# APOSTILA DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

**PROF. DR. NILSON CLEMENTINO FERREIRA**

Apostila Elaborada para a Disciplina Sistema de Informações Geográficas da Coordenação da Área de Geomática do Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Goiás para Aulas do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento.

Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira**.**

**GOIÂNIA**

**2006**

# SUMÁRIO

# 1. Introdução

## 1.1 O que é SIG?

Para se saber o que é SIG, é necessário definir o que é IG (Informação Geográfica). Neste sentido, se pode pensar que informação geográfica é:

- informação sobre locais na superfície da Terra;
- conhecimento sobre *onde* alguma coisa está;
- conhecimento sobre o que está em uma dada localização

A informação geográfica pode ser muito detalhada, por exemplo:

- informação sobre as localizações de todas as edificações em uma cidade;
- informação sobre cada árvore em uma floresta.

Da mesma forma, o detalhamento da informação geográfica pode ser muito superficial. Por exemplo:

- o clima de uma grande região;
- a densidade populacional de um país;

Como é possível observar, nos exemplos acima, conforme os objetivos a serem alcançados, a resolução geográfica pode variar. Outras características da informação geográfica são:

- sempre relativamente estática:
    - as feições naturais e muitas feições culturais (de origem humana) não são alteradas rapidamente;
    - ao imprimir a informação geográfica em papel, a mesma se torna estática.
- pode ser muito volumosa:
    - alguns terabytes ($10^{12}$ bytes) de dados pode se produzido por um único satélite em um dia;
    - alguns gigabytes ($10^{9}$ bytes) de dados são necessários para descrever a rede viária do Brasil.

A informação geográfica pode ser expressa na forma digital, codificada em um alfabeto que utiliza somente dois caracteres (0 ou 1), denominado bits. Qualquer informação digital é uma seqüência de bits.

Para realizar coletas e manipulações de informações geográficas na forma digital, se fez necessário, o desenvolvimento de várias tecnologias, sendo que as de importante destaques são:

- Sistema de Satélite de Navegação Global (GNSS)
    - um sistema de satélites orbitando a Terra e transmitindo sinais precisos para o posicionamento geográfico;
        - Este sistema de satélites é composto por um conjunto de satélites Norte-Americanos (GPS), Russos (GLONASS) e da Comunidade Européia (Galileo).
    - os sinais transmitidos pelos satélites são recebidos, na superfície terrestre, por dispositivos eletrônicos especiais (receptores GNSS).
    - os receptores oferecem a medida direta de posição na superfície da Terra;
    - a localização é expressa em latitude/longitude ou ainda outro em outro sistema de coordenadas
- Sensoriamento Remoto
    - utiliza sensores a bordo de satélites e aeronaves para capturar informações sobre a superfície e atmosfera terrestre;
    - os sensores variam de acordo com a capacidade de detalhamento da observação espacial, espectral, temporal e radiométrica;
    - os sinais capturados pelos sensores são transmitidos para a Terra, recebidos em estações onde eles são transformados em imagens digitais.

Muitas outras tecnologias, ciências e técnicas são utilizadas na aquisição e manipulação de informações geográficas, entre elas, estão a cartografia, a geodésia, a topografia, a fotogrametria e os sistemas de informações geográficas (SIG), que são:

- um sistema para entrada, manipulação e exibição de informações geográficas;
- uma categoria de programa computacional;
- uma instância prática de um SIG combina programa computacional com equipamentos, dados, usuários e procedimentos, para resolver um problema, auxiliar decisões e planejamentos.

O SIG é um tipo especial de sistema de informações. Os sistemas de informações são utilizados para manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visualizar informações, geralmente armazenadas em bases de dados computacionais.

Uma aplicação comum dos sistemas de informações está relacionada com o gerenciamento de passageiros por empresas aéreas, para realizar reservas, venda de passagens e *check-in* de passageiros.

O SIG utiliza informações especiais sobre o *que está/ou ocorre* na superfície da Terra.

Existem muitos tipos de informações utilizadas em computadores:

- números – os computadores são utilizados para realizar operações com números tais como adição, multiplicação, divisão, etc.
- textos – os computadores são utilizados para processar palavras. É possível criar, editar, enviar e receber textos.
- figuras – os computadores poder ser utilizados para processar imagens.
- listas, tabelas – os computadores podem ser utilizados no processamento de planilhas.
- sons – os computadores dispõem de dispositivos periféricos e processadores capazes de capturar, processar e emitir sons.
- mapas e imagens da superfície terrestre – em programas computacionais para SIG.

O armazenamento, a recuperação, a pesquisa, a manipulação, o envio, a recepção, a cópia e a exibição de informações podem ser realizados manualmente, porém desta forma essas atividades podem ser muito lentas, tediosas, de difícil padronização e com maior probabilidade de ocorrência de erros. Além disso, mapas em papel são difíceis de manejar, armazenar, enviar, receber e copiar. Desta forma, a utilização de computadores, dotados de programas computacionais de SIG, torna essas operações mais fáceis e produtivas.

Atualmente, todos os tipos de informações podem ser manipulados por computadores, dotados de programas computacionais específicos.

Existem dois significados distintos para SIG, um deles se refere a uma aplicação real de SIG, incluindo equipamentos, dados, programas computacionais, recursos humanos e métodos necessários para resolver um problema (uma aplicação de SIG), conforme se pode observar na figura 1. Um outro significado de SIG se refere a um tipo de programa computacional vendido ou então disponibilizado por um desenvolvedor de programas computacionais.

Figura 1 – Uma aplicação de SIG

Neste curso, será considerado o primeiro significado de SIG, pois ele abrange também o segundo significado.

Os equipamentos para SIG são os mesmos utilizados em qualquer outra aplicação (teclado, monitor, cabos, dispositivos para Internet, processadores CISC e/ou RISC). No entanto a esses equipamentos comuns, podem ser adicionados periféricos extras, tais como receptores de sinais GNSS, grandes impressoras/plotters, restituidores fotogramétricos digitais, scanners, etc. O conjunto de equipamentos de um SIG depende da aplicação e do gerenciamento estratégico da instituição onde o SIG está sendo implantado. Muitas vezes, de comprar um determinado equipamento, se faz a opção de terceirizar o serviço, por exemplo, em vez de comprar um oneroso scanner colorido em formato A0 para digitalizar 500 mapas e depois deste serviço o equipamento cair em desuso, opta-se por terceirizar este serviço em empresas especializadas.

Atualmente, um SIG pode ser aplicado a praticamente todas as atividades humanas, uma vez que essas atividades são sempre executadas em algum local, em alguma posição geográfica. As grandes aplicações de Sistemas de Informações Geográficas requerem a montagem de uma equipe multidisciplinar, envolvendo profissionais de informática, bancos de dados, cartografia (cartografia, sensoriamento remoto, fotogrametria, geodésia, etc.) e os outros profissionais das áreas de aplicações do SIG, ou seja, se o SIG estiver sendo aplicado na gestão de distribuição elétrica, se fazem necessários na equipe os profissionais diretamente relacionados com gestão de eletricidade, o mesmo raciocínio pode ser feito com relação a agricultura, planejamento urbano, etc. Além desses profissionais, se faz necessário contemplar também as pessoas que utilizarão as informações geográficas produzidas pelo sistema, pessoas essas, nem sempre relacionadas com a aplicação ou a instituição onde o sistema está implantado. Desta forma, é possível categorizar os recursos humanos em três grupos, o núcleo de geomática, os usuários temáticos e os usuários gerais, conforme se pode observar na figura 2.

O Núcleo de Geomática é um laboratório, porém com número reduzido de profissionais altamente capacitados, operando computadores e programas computacionais que geram, tratam, manipulam e analisam grandes bases de dados geográficos, que elaboram metodologias e realizam a construção de aplicativos. Este núcleo é responsável ainda pela capacitação e suporte aos vários outros usuários do sistema, em especial aos usuários temáticos que serão descritos mais adiante.

O Núcleo de Geomática se ocupa em dominar os novos conceitos científicos e tecnológicos que surgem a cada dia, realizar análises complexas, além de pesquisas avançadas em SIG.

Todas as especificações de compra de equipamentos, programas computacionais e serviços relacionados com SIG, devem ser realizados pelo Núcleo de Geomática. Este grupo de usuários atua como o provedor de dados, suporte técnico, capacitação, novas metodologias e/ou aplicativos para toda a instituição onde o SIG está implantado.

