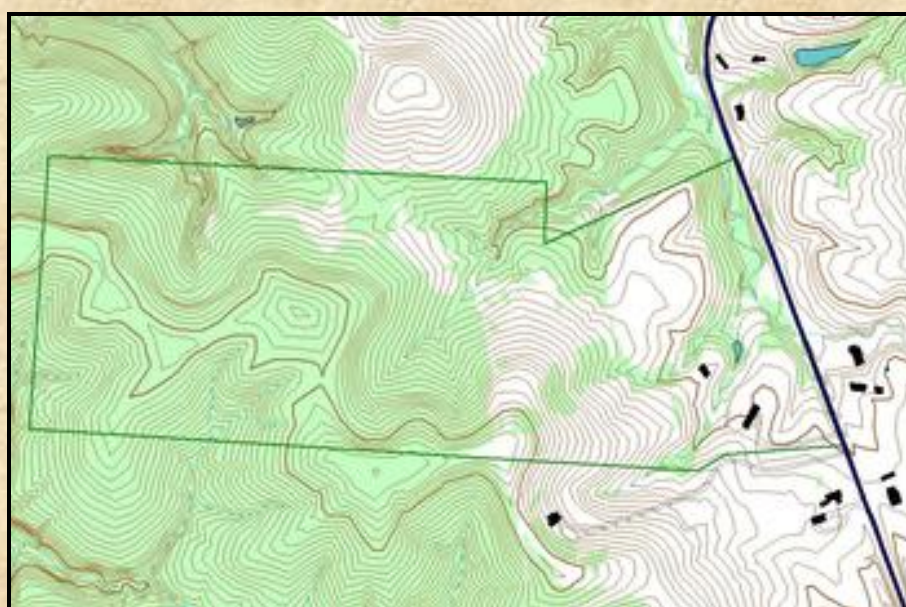
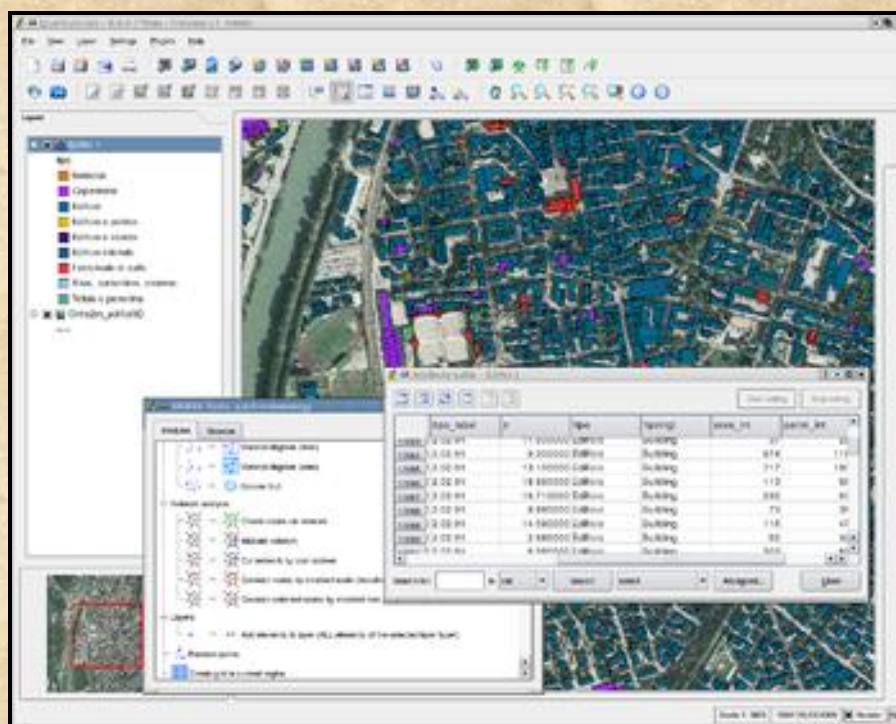


SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Texto original: **Wikipedia, la enciclopedia Libre**

Maio/2012

Tradução, ampliação e ilustração: **Iran Carlos Stalliviere Corrêa-IG/UFRGS**



Imagens raster e vetorial no SIG de código livre QGIS, usado como interface gráfica de usuário do GRASS.

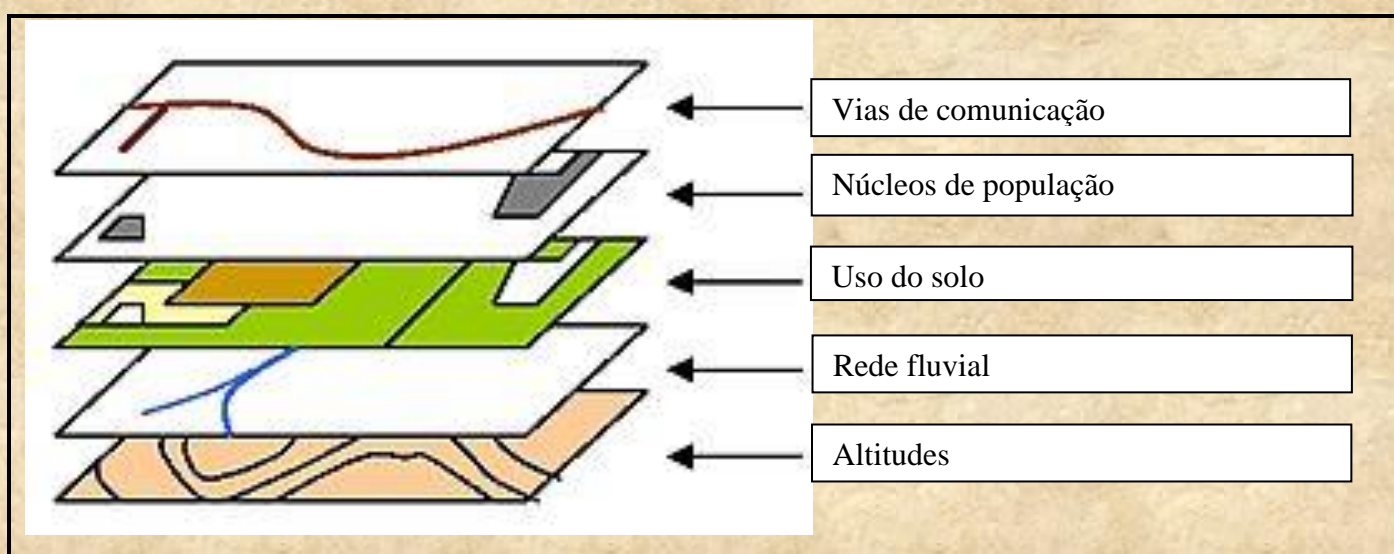
Nesse exemplo a camada da cobertura florestal (*em verde*) se encontra na parte inferior, seguida da camada topográfica com as curvas de nível. Em continuação a camada com a rede hidrográfica e finalmente a camada de limites administrativos. No **SIG** a ordem de superposição da informação é muito importante para se obter visualização correta do mapa final. Nota-se que a camada que representa a lâmina de água se encontra justamente por baixo da camada dos rios, de modo que uma linha de fluxo pode ser vista cobrindo um das lagoas.

Um **Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS, em seu acrônimo inglês Geographic Information System)** é uma integração organizada de hardware, software e dados geográficos projetados para capturar, armazenar, manipular, analisar e apresentar em todas suas formas a informação geograficamente referenciada com o fim de **resolver problemas complexos de planificação e gestão geográfica**. Também pode ser definida como o modelo, de uma parte da realidade, referido a um sistema de coordenadas terrestres e construído para satisfazer necessidades concretas de informações. No sentido mais estrito, é qualquer sistema de informação capaz de integrar, armazenar, editar, analisar, compartilhar e mostrar a informação geograficamente referenciada. Em um sentido mais genérico, os **SIG** são ferramentas que permitem aos usuários criar consultas interativas, analisar a informação espacial, editar dados, mapas e apresentar os resultados de todas estas operações.

A tecnologia dos **Sistemas de Informação Geográfica** pode ser utilizada para investigações científicas, gestão de recursos, gestão de ativos, arqueologia, avaliação do impacto ambiental, planificação urbana, cartografia, sociologia, geografia histórica, marketing e

logística, para enumerar alguns poucos. Por exemplo, um **SIG** poderia permitir aos grupos de emergência, calcular facilmente o tempo de resposta em caso de um desastre natural, o **SIG** pode ser usado para encontrar as zonas úmidas, que necessitam proteção contra a contaminação ou podem ser utilizados por uma empresa para localizar um novo negócio e aproveitar as vantagens de uma zona de mercado com escassa competência.

Funcionamento de um SIG



O Sistema de Informação Geográfica pode mostrar a informação em camadas temáticas para realizar análises de multicritério completos

O **SIG** funciona como uma base de dados com informação geográfica (*dados alfanuméricos*) que se encontram associada a um identificador comum aos objetos gráficos de um mapa digital. Desta forma, assinalando-se um objeto se conhece seus atributos e, inversamente, perguntando por um registro da base de dados se pode saber sua localização na cartografia.

