado. Ou seja, quanto maior a resolução, maior será o espaço em disco utilizado, além de maior tempo de processamento exigido.

b) **Automática** – neste processo a vetorização ocorrerá completamente de forma automática. Os *pixels* da imagem que representam feições serão convertidos em pontos, linhas ou polígonos por meio de um programa de geoprocessamento que possua as ferramentas necessárias.

Por ser um procedimento muito parecido com o de classificação de imagens (ver tópico Processamento Digital de Imagens – Classificação) é necessário um tratamento final que na maioria das vezes é demorado e oneroso, o que torna este método pouco utilizado.

4.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

O volume de dados que pode ser gerado, associado à relativa complexidade de cálculos, requer expressivo recurso computacional para o armazenamento e tratamento das informações do SR. A evolução da informática, tanto em equipamentos como em *softwares*, tem propiciado estes recursos.

São dispositivos que suportam grande número de dados: 1) discos rígidos com muitos *gigas* e até *terabytes*; 2) CD e DVD ROM; 3) monitores de alta resolução para análise e visualização de imagens em alta definição; 4) eficientes dispositivos de entrada, como *scanners* e os leitores de CD e DVD; e 5) excelentes dispositivos de saída, como impressoras, traçadores gráficos (*plotters*) e unidades de gravação de CD e DVD. A capacidade de memória é outro importante item no tratamento digital de imagens, pois este recurso agiliza substancialmente o processamento, reduzindo o tempo de espera pelo fotointérprete.

Os sistemas de processamento digital de imagens tem sido o segmento onde se tem investido grandes recursos técnicos e humanos e, por isto, constantemente é observada a evolução deste devido às demandas do SR. Dentre os sistemas de processamento digital de imagens disponíveis podemos citar: SPRING, ENVI, IDRISI, PCI, ER-MAPER, ERDAS, ARCGIS entre outros.

4.4.1. PRÉ-PROCESSAMENTO

As imagens brutas geradas pelos satélites apresentam degradações devido a desajustes na calibração dos detectores, erros esporádicos na transmissão dos dados, influências atmosféricas, e distorções geométricas. Todas estas imperfeições, se não corrigidas, podem comprometer os resultados e produtos derivados das imagens.

O pré processamento, que é a etapa preliminar do tratamento digital de imagens, tem esta finalidade. Quando estas imagens são adquiridas de empresas privadas, estas distorções são corrigidas antes da entrega do produto. Entretanto, quando estas não são compradas e sim adquiridas gratuitamente há necessidade de realizar algum tipo de correção. A seguir, serão discutidas as três principais correções realizadas no pré processamento:

4.4.4.1. CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

As degradações radiométricas observadas em imagens são decorrentes dos desajustes na calibração dos detectores e erros esporádicos na transmissão dos dados. As principais correções radiométricas são: a) “*stripping*” - aplicado ao longo das linhas com base em padrão sucessivo, que aparecem na imagem, em decorrência, da diferença ou desajuste de calibração dos detectores, e b) “*droped lines*” - aplicado entre

linhas com base em padrão anômalo na imagem, que ocorre pela perda de informações na gravação ou na transmissão dos dados (Fig. 4/1).

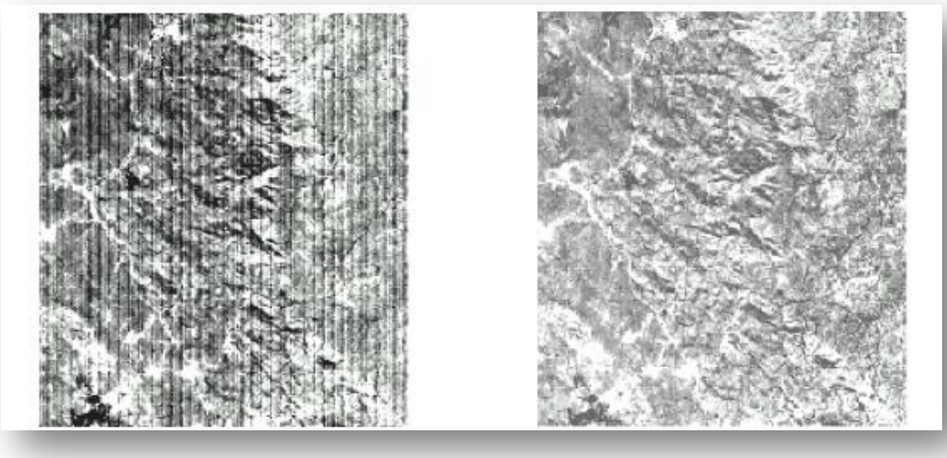


Figura 4/1. Imagem com degradação radiomêtrica (esquerda) e a mesma após a correção (direita).

4.4.1.2. CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

A radiância refletida e recebida pelo sensor é determinada principalmente pelas propriedades de reflectância e absorção de componentes da superfície e pelo comportamento dos componentes da atmosfera. Sendo assim, a atmosfera pode influir de duas formas na resposta espectral dos alvos: pela absorção ou espalhamento da radiância.

De acordo com Crósta (1992) a absorção pode subtrair os valores de brilho da energia radiante do alvo, enquanto que o espalhamento irá adicionar valores à resposta original.

4.4.1.3. CORREÇÃO GEOMÉTRICA

As chamadas distorções geométricas diminuem a precisão espacial das informações. Várias aplicações como a cartografia, a confecção de mosaicos, sistemas de informações geográficas, a detecção e acompanhamento de mudanças espaciais em feições terrestres, necessitam de dados com boa precisão espacial, exigindo a correção de tais distorções.

Uma das causas das distorções geométricas são as oscilações do satélite em torno de eixos definidos por um sistema cartesianos posicionado no mesmo (eixos x, y, z). As oscilações em torno destes 3 eixos provocam desalinhamentos no processo de varredura da superfície terrestre, feita pelo sensor (Fig. 4/2). Estas oscilações são identificadas por: a) "*row*", que afetam a varredura no sentido longitudinal; b) "*pitch*",

que provocam distorções transversais no processo de varredura; c) "*yaw*" que provocam distorções semelhantes a um leque na disposição das linhas na imagem.

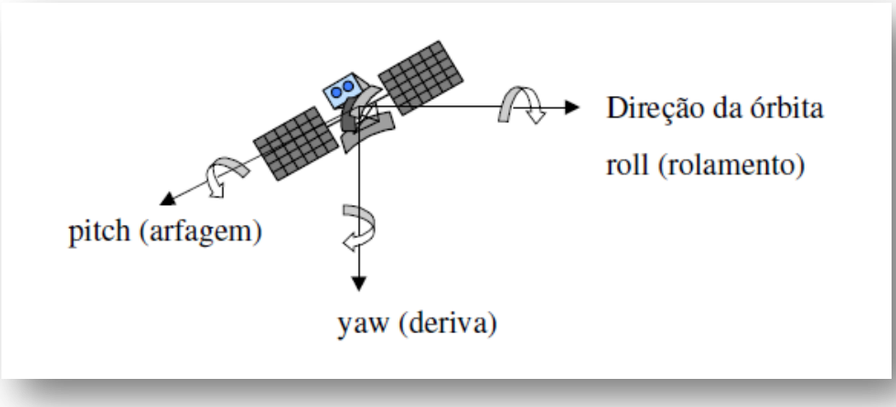


Figura 4/2. Distorções geométricas decorrentes dos desajustes nos três eixos.

Outros fatores também podem provocar distorções geométricas nas imagens, como: 1) variação da altitude do satélite afeta a escala da imagem; 2) variação da velocidade do satélite provoca uma superposição ou afastamento de varreduras consecutivas; 3) movimento de rotação da Terra provoca deslocamentos laterais gradual das linhas ao longo da imagem; 4) imperfeições do mecanismo de varredura do sensor, também provocam distorções geométricas.

Estas distorções podem ser corrigidas, pelo menos parcialmente, por meio de modelos matemáticos que descrevem as distorções existentes. Após a aquisição dos coeficientes deste modelo, uma função de mapeamento é criada para a construção da nova imagem corrigida. Um modelo frequentemente utilizado é o polinomial, cujos coeficientes são estimados a partir de pontos de controle identificáveis na imagem, e com localização geodésica precisamente conhecida.

Cruzamento de estradas, pontes, feições geológicas podem ser tomados como pontos de controle. Os pontos de controle devem ser igualmente distribuídos em toda a imagem, caso contrário as regiões com pouco ou nenhum ponto podem sofrer mais distorções ainda. É importante também que os pontos sejam posicionados com precisão sobre a imagem.

Um método alternativo de correção geométrica baseia-se nos dados de atitude do satélite (posição, velocidade, altitude, dados orbitais, etc.). Este método é menos trabalhoso, mas menos preciso, podendo, portanto, ser utilizado como uma aproximação preliminar do processo de correção geométrica.

4.4.2. REALCE DE IMAGENS

Esta técnica modifica, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais e melhorar a qualidade visual da imagem, facilitando a análise do fotointérprete. Serão apresentadas as técnicas denominadas ampliação de contraste e composição colorida.

4.4.2.1. AMPLIAÇÃO DE CONTRASTE

Imagens de sensoriamento remoto adquiridas por sistemas sensores possuem determinada resolução radiométrica, que normalmente é de 6 ou 8 bits. Por exemplo, para imagens com 8 bits são encontrados, teoricamente, 255 valores de cinza (da cor preta, com valor 0, a cor branca, com valor 255).