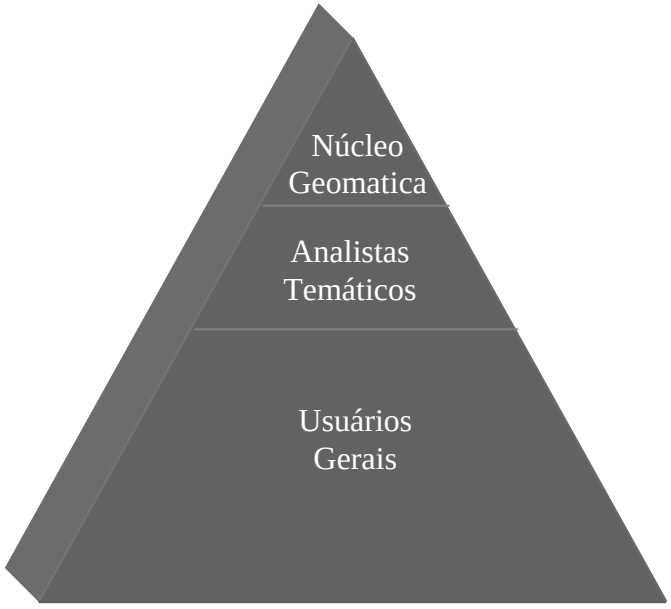



Figura 2 – Categorias de recursos humanos envolvidos em um SIG

Os Analistas Temáticos têm o interesse principal na gestão de um determinado tema. Por exemplo, pode ser um arquiteto interessado no planejamento urbano de um município ou então um biólogo interessado na gestão de algum ecossistema. O foco principal destes profissionais, portanto não é o SIG, que, todavia é uma ferramenta imprescindível na gestão do tema.

Os Analistas Temáticos devem ter bons conhecimentos de SIG, devem receber suporte do Núcleo de Geomática, utilizam base de dados de pequeno ou médio porte que acessam diretamente no núcleo de geomática, utilizam computadores pessoais de médio porte e também aplicativos fáceis de utilizar.

Os Analistas Temáticos são necessários na elaboração de metodologias de análises espaciais específicas, fornecendo informações conceituais, testando e aprovando novas metodologias. Os produtos gerados pelos analistas temáticos são informações geográficas que

podem estar na forma de mapas, relatórios, tabelas e estatísticas armazenadas em meio analógico e digital.

Os Usuários Gerais são pessoas que necessitam utilizar informações espaciais, mas tem pouco ou nenhum conhecimento a respeito de SIG. Utilizam computadores simples, e necessitam de aplicativos simples, de uso intuitivo, com capacidade de multimídia ou que podem ser acessados via internet.

Os mapas produzidos pelos Usuários Gerais geralmente integram relatórios e servem para ilustrar alguma realidade geográfica. Não é necessário capacitar os Usuários Gerais em Sistemas de Informações Geográficas, eles analisam as informações espaciais da mesma forma que analisariam um mapa em papel.

Outro importante componente de um SIG é a base de dados geográficos, que é um tipo especial de dado, pois agrega além dos dados espaciais (pontos, linhas, polígonos e células (pixels)), os dados tabulares que tem como função descrever cada uma das entidades espaciais.

Os dados espaciais são utilizados para representar graficamente elementos geográficos (drenagem, sistema viário, relevo, vegetação, limite político etc.), enquanto que os dados tabulares são relacionados aos dados gráficos e tem como função descrever mais detalhadamente os elementos geográficos.

Desta forma, os dados geográficos são produzidos a partir da relação entre os dados espaciais e os dados tabulares, a função destes dados é representar graficamente, fisicamente, quantitativamente e qualitativamente os elementos existentes na superfície terrestre.

Os programas computacionais de SIG possuem ferramentas para manipular os dados geográficos a fim de produzir informações geográficas. Esses programas possuem ferramentas para exibirem dados e informações geográficas, ferramentas para realizar edição, alteração e transformação de dados geográficos, ferramentas para medir distâncias e áreas, ferramentas para combinar mapas, entre outras. As funções básicas de um programa SIG são simples, mas podem se tornar sofisticadas para atender a demandas específicas tais como:

- manutenção de inventários;
- gerenciamento de infraestruturas;
- julgamento de susceptibilidade de áreas para diferentes propósitos;
- auxilio à usuários na tomada de decisões em processos de planejamento;
- realizar análises preditivas.

Essas funções sofisticadas exigem especialização humana, bases de dados específicas e muitas vezes a customização (adaptação) do programa computacional de SIG e ainda a integração deste programa computacional com programas computacionais específicos tais como programas computacionais para processamento de imagens digitais, programas computacionais para desenhos e projetos, programas computacionais para bancos de dados, etc.

## 1.2 Quais as aplicações de um SIG?

As atividades humanas sempre são desenvolvidas em alguma localidade geográfica e, portanto podem ser geograficamente referenciadas, desta forma, são praticamente infindáveis as possibilidades de aplicações de Sistemas de Informações Geográficas. No entanto, serão relacionadas as aplicações mais comuns e consagradas mundialmente.

As companhias de gestão de infraestruturas, tais como gás, telefone, eletricidade, água, esgoto, TV a cabo, entre outras. Cada uma dessas companhias geralmente possui milhares de consumidores, cada um deles com uma conexão com a rede de infraestrutura, além disso, necessitam gerenciar milhares de quilômetros de fios e dutos (subterrâneos e aéreos), com transformadores, chaves, válvulas, representando muitas vezes bilhões de dólares em infraestrutura instalada. Os sistemas de informações Geográficas aplicados à gestão de infraestruturas também recebem o nome de AM/FM (Automatic Mapping/ Facility Management).

Uma companhia de gestão de infraestrutura pode receber milhares de telefonemas para manutenção em um único dia assim, necessitam gerenciar todas essas atividades, manter informações acuradas sobre o posicionamento geográfico de todos consumidores, equipamentos e atividades, manter os registros de atividades atualizados, realizar avaliações diárias dos serviços executados e ainda fornecer informações para outras instituições, por exemplo, fornecer as informações sobre a tubulação subterrânea da rede de esgoto para a empresa de telefonia que necessita cavar um buraco em uma determinada posição geográfica.

No caso de uma empresa responsável por rodovias, se faz necessário, armazenar informações sobre o estado da pavimentação em toda a rede de rodovias, além disso, manter um cadastro de toda a sinalização vertical e horizontal das rodovias e analisar dados de acidentes. Atualmente, algumas localidades no Brasil e muitos países desenvolvidos, contam com a possibilidade de carros contendo sistemas de navegação pelo sistema viário, contendo mapas digitais de ruas e rodovias, conectados a receptores GNSS. Empresas de distribuição de

bens e serviços mantêm suas frotas conectadas a receptores GNSS e desta forma, realizam o monitoramento e controle de cada um de seus veículos em tempo real.

Na agropecuária, atualmente é possível utilizar mapas e imagens detalhadas, para planejar o plantio, a aplicação de insumos agropecuários e ainda planejar a colheita, além de analisar e realizar a previsão de safra. Atualmente, essa aplicação de SIG é denominada agricultura de precisão.

No setor florestal, o SIG pode ser aplicado ao manejo de árvores, com vistas à extração sustentável de madeira. Todas as árvores produtoras de madeira são georreferenciadas, e sua volumetria sistematicamente monitorada. Quando o volume de madeira na floresta diminui a taxa de crescimento, essas árvores podem ser seletivamente retiradas e sua madeira encaminhada para a indústria. No entanto, a retirada de árvores da floresta também é um problema geográfico e necessita ser cuidadosamente planejado para não comprometer as árvores em crescimento.

Após a retirada das árvores é realizado o replantio das mesmas espécies, nas mesma posições geográficas, mantendo assim a floresta saudável e produtiva.

A floresta ainda pode ser utilizada em outras atividades humanas sustentáveis tais como turismo e extrativismo (apicultura, extração de resina, frutos, flores, etc.)

### 1.3 Sistemas, Ciência e Estudos

O que significa fazer um SIG?

Pode significar a utilização das ferramentas dos programas computacionais de Sistemas de Informações Geográficas para resolver um problema, como os anteriormente mencionados.

Um projeto de SIG pode ter os seguintes estágios:

- Definição do problema;
- Aquisição de programas computacionais e equipamentos;
- Aquisição de bases de dados;
- Montagem e capacitação dos recursos humanos;
- Organização da base de dados;
- Realização de análises;
- Interpretação, apresentação e distribuição dos resultados.

Muitas vezes, se faz necessário a construção e/ou adaptação das ferramentas dos programas computacionais de SIG.

- Essas novas ferramentas são construídas para adaptar os programas computacionais de SIG à tarefas específicas da aplicação ou da instituição onde o mesmo está implantado;
- Podem também ser desenvolvidas para automatizar processos de entrada, organização, armazenamento, gerenciamento, análises, exibição e distribuição de dados e informações geográficas;
- Podem ser desenvolvidas ferramentas para realizar a integração dos programas computacionais de SIG à outros programas computacionais tais como processamento de imagens, CAD, programas de processamento de dados GNSS, programas de estatísticas, SCADA, modelagem tridimensional, Internet, etc.
- Podem ser incorporadas aos programas computacionais de SIG, outras funções de análises espaciais, por exemplo, funções aplicadas às ciências sociais e econômicas (veja www.csiss.org).