A razão fundamental para se utilizar um **SIG** é a gestão de informação espacial. O sistema permite separar a informação em diferentes camadas temáticas e as armazena independentemente, permitindo trabalhar com elas de maneira rápida e simples, facilitando

ao profissional a possibilidade de relacionar a informação existente através da topologia dos objetos, com a finalidade de gerar outra informação que não poderíamos obter de outra forma.

As principais questões que podem resolver um **Sistema de Informação Geográfica**, ordenadas da menor a maior complexidade, são:

1. **Localização**: perguntar pelas características de um lugar concreto.
2. **Condição**: o cumprimento ou não de condições impostas ao sistema.
3. **Tendência**: comparação entre situações temporais ou espaciais distintas de alguma característica.
4. **Rotas**: cálculo de rotas ótimas entre dois ou mais pontos.
5. **Diretrizes**: detecção de diretrizes espaciais.
6. **Modelos**: geração de modelos a partir de fenômenos ou atuações simuladas.

Por ser tão versátil, o campo de aplicação dos **Sistemas de Informação Geográfica** é muito amplo, podendo utilizar-se na maioria das atividades com um componente espacial. A profunda revolução que tem provocado às novas tecnologias incidiu de maneira decisiva em sua evolução.

História de seu desenvolvimento

Há uns 15.000 anos, nas paredes das grutas de Lascaux (*França*), os homens de Cro-Magnon pintavam, nas paredes, os animais que caçavam, associando estas pinturas com traços lineares que, se acredita, relacionavam-se com as rotas de migração dessas espécies. Se bem que este exemplo é simplista em comparação com as

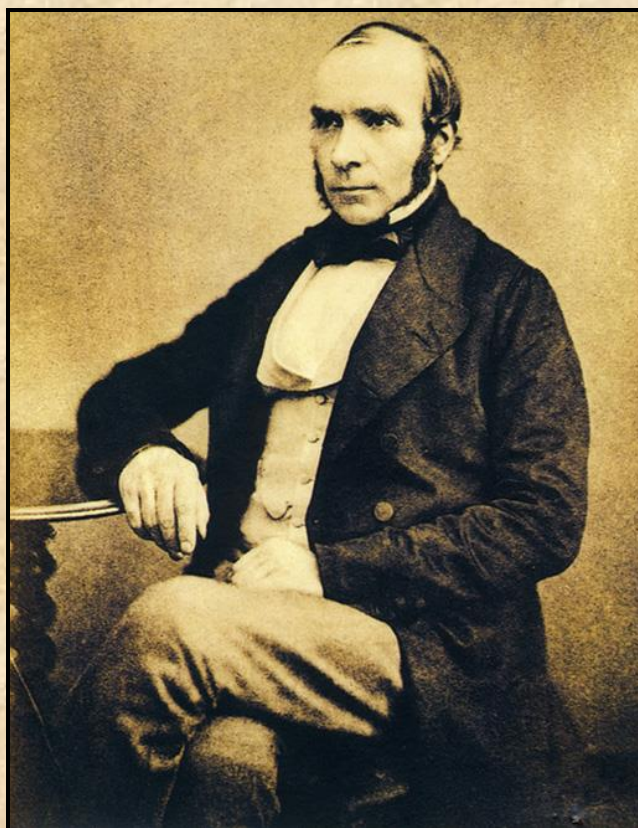
tecnologias modernas, estes antecedentes recentes imitam a dois elementos dos **Sistemas de Informação Geográfica** modernos: uma imagem associada com um atributo de informação.



Mapa original do Dr. John Snow. Os pontos são casos de cólera durante a epidemia de 1854 em Londres. As cruzes representam os poços de água utilizados pelos enfermos.

Em 1854 o pioneiro da epidemiologia, o **Dr. John Snow**, proporcionaria outro clássico exemplo deste conceito quando cartografou, em um famoso mapa, a incidência dos casos de cólera no distrito de Soho, em Londres. Este **protoSIG**, quem sabe seja o exemplo mais recente do método geográfico, permitiu a Snow localizar com precisão um poço de água contaminado como a fonte causadora do surto.

Se bem que a cartografia topográfica e temática já existiam previamente, o mapa de John Snow foi o único até o momento, que, utilizando métodos cartográficos, não só representava a realidade, se bem que pela primeira vez analisava conjuntos de fenômenos geográficos dependentes.



John Snow

O início do século XX viu o desenvolvimento da "**foto litografia**" onde os mapas eram separados em camadas. O avanço do hardware impulsionado pelas investigações em armamentos nucleares daria lugar, no começo dos anos 60, ao desenvolvimento de aplicações cartográficas para computadores.

O ano de 1962 viu a primeira utilização real dos **SIG** no mundo, concretamente em Ottawa (*Ontário, Canadá*) e a cargo do Departamento Federal de Silvicultura e Desenvolvimento Rural. Desenvolvido por **Roger Tomlinson**, o chamado **Sistema de Informação Geográfica do Canadá** (*Canadian Geographic*

Information System, CGIS) foi utilizado para armazenar, analisar e manipular dados obtidos para o Inventário de Terras do Canadá (*Canada Land Inventory, CLI*) - uma iniciativa orientada à gestão dos vastos recursos naturais do país com informação cartográfica relativa a tipos e usos do solo, agricultura, espaços de recreação, vida silvestre, aves aquáticas e silvicultura, todos eles em escala de 1:50.000. Adicionou-se, assim mesmo, um fator de classificação para permitir a análise da informação.



Roger Tomlinson

O **Sistema de Informação Geográfica do Canadá** foi o primeiro **SIG** no mundo similar e tal como os conhecemos hoje em dia, com um considerável avanço com respeito às aplicações cartográficas existentes até então, posto que permitiam superpor camadas de informação, realizar medições e levar a cabo digitalizações e escaneamento de dados. Assim mesmo, suportava um sistema nacional de coordenadas que cobria todo o continente, uma codificação de linhas em "arcos" que possuía uma verdadeira topológica integrada e que armazenava os atributos de cada elemento e a informação sobre sua localização, em arquivos separados. Como consequência disso, Tomlinson é

considerado como "**o pai dos SIG**", em particular pelo emprego de informação geográfica convergente e estruturada em camadas, o que facilita sua análise espacial. O **CGIS** esteve operativo até a década de 90 chegando a ser a base de dados sobre os recursos do território do Canadá. Foi desenvolvido como um sistema baseado em um computador central e sua fortaleza permitia realizar análises complexas de conjuntos de dados que cobriam todo o continente. O software, decano dos **Sistemas de Informação Geográfica**, nunca esteve disponível de forma comercial.



Howard T. Fisher

Em 1964, **Howard T. Fisher** criou na Universidade de Harvard o Laboratório de Computação Gráfica e Análise Espacial na Harvard Graduate School of Design (*LCGSA 1965-1991*), aonde se desenrolou uma série de importantes conceitos teóricos no manejo de dados

espaciais, e na década de 70 havia difundido código de software e sistemas inovadores, tais como SYMAP, GRID e ODYSSEY - os quais serviram como fontes de inspiração conceitual para seu posterior empreendimento comercial - as universidades, centros de pesquisa e empresas de todo o mundo.

Na década de 80, **M&S Computing** (*mais tarde Intergraph*), **Environmental Systems Research Institute** (*ESRI*) e **CARIS** (*Computer Aided Resource Information System*) emergiram como provedores comerciais de software **SIG**. Incorporaram com êxito muitas das características de **CGIS**, combinando o enfoque de primeira geração de **Sistemas de Informação Geográfica** relativo à separação da informação espacial e os atributos dos elementos geográficos representados com um enfoque de segunda geração que organiza e estrutura estes atributos em bases de dados.

Na década dos anos 70 e princípios dos 80 se iniciou, em paralelo, o desenvolvimento dos sistemas de domínio público. O projeto **Map Overlay and Statistical System** (*MOSS*) teve início em 1977 em Fort Collins (*Colorado, EUA*), sob os auspícios da Western Energy and Land Use Team (*WELUT*) e o Serviço de Pesca e Vida Silvestre dos Estados Unidos (*US Fish and Wildlife Service*). Em 1982 o Corpo de Engenheiros do Laboratório de Pesquisa de Engenharia da Construção do Exército dos Estados Unidos (*USA-CERL*) desenvolve o **GRASS** como ferramenta para a supervisão e gestão do meio ambiente dos territórios sob a administração do Departamento de Defesa.

Esta etapa de desenvolvimento está caracterizada, em geral, pela diminuição da importância das iniciativas individuais e um aumento dos interesses a nível corporativo, especialmente por parte das instâncias governamentais e da administração.