Entretanto, geralmente os níveis de cinza de uma cena, obtidos por um sistema sensor, não ocupam todo o intervalo de valores possíveis.

Partindo do pressuposto que os sistemas sensores são concebidos para registrar toda uma gama possível de valores de reflectância, originada por todos os tipos de materiais naturais e sob as mais diversas condições de iluminação, é possível entender porque as imagens podem então não possuir todos os valores de cinza. Por isso, objetos cinza escuros não aparecem totalmente preto, assim como objetos claros não desaparecem devido a saturação do sensor. Contudo, uma parcela da superfície terrestre dificilmente irá apresentar estes dois extremos ao mesmo tempo e, com isso, a distribuição dos DNs de quase todas as imagens ficará comprimida em uma pequena faixa entre os valores de 0 a 255.

Através de uma transformação matemática, o intervalo original é ampliado para toda a escala de níveis de cinza ou números digitais disponíveis. Por exemplo, uma imagem LANDSAT na qual os níveis de cinza estejam variando de 2 a 187, pode ter sua faixa de níveis de cinza ampliada para ocupar toda a faixa de valores possíveis que é de 0 a 255 (Fig. 4/3). Este conceito é a base da chamada ampliação de contraste ou aumento de contraste.

Esta etapa do PDI é muito utilizada para a interpretação de alvos, pois facilita ao analista a distinção dos vários objetos que estão distribuídos na cena. A base para esta transformação é a análise do histograma gerado com o número de pixels e os valores que estes possuem na imagem (Fig. 4/4). Embora a transformação mais comum deste histograma seja a linear, pode-se implementar qualquer outro tipo de transformação, dependendo do histograma original e do alvo ou feição de interesse, tais como: logarítmica, exponencial, raiz quadrada, etc.

Aumento Linear – neste procedimento a função de transferência de valores é uma reta e apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de intersecção com o eixo X. Isto faz com que a inclinação da reta controle a quantidade de aumento de contraste e o ponto de intersecção com o eixo X controle a intensidade média da imagem final.

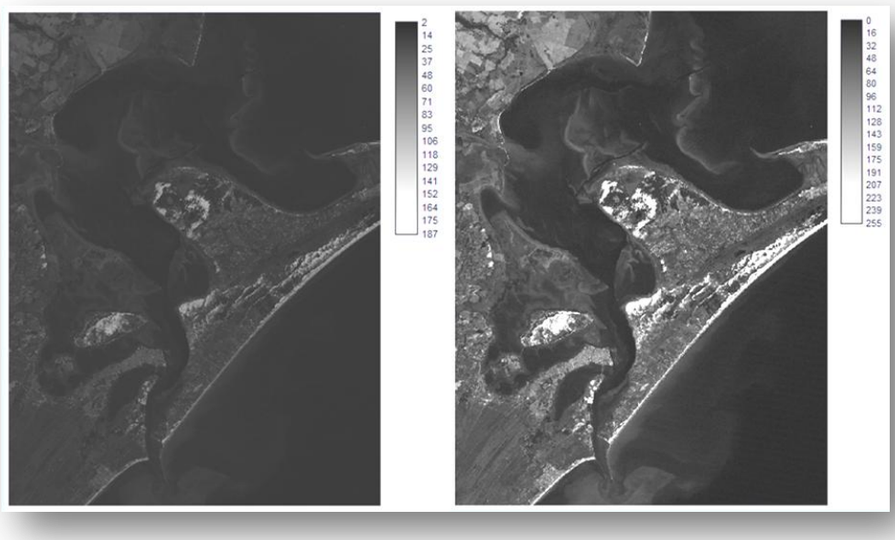


Figura 4/3. Aplicação de contraste em uma imagem (banda 3 Landsat 5) com valores de 2 a 187, transformando-a em uma imagem com valores de 0 a 255.

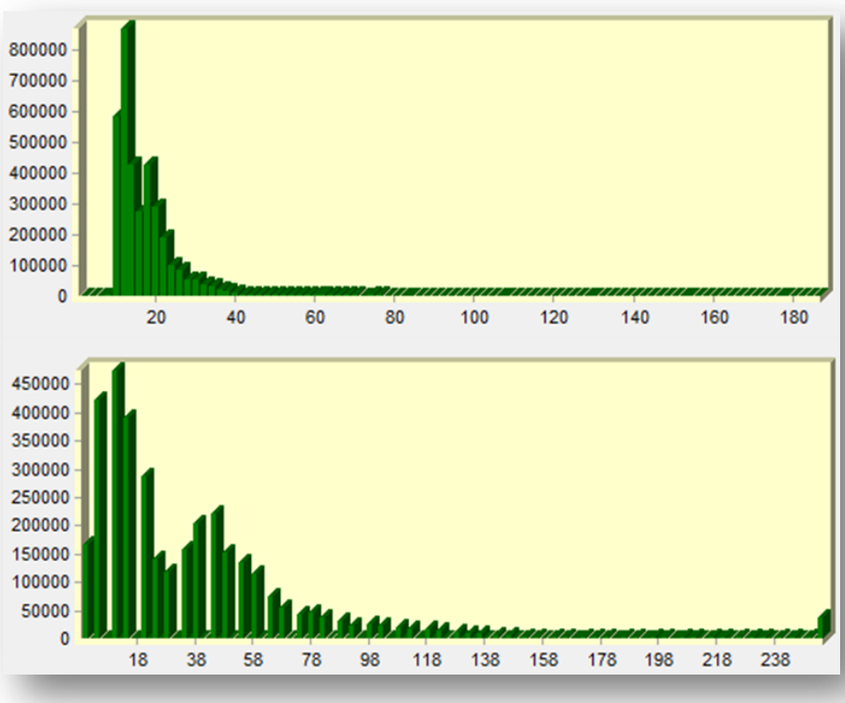


Figura 4/4. Histograma da imagem sem contraste (superior) e histograma da imagem com aplicação de contraste (inferior).

4.4.2.2. COMPOSIÇÃO COLORIDA

É um dos principais procedimentos realizados para que o analista consiga fazer boa interpretação visual dos alvos e, por conseguinte, distinção dos alvos presentes na imagem. O olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matizes de cores do que tons de cinza. A composição colorida é produzida na tela do computador atribuindo-se as cores primárias (vermelha, verde e azul), a três bandas espectrais quaisquer.

Este artifício é também conhecido como composição RGB (do inglês: Red, Green, Blue). Associando, por exemplo, a banda 5 à cor vermelha (R), a banda 4 à cor verde (G) e a banda 7 à cor azul (B), produz-se uma composição colorida representada por 547 (RGB) (Figs. 4/5 e 4/6). Para deixar mais claro este procedimento imagine a seguinte situação: você irá pintar um quadro (uma imagem) e terás a sua disposição 3 latas de tinta.

A imagem será pintada pixel a pixel usando um pouco de tinta de cada lata. A quantidade de tinta, de cada cor, é determinada pelo nível de cinza do pixel, na banda associada à cor. Se o nível de cinza for 0 em uma banda, significa que nenhuma tinta deve ser utilizada da correspondente cor. Pixels que têm nível de cinza igual a 0 nas 3 bandas ficam completamente sem tinta, portanto em cor preta (ou sem cor). Se o nível de cinza em uma banda for máximo, digamos 255, significa que deve se utilizar o máximo de tinta da correspondente cor. Pixels que têm o máximo valor de nível de cinza nas 3 bandas ficam, na imagem, em cor branca intensa.

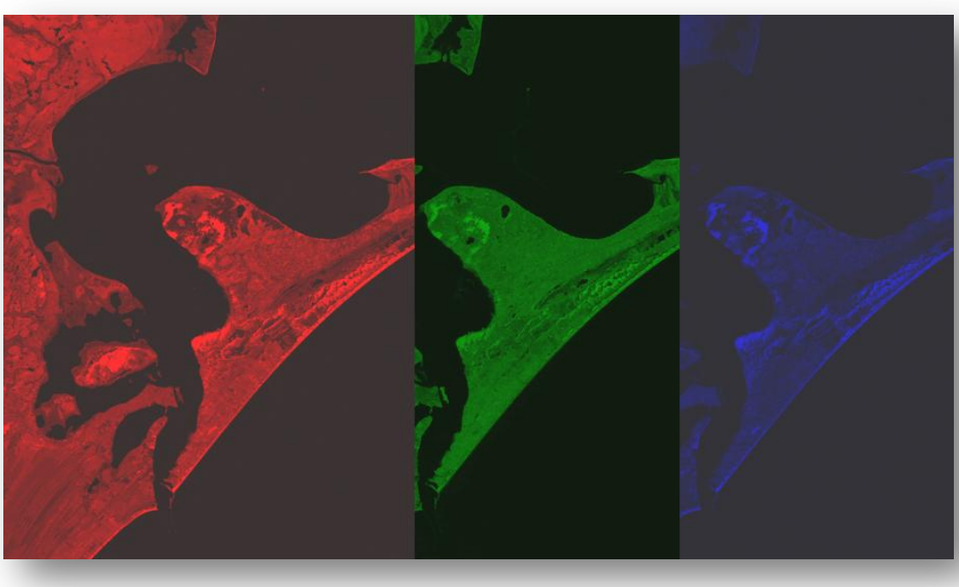


Figura 4/5. Filtro aplicado em cada banda do satélite Landsat: filtro vermelho (banda 5), filtro verde (banda 4) e filtro azul (banda 7).