Fazer um SIG pode significar também, o estudo das teorias e conceitos básicos de SIG e outras tecnologias da informação geográfica. Neste caso, está se lidando com a Ciência da Informação Geográfica.

### 1.4 A Ciência da Informação Geográfica

A ciência da informação geográfica é a base científica utilizada no desenvolvimento e sustentabilidade das tecnologias dos Sistemas de Informações Geográficas. Esta ciência considera as questões fundamentais suscitadas pelo uso de sistemas e tecnologias. É a ciência necessária para manter a tecnologia no limiar do conhecimento.

Devido a sua amplitude de conhecimentos, a ciência da informação geográfica tem caráter multidisciplinar, integrando muitas disciplinas tais como cartografia, geodésia, sensoriamento remoto, fotogrametria, entre outras disciplinas de aquisição e tratamento de dados espaciais.

As questões científicas tratadas pela ciência da informação geográfica são muitas, dentre as mais importantes, se podem destacar:

- As questões da representação do mundo real
    - A complexidade infinita da superfície da Terra
        - Como captura-la e representa-la em um sistema digital?
        - Como e onde coletar amostras?

        - Quais as opções de estruturas e formatos de armazenamento de dados se devem utilizar?
    - Quais critérios podem ser usados para selecionar uma representação?
        - Qual a acurácia da representação?
        - Qual a acurácia de predições, e decisões baseadas em representação?
        - Como minimizar o volume de dados?
        - Como maximizar a velocidade de processamento?
        - Qual a compatibilidade com outros projetos, usuários e programas computacionais?
        - Existe compatibilidade com a percepção que as pessoas tem do mundo?
    - Como avaliar uma representação?
        - Como medir sua acurácia?
        - Como medir o que está faltando, sua incerteza?
        - Como expressar a representação de forma significativa para o usuário?
            - Como documentar a representação?
            - Como visualizar a representação?
            - Como simular os impactos da representação?
    - As questões sobre o relacionamento entre a representação
        - Como as pessoas, sem os equipamentos, percebem o mundo?
        - Como podem ser produzidas representações computacionais mais próximas da percepção humana?
        - Como as pessoas raciocinam, aprendem e se comunicam utilizando a geografia?
        - Como produzir informações geográficas de forma mais inteligível?
            - Para certos tipos de usuários (crianças, portadores de deficiência visual)
            - Para situações com restrições (cockpit de avião de guerra)
- Questões sobre modelos e estruturas de dados
    - Como armazenar uma representação eficientemente?
    - Como recuperar informações rapidamente através de indexação apropriada?
    - Como adquirir interoperabilidade entre sistemas?

- Questões sobre exibição de dados e informações geográficas
    - Como os métodos de exibição afetam a interpretação de dados e informações geográficas?
    - Como a ciência da cartografia pode ser estendida para obter vantagens das possibilidades do ambiente digital?
    - Quais propriedades básicas da exibição determinam seu sucesso?
- Questões sobre ferramentas de análises
    - Qual é natureza da intuição espacial humana, e como ela pode ser melhorada pelas ferramentas de SIG?
    - Quais os métodos de análises necessárias para apoiar tipos específicos de tomadas de decisões utilizando SIG?
    - Como os métodos de análises podem ser apresentados tal que os usuários possam escolher eficientemente entre eles?

Existem muitas outras questões, os recentes livros e artigos podem sugerir muitas outras questões da ciência da informação geográfica.

### 1.5 As Disciplinas da Ciência da Informação Geográfica

Devida a grande quantidade de aplicações dos Sistemas de Informações Geográficas, existe uma grande quantidade de disciplinas relacionadas com a Ciência da Informação Geográfica. Entre elas, destacam-se as disciplinas tradicionais, relacionadas com a aquisição e tratamento dos dados espaciais, tais como Cartografia, Sensoriamento Remoto, Geodésia, Topografia, Fotogrametria e Processamento de Imagens Digitais. Além dessas disciplinas se faz importante considerar a Ciência da Computação, particularmente as suas subáreas (banco de dados, geometria computacional, processamento de sinais e reconhecimento de padrões). A Ciência da Informação, especificamente as áreas que tratam da documentação de informações, qualidade da informação, indexação de informações, distribuição de informações, tratamento e conversão de informações, e distribuição de informação.

É necessário também considerar as disciplinas que tem tradicionalmente estudado a Terra, particularmente sua superfície e as regiões próximas da superfície, em seus aspectos físicos e humanos. Dentre essas disciplinas se destacam a Geologia, Geofísica, Oceanografia, Agricultura, Biologia (particularmente Ecologia e Biogeografia), Ciências Ambientais, Geografia, Sociologia, Ciências Políticas, Antropologia, Arqueologia, Economia, Ciências Sociais, entre outras. É necessário destacar também as disciplinas que tem tradicionalmente

estudado a natureza do entendimento humano, e suas interações com as máquinas, tais como Psicologia (particularmente a psicologia cognitiva, psicologia ambiental), Ciência Cognitiva e Inteligência Artificial.

## 2. História dos Sistemas de Informações Geográficas

A solução mais antiga, e até hoje mais comum, de resolver problemas de análise de informações espaciais envolve a construção e a utilização de mapas. Embora toda a técnica de produção de mapas em papel esteja bastante dominada, uma vez que a Cartografia é uma ciência muito antiga, o processo de produção e utilização de mapas é muito oneroso, principalmente considerando-se os aspectos de levantamento de dados em campo, armazenamento e atualização.

As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50 do século XX, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Dada a precariedade da informática na época, e a especificidade das aplicações desenvolvidas (pesquisa em botânica, na Inglaterra, e estudos de volume de tráfego, nos Estados Unidos), estes sistemas ainda não puderam ser classificados como “sistemas de informação”.

Os primeiros Sistemas de Informações Geográficas surgiram na década de 1960, no Canadá, como parte de um esforço governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente onerosos, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e, portanto também muito onerosa. Não existiam sistemas comerciais prontos para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muitos recursos financeiros. Além disto, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas.

Ao longo dos anos 70 do século XX, foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos computacionais, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então que a expressão Sistema de Informações Geográficas foi criada. Foi também nesta época que começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de CAD (Computer Aided Design, ou Projeto Assistido por Computador), que melhoraram em muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, e serviram de base para os primeiros

sistemas de cartografia automatizada. Também nos anos 70 foram desenvolvidos alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, sendo que o produto mais importante foi a topologia aplicada. Esta nova disciplina permitia realizar análises espaciais entre elementos cartográficos. No entanto, devido aos custos e ao fato destes sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso à tecnologia.

No decorrer dos anos 80 do século XX, com a grande popularização e barateamento das estações de trabalho gráficas, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais, ocorreu uma grande difusão do uso de GIS. A incorporação de muitas funções de análise espacial proporcionou também um alargamento do leque de aplicações de GIS.

No final da década de 80 e início da década de 90 do século XX, os Sistemas de Informações Geográficas eram orientados a pequenos projetos, considerando-se pequenas áreas geográficas com poucos detalhamentos, ainda eram precários os dispositivos de armazenamento, acesso e processamento de dados, além disso, somente em grandes corporações era possível encontrar redes de computadores. Desta forma, realizava-se o mapeamento de uma pequena área, inseria-se este mapeamento em computadores, realizavam-se algumas análises e elaboravam-se mapas e relatórios impressos com as informações geográficas desejadas.

Em meados da década de 90, com a popularização da Internet, e a conseqüente popularização das redes de computadores, os Sistemas de Informações Geográficas puderam ser orientados às empresas e/ou instituições, com a introdução do conceito da arquitetura cliente-servidor e a popularização dos bancos de dados relacionais. Nesta época também, os programas computacionais de SIG incorporaram as funções de processamento de imagens digitais.

No final da década de 90 e início do século XXI, os Sistemas de Informações Geográficas começam a se tornarem corporativos e orientados à sociedade, com a utilização da Internet, de bancos de dados geográficos distribuídos e com os esforços realizados em relação a interoperabilidade dos sistemas.

**Exercícios**

1. Explique a diferença entre dado e informação

2. Em computação, os dados são expressos na forma binária 0 e 1, pergunta-se:
    a. Quantos bits são necessários para armazenar um pixel com valor 254, como fica o arranjo binário deste pixel?
    b. Como fica o arranjo binário da palavra TERRA? (Dica, obtenha o número ASCII de cada letra, depois converta o número para valores binários).
    c. O que é um bit, um byte, um kbyte, um megabyte, um gigabyte, um terabyte?
    d. Pesquise a quantidade de bits para armazenar um pixel de uma imagem ETM+ Landsat, CBERS/CCD, Quickbird, Ikonos e MODIS.
    e. Calcule a quantidade em megabytes, para armazenar uma imagem de 6000 linhas por 6000 colunas, contendo 7 bandas, e com pixels de 11 bits. E se a mesma imagem contiver pixels de 8 bits?