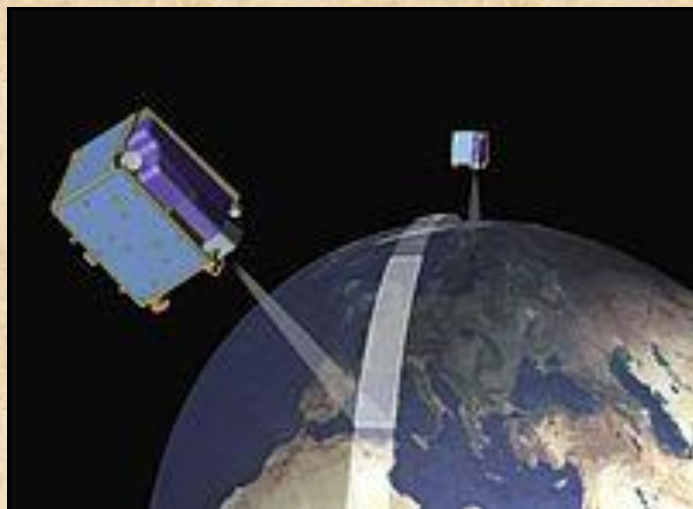
Os anos 80 e 90 foram anos de forte aumento das empresas que comercializavam estes sistemas, devido ao crescimento dos **SIG** em estações de trabalho **UNIX** e computadores pessoais. É o período no qual se veio a conhecer os **SIG** como a fase comercial. O interesse das grandes indústrias relacionadas direta ou indiretamente com os **SIG** cresce de sobremaneira devido à grande avalanche de produtos no mercado da informática internacional que generalizou esta tecnologia.

Na década dos anos 90 se inicia uma etapa comercial para profissionais, onde os **Sistemas de Informação Geográfica** iniciaram a difundir-se ao nível do usuário doméstico devido à generalização dos computadores pessoais (PC) ou microcomputadores.

No final do século XX princípios do XXI o rápido crescimento nos diferentes sistemas se consolidaram, restringindo-se a um número relativamente reduzido de plataformas. Os usuários estão começando a exportar o conceito de visualização de dados **SIG** a **Internet**, o que requer uma standardização de formato dos dados e de normas de transferência. Mais recentemente, tem havido uma expansão no número de desenvolvimento de software **SIG** de código livre, os quais, a diferença do software comercial, somente cobre uma gama mais ampla de sistemas operativos, permitindo ser modificado para levar a cabo tarefas específicas.

Técnicas utilizadas nos Sistemas de Informação Geográfica

A criação de dados



O sensoriamento remoto é uma das principais fontes de dados para os SIG.

As modernas tecnologias **SIG** trabalham com informações digitais, para as quais existem vários métodos utilizados na criação de dados digitais. O método mais utilizado é a digitalização, o qual, a partir de um mapa impresso ou com informação tomada no campo se transfere a um meio digital, por exemplo, um programa de Desenho Assistido por Computador (*DAC*) com capacidade de georreferenciamento.

Dada à ampla disponibilidade de imagens orto-retificadas (*tanto de satélite como aéreas*), a digitalização, por esta via, está se convertendo na principal fonte de extração de dados geográficos. Esta forma de digitalização implica na busca de dados geográficos diretamente nas imagens aéreas, no lugar do método tradicional da localização de formas geográficas sobre uma mesa de digitalização.

A representação dos dados

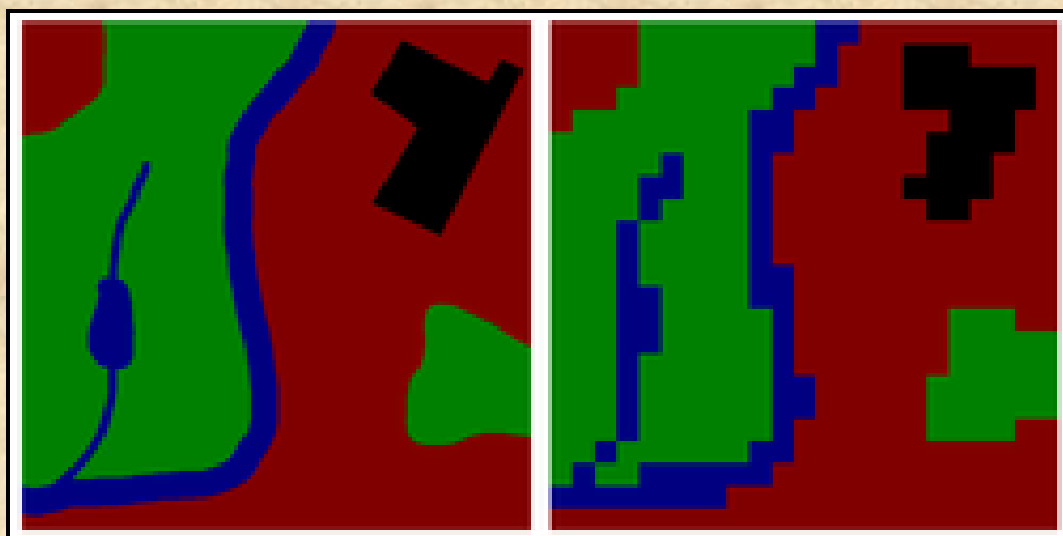
Os dados **SIG** representam os objetos do mundo real (*estradas, uso do solo, altitudes*). Os objetos do mundo real podem ser divididos

em duas categorias: objetos discretos (*uma casa*) e contínuos (*quantidade de chuva caída, uma elevação*). Existem duas formas de armazenar os dados em um **SIG**: **raster** e **vetorial**.

Os **SIG** que se centram no gerenciamento dos dados no formato vetorial são mais populares no mercado. Contudo, os **SIG raster** são muito utilizados em estudos que requerem a geração de camadas contínuas, necessárias em fenômenos não discretos; também em estudos do meio ambiente aonde não se requer uma excessiva precisão espacial (*contaminação atmosférica, distribuição de temperaturas, localização de espécies marinhas, análises geológicas, etc.*).

Raster

Um tipo de dado **raster** é, em essência, qualquer tipo de imagem digital representada em malha. O modelo de **SIG raster** ou de retícula se foca nas propriedades do espaço mais que na precisão da localização. Divide o espaço em células regulares aonde cada uma delas representa um único valor.



Interpretação cartográfica vetorial (esquerda) e raster (direita) de elementos geográficos.

Qualquer um que esteja familiarizado com a fotografia digital reconhece o **pixel** como a unidade menor de informação de uma imagem. Uma combinação destes **pixels** criará uma imagem, a distinção do uso comum de gráficos vetoriais escaláveis que são à base do modelo vetorial. Se bem que uma imagem digital se refere à saída como uma representação da realidade, em uma fotografia ou a arte transferida ao computador, o tipo de dados **raster** refletirá uma abstração da realidade. As fotografias aéreas são uma forma de dados **raster** utilizada comumente com um só propósito: mostrar uma imagem detalhada de um mapa base sobre o qual se realizaram trabalhos de digitalização. Outros conjuntos de dados **raster** poderão conter informação referente às elevações do terreno (*um Modelo Digital do Terreno*), ou da reflexão da luz de um particular comprimento de onda (*por exemplo, as obtidas pelo satélite LandSat*), entre outros.

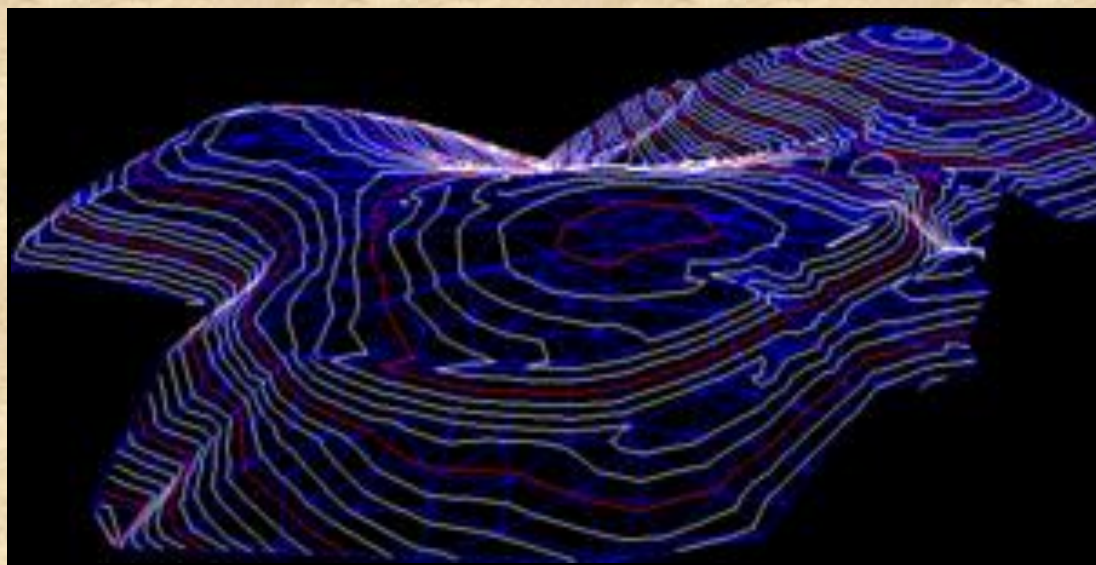
Os dados **raster** se compõem de linhas e colunas de células, cada célula armazena um valor único. Os dados **raster** podem ser imagens (*imagens raster*), com um valor de cor em cada célula (*ou pixel*). Outros valores registrados para cada célula pode ser um valor discreto, como o uso do solo, valores contínuos, como temperaturas, ou um valor nulo se não dispusermos de dados. Se bem que uma trama de células armazenam um valor único, estas podem ampliar-se mediante o uso das bandas do **raster** para representar as cores RGB (*vermelho, verde, azul*), ou uma tabela de atributos com uma linha para cada valor único de célula. A resolução do conjunto de dados **raster** é a largura da célula em unidade de campo.