Figura 4/6. Composição falsa cor: filtro vermelho (banda 5), filtro verde (banda 4) e filtro azul (banda 7).

Pixels que têm o mesmo nível de cinza nas 3 bandas ficam em tons da cor cinza, (não confundir nível de cinza, que é o valor digital do *pixel*, com a cor cinza que estamos agora utilizando). Neste caso de valores iguais dos níveis de cinza, o tom da cor cinza será mais escuro para valores menores e mais claro para valores maiores. A título de ilustração, suponhamos que na composição 547 (RGB), um determinado pixel tivesse os seguintes níveis de cinza: banda 5 = 180, banda 4 = 70 e banda 7 = 10, este pixel teria um ton de cor mais puxado para o vermelho do que para o azul, uma vez que o valor 180 determina que se utilize muito mais tinta da cor vermelha (R) do que da cor azul (B), que corresponde ao valor 10 da banda 7 que está associada a esta cor.

O olho humano não consegue distinguir, na tela do computador, um único pixel de uma imagem em resolução plena, mas, embora pintados individualmente, eles formam, no conjunto, a imagem colorida. A quantidade total de cores possíveis de uma imagem no computador depende da faixa de valores dos níveis de cinza. Em uma imagem LANDSAT, por exemplo, onde a faixa é de 0 a 255, tem-se 256 níveis de cinza, neste caso, portanto, a quantidade de cores discretas na imagem é 256 X 256 X 256 = 16.777.216. São 256 quantidades diferentes de tinta que se pode tirar de cada lata que podem ser combinadas entre si.

Como os níveis de cinza de cada banda representam a assinatura espectral dos alvos, as colorações que as feições terrestres recebem nas imagens, representam valioso meio de reconhecimento e de obtenção de informações, de modo indireto.

4.4.3. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

Classificação automática de imagens multiespectrais, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem (*pixels*) a uma classe ou grupo de classes. Estas classes representam a reflectância dos materiais que compõem as feições e alvos terrestres tais como: água, lavouras, área urbana, reflorestamento, mata nativa, etc. A classificação de imagens é um processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns. Uma classe poderia ser, por exemplo, soja, e um grupo de classes poderiam ser áreas cultivadas.

Ao se classificar uma imagem, assume-se que objetos/alvos diferentes apresentam propriedades espectrais diferentes e que cada ponto pertence a uma única classe. Além disso, os pontos representativos de cada classe devem possuir padrões próximos de tonalidade, de cor e de textura (sobre este assunto de padrões de interpretação veja o tópico fotointerpretação). Como resultado, a partir da operação de separação dos *pixels* em classes ou grupos de classes, é gerado um **mapa temático**, que mostrará a distribuição geográfica dos objetos.

O conceito básico de classificação multiespectral consiste na observação do *pixel* em si e na sua vizinhança, seguindo claro alguns pontos básicos, como por exemplo:

a) É necessário que previamente seja definido um conjunto de classes, cujas propriedades são bem conhecidas. Para tanto, uma boa fotointerpretação aliada a documentos pretéritos de representação do espaço geográfico em questão (mapas geológicos, geomorfológicos, fitogeográficos) são fundamentais.

b) Após o conjunto de classes definido assume-se que todos os *pixels* contidos na imagem pertencem necessariamente a uma destas classes.

É importante saber que a separação dos *pixels* em classes pode ser interpretada como uma simplificação muito grande para a quantidade de informação que uma cena de satélite ou aerofoto fornece.

De acordo com a literatura especializada, a classificação de imagens pode ser dividida em supervisionada e não supervisionada.

4.4.3.1. CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Classificação supervisionada é o procedimento mais utilizado, frequentemente, para análise quantitativa de imagens de satélite. É utilizada quando se tem algum conhecimento prévio sobre as classes na imagem, de modo a permitir, ao interprete, definir sobre a mesma, áreas amostrais das classes. Estas áreas amostrais são

utilizadas pelos algoritmos de classificação para identificar na imagem os pontos representativos das classes.

Uma variedade de algoritmos está disponível para realizar este procedimento, podendo ser citado desde aqueles baseados em modelos probabilísticos de distribuição para as classes de interesse, como também aqueles em que a imagem é dividida em regiões específicas de classe usando superfícies de localização.

Como o próprio nome já diz, além de ser um procedimento que necessita de conhecimento prévio da área (por isso supervisionada), também é indicado que levantamentos de campo sejam realizados quando o satélite estiver efetuando a passagem sobre o local imageado. Isto se faz necessário, pois assim é possível se ter uma verdade terrestre, facilitando o trabalho do intérprete. Entretanto, se sabe que nem sempre isto é possível de ser executado, o que resulta na necessidade de fazer certas inferências sobre as classes que estão sendo identificadas pelo intérprete.

Independente do algorítmico que será utilizado, os seguintes passos deverão ser seguidos:

a) A partir da interpretação visual da imagem, definir quais coberturas de solo e outras classes existem na imagem (ex: água, vegetação arbórea, culturas agrícolas, etc.);

b) Escolher *pixels* que representem as classes anteriormente definidas. Através da digitalização de um polígono que criará uma área com *pixels* iguais (mesma característica espectral) serão definidas as **Áreas de Treinamento**. Estas áreas definidas a partir da interpretação visual da imagem são criadas utilizando uma composição colorida falsa cor, do uso de mapas pretéritos, fotografias aéreas, e outros materiais que somem informações da área.

c) As áreas de treinamento serão utilizadas para identificar, através de cálculos probabilísticos, qual o comportamento espectral das classes pré definidas. Isto permitirá, através do modelo probabilístico utilizado, criar o que se chama de **Assinatura Espectral de Alvos**.

d) Usando as assinaturas espectrais para cada classe identificada, assinaturas estas que permitiram caracterizar como é o comportamento espectral dos alvos, o próximo passo é, através do classificador utilizado, separar os *pixels* que possuem as mesmas características espectrais dentro das classes pré definidas.

e) Por último, é necessário verificar a **Acurácia** do produto gerado.

Na prática, a partir da verificação da acurácia da classificação, pode ser necessário refinar o processo de criação das áreas de treinamento a fim de permitir uma melhora na classificação da imagem. Isto ocorre, pois algumas vezes, devido a enganos na criação das áreas de treinamento para extrair a assinatura espectral das classes, a classificação não fica condizente com a verdade terrestre.

Logo, é necessário relembrar: o procedimento de classificação leva em consideração o trabalho do analista para definir as classes. Caso estas não sejam bem definidas com certeza o produto final não será bom.

A seguir serão discutidos os métodos de classificação supervisionadas mais comuns para elaboração de mapas temáticos baseados em imagens de satélite, sendo eles: distância mínima e máxima verossimilhança.

4.4.3.2. DISTÂNCIA MÍNIMA

Como já discutido no módulo de sensoriamento remoto, uma das características que sempre devem ser analisadas em uma imagem de satélite ou aerofoto, é a resolução espacial. Em PDI isto não é diferente, pois é esta resolução espacial que irá permitir tanto interpretar visualmente as feições, quanto entender como o algoritmo irá distribuir os *pixels* em classes pré definidas pelo analista.

Vejamos o seguinte exemplo: considere uma imagem de satélite do sistema Landsat TM5, que possui resolução espacial em área de 30x30m. Um dos *pixels* desta imagem está representando 35% de estrato herbáceo (grama) e 65% de estrato arbóreo (árvore). O que vai acontecer é que o DN de um *pixel* deste tipo será uma mistura da resposta da grama e das árvores. Entretanto, outros *pixels* poderão ter 100% de grama e 100% de árvores, ou ainda porcentagens diferentes entre grama e árvore e ainda, quem sabe, informações de alvos diferentes.

Sendo assim, imagens que possuem resolução semelhante a do satélite Landsat quase sempre irão permitir a criação assinaturas espectrais através de áreas de treinamento sem *pixels* puros, mas sim uma mistura. Logo, como classificar os *pixels* que não estão 100% dentro das assinaturas espectrais geradas pelas áreas de treinamento?

Uma solução para este problema seria atribuir cada *pixel* desconhecido a outra classe, dependendo de qual classe ele está mais próximo. Esta questão de proximidade está diretamente relacionada à estatística, pois será necessário calcular a média estatística para cada classe em cada banda que o analista utilizará para realizar a classificação. Na figura 4/7 é possível entender o que o classificador irá fazer para conseguir enquadrar todos os *pixels* nas classes pré definidas.

A solução poderia ser atribuir cada *pixel* que não se enquadra em nenhuma assinatura espectral gerada àquela que está mais próxima. O método da distância mínima é um procedimento que leva em consideração esta solução. Observe que no exemplo existem três classes (A de cor verde, B de cor azul e C de cor vermelha) e que existem 2 *pixels* (+ 1 e + 2) que não se enquadram 100% dentro de nenhuma das classes. Entretanto, existem pixels que estão mais próximos de cada uma das classes existentes, o que fará com que sejam incorporadas a estas classes. Neste caso, o pixel + 1 seria incorporado pela classe C e o + 2 a classe B.