3. Quais os dois significados distintos para SIG. Explique cada um deles e como eles estão relacionados.

4. Cite alguns equipamentos utilizados na coleta, processamento e exibição de dados e informações geográficas.

5. O recurso humano necessário para integrar um SIG é dividido em três grupos, quais são esses grupos, como eles se relacionam e em que grupo de usuários o Tecnólogo em Geoprocessamento deve atuar?

6. Qual a diferença entre dados espaciais e dados geográficos?

7. Como composto os dados geográficos e quais suas funções?

8. Explique o que é customização de um programa SIG?

9. O que é uma aplicação do tipo AM/FM? Onde é aplicada?

10. Quais os estágios de um projeto de SIG?

11. O que é a Ciência da Informação Geográfica?

12. Consulte o site GIS Timeline e cite os eventos ocorridos entre 1980 e 1990.

## 3. Dados Geográficos

Para que seja possível produzir informações geográficas a partir de Sistemas de Informações Geográficas, é necessário "alimentar" os computadores e os programas computacionais de SIG com dados sobre o mundo real. Desta forma, é necessário produzir uma representação ou um modelo computacional do mundo real, que é extremamente complexo em seu detalhamento e em sua dinâmica temporal.

Construir uma representação do mundo real implica em três grandes considerações:

- Redução da complexidade geométrica do mundo real, através da aplicação de escala, amostragem e seleção de elementos.
- Redução da complexidade temporal do mundo real, através de um corte temporal ou da observação de fenômenos em intervalos discretos de tempos.
- Identificação e categorização dos elementos existentes na superfície terrestre, através de cortes temáticos.

De início, é possível dividir a superfície terrestre em três grandes categorias, conforme suas características geométricas relacionadas ao mapeamento. A primeira categoria é constituída por elementos de natureza contínua, que se caracterizam pela dificuldade na localização das bordas (ou limites) entre classes. Dentre esses elementos estão os solos, o relevo, a vegetação, a geologia, a geomorfologia, a temperatura, a paisagem, a pluviometria, etc. As bordas que distinguem as classes de um tema de característica contínua, são obtidas através de uma coleta de amostras e em seguida, são realizadas interpolações e/ou classificações dessas amostras a fim de se restaurar a continuidade e/ou a classificação do tema. Alguns autores consideram os temas de característica contínua como campos, ou seja, superfície contínua sobre a qual as entidades geográficas variam continuamente segundo distribuições.

Em SIG e também em cartografia, os elementos de característica contínua podem ser representados por elementos de estrutura vetorial, tais como, conjuntos de pontos regularmente ou irregularmente espaçados, isolinhas (curvas de mesmo valor), redes de polígonos regulares ou irregulares, e também por elementos de estrutura matricial, conjuntos de pixels ou células (tesselação, imagens digitais).

Existem também temas na superfície terrestre que apresentam característica discreta, ou seja, apresentam facilidade na localização ou mapeamento direto de bordas entre classes, geralmente entre esses temas estão aqueles construídos pelo ser humano, tais como elementos do sistema viário (ruas, rodovia, avenidas, aeroportos, portos, pontes, etc.), edificações em

geral, áreas agrícolas, equipamentos de infraestruturas (postes, linhas de transmissão e de comunicação, etc.). As bordas desses elementos são obtidas por identificação visual direta e mensuradas com as técnicas de topografia, fotogrametria, sensoriamento remoto, geodésia, etc. Alguns autores também denominam os elementos de característica discreta de objetos, que são definidos por uma superfície ocupada por entidades identificáveis e cada posição (x, y) do espaço poderá ou não estar ocupada.

Os elementos de característica discreta podem ser representados em SIG ou em cartografia preferencialmente por estruturas vetoriais (pontos, linhas e polígonos), no entanto, também é possível representar tais elementos utilizando-se estruturas matriciais (pixels, células).

Existem ainda sobre a superfície terrestre, elementos pouco mencionados na literatura, contudo muito importantes, são os elementos abstratos, que geralmente apresentam característica discreta, mas nem sempre são fisicamente identificáveis por meio de observação terrestre, aéreo e orbital. Os elementos abstratos possuem bordas entre suas classes, porém essas bordas nem sempre estão materializadas sobre a superfície terrestre, mas sim em convenções jurídicas e administrativas. Como exemplo de elementos de característica abstrata, se pode citar zoneamentos eleitorais, limites políticos, áreas de preservação ambiental, zonas militares, etc. As bordas dos elementos abstratos são registradas em instrumentos jurídicos (decretos, leis, instruções normativas, memoriais descritivos, etc.). Os elementos de característica abstrata são representados em SIG e cartografia, preferencialmente através de estruturas vetoriais (pontos, linhas e polígonos), porém também podem ser representadas por estruturas matriciais (pixels, células).

Esta primeira categorização dos elementos que integram o mundo real é de extrema importância, pois a partir desta primeira categorização (elementos de característica contínua, elementos de característica discreta e elementos de característica abstrata) surgem outras categorizações de dados produzindo desta forma um modelo de dados digital representativo do mundo real.

Nos programas computacionais de Sistemas de Informações Geográficas e também em vários outros programas computacionais que tratam de elementos gráficos digitais, o mundo real é representado por conjuntos de camadas temáticas, conforme se pode observar na figura 3. A organização computacional dessas camadas, depende da arquitetura dos programas computacionais, alguns programas trabalham com um único arquivo e cada camada é um sub-conjunto de dados dentro deste arquivo, outros programas consideram cada camada como um

arquivo separado. Abordagens tecnológicas mais recentes tratam o conjunto de camadas como um banco de dados geográficos, onde cada tabela que integra este banco de dados é uma camada temática.

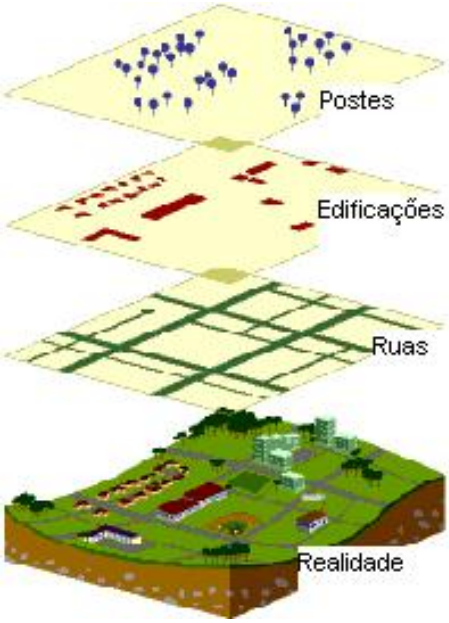



Figura 3 – Camadas temáticas representando (modelando) o mundo real

### 3.1 Estruturas e Formatos de Dados Geográficos

Inicialmente, se faz necessário discriminar conceitualmente o que são dados espaciais e dados geográficos. Os dados espaciais são definidos como sendo qualquer tipo de dado que descrevem fenômenos aos quais esteja associada alguma dimensão espacial, por outro lado, os dados geográficos são definidos como dado espacial cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da Terra num determinado instante ou período de tempo. Desta forma, quando se tem um elemento com um sistema de coordenadas local, que não esteja diretamente relacionada com coordenadas geográficas, quando mapeados sobre este sistema de coordenadas local, todos os dados deste objeto serão dados espaciais, por outro lado, se essas coordenadas locais forem transformadas em coordenadas geográficas ou ainda para coordenadas de algum sistema de projeção cartográfica, os dados do elemento serão considerados dados geográficos.

Os dados geográficos possuem quatro características fundamentais, a primeira delas é a característica espacial (posição geográfica e geometria do elemento representado), a segunda é a característica não-espacial (descrição alfanumérica, pictórica e sonora do elemento representado), ou seja, além de textos descritivos, a tecnologia atual permite a associação de

imagens, filmes, sons e hiperlinks aos elementos representados. A terceira característica fundamental é a característica temporal, que trata do tempo de validade do dado geográfico, além de suas variações sobre o tempo. Finalmente, a última característica fundamental é a sua documentação (metadados), que pode conter um grande conjunto de informações úteis para a correta utilização do dado geográfico, precisão e acurácia do dado, restrições e regras para distribuição e acesso, descrição de cada atributo não-espacial, etc. A figura 4 apresenta as quadro características fundamentais de um dado geográfico.