Os dados **raster** se armazenam em diferentes formatos, desde um arquivo estandar com base na estrutura de TIFF, JPEG, etc. a grandes objetos binários (*BLOB*), os dados armazenados diretamente no

Sistema de gestão de base de dados. O armazenamento em bases de dados, quando se indexam, em geral permite uma rápida recuperação dos dados **raster**, porém a custo de requerer o armazenamento de milhões de registros com um importante tamanho de memória. Em um modelo **raster**, quanto maiores sejam as dimensões das células, menor é a precisão ou detalhe (*resolução*) da representação do espaço geográfico.

Vetorial

Em um **SIG**, as características geográficas se expressam frequentemente como **vetores**, mantendo as características geométricas das figuras.



Representação de curvas de nível sobre uma superfície tridimensional gerada por uma malha TIN.

Nos dados **vetoriais**, o interesse das representações se centra na precisão de localização dos elementos geográficos sobre o espaço, e onde os fenômenos a ser representado são discretos, quer dizer, de limites definidos. Cada uma destas geometrias está vinculada a uma fileira em uma base de dados que descreve seus atributos. Por exemplo, uma base de dados que descreve os lagos pode conter dados

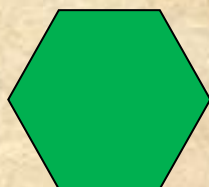
sobre a batimetria destes lagos, a qualidade de água ou o nível de contaminação. Esta informação pode ser utilizada para criar um mapa que descreva um atributo particular contido na base de dados. Os lagos podem ter uma gama de cores em função do nível de contaminação. Além disso, as diferentes geometrias dos elementos também podem ser comparadas. Assim, por exemplo, o **SIG** pode ser usado para identificar aqueles poços (*geometria de pontos*) que estão em torno de 2 km de um lago (*geometria de polígonos*) e que tem um alto nível de contaminação.



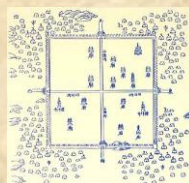
Ponto
(0D)



Linha
(1D)



Polígono
(2D)



Terreno
(2,5D)



Objeto
(3D)

Dimensão espacial dos dados em um SIG.

Os elementos **vetoriais** podem ser criados respeitando uma integridade territorial através da aplicação de normas topológicas tais como que "**os polígonos não devem superpor-se**". Os dados **vetoriais** podem ser utilizados para representar variações contínuas de fenômenos. As linhas de contorno e as redes irregulares de triângulos (TIN) se utilizam para representar a altitude ou outros valores em contínua evolução. Os TIN são registros de valores em um ponto localizado, que estão conectados por linhas para formar uma malha irregular de triângulos. As faces dos triângulos representam, por exemplo, a superfície do terreno.

Para modelar digitalmente as entidades do mundo real se utilizam três elementos geométricos: o **ponto**, a **linha** e o **polígono**.

- **Pontos**

Os **pontos** são utilizados para as entidades geográficas que podem ser melhor expressas por um único ponto de referência. Em outras palavras: a simples localização. Por exemplo, as localizações dos poços, picos de elevações ou pontos de interesse. Os **pontos** transmitem a menor quantidade de informação destes tipos de arquivos e não são possíveis as medições. Também se pode utilizar para representar zonas a uma escala pequena. Por exemplo, as cidades em um mapa do mundo estarão representadas por **pontos** em lugar de polígonos.

- **Linhas ou polilinhas**

As **linhas** unidimensionais ou **polilinhas** são usadas para representar características lineares como rios, caminhos, ferrovias, traços, linhas topográficas ou curvas de nível. De igual forma que nas entidades pontuais, em pequenas escalas podem ser utilizadas para representar polígonos. Nos elementos lineares pode medir-se a distância.

- **Polígonos**

Os **polígonos** bidimensionais são utilizados para representar elementos geográficos que cobrem um área particular da superfície da terra. Estas entidades podem representar lagos, limites de parques naturais, edifícios, províncias, ou os usos do solo, por exemplo. Os **polígonos** transmitem a maior quantidade de informação em arquivos com dados vetoriais e neles se pode medir o perímetro e a área.

Vantagens e desvantagens dos modelos raster e vetorial

Existem vantagens e desvantagens na hora de utilizar um modelo de dados **raster** ou **vetorial** para representar a realidade.

Vantagens

Vetorial	Raster
A estrutura dos dados é compacta. Armazena os dados somente dos elementos digitalizados para o que requer menos memória para seu armazenamento e tratamento.	A estrutura dos dados é muito simples.
Codificação eficiente da topologia e as operações espaciais.	As operações de superposição são muito simples.
Boa saída gráfica. Os elementos são representados como gráficos vetoriais que não perdem definição se ampliarmos a escala de visualização.	Formato ótimo para variações altas de dados.
Tem uma maior compatibilidade com o entorno de bases de dados relacionais.	Bom armazenamento de imagens digitais.
As operações de redimensionamento, reprojeção são mais fáceis de executar.	
Os dados são mais fáceis de manter e atualizar.	
Em alguns aspectos permite uma maior capacidade de análises, sobre tudo em redes.	

Desvantagens

Vetorial	Raster
A estrutura dos dados é mais complexa.	Maior requerimento de memória de armazenamento. Todas as células contêm dados.
As operações de superposição são mais difíceis de programar e representar.	As regras topológicas são mais difíceis de gerar.
Eficácia reduzida quando a variação de dados é alta.	As saídas gráficas são menos vistosas e estéticas. Dependendo da resolução do arquivo raster, os elementos podem ter seus limites originais mais ou menos definidos.
É um formato mais laborioso de manter atualizado.	

Dados não espaciais

Os dados **não espaciais** também podem ser armazenados junto com os dados espaciais, representados pelas coordenadas da geometria de um vetor ou pela posição de uma célula **raster**. Nos dados **vetoriais**, os dados adicionais contêm atributos da entidade geográfica. Por exemplo, um polígono de um inventário florestal também pode ter um valor que funcione como identificador e de informação sobre espécies de árvores. Nos dados **raster** o valor da célula pode armazenar a informação de atributo, porém também pode ser utilizado como um identificador referido aos registros de uma tabela.

A captura dos dados



Com um par de fotografias aéreas tomadas em dois pontos deslocados, como as da imagem, se consegue realizar a estereoscopia. Mediante esta paralaxe se cria uma ilusão de profundidade que permite ao observador reconhecer informação visual tridimensional como as elevações e pendentes da área fotografada.

A **captura de dados** e a introdução de informação no sistema consome a maior parte do tempo dos profissionais dos SIG. Há uma ampla variedade de métodos utilizados para introduzir dados em um SIG armazenados em um formato digital.

Os dados impressos em papel ou mapas, em película PET, podem ser digitalizados ou escaneados para produzir **dados digitais**.

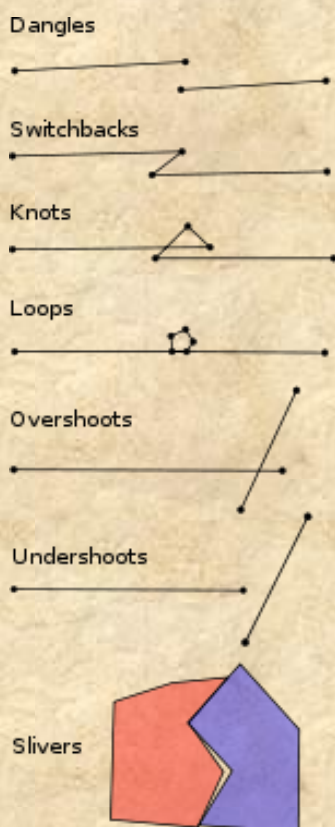
Com a digitalização cartográfica em suporte analógico se produz **dados vetoriais** através do traçado de pontos, linhas, e limites de polígonos. Este trabalho pode ser desenvolvido por uma pessoa de forma manual ou através de programas de vetorização que automatizam o trabalho sobre um mapa escaneado. Não obstante, neste último caso sempre será necessário sua revisão e edição manual, dependendo do nível de qualidade que se deseja obter.

Os **dados obtidos** de medições topográficas podem ser introduzidos diretamente em um **SIG** através de instrumentos de

captura de dados digitais mediante uma técnica chamada geometria analítica. Ademais, as coordenadas de posição tomadas através de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) também podem ser introduzidas diretamente em um **SIG**.