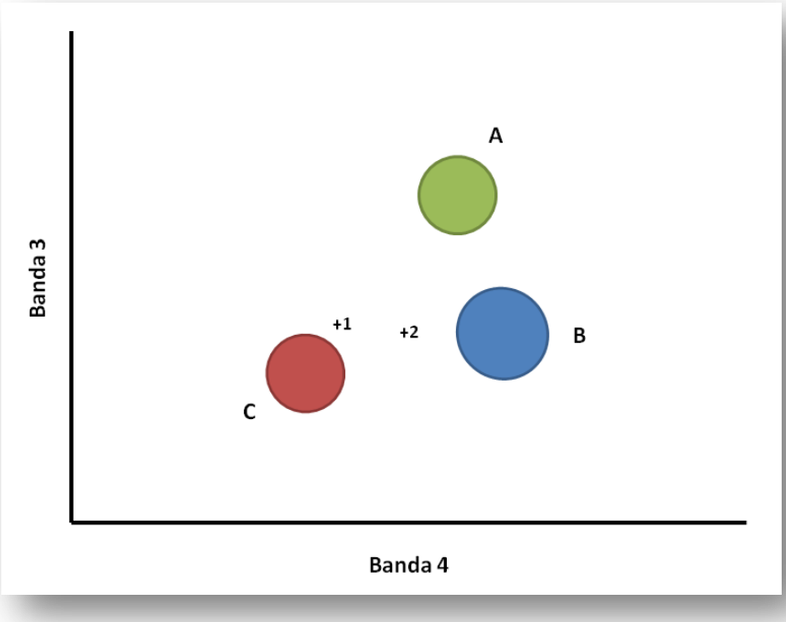


Figura 4/7. Gráfico mostrando as classes A, B e C e os pixels que não se enquadram em nenhuma das classes anteriormente citadas, entretanto pelo método de distâncias mínimas serão incluídos em alguma classe.

4.4.3.3. MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Primeiramente, este método em inglês recebe o nome de "*maximum likelihood*", ou seja, como o próprio nome diz este método trabalha com a máxima probabilidade dos *pixels* pertencerem às classes definidas através das áreas de treinamento, e além disso, utiliza a ponderação das distâncias das médias como parâmetro estatístico para enquadrar os *pixels* dentro das classes pré definidas Logo, para que este método possa ser utilizado com certa acurácia, faz-se necessário que um número razoável de pixels seja utilizado para cada classe em questão. Para Crósta (1992) o correto seria no mínimo uma centena de pixels.

Para Eastman (2006) o correto seria digitalizar uma área de treinamento que tenha no mínimo 10 *pixels*. Além disso, o mesmo autor afirma que dependendo do número de bandas que serão utilizadas (por exemplo, 7 bandas) faz com que seja necessário digitalizar várias áreas de treinamento para uma mesma classe. Ou seja, a partir do exemplo fornecido, deverão ser sete áreas de treinamento, o que resultará no número mínimo de 70 *pixels* por classe.

Por ser um método com razoável complexidade, visualize o gráfico da figura 4/8 que exemplificará inicialmente como este método funciona. Os contornos ao redor de cada classe podem ser interpretados como a probabilidade de que um ou mais *pixels* que estejam em cada um dos conjuntos seja uma combinação de DNs. Caso as áreas de treinamento sejam representativas da superfície terrestre, chega-se a conclusão que existe a probabilidade de qualquer *pixel* desconhecido pertencer a uma das classes.

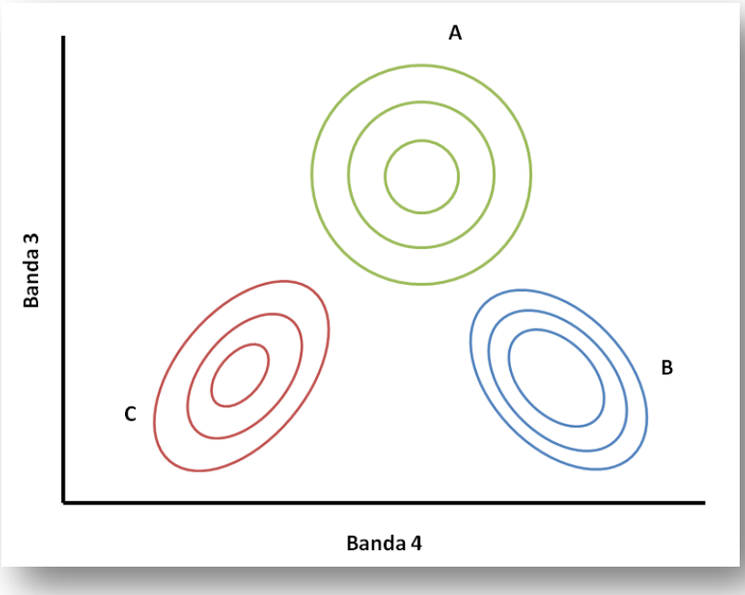


Figura 4/8. Espaço de atributos para as classes A, B e C, mostrando que a classe A possui maior área de atuação.

Este conceito de probabilidade também permite concluir que em alguns casos *pixels* podem ser enquadrados em uma determinada classe mesmo que esta probabilidade seja baixa. Para entender esta afirmação veja o gráfico da figura 4/9, onde os contornos de probabilidade são estendidos de modo a cobrir todos os *pixels* da imagem. De acordo com o gráfico os pontos +1 e +2 serão atribuídos a classe C, sendo que no método anterior (mínima distância) o ponto +2 pertenceria à classe B.

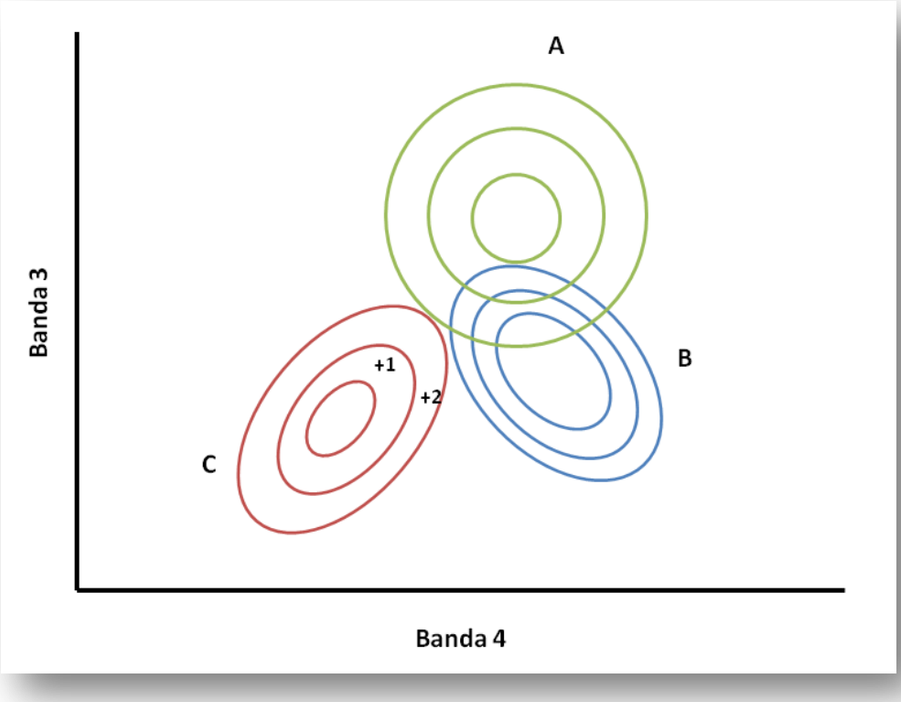


Figura 4/9. Gráfico mostrando as curvas de probabilidade das classes A, B e C.

4.4.3.4. CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

Classificação não supervisionada se refere a uma técnica de sensoriamento remoto que permite a identificação de grupos naturais dentro de dados multiespectrais. Para a aplicação destas técnicas de classificação não supervisionada não é necessário que o usuário especifique qualquer informação sobre as características contidas nas imagens.

Logo, esta classificação é útil quando não se tem informações relativas às classes de interesse na área imageada. As classes são definidas automaticamente pelo próprio algoritmo da classificação.

A classificação não supervisionada refere-se a uma técnica usada em programas de análise de imagem de computador para que esta seja dividida em classes a partir de características semelhantes, como toda sua superfície sendo enquadrada em uma das classes.

4.4.4. ENTRADA E INTEGRAÇÃO DE DADOS

Uma das dificuldades em SIG é como integrar todos os dados espaciais (vetoriais e matriciais) e não espaciais (alfanuméricos) a fim de poder realizar uma análise coerente de todas as informações disponíveis. Analise a seguinte situação:

- Você terá que criar um SIG da Ilha dos Marinheiros (município de Rio Grande/RS – Fig. 4/10), onde a base cartográfica deste será uma imagem do satélite Landsat TM5 de 2000. Como informação adicional lhe foi repassado um vetor polígono das margens desta ilha, informação esta adquirida através da vetorização de uma imagem de satélite IKONOS de 2008.

Figura 4/10. Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, Rio Grande do Sul.

Pergunta: a integração destes dados será coerente?
Considerações:

- As datas dos dados não são iguais, o que pode prejudicar quando ocorrer a sobreposição das informações (condições ambientais diferentes – ex. nível da lagoa);
- A base do SIG está sendo planejada sobre uma imagem que permite trabalho até a escala de 1:35000 (resolução espacial de 30x30m), diferente do vetor das margens da ilha que foi adquirida através de uma imagem com resolução de até 1m, que permitem trabalho até a escala 1:5000.