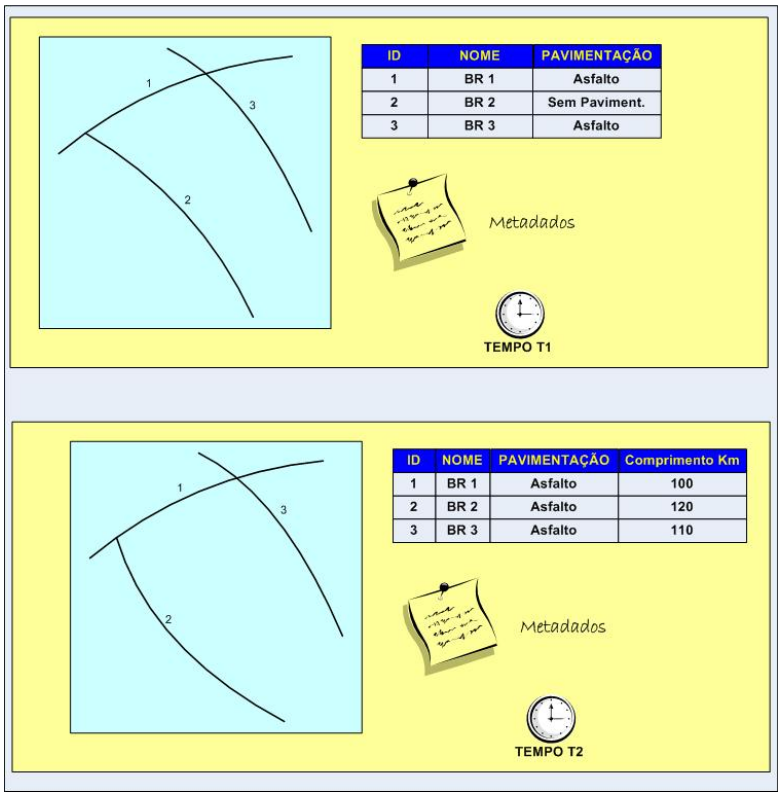



Figura 4 – Características fundamentais do dado geográfico

A componente espacial do dado geográfico pode ser armazenada em estrutura vetorial ou matricial. A figura 5 ilustra dados especiais armazenados em estrutura vetorial e em estrutura matricial

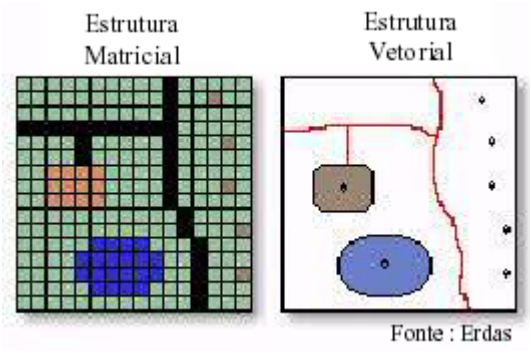



Figura 5 – Estruturas de armazenamento de dados espaciais

### 3.1.1 Estrutura Matricial

A estrutura matricial consiste em uma matriz bi-dimensional, que pode ser matematicamente é definida como sendo uma função f(x,y), composta por linhas e colunas, onde cada elemento desta estrutura é contém um número inteiro ou real, podendo ser negativo ou positivo. Cada elemento da estrutura matricial recebe o nome de célula ou pixel (picture element) e pode representar qualquer elemento do mundo real, por exemplo temperatura (pode conter valores positivos para regiões quentes ou negativos para regiões extremamente frias), altitudes (valores positivos para locais acima do nível médio dos mares, ou negativos para locais abaixo do nível médio dos mares), reflectâncias (valores positivos e reais entre 0 e 1), níveis de cinza (valores positivos inteiros, variando de 0 a 255, para imagens de oito bits $2^8$, 0 a 65535 para imagens de dezesseis bits $2^{16}$, e assim por diante). Os valores de dados armazenados em estrutura matricial podem representar também categorias temáticas do mundo real, por exemplo, no caso do tema vegetação, todas as células com valor 10 podem pertencer a categoria floresta, as células com valor 11 podem pertencer a categoria cerrado e assim por diante.

O princípio do armazenamento de dados geográficos em estrutura matricial é bastante simples, basta que o arquivo tenha um cabeçalho, contendo informações sobre as coordenadas do canto superior direito da imagem (x, y), o tamanho da célula em x e em y e finalmente o número de linhas e colunas da matriz. Em seguida, são armazenados sequencialmente todos os valores das células da matriz, desta forma, qualquer célula da matriz possui uma referência geográfica. A figura 6 ilustra um arquivo armazenado em estrutura matricial.

| Coord. X | Coord. Y | Res. X | Res. Y | N. Linhas | N. Colunas |
|---|---|---|---|---|---|
| 428000 | 7325000 | 30 | 30 | 10 | 10 |
| 200, 124, 234, 244, 145, 34, 12, 45, 345, 123, 321, 124, 122, 300, 301, 302, 40, 1, 2, 34, 54, 45, 12, 13, 54, 65, 67, 34, 43, 23, 0, 11, 24, 32, 24, 55, 36, 47, 28, 27, 45, 65, 76, 78, 98, 9, 25, 23, 434, 56, 764, 34, 234, 234, 21, 32, 34, 54, 67, 78, 89, 90, 45, 32, 23, 11, 22, 34, 55, 445, 12, 23, 44, 55, 55, 12, 12, 32, 34, 45, 56, 65, 67, 76, 76, 45, 34, 45, 56, 12, 34, 45, 657, 12, 23, 44, 55, 65, 12, 12, 43, 45 | | | | | |

Figura 6 – Esquema conceitual de dados geográficos armazenados em estrutura matricial

Os arquivos em estrutura matricial podem conter ainda várias camadas, mais especificamente bandas, no caso de imagens obtidas por sensores remotos, ou por câmaras fotográficas digitais, ou ainda por meio de dispositivos de digitalização matricial, denominados scanners. Neste caso, os arquivos matriciais podem ser estruturados de três

formas distintas, sendo elas: Banda Seqüencial (BSQ), Banda Intervalada por Linha (BIL) ou Banda Intervalada por Pixel (BIP). Nestes três casos, o cabeçalho da imagem também contém o número de bandas da imagem, além é claro, do esquema de armazenamento (BSQ, BIL ou BIP), em seguida estão armazenados os valores das células de cada banda. A figura 7, ilustra os esquemas de armazenamentos BIL, BIP e BSQ.

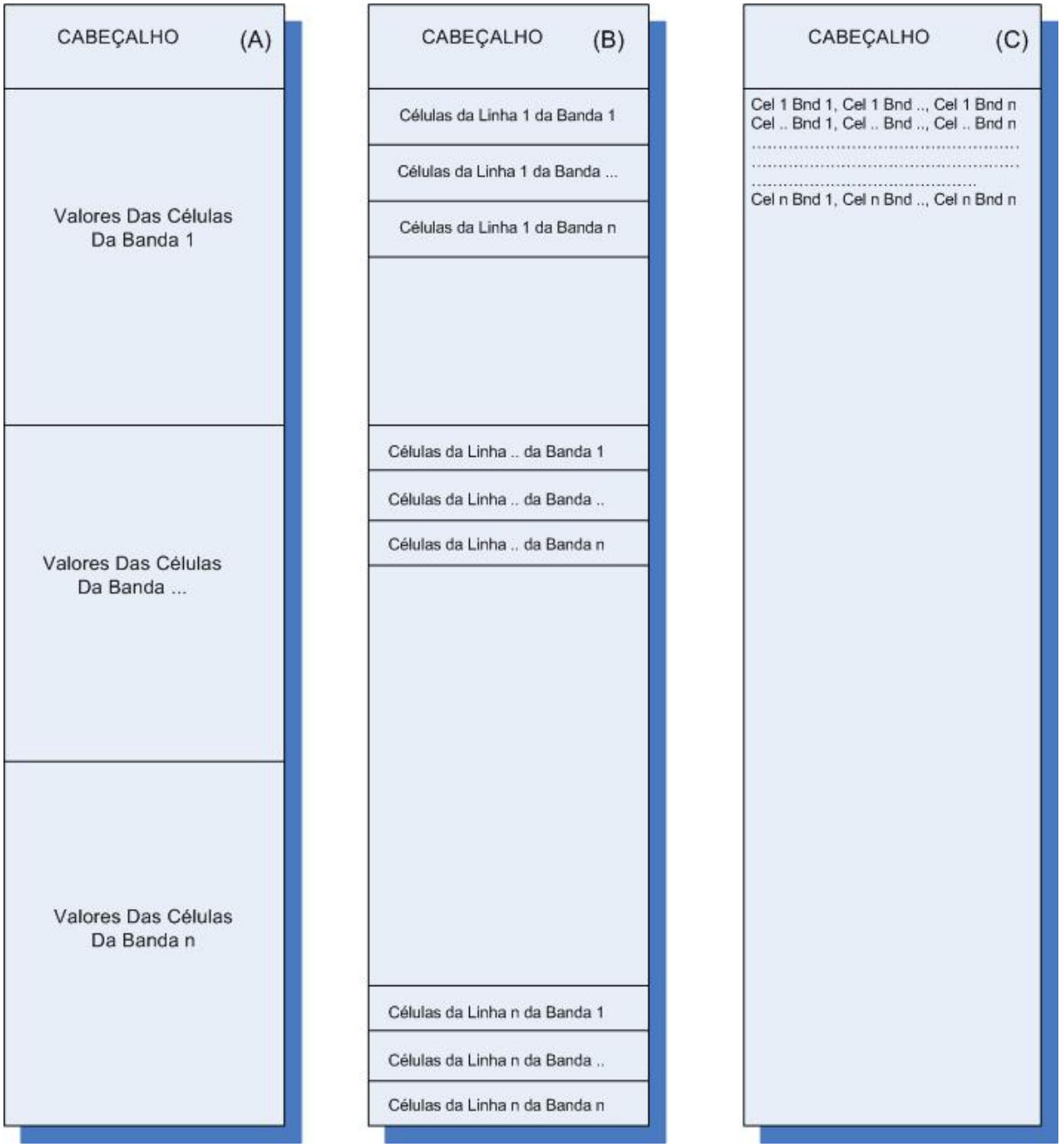



Figura 7 – Esquemas de armazenamento de dados em estrutura matricial em múltiplas camadas ou bandas (A) Esquema de armazenamento em Banda Seqüencial (BSQ), (B) Esquema de armazenamento em Banda Intervalada por Linha (BIL) e (C) Esquema de armazenamento em Banda Intervalada por Pixel (BIP)