Os sensores remotos também jogam um papel importante na recolhimento de dados. São sensores, como câmaras, escâneres ou LIDAR acoplados a plataformas móveis, como aviões ou satélites.

Atualmente, a maior parte dos **dados digitais** provem da interpretação de fotografias aéreas. Para isso são utilizadas estações de trabalho que digitalizam diretamente os elementos geográficos através de pares estereoscópicos de fotografias digitais. Estes sistemas permitem capturar dados em duas e três dimensões, com elevações medidas diretamente de um par estereoscópico de acordo aos princípios da fotogrametria.



Erros topológicos e de digitalização em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A **teleobservação por satélite** proporciona outra fonte importante de dados espaciais. Neste caso os satélites utilizam diferentes sensores para medir a refletância das partes do espectro electromagnético, ou as ondas de radio que são enviadas a partir de um sensor ativo como o **radar**. O Sensoriamento Remoto recopia dados raster que podem ser processados usando diferentes bandas para determinar as classes e objetos de interesse, tais como as diferentes coberturas da terra.

Quando se capturam os dados, o usuário deve considerar se estes devem ser tomados com uma exatidão relativa ou com uma absoluta precisão. Esta decisão é importante já que não só influi na interpretação da informação, se não também no custo de sua captura.

Além da **captura** e da entrada em dados espaciais, os dados de atributos também são introduzidos em um **SIG**. Durante os processos de digitalização da cartografia é frequente que se deem falhas topológicas involuntárias (*dangles, undershoots, overshoots, switchbacks, knots, loops, etc.*) nos **dados vetoriais** e que deverão ser corrigidos. Depois de introduzir os dados em um **SIG**, estes normalmente requerem uma edição ou processamento posterior para eliminar os erros citados. Dever-se-á fazer uma "**correção topológica**" antes que possam ser utilizados em algumas análises avançadas e, assim por exemplo, em uma rede de rodovias as linhas deverão estar conectadas com nós nas intersecções.

No caso de mapas escaneados, é necessário eliminar a trama resultante gerada pelo processo de digitalização do mapa original. Assim, por exemplo, uma mancha de sujeira poderia unir duas linhas que não deveriam estar conectadas.

Conversão de dados raster-vetorial

Os **SIG** podem levar a cabo uma reestruturação dos dados para transformá-los em diferentes formatos. Por exemplo, é possível converter uma imagem de satélite em um mapa de elementos vetoriais mediante a geração de linhas em torno de células com uma mesma classificação, determinando a relação espacial destas, tais como proximidade ou inclusão.

A **vetorização** não assistida de imagens **raster**, mediante algoritmos avançados, é uma técnica que vem se desenvolvendo desde o final dos anos 60 do século XX. Para isso se recorre ao melhor do contraste, imagens em falsa cor assim como o projeto de filtros mediante a implementação de transformadas de Fourier em duas dimensões.

Ao processo inverso de conversão de dados **vetoriais** a uma estrutura de dados baseada em uma matriz **raster** se denomina **rasterização**.

Sabendo-se que os dados digitais são obtidos e se armazenam em ambas as formas, **vetorial** e **raster**, um **SIG** deve ser capaz de converter os dados geográficos de uma estrutura de armazenamento a outra.

Projeções, sistemas de coordenadas e reprojeção.

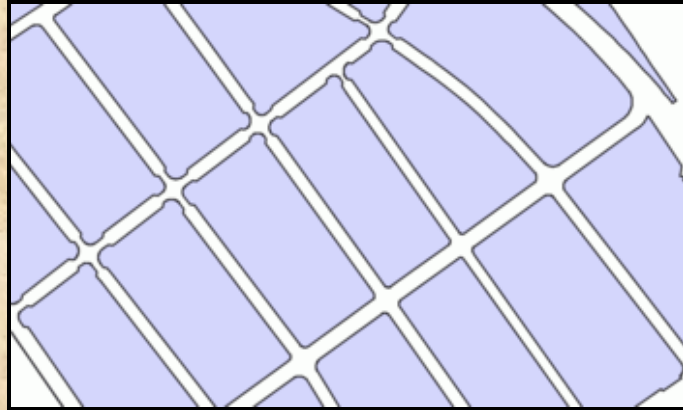
Antes de analisar os dados no **SIG**, a cartografia deve estar toda ela em uma mesma projeção e mesmo sistema de coordenadas. Para isso muitas vezes é necessário reprojetar as camadas de informação antes de integrá-las no Sistema de Informação Geográfica.

A Terra pode estar representada cartograficamente por vários **modelos matemáticos**, cada um dos quais podem proporcionar um conjunto diferente de coordenadas (*por exemplo, latitude, longitude, altitude*) para qualquer ponto dado da superfície. O modelo mais simples é assumir que a Terra é uma esfera perfeita. À medida que se vai acumulando mais medições do planeta os modelos do geoide ficam mais sofisticados e mais precisos. Desta maneira, alguns destes se aplicam a diferentes regiões da Terra para proporcionar uma maior precisão (*por exemplo, o European Terrestrial Reference System 1989 - ETRS89 – funciona bem na Europa, porém não na América do Norte*).

A **projeção** é um componente fundamental na hora de criar um mapa. Uma **projeção matemática** é a maneira de transferir informação desde um modelo da Terra, o qual representa uma superfície curva em três dimensões, a outro de duas dimensões como é o papel ou a tela de um computador. Para isso se utilizam diferentes projeções cartográficas segundo o tipo de mapa que se deseja criar, já que existem determinadas projeções que se adaptam melhor a usos concretos que a outros. Por exemplo, uma projeção que representa com exatidão a forma dos continentes distorce, por outro lado, seus tamanhos relativos.

Dado que grande parte da informação em um **SIG** provém de cartografia já existente, um **Sistema de Informação Geográfica** utiliza a potencia de processamento do computador para transformar a informação digital, obtida de fontes com diferentes projeções e/ou diferentes sistemas de coordenadas, a uma projeção e sistema de coordenadas comum. No caso das imagens (*ortofotos, imagens de satélite, etc.*) este processo se denomina **retificação**.

Análise espacial mediante SIG



Exemplo de um processo levado a cabo em um SIG vetorial para a obtenção de eixos de ruas mediante o uso de polígonos de Thiessen.

Dada a ampla gama de técnicas de análise espacial que se desenvolveram durante o último meio século, qualquer resumo ou revisão só pode cobrir o tema a uma profundidade limitada. Este é um campo que troca rapidamente e os programas de **software SIG** incluem cada vez mais ferramentas de análises, seja nas versões estandar ou como extensões opcionais deste. Em muitos casos tais ferramentas são proporcionadas pelos provedores do **software** original, enquanto que em outros casos as implementações destas novas funcionalidades se desenvolveram e são proporcionados por terceiros. Ademais, muitos produtos oferecem kits de desenvolvimento de **software** (SDK), linguagens de programação, linguagens de scripting, etc. para o desenvolvimento de ferramentas próprias de análises ou outras funções.

Modelo topológico

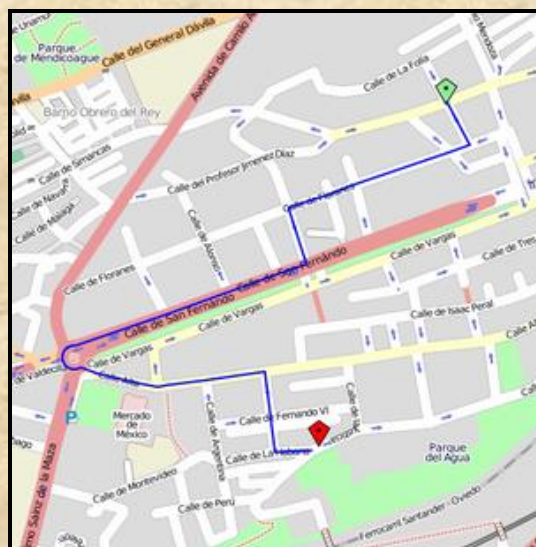
Um **SIG** pode reconhecer e analisar as relações espaciais que existem na informação geográfica armazenada. Estas relações topológicas permitem realizar modelizações e análises espaciais complexas. Assim, por exemplo, o **SIG** pode discernir a parcela ou

parcelas cadastrais que são atravessadas por uma linha de alta tensão, ou bem saber que agrupamento de linhas forma uma determinada estrada.

Em suma podemos dizer que no âmbito dos **Sistemas de Informação Geográfica** se entende como topologia as relações espaciais entre os diferentes elementos gráficos (*topologia de nós/ponto, topologia de rede/arco/linha, topologia de polígono*) e sua posição no mapa (*proximidade, inclusão, conectividade e vizinhança*). Estas relações, que para o ser humano podem ser óbvias a simples vista, o software as deve estabelecer mediante uma linguagem e umas regras de geometria matemática.

Para levar a cabo análises no que é necessário que exista consistência topológica dos elementos da base de dados necessita-se realizar previamente uma validação e correção topológica da informação gráfica. Para isso existem ferramentas nos **SIG** que facilitam a retificação de erros comuns de maneira automática ou semiautomática.