Resultado: <u>os dados não terão uma boa integração</u>.

Além da pergunta **"integração destes dados será coerente?"** outras perguntas poderiam ser elaboradas pelo usuário: a) qual o sistema de coordenadas da imagem Landsat TM5 e do vetor polígono? b) existe algum sistema de projeção para estes dados? c) qual a acurácia do georreferenciamento da imagem Landsat TM5? d) qual a acurácia do georreferenciamento da imagem IKONOS e a acurácia da vetorização das margens da ilha? etc.

Para uma boa integração dos dados é necessário que seja revisada a natureza cartográfica dos dados geográficos que serão utilizados no SIG. Os principais pontos de análise são: projeção cartográfica, sistema de coordenadas e escala, merecendo este último destaque, pois é a escolha da escala que irá definir o grau de detalhamento para a implementação do SIG.

Quanto maior for o nível de precisão e de informação desejado, menor deverá ser a escala de trabalho. Além disso, informações de diversas escalas podem prejudicar a análise do usuário na hora de integrar todos os dados. Realizar um estudo comparativo de variação das margens da Ilha dos Marinheiros ao longo de 25 anos, por exemplo, requer que todas as imagens utilizadas possuam escala similar (para relembrar escala, leia o material sobre Cartografia).

4.5. OPERAÇÕES SOBRE DADOS GEOGRÁFICOS

Um SIG pode ser composto por diversos módulos de *software*, ou subsistemas, dentre os quais daremos destaque aos voltados à:

1) Coleta, entrada e verificação;

2) Armazenamento e gerenciamento;

3) Processamento;

4) Visualização e apresentação.

4.5.1. COLETA, ENTRADA E VERIFICAÇÃO

SIGs requerem dois tipos principais de dados, que devem ser considerados separadamente: o primeiro deles refere-se aos dados geográficos (posicionais), necessários para definir onde as feições cartográficas ocorrem; o segundo tipo é composto pelos atributos que registram o que as feições cartográficas representam. Burrough (1989) enfatiza que é esta habilidade de processar as feições cartográficas em termos de seus atributos espaciais e não-espaciais que vem a ser o critério que distingue o SIG (onde os dados não-espaciais podem registrar uso da terra, propriedades, características do solo, tipos de vegetação, etc.) da Cartografia Assistida por Computador (onde os dados não-espaciais se referem à cor, tipo de linha, simbologia, etc.).

A coleta de dados para um SIG pode ser efetuada através de levantamentos de campo, mapeamentos com uso de fotografias e imagens, aplicação de questionários, realização de entrevistas, ou mesmo por compilação de dados existentes normalmente em forma analógica. A entrada de dados envolve duas operações distintas: a codificação das informações e a criação de bases de dados. É nesta etapa que os dados capturados através de observações de campo e do uso de sensores, podendo ser apresentados em forma de mapas, minutas de restituição e tabelas, são transformados para uma forma compatível com o computador, com a utilização de dispositivos tais como: mesa digitalizadora, dispositivos de varredura (*scanner*), teclado, etc.

Segundo Burrough (1989), a entrada é feita através: da digitalização dos dados espaciais; da digitação dos atributos associados, que são não-espaciais; e, finalmente, da ligação dos dados espaciais aos não-espaciais. Aquele autor alerta para a necessidade de realizar, em cada estágio, a verificação apropriada dos dados e dos procedimentos de checagem, a fim de assegurar que a base de dados está isenta de quaisquer erros, uma vez que a criação de uma base de dados digitais é a tarefa mais importante e mais complexa de um SIG e sobre a qual reside a utilidade do sistema. Uma vez que ambos os tipos de dados, espaciais e não-espaciais, tenham sido inseridos no sistema, a operação de ligação entre ambos provê uma oportunidade ideal de verificar a qualidade dos dados.

4.5.2. ARMAZENAMENTO E GERENCIAMENTO

Este subsistema se refere à maneira pela qual os dados são estruturados e organizados, tanto com respeito a como estes devem ser manuseados no computador, quanto a como os dados são percebidos pelos usuários do sistema. É importante frisar, como o faz Burrough (1989), que os dados são relativos ao posicionamento, à topologia (relacionamentos) e aos atributos dos elementos geográficos (pontos, linhas e áreas representando os objetos sobre a superfície terrestre). A organização da base de dados é realizada pelo sistema gerenciador de banco de dados (DBMS, *Database Management System*), que consiste em uma coleção de dados inter-relacionados (Base de Dados) e em uma coleção de programas que acessam tais dados, de acordo com Korth e Silberschatz (1989). O principal objetivo de um sistema gerenciador dessa natureza é o de propiciar um ambiente (conveniente, rápido e eficiente) na recuperação e na inserção de dados.

Os DBMS's são responsáveis pelo controle da entrada, armazenamento, saída e recuperação dos dados pertencentes à Base de Dados; no tocante ao armazenamento dos dados, este pode empregar diversos meios (tais como: memória principal, memória em disco, dispositivos de fitas, etc.), e está fortemente condicionado à estrutura dos

dados. Burrough (1989) comenta que a forma mais simples de base de dados é uma simples lista de todos os itens; um novo item adicionado à lista é colocado no final desta, a qual se torna cada vez mais longa. Embora seja muito fácil inserir dados em tal estrutura, a recuperação é ineficiente.

Outra alternativa mais eficiente que as listas é o uso de arquivos sequenciais ordenados, que permitem a inserção de novos itens dentre os já existentes, de maneira a facilitar a recuperação posterior. Ambas as formas de arquivos (sequencial simples e sequencial ordenada) requerem que os dados sejam recuperados de acordo com um atributo-chave; entretanto, mais especificamente no caso de dados geográficos, os itens individuais não terão apenas um atributo-chave (como um número de identificação ou um nome), mas também outros atributos associados. O acesso aos arquivos de dados originais pode ser acelerado com o emprego de dois tipos de arquivos indexados: direto e invertido.

Infelizmente, com isso os dados frequentemente só podem ser acessados através da chave contida nos arquivos indexados; outras informações só podem ser recuperadas usando métodos de busca sequencial.

Uma vez que a base de dados é composta por dados contidos em muitos arquivos, é necessário adotar algum tipo de estrutura de organização a fim de acessar facilmente os dados em um ou mais arquivos. Há três principais estruturas de base de dados: hierárquica, de rede e relacional. Para Burrough (1989), embora os sistemas hierárquicos tenham a vantagem de serem de fácil compreensão e atualização, a busca da base de dados é restrita às trilhas acima e abaixo dos caminhos taxonômicos. Em muitas situações requer-se uma ligação muito mais rápida, particularmente em estruturas de dados para feições gráficas onde itens adjacentes e, um mapa ou figura precisam ser ligados entre si, muito embora os dados sobre suas coordenadas possam estar escritos em partes bem diferentes da base de dados. Para preencher tal requisito existem os sistemas de rede, que utilizam estrutura de ponteiro, a qual é muito útil para se navegar em torno de estruturas topológicas complexas; porém, para Burrough (op.cit), embora evitem redundâncias e façam bom uso dos dados disponíveis, apresentam como desvantagem o aumento acentuado da base de dados devido aos ponteiros, que precisam ser atualizados cada vez que uma mudança é introduzida na base. Outra estrutura, a relacional, que em sua forma mais simples não apresenta nem ponteiros nem hierarquia, armazena os dados com simples registros, contendo um conjunto ordenado de valores-atributo os quais são agrupados em tabelas bidimensionais, conhecidas como relações (daí a origem da designação da estrutura relacional).

Em substituição aos ponteiros (da estrutura em rede) e das chaves (na estrutura hierárquica), há lugar para a redundância de dados em forma de códigos de identificação, que são utilizados como as únicas chaves de identificação dos registros em cada arquivo.

Os dados são extraídos da base de dados relacional através de um procedimento no qual o usuário define a relação que é apropriada para a consulta, relação esta que não precisa necessariamente estar presente nos arquivos existentes, então o programa de controle usa os métodos de álgebra relacional para construir as novas tabelas.

A vantagem, segundo Burrough (op.cit), é que as consultas podem ser formuladas usando as regras da lógica booleana e operações matemáticas; permitem que diferentes tipos de dados sejam buscados, combinados e comparados. Dentre as desvantagens, as operações envolvem buscas sequenciais nos arquivos para encontrar os dados certos que satisfazem as relações especificadas, o que requer um tempo considerável quando se trata de bases de dados volumosas. Rodrigues (1990) observa que as abordagens descritas (hierárquica, de rede e relacional) materializam-se através de programas e arquivos que, em geral, incorporam algumas poucas organizações fundamentais de dados, tais como arquivos sequenciais, listas, anéis, listas invertidas, etc., combinadas em estruturas híbridas complexas.

Nos últimos anos, com o aumento da utilização de DBMS's, observou-se que estes não são completamente adequados para processar a informação geográfica, o que ensejou o desenvolvimento e aplicação de alternativas, tais como os sistemas orientados a objetos. Para a modelagem de informação geográfica, que apresenta propriedades geométricas e topológicas, há duas abordagens distintas na organização dos dados no computador: a explícita e a implícita. A representação explícita significa que o objeto escolhido é construído a partir de uma série de células em uma matriz (*raster*), as quais são independentemente endereçados com o valor de um atributo. A representação implícita (vector) faz uso de um conjunto de linhas definidas pelos pontos iniciais e finais (os quais definem vetores) e alguma forma de conectividade, sendo que linhas e áreas são conjuntos de coordenadas interconectadas que podem ser ligadas aos atributos.