Os arquivos matriciais são armazenados nos mais diversos formatos, porém os mais utilizados são: Tiff, GeoTiff, Jpeg, BMP, IMG, GRIB, GRID, MrSid, entre outros. Todos esses formatos são armazenados em estrutura binária, no entanto, é possível utilizar um editor de textos simples e produzir um arquivo em formato ASCII GRID, compatível com ArcGIS, conforme ilustra a figura 8.

```
Ncols 480
nrows 450
xllcorner 378923
yllcorner 4072345
cellsize 30
nodata_value -32768
43 2 45 7 3 56 2 5 23 65 34 6 32 54 57 34 2 2 54 6 35 45 65 34 2 6 78 4 2 6 89 3 2 7 45 23 5 8 4 1
62  ...
```

Figura 8 – Formato ASCII GRID, de armazenamento de dados em estrutura matricial

Os dados matriciais são utilizados em praticamente todos os programas computacionais gráficos e não somente nos programas para SIG.

### 3.1.2 Estrutura Vetorial

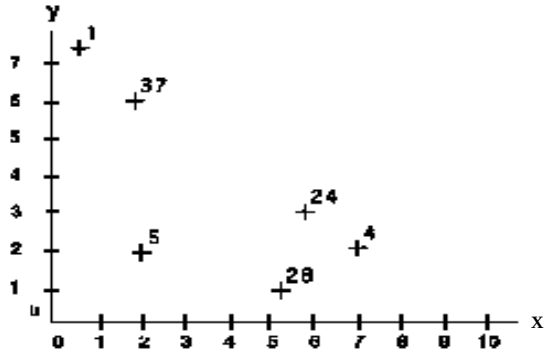
Na estrutura vetorial, a localização e aparência gráfica de cada elemento do mundo real são representados por um ou mais pares de coordenadas. Adicionalmente, esses elementos também são caracterizados por atributos descritivos (não-espaciais). Este tipo de representação não é exclusivo dos programas computacionais de SIG: programas de CAD e outros tipos de programas de computação gráfica também utilizam representações vetoriais.

Porém, o uso da estrutura vetorial por programas computacionais de SIG é bem mais sofisticado do que o uso em CAD, devido ao tratamento de topologia, associação de atributos alfanuméricos e indexação espacial. Por outro lado, devido a necessidade de representação geográfica e topológica, os vetores construídos em SIG são mais simples que aqueles construídos em CAD. Nos programas SIG, em geral, se constrói apenas pontos e conjuntos de segmentos de reta, em CAD por outro lado, se constrói estruturas geométricas mais complexas tais como circunferências, arcos de círculo, além de figuras tridimensionais tais como cones, cubos, cilindros e esferas.

Com o intuito de se entender melhor como os programas computacionais de SIG tratam os dados armazenados em estrutura vetorial, serão apresentados os esquemas de armazenamento dos dados vetoriais pontuais, lineares e poligonais, bem como a noção de topologia.

### 3.1.2.1 Feição Pontual

As feições pontuais são utilizadas para representar elementos do mundo real, que conforme a escala possui área e comprimento de inviável representação gráfica, ou que ainda para atender os objetivos, sua área e comprimento não necessitam ser graficamente representados. Uma feição pontual possui apenas um par de coordenadas (x, y). A figura 9 ilustra um esquema conceitual da estrutura vetorial composta por feições pontuais.




Feições Pontuais (Representação Gráfica)

| POSTES# | X | Y |
|---|---|---|
| 1 | 0.5 | 7.5 |
| 2 | 2.0 | 6.0 |
| 3 | 5.2 | 1.0 |
| 4 | 5.7 | 3.0 |
| 5 | 7.0 | 2.0 |
| 6 | 2.0 | 2.0 |

Arquivo de Coordenadas

Tabela de Atributos de Pontos

| RECNO | ÁREA | PERÍMETRO | POSTES# | POSTE-ID | CÓDIGO | TIPO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 10 | A |
| 2 | 0 | 0 | 2 | 37 | 20 | A |
| 3 | 0 | 0 | 3 | 28 | 10 | B |
| 4 | 0 | 0 | 4 | 24 | 30 | A |
| 5 | 0 | 0 | 5 | 4 | 30 | B |
| 6 | 0 | 0 | 6 | 5 | 20 | C |

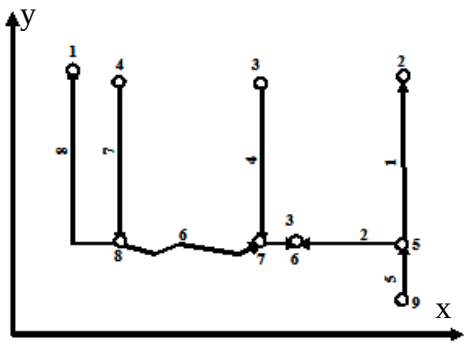
Figura 9 – Esquema conceitual de feições pontuais em SIG

Elementos do mundo real, tais como postes da rede elétrica, sinalização vertical de trânsito, transformadores e outros equipamentos elétricos e hidráulicos, árvores, entre outros elementos geralmente são representados como pontos. Nascentes de rios, alguns pequenos lagos, algumas pequenas cidades e localidades, edificações, conforme a escala de representação, podem ser representados por feições pontuais.

### 3.1.2.2 Feição Linear

As feições lineares são utilizadas para representar elementos do mundo real, que conforme a escala, possuem comprimento, porém sua área é de inviável representação gráfica, ou que ainda para atender os objetivos, sua área não necessita ser graficamente representada. Uma feição linear é graficamente definida por um conjunto de coordenadas ($x_1$, $y_1$, $x_2$, $y_2$,

...,,$x_n$, $y_n$), sendo que o primeiro e o último pares de coordenadas são denominados nós e desempenham a função de terminais e/ou conectores das feições lineares, enquanto isso, os pares de coordenadas intermediárias são os vértices da feição linear. Através dos pares de coordenadas que formam o conjunto de feições lineares, é possível obter as propriedades topológicas de comprimento, direção, conectividade e adjacência. A figura 10 ilustra um esquema conceitual da estrutura vetorial composta por feições lineares.




Feições lineares com nós e vértices

| RUA# | FNODE# | TNODE# | PARES X,Y |
|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 2 | 9.4,2.0 9.4,6.0 |
| 2 | 5 | 6 | 9.4,2.0 7.0,2.0 |
| 3 | 7 | 6 | 6.3,2.0 7.0,2.0 |
| 4 | 3 | 7 | 6.3,6.0 6.3,2.0 |
| 5 | 9 | 5 | 9.4,0.6 9.4,2.0 |
| 6 | 8 | 7 | 2.9,2.0 4.0,1.8 4.3,1.9 5.8,1.8 8.3,2.0 |
| 7 | 4 | 8 | 2.9,6.0 2.9,2.0 |
| 8 | 8 | 1 | 2.9,2.0 1.3,2.0 1.3,6.5 |

Coordenadas das feições lineares

| RECNO | FNODE# | TNODE# | LPOLY# | RPOLY# | LENGTH | RUA# | RUA-ID | CÓDIGO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 2 | 0 | 0 | 1348.70 | 1 | 1412 | 4 |
| 2 | 5 | 6 | 0 | 0 | 1124.72 | 2 | 1415 | 5 |
| 3 | 7 | 6 | 0 | 0 | 210.63 | 3 | 1416 | 5 |
| 4 | 3 | 7 | 0 | 0 | 1330.78 | 4 | 1417 | 5 |
| 5 | 9 | 5 | 0 | 0 | 488.44 | 5 | 1418 | 4 |
| 6 | 8 | 7 | 0 | 0 | 1320.59 | 6 | 1426 | 5 |
| 7 | 4 | 8 | 0 | 0 | 1329.87 | 7 | 1425 | 3 |
| 8 | 8 | 1 | 0 | 0 | 2358.97 | 8 | 1427 | 0 |

Atributos das feições lineares, com propriedades topológicas explícitas.