Redes



Cálculo de uma rua ótima para veículos entre um ponto de origem (em verde) e um ponto de destino (em vermelho) a partir de dados do projeto OpenStreetMap.

Um **SIG** destinado ao cálculo de rotas ótimas para serviços de emergência é capaz de determinar o caminho mais curto entre dois pontos tendo em conta tanto direções e sentidos de circulação como direções proibidas, etc. evitando áreas impraticáveis. O **SIG** para o gerenciamento de uma rede de abastecimento de água seria capaz de determinar, por exemplo, a quantos consumidores afetaria o corte do serviço em um determinado ponto da rede.

Um **Sistema de Informação Geográfica** pode simular fluxos ao longo de uma rede linear. Valores como a pendente, o limite de velocidade, níveis de serviço, etc. podem ser incorporados ao modelo com a finalidade de obter uma maior precisão. O uso de **SIG** para o modelado de redes pode ser comumente empregado na planificação do transporte, planificação hidrológica ou a gestão de infraestrutura linear.

Superposição de mapas

A combinação de vários conjuntos de dados espaciais (*pontos, linhas ou polígonos*) pode criar outros novos conjuntos de dados **vetoriais**. Visualmente seria similar ao empilhamento de vários mapas de uma mesma região. Estas **superposições** são similares às **superposições matemáticas** do diagrama de Venn. Uma união de camadas superpostas combina as características geográficas e as tabelas de atributos de todas elas em uma nova camada. No caso de realizar uma intersecção de camadas esta definiria a zona em que ambas se superpõem, e o resultado mantém o conjunto de atributos para cada uma das regiões. No caso de uma **superposição** de diferença simétrica se define um área resultante que inclui a superfície total de ambas as camadas a exceção da zona de intersecção.

Na análise de dados **raster**, a superposição de conjunto de dados se leva a cabo mediante um processo conhecido como "**álgebra de mapas**", através de uma função que combina os valores de cada matriz raster. Na álgebra de mapas é possível ponderar em maior ou menor medida, determinadas coberturas mediante um "modelo índice" que reflete o grão de influência de diversos fatores em um fenômeno geográfico.

Cartografia automatizada



Precisão e generalização de um mapa em função de sua escala.

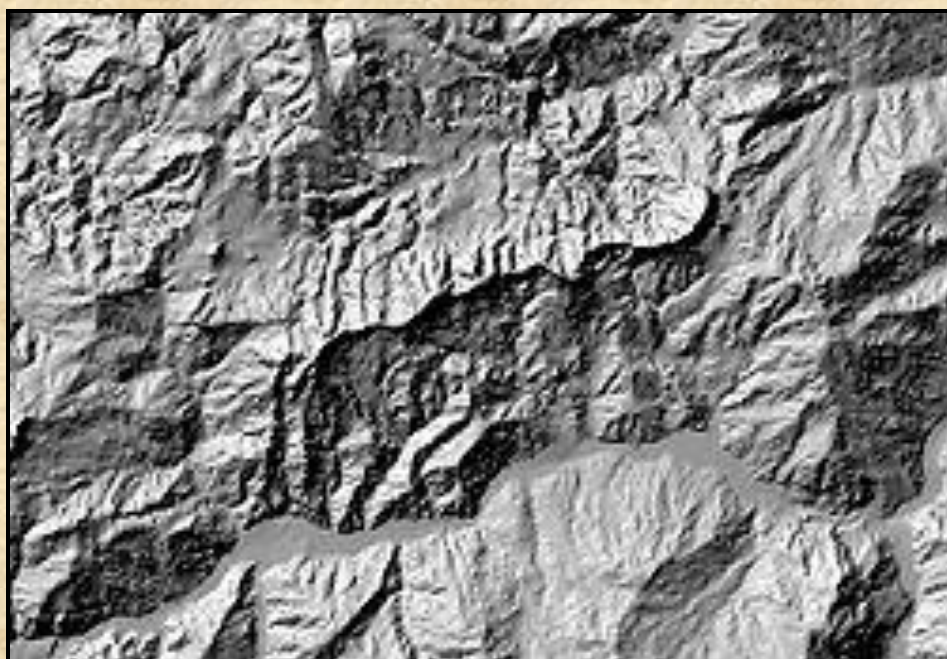
Tanto a **cartografia digital** como os **Sistemas de Informação Geográfica** codificam relações espaciais em representações formais estruturadas. Os **SIG** são usados na criação de cartografia digital como ferramentas que permitem realizar um processo automatizado ou semiautomatizado de elaboração de mapas denominado cartografia automatizada.

Na prática isto seria um subconjunto dos **SIG** que equivaleria à fase de composição final do mapa, dado que na maioria dos casos não todos os software de **Sistemas de Informação Geográfica** possuem esta funcionalidade.

O produto cartográfico final resultante pode estar tanto no formato digital como impresso. O uso conjunto que em determinados **SIG** se dá

através de potentes técnicas de análise espacial junto com uma representação cartográfica profissional dos dados, faz com que se possa criar **mapas de alta qualidade** em um curto período. A principal dificuldade em **cartografia automatizada** é o de utilizar um único conjunto de dados para produzir vários produtos segundo diferentes tipos de escalas, uma técnica conhecida como **generalização**.

Geoestatística



Modelo de relevo sombreado gerado por interpolação a partir de un Modelo Digital de Elevações (MDE) de uma zona dos Apeninos (Italia)

A **geoestatística** analisa padrões espaciais com a finalidade de conseguir predições a partir de dados espaciais concretos. É uma forma de ver as propriedades estatísticas dos dados espaciais. Na **geoestatística** se emprega o uso da teoria de gráficos e de matrizes algébricas para reduzir o número de parâmetros nos dados. Depois disso, a análise dos dados associados à entidade geográfica teria ocorrido em segundo lugar.

Quando se mede os fenômenos, os métodos de observação dão a exatidão de qualquer análise posterior. Devido à natureza dos dados (*por exemplo, o padrão de tráfego em um entorno urbano, as pautas meteorológicas no oceano, etc.*), grau de precisão constante ou dinâmico se perde sempre na medição. Esta perda de **precisão** é determinada a partir da escala e a distribuição dos dados recolhidos. Os **SIG** dispõem de ferramentas que ajudam a realizar estas análises, destacando a geração de modelos de interpolação espacial.

Geocodificação

Artigo principal: Geocodificação



Geocodificação mediante SIG. Por um lado existe um número de policia conhecidos e por outro linhas descontinuas entre esse número de portal, as quais representam as seções nas quais se aplica o método da interpolação.

Geocodificação é o processo que atribui coordenadas geográficas (*latitude-longitude*) a pontos do mapa (*direções, pontos de interesse, etc.*). Um dos usos mais comum é a **georreferenciamento** de direções postais. Para isso se requer uma base cartográfica sobre a qual é referenciado os códigos geográficos. Esta camada base pode ser, por

exemplo, um traçado de eixos de ruas com nomes de ruas e números de casas. As direções concretas que se desejam **georreferenciar** no mapa, que geralmente provêm de tabelas tabuladas, se posicionam mediante interpolação ou estimacão. O **SIG**, a continuacão, localiza na camada de eixos de ruas o ponto no lugar mais próximo à realidade, segundo os algoritmos de **geocodificacão** que utiliza.

A **geocodificacão** pode também ser realizada com dados reais mais precisos (*por exemplo, cartografia cadastral*). Neste caso o resultado da **codificacão geográfica** se ajustará na maior medida realizada, prevalecendo sobre o método de interpolação.

No caso da **geocodificacão inversa** o processo seria ao revés. Relacionar-se-ia uma direcção de rua com seu número de portal a coordenadas x, y determinadas. Por exemplo, um usuário poderia fazer **clik** sobre uma camada que representa os eixos da via de uma cidade e obteria a informacão sobre a direcção postal com o número de identificacão de um edifício. Este número de portal é calculado de forma estimada pelo **SIG** mediante interpolação a partir de números já predeterminados. Se o usuário faz **clik** no ponto médio de um segmento que começa no portal 1 e termina com o 100, o valor determinado para o lugar selecionado será próximo ao 50. Há que ter em conta que a **geocodificacão inversa** não devolve as direcões reais, se não só estimativas do que deveria existir baseando-se em dados já conhecidos.