Houve tempo em que os sistemas eram ou *raster* ou vector. Atualmente, há sistemas que permitem trabalhar nas duas estruturas de representação ou que oferecem facilidades de conversão entre elas.

Em algumas circunstâncias, Burrough (1989) comenta que, pode ser vantajoso ter os dados espaciais apresentados em ambas as formas, matricial e vetorial, particularmente quando dados lineares ou de limites necessitam ser representados por redes conectadas ou desenhados em um estilo particular e os espaços no meio devem ser preenchidos com uma representação matricial de uma certa cor ou simbologia.

4.5.3. PROCESSAMENTO

Teixeira et al (1992) dividem as operações que podem ser realizadas sobre os dados em: pré-processamento e processamento. As funções de pré-processamento permitem modificar os dados como um todo com o objetivo de efetuar:

1) Mudanças de escala, projeção cartográfica, estrutura (por exemplo, de vetorial para matricial ou vice-versa);

2) União de bases de dados;

3) Conversão entre tipos de arquivos, etc.;

Para aqueles autores, as funções de processamento propriamente dito têm por objetivo extrair informações de acordo com as necessidades do usuário, destacando-se as funções de:

1) Localização de uma entidade e listagem de seus atributos;

2) Atualização dos dados;

3) Cálculo de áreas, perímetro e distâncias;

4) Posicionamento;

5) Operações aritméticas;

6) Cálculos estatísticos;

7) Classificação entre planos de informação;

8) Filtragens espaciais, etc.

No ponto de vista de Burrough (1989), a este subsistema dá-se o nome de transformação, a qual embarca duas classes de operação: primeiro, as funções necessárias para remover erros dos dados ou atualizá-los ou mesmo uni-los a outros conjuntos de dados; segundo, o grande espectro de métodos de análise que pode ser aplicado aos dados a fim de obter respostas às questões solicitadas ao SIG.

Dentre as funções que podem ser disponibilizadas em um SIG, destaque especial é dado ao Processamento Digital de Imagens, ou seja, um conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens, que inclui, de acordo com Quintanilha (1990):

1) A entrada dos dados digitais;

2) O realce (manipulação de contraste);

3) A análise estatística;

4) A geração de saídas.

O principal objetivo do Processamento Digital de Imagens é o de melhorar o aspecto das imagens digitais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos. Outra função útil para um SIG é a do Processamento Digital de Dados Altimétricos. Para Cintra (1990), ao longo do tempo a automação da Topografia se deu em três estágios:

1) No primeiro o computador foi empregado como instrumento de cálculo;

2) Na segunda etapa o computador passou a ser utilizado como gerenciador de dados, desenhista de figuras planas e emissor de relatórios;

3) Já na terceira fase, o computador tornou-se um auxiliar no projeto e no desenho de elevação (*Digital Elevation Model - DEM*) que desempenham atividades de desenho de curvas de nível e de perfis, cálculos de áreas e volumes, seções e blocos perspectivos.

O uso de equipamentos topográficos e geodésicos, com ênfase para o Sistema de Posicionamento Global (*GPS*) e as estações totais (*total stations*), propicia meios tecnológicos sofisticados para inserção de dados digitais nos SIGs, de forma rápida, eficiente e dinâmica. Durante o Processamento de Dados Geográficos, comumente mostra-se necessário efetuar classificações, reclassificações e agregação de dados.

Por classificação entendemos a definição de classe com vistas à redução de variedade, ordenando e simplificando diferenças irrelevantes, inconsequentes ou aquelas de magnitude intratável. Reclassificação, por sua vez, associa um mesmo valor a células cujos valores são especificados; é semelhante à união de áreas. Agregação forma grupos ou agregados de dados que tem valores similares e que são derivados da

análise dos dados originais representando, assim, grupos ditos 'naturais' (ou seja, mais representativos da realidade do que classes hierárquicas impostas de fora).

4.5.4. VISUALIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO

Este subsistema do SIG diz respeito às maneiras em que os dados são exibidos e os resultados das análises são relacionados aos usuários.

Os produtos de informação podem ser apresentados como mapas, tabelas e figuras de variadas maneiras, empregando recursos tecnológicos que vão, desde o monitor de vídeo de alta resolução (mapa virtual), passando pela tradicional mesa plotadora (*plotter*), pelos dispositivos de saída mais recentes (*fotoplotter, laserprinter, thermoprinter*), até o emprego de sistemas multimídia para integrar texto, imagem, som e voz, que são armazenados em discos óticos ou mesmo magneto-óticos. Uma vez que o subsistema de exibição e apresentação convencionalmente resulta em produtos visuais, nem todos os usuários são beneficiados, em especial àqueles que são desprovidos de visão ou que tem visão residual. Para tal segmento de usuários, a alternativa de apresentação de mapas e gráficos é através do emprego de novas (e não necessariamente avançadas) tecnologias, que permitem gerar mapas táteis e mapas falantes.

4.6. INTRODUÇÃO À ESTATÍSTICA ESPACIAL

Explicar a partir da distribuição espacial de dados como se dá a dinâmica dos fenômenos ocorridos do espaço é uma das vantagens do SIG, sendo este incorporado por diversas áreas (exatas e da terra, saúde, biológica, etc.). A forma mais comum de análise de dados é aquela baseada em eventos ou padrões pontuais, e que são representadas em SIG através de pontos (ex: cotas altimétricas, cotas batimétricas, incidência de crimes, etc.).

Entretanto, muitas vezes a análise pontual se torna difícil de ser executada, devido à grande quantidade de pontos disponíveis, ou ao contrário, devido à falta de dados suficientes. Como conseguir estimar a partir de um conjunto de amostras os fenômenos ocorridos no espaço sem precisar analisar ponto a ponto? A solução é utilizar superfícies contínuas (superfícies de interpolação) criadas a partir de áreas com amostras distribuídas de forma regular ou irregular.

O produto da interpolação é um arquivo matricial, logo interpolar significa atribuir valores para células (*pixels*) a partir da varredura, realizada pelo *software*, para um número limitado de pontos.

Ele pode ser usado para prever valores em áreas que não foram amostradas, mas que possuem pontos amostrais próximos, por conseguinte, dados geográficos. Estes dados geográficos pontuais podem ser de precipitação, elevação, concentrações de produtos químicos, níveis de ruído, e assim por diante.

A figura abaixo (6/1) mostra a distribuição de alguns pontos amostrais com valores conhecidos (6/1A) e a superfície de interpolação (arquivo matricial) gerada a partir destes pontos (6/1B). Os valores desconhecidos são previstos com uma fórmula matemática que usa os valores dos pontos conhecidos. A seguir serão descritos os principais interpoladores conhecidos e utilizados.

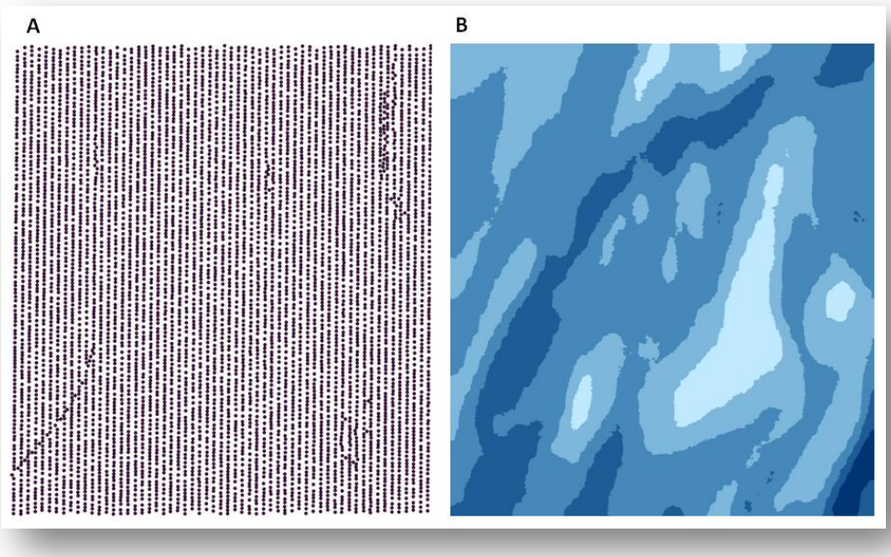


Figura 6/1. Superfície de pontos conhecidos (A) e a superfície de interpolação a partir destes pontos conhecidos (B).

4.6.1. MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

Existem dois métodos principais para realizar interpolação: o determinístico e o geoestatístico. O método determinístico cria superfícies a partir de pontos valorados, com base numa medida de semelhança ou em grau de suavização. Já a interpolação geoestatística (krigagem) utiliza as propriedades estatísticas dos pontos.

Técnicas de interpolação determinística podem ser divididas em dois grupos: global e local. A global calcula superfícies de previsões utilizando o conjunto de dados, o que permite ter uma hipótese sobre a superfície que será gerada (ex.: a temperatura diminui com a altitude e a latitude). A local calcula previsões a partir dos pontos medidos dentro de pequenas áreas dentro de uma área mais ampla.