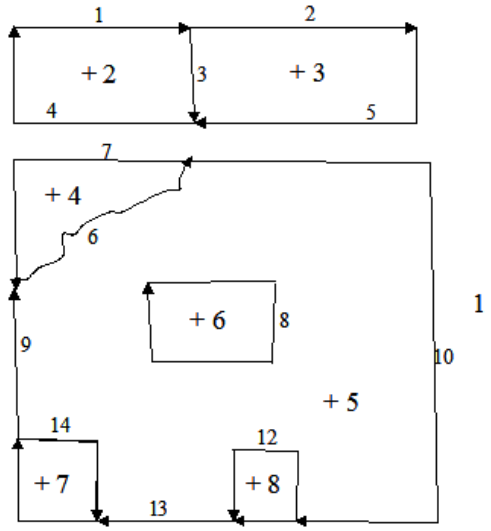
Figura 10 – Esquema conceitual de feições lineares em SIG

Elementos do mundo real, tais como linhas de distribuição elétrica, cabos de telefonia fixa, encanamentos de água, esgoto e gás, eixos de logradouro, eixos da rede de drenagem, são representados por feições lineares. Riachos, rios e estradas, conforme a escala de representação, podem ser representados por feições lineares.

### 3.1.2.3 Feição Poligonal

As feições poligonais são utilizadas para representar elementos do mundo real, que possuem área e perímetro e podem ser representados graficamente. Uma feição linear é graficamente definida um conjunto de feições lineares ($L_1$, $L_2$, .., $L_n$), que por sua vez são graficamente definidas por conjuntos de coordenadas ($x_1$, $y_1$, $x_2$, $y_2$, ...,,$x_n$, $y_n$).

Através desta estruturação, são definidas as seguintes propriedades topológicas: área, perímetro, adjacência, contingência e o polígono envelope.




| Linha# | Pares de Coordenadas |
|---|---|
| 1 | x1, y1, x2, y2,...,xn,yn |
| ... | x1, y1, x2, y2,...,xn, yn |
| n | x1, y1, x2, y2, ..., xn, yn |

Lista das linhas que Formam os Polígonos

| POLÍGONO# | LISTA DE ARCOS |
|---|---|
| 1 | 1, 2, 5, 4, 7, 10, 11, 13, 15, 9 |
| 2 | 1, 3, 4 |
| 3 | 2, 5, 3 |
| 4 | 6, 7 |
| 5 | 6, 10, 12, 13, 14, 9, 0, 8 |
| 6 | 8 |
| 7 | 14, 15 |
| 8 | 11, 12 |

Lista dos Polígonos Adjacentes

| ARC# | LPOLY# | RPOLY# |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 3 |
| 3 | 3 | 2 |
| 4 | 1 | 2 |
| 5 | 1 | 3 |
| 6 | 4 | 5 |
| 7 | 4 | 1 |
| 8 | 5 | 6 |
| 9 | 1 | 5 |
| 10 | 1 | 5 |
| 11 | 1 | 8 |
| 12 | 8 | 5 |
| 13 | 1 | 5 |
| 14 | 5 | 7 |
| 15 | 1 | 7 |

Tabela de Atributos dos Polígonos

| RECNO | ÁREA | PERÍMETRO | USO# | USO-ID | CODIGO |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | -30532.46 | 825.94 | 1 | 0 | |
| 2 | 2411.17 | 201.49 | 2 | 1272 | AGR |
| 3 | 2434.41 | 202.28 | 3 | 1271 | AGR |
| 4 | 759.47 | 162.09 | 4 | 1581 | PEC |
| 5 | 13789.78 | 619.58 | 5 | 1285 | PEC |
| 6 | 6844.13 | 107.14 | 6 | 1838 | URB |
| 7 | 2465.23 | 64.83 | 7 | 1835 | URB |
| 8 | 1828.27 | 57.04 | 8 | 1837 | URB |

Figura 10 - Esquema conceitual de feições poligonais em SIG

Elementos do mundo real, tais como limites políticos, corpos d'agua, lotes, quadras, categorias de vegetação, de solos, de geologia e de geomorfologia, entre outros, são representados por estruturas vetoriais poligonais.

Os arquivos vetoriais são armazenados nos mais diversos formatos, porém os mais utilizados são: Shapefile, DWG, DXF, DGN, coverage, VPF, entre outros. Atualmente, os bancos de dados geográficos podem conter dados vetoriais.

### 3.1.3 Formas de Aquisição de Dados Geográficos

Atualmente, as ciências e tecnologias disponíveis têm criado muitas possibilidades para a aquisição de dados geográficos. Porém, esta se constitui ainda em uma atividade complexa e onerosa, de tal forma, que no mercado de trabalho nacional e internacional, existem grandes quantidades de empresas focadas apenas nesta atividade e que movimentam grande quantidade de recursos financeiros anualmente, além de contribuir grande geração de empregos diretos e indiretos. A figura 11 ilustra a complexidade desta atividade, que será descrita a seguir.

A aquisição de dados geográficos, parte da observação do mundo real, que deve ter o detalhamento, precisão e acurácia compatíveis com os objetivos das informações geográficas a serem produzidas pelo Sistema de Informações Geográficas. Para se realizar as observações do mundo real a fim de se obter dados geográficos em quantidade e qualidade compatíveis com os objetivos a serem alcançados pelo Sistema de Informações Geográficas, se faz necessário utilizar as ciências, tecnologias, técnicas e instrumentos adequados para tal.

Dentre as ciências utilizadas para aquisição de dados geográficos, tem-se a Geodésia, o Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria, que utilizam técnicas de observação do mundo real, tais como Topografia, Processamento de Imagens Digitais, Restituição Fotogramétrica, utilizando os instrumentos tecnológicos tais como estações totais, receptores GNSS, restituidores digitais, sistemas sensores passivos (óticos) e ativos (radar, laser e sondas). Atualmente, praticamente a totalidade dos instrumentos de observação do mundo real, produz dados digitais, que podem ser transferidos para computadores, a fim de se realizar o processamento dos dados observados, com o intuito de se realizar filtragem, correções, transformações, classificações, interpolações, inferências e estimativas das observações, além de se obter as precisões e acurácias das mesmas.

As atividades de processamento de dados oriundos das observações do mundo real são realizadas com o auxílio de programas computacionais de cálculo e desenho topográfico, cálculo geodésico, restituição fotogramétrica, processamento de imagens digitais, processamento de dados de observação a laser, modelagem digital de terrenos, processamento de sinais obtidos por receptores GNSS, etc. São inúmeros os programas computacionais disponíveis e destinados à essas atividades e atualmente é possível encontrar desde programas computacionais gratuitos até programas computacionais comerciais com custos elevados. A decisão de qual utilizar, depende de vários fatores, tais como qualidade dos programas,

qualidade do suporte técnico, metas à serem alcançadas nos projetos, custos do projeto, afinidade dos usuários com os programas, etc.