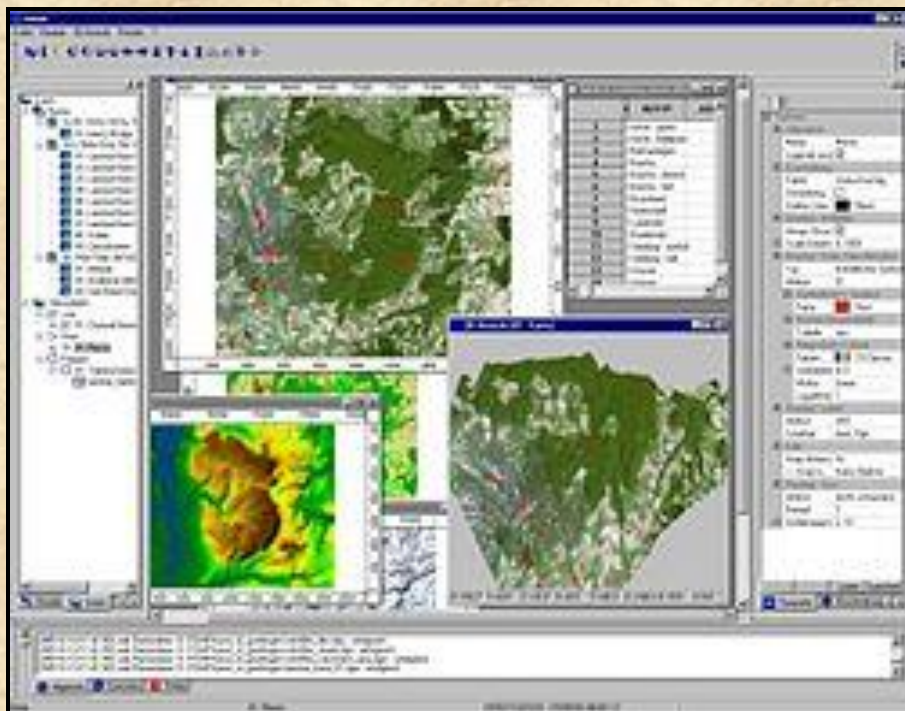
Software SIG



Editando uma camada vetorial de polígonos com o Sistema de Informação Geográfica de código Livre gvSIG.



Visualizando camadas WMS com o SIG 2.5D de código aberto Capaware.



SIG SAGA abrindo diferentes tipo de dados e uma vista em 2.5D

A **informação geográfica** pode ser consultada, transferida, transformada, superposta, processada e mostrada, utilizando-se numerosas **aplicações de software**. Em indústrias, empresas comerciais como ESRI, Intergraph, MapInfo, Bentley Systems, Autodesk ou Smallworld oferecem um completo conjunto de aplicações. Os governos somente optam por modificações ad-hoc de programas **SIG**, produtos de código aberto ou software especializado que responda a uma necessidade bem definida.

O manejo deste tipo de sistema é levado a cabo geralmente por profissionais de diversos campos do conhecimento com experiência em **Sistemas de Informação Geográfica** (*cartografia, geografia, topografia, etc.*), já que o uso destas ferramentas requer um aprendizado prévio, que necessita conhecer as bases metodológicas sobre as quais se fundamentam. Ainda assim existem ferramentas gratuitas para ter informação geográfica, o acesso do público em geral aos geodados está dominado pelos recursos em linha, como Google Earth e outros baseados em tecnologia **web mapping**.

Originalmente até o final dos anos 90, quando os dados do **SIG** se calibraram principalmente em grandes computadores e se utilizam para manter registros internos, o **software** era um produto independente. Entretanto com cada vez mais acesso a **Internet/Intranet** e à demanda de dados geográficos distribuídos, o **software SIG** mudou gradualmente sua perspectiva até a distribuição de dados através de redes. Os **SIG** que na atualidade se comercializam são combinações de varias aplicações interoperacionais e **APIs**.

Hoje, dentro do **software SIG**, se distingue seis grandes tipos de programas informáticos:

- **SIG de escritório**: São aqueles que se utilizam para criar, editar, administrar, analisar e visualizar os dados geográficos. Às vezes se classifica em três subcategorias segundo sua funcionalidade:
 - **Visor SIG**. São software simples que permitem exibir informação geográfica através de uma janela que funciona como visor e aonde se pode agregar varias camadas de informação.
 - **Editor SIG**. É aquele software SIG orientado principalmente ao tratamento prévio da informação geográfica para sua posterior análise. Antes de introduzir dados a um SIG é necessário prepará-los para seu uso neste tipo de sistema. Necessita-se transformar dados brutos ou herdados de outros sistemas em um formato utilizável pelo software SIG. Por exemplo, pode que uma fotografia aérea necessite ser ortorretificada mediante fotogrametria de modo tal que todos seus pixels sejam corrigidos digitalmente para que a imagem represente una projeção ortogonal sem efeitos de perspectiva e em uma mesma escala. Este tipo de transformação se pode

distinguir das que pode ser levada a cabo um SIG pelo fato de que, neste último caso, o trabalho parece ser mais complexo e com um maior consumo de tempo. Por tanto é comum que para estes casos se devam utilizar um tipo de software especializado nestas tarefas.

- **SIG de análises.** Dispõem de funcionalidades de análises espaciais e modelização cartográfica de processos.
- **Sistemas de gestão de bases de dados espaciais ou geográficas** (*SGBD espacial*). Empregam-se para armazenar a informação geográfica, porém muitas vezes proporcionam a funcionalidade das análises e manipulação dos dados. Uma base de dados **geográfica** ou **espacial** é uma base de dados com extensões que dão suporte a objetos geográficos permitindo o armazenamento, indexação, consulta e manipulação de informação geográfica e dados espaciais. Se bem que algumas destas bases de dados geográficos estão implementadas para permitir também o uso de funções de **geoprocessamento**, o principal benefício destas se centra na capacidade que oferecem no armazenamento de dados especialmente **georrefenciados**. Algumas destas capacidades incluem um fácil acesso a este tipo de informação mediante o uso de padrões de acesso as bases de dados como os controladores ODBC, a capacidade de unir ou vincular facilmente tabelas de dados ou a possibilidade de gerar uma indexação e agrupamento de dados espaciais, por exemplo.
- **Servidores cartográficos.** Utilizam-se para distribuir mapas através da Internet (*veja também os padrões de Normas Open Geospatial Consortium WFS e WMS*).

- **Servidor SIG.** Proporcionam basicamente a mesma funcionalidade que os SIG de escritório, porém permitem acesso a estas utilidades de geoprocessamento através de uma rede informática.
- **Clientes web SIG.** Permitem a visualização de dados e acesso a funcionalidades das análises e consulta de servidores SIG, através da Internet ou intranet. Geralmente se distingue entre o cliente leve e pesado. Os clientes leves (*por exemplo, um navegador web para visualizar mapas do Google*) só proporcionam uma funcionalidade de visualização e consulta, enquanto que os clientes pesados (*por exemplo, Google Earth ou um SIG de escritório*) proporcionam ferramentas adicionais para a edição de dados, análises e visualizações.
- **Bibliotecas e extensões espaciais.** Proporcionam características adicionais que não formam parte fundamental do programa já que podem não ser requeridas por um usuário médio deste tipo de software. Estas novas funcionalidades podem ser ferramentas para as análises espacial (*por exemplo, SEXTANTE*), ferramentas para a leitura de formatos de dados específicos (*por exemplo, GDAL e OGR*), ferramentas para a correta visualização cartográfica dos dados geográficos (*por exemplo, PROJ4*), ferramentas para funções geométricas fundamentais (*JTS*), ou para a implementação das especificações do Open Geospatial Consortium (*por exemplo, GeoTools*).
- **SIG móveis.** Usa-se para a obtenção de dados em campo através de dispositivos móveis (*PDA, Smartphone, Tablet PC, etc.*). Com a adoção generalizada por parte destes dispositivos de localização GPS integrados, o software SIG permite utilizá-los para a captura

Software SIG	Windows	Mac OS X	GNU/Linux	BSD	Unix	Entorno Web	Licencia de software
Generic Mapping Tools	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	GNU Livre: GNU
JUMP	Java	Java	Java	Java	Java	Não	Livre: GNU
Kosmo	Java	Java	Java	Java	Java	em desenvolvimento	Livre: GNU
LocalGIS	Java	Java	Java	Java	Java	Sim	Livre: GNU
LatiNãogis	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Software Não Livre
Manifold	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Software Não Livre
MapGuide Open Source	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	LAMP/WAMP	Livre: LGNU
MapInfo	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Software Não Livre
MapServer	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	LAMP/WAMP	Livre: BSD
Maptitude	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Software Não Livre
MapWindow GIS	Sim (ActiveX)	Não	Não	Não	Não	Não	Livre: MPL
ortoSky	Sim (C++)	Não	Não	Não	Não	Não	Software Não Livre
Quantum GIS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Livre: GNU
SAGA GIS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Livre: GNU
GE Smallworld	Sim	?	Sim	?	Sim	Sim	Software Não Livre
SavGIS	Sim	Não	Não	Não	Não	Integração com Google Maps	Software Não Livre: Freeware
SEXTANTE	Java	Java	Java	Java	Java	Não	Livre: GNU
SITAL	Sim	Não	Não	Não	Não	Integração com Google Maps	Software Não Livre
SPRING	Sim	Não	Sim	Não	Solaris	Não	Livre
SuperGIS	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Software Não Livre
TatukGIS	Sim	Não	Não	Não	Não	?	Software Não Livre
TNTMips	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Software Não Livre
TransCAD	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Software Não Livre
uDIG	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Livre: LGNU
GeoStratum	Sim (Flex/Java)	Sim (Flex/Java)	Sim (Flex/Java)	Sim (Flex/Java)	Sim (Flex/Java)	Sim (Flex/Java)	Software Não Livre

O futuro dos SIG

Muitas disciplinas se beneficiaram da tecnologia subjacente nos **SIG**. O ativo mercado dos **Sistemas de Informação Geográfica**

resultou em uma redução de custos e melhoras contínuas nos componentes de **hardware** e **software** dos sistemas. Isto tem provocado que o uso desta tecnologia tenha sido assimilado por universidades, governos, empresas e instituições que o tem aplicado a setores como os bens imóveis, a saúde pública, a criminologia, a defesa nacional, o desenvolvimento sustentável, os recursos naturais, a arqueologia, o planejamento, o urbanismo, o transporte, a sociologia ou a logística entre outros.