Na técnica geoestatística são criadas superfícies que incorporam as propriedades estatísticas dos dados. Como esta é uma técnica estatística, não é gerada

uma única superfície de previsão, como no método determinístico, mas também superfícies de erro ou incerteza. Isto permite ao analista identificar quão boas são as superfícies de previsão. Existem vários métodos geoestatísticos, mas todos eles fazem parte da família Krigagem.

4.7. INTERPRETAÇÃO VISUAL DE ALVOS

A interpretação visual de alvos pode ser definida como o ato de examinar imagens com o propósito de identificar objetos e julgar a sua significância. Sendo assim, a tarefa do intérprete não é só aquela de identificar e delinear os objetos precisamente, mas sim procurar definir regiões que apresentam uniformidade quanto à composição e a aparência.

4.7.1. PRINCÍPIOS GERAIS DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

Segundo a Sociedade Americana de Fotogrametria (1960): “Fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados”. Segundo Garcia e Marchetti (1986): Interpretação de Imagens ou Fotointerpretação “é a arte de examinar as imagens dos objetos nas fotografias e de deduzir a sua significação” (ou deduzir informações).

Ainda, segundo Moreira (2001) a fotointerpretação refere-se ao conjunto de todos os processos envolvendo a análise visual de imagens fotográficas. Logo, fotointerpretação é uma técnica e não uma ciência e está relacionada à:

1) Acuidade visual do intérprete;

2) Conhecimento científico;

3) Conhecimento sobre o sistema de aquisição de dados;

Entretanto, há necessidade de:

1) Fundamentação teórica;

2) Experiência no campo de aplicação;

3) Conhecimento sobre áreas correlatas.

Exemplo: Fotogeologia (áreas envolvidas):

- ciências geológicas;
- geobotânica;
- pedologia;
- uso do solo, etc.

Aplicações: mapeamentos temáticos: várias áreas.

4.7.2. PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS DAS IMAGENS FOTOGRÁFICAS

Propriedades importantes para o intérprete, que independem do comprimento de onda registrado das imagens fotográficas:

1) **Escala**: é a razão da distância entre dois pontos na imagem (ou mapa) e a distância entre esses pontos no terreno

2) **Brilho**: são as variações na intensidade da radiação eletromagnética que atinge um dado sensor.

3) **Fotografias aéreas**: o brilho dos objetos é proporcional à intensidade de luz refletida. Isso produz uma sensação subjetiva no olho humano, estando o brilho relacionado a uma escala de cinza.

4) **Tonalidade**: é um termo usado para cada gradação distinguível, do preto ao branco, dentro da escala de cinza relacionada com os níveis de brilho. É determinada pela capacidade de um alvo refletir a luz incidente.

5) **Contraste**: é a razão entre a intensidade do brilho nas partes claras e nas partes mais escuras de uma imagem. Ou também, a razão entre o brilho de um alvo e o brilho da região adjacente a ele na imagem. É um fator importantíssimo para a distinção e detecção de alvos em imagens fotográficas.

6) **Resolução**: É a capacidade de um sensor “enxergar” ou distinguir objetos da superfície terrestre. A Resolução Espacial é definida como o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor.

   Exemplo: Landsat

   i. Resolução espacial: 30 m
   ii. Menor área que o sensor consegue enxergar: 30 x 30 m (900 m^2)

7) **Sombra**: pode ser considerada tanto uma propriedade da imagem quanto um elemento de análise dos objetos representados na cena. Manifesta-se na forma de áreas de tonalidade muito escuras ou mesmo pretas, devido à ausência de resposta refletida nas áreas do terreno ocultas por alvos de maior porte.

4.7.3. ETAPAS DA INTERPRETAÇÃO VISUAL

- Definição do campo do conhecimento; do tamanho, escala, forma e local de ocorrência do recurso avaliado em relação à resolução da imagem aquisição de dados auxiliares e definição do objetivo do trabalho
- Desenvolvimento da interpretação (3 fases):

1) **Fotoleitura**: identificação ou reconhecimento inicial das feições na imagem
2) **Fotoanálise**: estudo das relações entre os objetos representados na cena: com base na associação e ordenação dos elementos que os constituem
3) **Fotointerpretação**: processo que utiliza o raciocínio lógico, dedutivo e indutivo (além de comparativo) para definir o significado dos objetos ou feições presentes na imagem

A Interpretação Visual requer:

- Treinamento
- Utilização de critérios que permitam desenvolver logicamente o processo

4.7.4. ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO OU ELEMENTOS DE RECONHECIMENTO

As imagens, qualquer que seja seu processo de formação, representam o registro de energia proveniente dos objetos da superfície. Essas imagens podem ser de diferentes resoluções e escalas, mas independente disso, se caracterizam por apresentarem alguns elementos básicos que permitem a extração de informações do terreno (Garcia, 1982).

Portanto, a identificação dos objetos é feita a partir de Elementos de Interpretação ou Elementos de Reconhecimento de imagens. Não há consenso sobre todos os elementos que devam ser considerados na análise visual de imagens, mas os mais comuns são: Tonalidade e cor, Textura, Forma, Padrão, Tamanho, Sombra e Localização.

4.7.4.1. TONALIDADE

- Uma imagem é o resultado do registro da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos (alvos) da superfície terrestre em diferentes intervalos de comprimentos de onda.

- A radiação eletromagnética refletida ou emitida por um objeto é detectada por sistemas sensores, em comprimentos de onda específicos.
- Variações na intensidade de radiação eletromagnética proveniente dos objetos da superfície terrestre são normalmente registrados como variações de brilho nas imagens
- O termo TONALIDADE (ou nível de cinza) é usado para identificar cada gradação de cinza diferente, observada entre o Preto e o Branco.

A Tonalidade de um objeto na cena é função:

1) Das propriedades físico-químicas do objeto;
2) Das características do produto analisado;
3) Está sujeita a variações significativas dependendo das condições ambientais no instante da tomada da imagem e do modo de aquisição dos dados.

4.7.4.2. TEXTURA

- A textura é criada pela repetição tonal de grupos de objetos muito pequenos para serem percebidos individualmente (Garcia, 1982).
- É o arranjo de elementos tonais que representa a imagem do conjunto e que é definida pela disposição das menores feições que conservam sua identidade na escala da imagem fotográfica
- Variação de tonalidades ou cores, em função da presença de objetos muito pequenos para serem percebidos individualmente (Novo, 1986)
- A textura oferece a impressão visual de rugosidade ou lisura de determinada porção da imagem

A textura, de forma subjetiva, pode ser definida como: Grosseira ou Rugosa, Áspera, Lisa, Fina, Aveludada, etc.

4.7.4.3. SOMBRA

- São fenômenos comuns em imagens, resultando da falta de energia refletida ou emitida;
- Pode ser um fator favorável ou não na fotointerpretação;
- Como ponto favorável, pode indicar altura de objetos (edifícios, montanhas, etc.);
- Como fator desfavorável pode mascarar detalhes importantes, como campos agricultáveis, cursos d’água, etc.

4.7.4.4. TAMANHO

- Deve ser considerada a escala da imagem;
- Serve para comparar objetos na imagem.

4.7.4.5. FORMA

- Característica morfológica de um objeto;
- Formas irregulares indicam estruturas naturais;
- Formas geométricas regulares indicam estruturas modificadas ou implantadas pelo homem.

4.7.4.6. PADRÃO

- Arranjo espacial entre objetos representados na imagem;
- O padrão urbano é caracterizado por arruamentos, com quadras;
- Em ares agrícolas podem ser identificadas glebas com culturas diferentes.

4.8. APLICAÇÕES DE SIG

Aronoff (1991) descreve aplicações representativas para as quais um SIG pode ser utilizado com sucesso. Os exemplos se fazem presentes em várias disciplinas e ciências, tais como:

1) Agricultura e planejamento do uso do solo;

2) Silvicultura e gerenciamento da vida silvestre;

3) Arqueologia;

4) Geologia;

5) Aplicações municipais;

Várias outras aplicações menos usuais são também apresentadas, tais como a previsão da localização de sítios arqueológicos ou o mapeamento da distribuição de plantas a partir dos registros de museus. Aronoff (1991) afirma, entretanto, que tais aplicações não constituem descrições de projetos detalhados. Ao invés disso, elas apresentam idéias e conceitos a fim de dar uma noção do leque de aplicações do SIG. Tais exemplos, porém, representam aplicações que foram implementadas operacionalmente ou foram demonstradas e descritas na literatura.

4.8.1. AGRICULTURA E PLANEJAMENTO DO USO DO SOLO

A primeira das aplicações citadas por Aronoff (op. cit), diz respeito à agricultura e ao planejamento do uso da terra. A agricultura tem tamanha importância nacional e econômica, por se ocupar da produção de alimentos, que é geralmente melhor inventariada e monitorada do que outros recursos naturais. Nacionalmente, o monitoramento da produção agrícola tem sido realizado como sendo uma atividade voltada a efetuar relatos estatísticos, ao invés de gerar mapeamentos.

A avaliação das áreas agrícolas mais importantes é uma ciência bem desenvolvida e realizada pelas agências nacionais empregando procedimentos que foram desenvolvidos antes que o poderoso software SIG estivesse disponível. As atividades de mapeamento focalizam geralmente o mapeamento dos solos e a adequação à agricultura. Mas, muitas das organizações responsáveis pelo monitoramento do uso do solo para a agricultura já adotaram métodos de SIG. Além de serem empregados para avaliar a produção de safras agrícolas (tais como arroz, trigo, canola, batata, cacau e café), os procedimentos de SIG têm sido usados para avaliar as práticas de gerenciamento de terras para pastagem.

O primeiro SIG a nível nacional foi o do Canadá, que tem sido operado continuamente desde os anos 60 e, desde então tem sido extensivamente modificado e agora opera como um componente de um grupo integrado de SIGs denominado *Canada Land Data Systems*, que provê serviços de análise às agências nacionais, regionais e municipais por todo o Canadá, sendo também utilizado pela FAO.

4.8.2. SILVICULTURA E GERENCIAMENTO DA VIDA SILVESTRE

Outra aplicação do SIG está no gerenciamento expansão da silvicultura e da vida silvestre, sendo que a Silvicultura abarca o gerenciamento de um grande leque de recursos naturais que ocorrem em áreas florestais. Além de madeira para construção, as florestas fornecem recursos tais como terras cobertas por pastagem para o rebanho, áreas de recreação, habitat para a vida silvestre e fontes de suprimento de água.

Assim sendo, a criação de um SIG florestal permitiria o gerenciamento do desmatamento, do habitat da vida silvestre, do arrendamento de pastos, das áreas de recreação, das atividades de mineração e a proteção de espécies em extinção e de sítios arqueológicos. Para satisfazer a essas diversas responsabilidades, devem ser acomodadas atividades de conservação e de uso de recursos. Avaliar a compatibilidade de usos múltiplos e harmonizar valores que competem entre si, são difíceis processos de planejamento que podem ser auxiliados pelas técnicas de SIG, comenta Aronoff (1991).

É a capacidade analítica do SIG que o distingue, pois pode ser usado para armazenar e analisar informação florestal de maneira que não podiam ser feitas anteriormente. Ele pode ser usado para calcular a quantidade de madeira a ser extraída, modelar o alastramento de incêndios nas matas, ou desenvolver e avaliar planos alternativos de ceifa. A capacidade de processamento do SIG permite que várias alternativas sejam avaliadas de forma relativamente rápida. Isso tem levado a uma mudança qualitativa na maneira como muitas análises podem ser realizadas. Planos podem ser progressivamente refinados e reavaliados para otimizar a solução, um procedimento que seria proibitivamente oneroso usando técnicas manuais. Em muitos países tropicais e sub-tropicais, as florestas são inacessíveis e praticamente não mapeadas; o desmatamento é um problema sério, contribuindo para a degradação do solo, erosão, inundações e problemas relativos à qualidade da água, relata Aronoff (op.cit).

4.8.3. ARQUEOLOGIA

Uma das missões em comum de Parques Nacionais e das agências florestais é a proteção de sítios arqueológicos. Os arqueólogos têm feito uso das técnicas de SIG tanto para analisar sítios conhecidos quanto para predizer a localização daqueles ainda não descobertos. As medidas arqueológicas, tais como o tamanho do sítio, a localização, idade, número de artefatos, número de habitações, juntamente com as medidas ambientais (tais como elevação, declividade, aspecto, relevo local e distância da fonte d'água) têm sido usadas para predizer a localização de sítios arqueológicos.

Não é surpreendente, afirma Aronoff (1991), que tais fatores sejam bons previsores, pois os seres humanos selecionam locais de assentamento baseado na proximidade de recursos, como água e alimentos, um microclima confortável e segurança. Para desenvolver um modelo de previsão, essas medidas são coletadas nos sítios arqueológicos conhecidos em uma área de estudo, sendo que os dados ambientais são coletados para toda a área de estudo. O modelo é então calibrado usando um conjunto de localidades conhecidas como sendo sítios arqueológicos e um conjunto de localidades conhecidas como não sendo sítios.

Sendo assim, o modelo é aplicado para toda a área de estudo usando os dados ambientais, e após sendo empregado para gerar a maioria das medidas ambientais para a área a partir dos dados digitais da superfície do terreno.

Relatórios são produzidos em forma de mapas mostrando a densidade e distribuição de sítios arqueológicos conhecidos e preditos e as medidas arqueológicas e ambientais são fornecidas em forma tabular.

4.8.4. GEOLOGIA

A análise da geologia de uma região seja para exploração mineral ou de petróleo, seja para mapeamento em nível de reconhecimento, é fundamentalmente um procedimento de integração de dados. Os geólogos procuram identificar padrões geológicos úteis na paisagem, relacionando diversos conjuntos de dados geológicos.

Esboços de campo são usados para registrar observações diretas; a concentração dos elementos dissolvidos em um riacho local fornece pistas para a composição dos materiais rochosos dentro da bacia hidrográfica; levantamentos aeromagnéticos e gravitacionais são utilizados para mapear mudanças sutis nos campos magnético e gravitacional terrestre que podem indicar a presença de depósitos significativos de minérios.

Para serem úteis, todos os dados citados acima devem ser analisados com referência a sua localização geográfica. Ao permitir a possibilidade de exibir e analisar diversos conjuntos de dados conjuntamente, um SIG habilita o geólogo a trabalhar com os dados mais rapidamente, com maior exatidão e de maneira que não poderiam ser práticas usando métodos manuais.

4.8.5. APLICAÇÕES MUNICIPAIS

A maioria da informação necessária para operar um município é georreferenciada, ou seja, é referenciada a uma específica localização geográfica. As informações sobre zoneamento, propriedades, estradas, escolas e parques, todas se relacionam a localizações geográficas. Embora o uso do computador seja comum, a adoção de SIGs pelos municípios tem sido lenta. As aplicações municipais de SIG provêem a sistemática coleta, atualização, processamento e distribuição de dados relacionados à terra. A capacidade de tratar dados obtidos por levantamentos do terreno é também uma exigência comum desses sistemas.

Os SIGs municipais são usados para a tomada de decisão legal, administrativa e econômica, assim como para as atividades de planejamento. Os municípios começaram a reconhecer os benefícios potenciais de uma abordagem mais integrada aos seus dados computadorizados em geral, e à organização da informação georreferenciada em particular.

5. BIBLIOGRAFIA

ARONOFF, S. 1991. Geographic information systems: a management perspective. WDL publications. Otawa, Canada. 294p.

BURROUGH, P.A. 1989. Principles of Geographical Information System for Land Resourse Assisssement. Claderon Press, Oxford.

CÂMARA, G. 1993. Anatomia de sistema de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Cap. 1. – Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP. 1992. 170p.

EASTMAN, J. R. 2006. Guide to GIS and image processing. Massachusettes, Clark University. V. 2, 169p.

FITZ, P.R. 2008. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos.

GARCIA, G.J. 1882. Sensoriamento remoto – Princípios e Interpretação de imagens. São Paulo, Nobel, 357p.

GARCIA, G.J. e MARCHETI, D.A.B. 1986. Princípios de fotogrametria e fotointerpretação. Edição: 1ª. São Paulo, Editora Nobel. 256p.

KORTE, G. 1994. The GIS book. Edição: 3ª. Onword Press. USA. 220p.

KORTH, H. F., Silberschatz, A. 1989. Sistemas de banco de dados. São Paulo: McGraw-Hill. 582p.

MARBLE, D. 1984. Geografical Information Systems: an Overwiew. In: Pecora 9 Conference. Proceedings...Sioux Falls, v.1, p.18-24.

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

NOVO, E.M.L. 1986. Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações. São Paulo: Blucher. 308p.

QUINTANILHA, J.A. 1990. Processamento de imagens digitais. Simpósio de Geoprocessamento. São Paulo, SP. P: 37-52.

ROCHA, C.H.B. 2007. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. do Autor.

RODRIGUES, M. 1988. Geoprocessamento. In: Anais do 5th. Encontro Nacional de Engenheiros Cartógrafos, Presidente Prudente, SP.

RODRIGUES, M. 1990. Introdução ao geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: Escola Politécnica, USP. P: 01 – 26.

RODRIGUES, M., QUINTANILHA, J. A., 1991. A seleção de software SIG para gestão urbana. XV Congresso Brasileiro de Cartografia, São Paulo, SP, Brasil.

SILVA, J. X., SOUZA, M. 1987. Análise ambiental.: Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHISTOFOLETTI, A. 1992. Introdução aos sistemas de informação geográfica. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 1992. 70 p.

TREMBLAY, J.P E BUNT, R. 1983. Ciência dos computadores: uma abordagem algorítmica. São Paulo, McGraw Hill.

Material produzido pelo *Programa de ensino virtual de uso de geotecnologias para cursos de graduação*, vinculado ao Edital 15 CAPES – Fomento ao uso das tecnologias de comunicação e informação nos cursos de graduação.

Prof. Dr. Carlos Roney Armani Tagliani (coordenador do projeto)
Profª Dra. Rosa Maria Picolli da Cunha (professora pesquisadora)
Organizadores:
Allan de Oliveira (colaborador)
Ana Paula Santos Pereira (tutora)
Jean Marcel de Almeida Espinoza (tutor)
Kahuam de Souza Gianuca (tutor)

Equipe de Design e Diagramação – Núcleo Comum/SEaD/FURG
Alexsander Lavoura de Mattos
Caroline Noble de Ávila
Cibele Hechel Colares da Costa
Cibele Dias Borges
Jair Conti Gomes Jr.
Jarbas Gama Macedo
Jeferson Feijó
Luciano da Silva Baldez
Marcelo da Silva Calheiros
Tôni Rabello dos Santos
Rodnei Gallo Flores