Na atualidade os **SIG** estão tendo uma forte implantação nos chamados **Serviços Baseados na Localização** (*LBS*) devido ao barateamento e superlotação da tecnologia GPS integrados em dispositivos móveis de consumo (*telefones móveis, PDAs, computadores portáteis*). Os **LBS** permitem aos dispositivos móveis com **GPS** mostrar sua localização em relação a pontos de interesse fixos (*restaurantes, postos de gasolina, caixa eletrônica, hidrantes, etc. mais próximos*), móveis (*amigos, filhos, ônibus, viaturas de polícia*) ou para transmitir sua posição a um servidor central para sua visualização ou outro tipo de tratamento.

Cartografia em ambiente web

Por outro lado o mundo dos **SIG** tem assistido nos últimos anos a uma explosão de aplicações destinadas a mostrar e editar cartografia em ambiente **Web** como **Google Maps**, **Bing Maps** ou **OpenStreetMap** entre outros. Estes sítios web dão ao público acesso a enormes quantidades de dados geográficos. Alguns deles utilizam software que, através de uma **API**, permitem aos usuários criar aplicações personalizadas. Estes serviços oferecem em geral ruas, imagens aéreas ou de satélite, geocodificação, busca em dicionários ou capacidade de roteamento.

O desenvolvimento da Internet e as redes de comunicação, assim como o surgimento de padrões **OGC** que facilitam a interoperabilidade dos dados espaciais, tem impulsionado a tecnologia web mapping, com o surgimento de numerosas aplicações que permitem a publicação de informação geográfica na web. Na verdade este tipo de serviço web mapping baseado em servidores de mapas que se acessam através do próprio navegador tem iniciado a adotar as características mais comuns nos **SIG** tradicionais, o que tem propiciado que a linha que separa ambos os tipos de software se difunda cada vez mais.

A terceira dimensão

Os sistemas existentes na atualidade no mercado estão basicamente sustentados na gestão e análises em **duas dimensões** dos dados, com as limitações que isto supõe. Existem sistemas híbridos a meio caminho entre o **2D** e o **3D** que têm capacidades, fundamentalmente de visualização, denominadas de duas dimensões e média (*2,5D*) ou falso 3D.

Não obstante hoje em dia cada vez mais se requerem aplicações avançadas com funcionalidades capazes de gestionar conjuntos de dados complexos tal e como se percebem no mundo real pelo usuário, isto é, em três dimensões. Este entorno proporciona um conhecimento muito melhor dos fenômenos e padrões geoespaciais, seja a pequena ou grande escala, por exemplo, na planificação urbana, a geologia, a mineração, a gestão de redes de abastecimento, etc.

As dificuldades com que se enfrenta um **SIG** completamente **3D** são grandes e vão desde as gestões de geometrias 3D e sua topologia até sua visualização de uma maneira simples, passando pela análise e geoprocessamento da informação.

Atualmente o **Open Geospatial Consortium** trabalha em como abordar a combinação dos diferentes tipos de modelados resultantes das distintas tecnologias **SIG**, **CAD** e **BIM** da forma mais integrada possível. A interoperabilidade destes formatos e modelos de dados constitui o primeiro passo para a criação de modelos **3D** inteligentes a diferentes escalas.

Semántica e SIG

As ferramentas e tecnologias emergentes desde a **W3C Semantic Web Activity** estão resultando úteis para os problemas de integração de dados nos sistemas de informação. De igual forma, essas tecnologias foram propostas como um meio para facilitar a interoperabilidade e a reutilização de dados entre aplicações **SIG** e também para permitir novos mecanismos de análises. Em suma a incorporação de certa inteligência artificial que dote a estes sistemas de novas funcionalidades tais como a recuperação seletiva de informação, a análise estatística, a generalização automática de mapas ou a interpretação automática de imagens geoespaciais.

As **ontologias** são componentes chave deste enfoque semântico, já que facilitam uma legibilidade por parte das máquinas de conceitos e relações em um domínio dado. Isto a sua vez permite ao **SIG** centrar-se no significado dos dados em lugar de sua sintaxes ou estrutura. Por exemplo, podemos estabelecer que um tipo de cobertura do solo classificada como bosques de frondosas caducifólias são um conjunto de dados detalhados de uma capa sobre cobertura vegetal do tipo floresta com uma classificação menos minuciosa, o que poderia ajudar a um SIG a fundir automaticamente ambos os conjuntos de dados em uma camada mais geral de classificação da cobertura vegetal terrestre.

Ontologias muito profundas e exaustivas têm sido desenvolvidas em áreas relacionadas com o uso dos **SIG**, como por exemplo, a Ontologia de Hidrologia desenvolvida pela Ordnance Survey no Reino Unido, a ontologia geopolítica da FAO, as ontologias OWL hydrOntology e Ontologia GML e as ontologias SWEET levadas a cabo pelo Laboratório de Propulsão a Jato da NASA.

Os SIG temporários

Uma das principais fronteiras que enfrenta os **Sistemas de Informação Geográfica** é a de agregar o elemento tempo aos dados geoespaciais. Os **SIG** temporários incorporam as três dimensões espaciais (X, Y e Z) adicionando o tempo em uma representação **4D** que se assemelha mais a realidade. A temporalidade nos **SIG** coleta os processos dinâmicos dos elementos representados. Por exemplo, imaginamos as possibilidades que ofereceria um Sistema de Informação Geográfica que permita desacelerar e acelerar o tempo dos processos geomorfológicos que nele se modelizam e analisar as diferentes sequências morfogénicas de um determinado relevo terrestre; ou modelar o desenvolvimento urbano de uma área determinada ao longo de um período dado.

Bibliografia

- Berry, J.K. (1993) Beyond Mapping: Concepts, Algorithms and Issues in GIS. Fort Collins, CO: GIS World Books.
- Bolstad, P. (2005) GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition. White Bear Lake, MN: Eider Press, 543 pp.
- Bosque Sendra, J. (1992) Sistemas de Información Geográfica. Rialp. Madrid.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998) Principles of geographical information systems. Oxford University Press, Oxford, 327 pp.
- Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. (2006) Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Buenos Aires, Lugar Editorial, 400 pp.
- Calvo, M. (1992) Sistemas de Información Geográfica Digitales: Sistemas geomáticos. IVAP-EUSKOIKER, Oñati, 616 pp.
- Chang, K. (2007) Introduction to Geographic Information System, 4th Edition. McGraw Hill.
- Coulman, Ross (2001 - present) Numerous GIS White Papers

- Elangovan, K (2006) "GIS: Fundamentals, Applications and Implementations", New India Publishing Agency, New Delhi"208 pp.
- Harvey, Francis(2008) A Primer of GIS, Fundamental geographic and cartographic concepts. The Guilford Press, 31 pp.
- Heywood, I., Cornelius, S., and Carver, S. (2006) An Introduction to Geographical Information Systems. Prentice Hall. 3rd edition.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. and Rhind, D.W. (2005) Geographic Information Systems and Science. Chichester: Wiley. 2nd edition.
- Maguire, D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W. (1997) "Geographic Information Systems: principles, and applications" Longman Scientific and Technical, Harlow.
- Ott, T. and Swiaczny, F. (2001) Time-integrative GIS. Management and analysis of spatio-temporal data, Berlin / Heidelberg / New York: Springer.
- Smith M J, Goodchild M F, Longley P A (2007) Geospatial analysis: A comprehensive guide to principles, techniques and software tools", 2nd edition, Troubador, UK available free online at: [1]
- Thurston, J., Poiker, T.K. and J. Patrick Moore. (2003) Integrated Geospatial Technologies: A Guide to GPS, GIS, and Data Logging. Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Tomlin, C.Dana (1991) Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Prentice Hall. New Jersey.
- Tomlinson, R.F., (2005) Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. ESRI Press. 328 pp.
- Wheatley, David and Gillings, Mark (2002) Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS. London, New York, Taylor & Francis.
- Wise, S. (2002) GIS Basics. London: Taylor & Francis.
- Worboys, Michael, and Matt Duckham. (2004) GIS: a computing perspective. Boca Ratón: CRC Press.