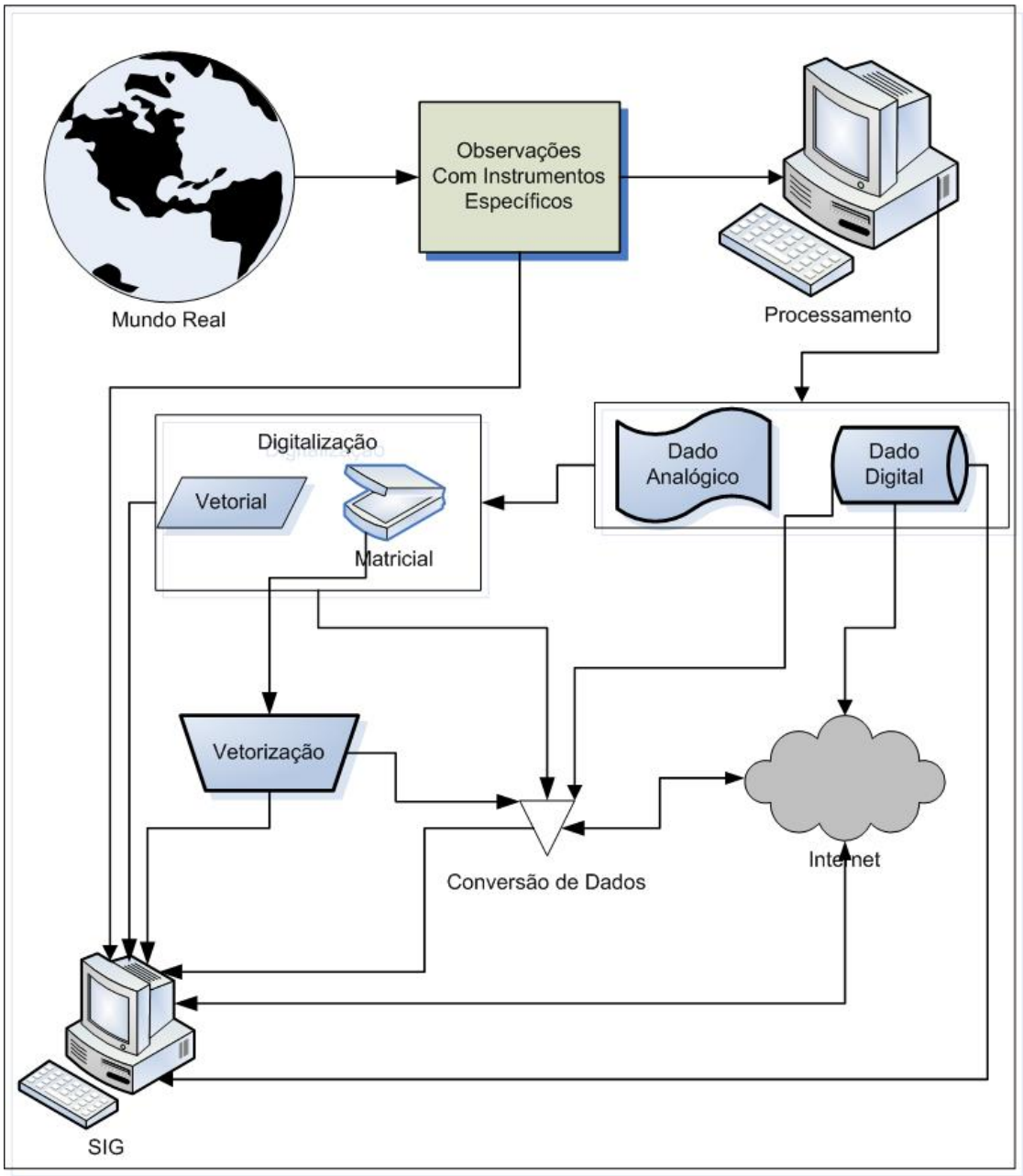



Figura 11 – Aquisição de dados geográficos para serem utilizados em Sistemas de Informações Geográficas

Após o processamento dos dados de observação do mundo real, podem ser produzidos dados armazenados em meio analógico (mapas, relatórios e tabelas impressas em papel), ou em meio digital. Se o dado armazenado em meio digital estiver em estrutura e formato compatível com os programas SIG, eles podem ser utilizados diretamente nesses programas e

desta forma o objetivo já estará alcançado. O dado armazenado em meio digital pode também ser distribuído via Internet. No caso do programa computacional de SIG não ser compatível com o formato e/ou a estrutura do dado geográfico armazenado em meio digital, será necessário realizar a conversão de formato e/ou estrutura de dados para um formato/estrutura compatível com o programa computacional de SIG. Atualmente, esta questão vem sendo tratada pelo conceito da interoperabilidade, que visa viabilizar a operação direta dos programas computacionais de SIG sobre os mais diversos formatos e estruturas de armazenamento de dados geográficos.

No caso do resultado do processamento dos dados geográficos serem armazenados em meio analógico, é necessário realizar a digitalização do dado geográfico, que pode ser realizado de maneira vetorial ou matricial. A digitalização vetorial é realizada utilizando-se mesa digitalizadora, periférico conectado a computadores, utilizados na digitalização direta de pontos, linhas e polígonos. Atualmente, as mesas digitalizadoras são pouco utilizadas devido a vários fatores:

- Ocupa grande espaço físico (mesa A0 + usuário + computador ocupam no mínimo 2 $m^2$);
- Alto custo para aquisição e manutenção;
- Baixa disponibilidade de revendedores e de assistência técnica;
- Baixo conforto para utilização e
- Equipamento pode sofrer influências de fontes eletromagnéticas externas.

Atualmente, com o aumento na capacidade de armazenamento, processamento e exibição de dados matriciais, tornou-se mais viável a utilização de dados armazenados em estrutura matricial. Esses dados são produzidos a partir da digitalização de documentos armazenados em meio analógico, por dispositivos denominados *scanners*. Conforme o tipo de documento cartográfico (e os objetivos do SIG) é possível utilizar o arquivo matricial diretamente no programa SIG, sem a necessidade de conversão. No entanto, se as informações contidas no documento cartográfico e os objetivos do SIG necessitarem, o arquivo matricial deverá ser vetorizado, ou seja, a estrutura de armazenamento dos dados geográficos deverá ser convertida de matricial para vetorial.

Existem três técnicas de vetorização, sendo elas a ponto a ponto, a semi-automática e a automática.

A vetorização ponto a ponto é seletiva, ou seja, escolhem-se as feições que se deseja vetorizar, é bastante precisa, porém o processo é lento, já que todos os vértices que formam as linhas e os polígonos são vetorizados ponto a ponto geralmente com a utilização do mouse. O

mapa é exibido na tela do computador e então com o mouse é realizada a vetorização ponto a ponto de todos os elementos que formam o mapa. Este tipo de vetorização é utilizado quando não se dispõe de programas computacionais capazes de realizarem vetorização automática ou semi-automática, ou quando o mapa em formato matricial possui muitos ruídos ou quando a quantidade de elementos a serem vetorizados é muito pequena.

A vetorização automática não é seletiva, porém é um processo muito rápido, porém o resultado pode não ser satisfatório e a posterior edição torna-se muito complexa pois todos os temas do mapa ficam agrupados e não diferenciados em um único tema, além disso os textos podem não ser reconhecidos como caracteres e se tornam um agrupamento de linhas, esse tipo de vetorização é indicado para imagens classificadas ou quando se tem as camadas do mapa em arquivos separados (um arquivo só de drenagem, outro só de curvas de nível, etc.)

A vetorização semi-automática á atualmente muito utilizada para vetorizar mapas armazenados em estrutura matricial, ela é seletiva, e neste processo, o mapa é exibido e o operador clica na feição desejada e o programa então vetoriza automaticamente todos os vértices que formam a linha até que seja encontrado um ponto de dúvida (outra linha cruzando) e então a vetorização é interrompida até que o operador aponte em que direção o vetorizador deve seguir. Esse processo é mais lento que a vetorização automática, porém apresenta melhores resultados, minimizando desta forma o processo de edição.

**Exercícios**

1. Quais as considerações para construir uma representação do mundo real?

2. Descreva os elementos da superfície terrestre de categoria contínua. Como eles podem ser representados?

3. Descreva os elementos da superfície terrestre de categoria discreta. Como eles podem ser representados?

4. Descreva os elementos da superfície terrestre de categoria abstrata. Como eles podem ser representados?

5. Qual a diferença entre estrutura de dados e formato de arquivos? Quais as diferenças entre as estruturas de dados utilizadas em SIG?

6. Quais as características fundamentais dos dados geográficos?

7. Quais as formas de estruturação dos dados matriciais? Explique cada uma delas. Qual forma de estruturação é utilizada pelas imagens CBERS encontradas no catálogo de imagens do INPE, qual forma de estruturação é mais conveniente para processamento de imagens hiperespectrais.

8. Explique as diferenças entre dados vetoriais para CAD e para SIG.

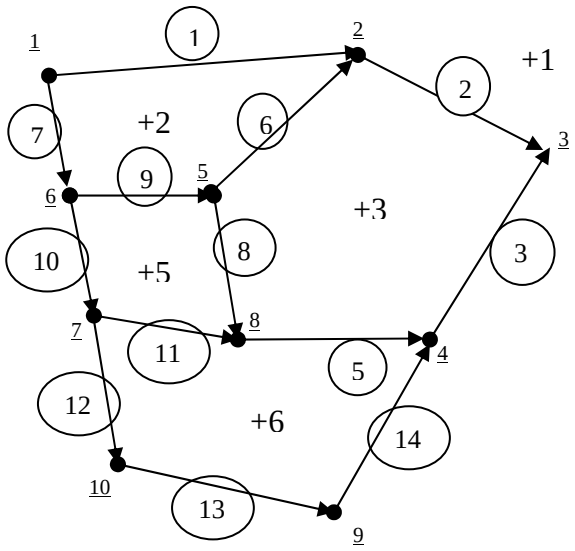
9. Quais as características dos elementos do mundo real que devem ser armazenados como pontos. Como são armazenadas as geometrias dos dados pontuais?

10. Quais as características dos elementos do mundo real que devem ser armazenados como linhas. Como são armazenadas as geometrias dos dados lineares?

11. Quais as características dos elementos do mundo real que devem ser armazenados como polígonos. Como são armazenadas as geometrias dos dados poligonais?

12. Explique as seguintes propriedades topológicas dos dados geográficos: área, perímetro, direção, conectividade, adjacência, contingência e polígono universo.

13. Dado o seguinte mapa:




| | |
|---|---|
| +1 | Número de Polígono |
| 2 | Número de Linha |
| 2 | Número de Nó |

Pede-se:
Monte a topologia arco-polígono montando uma tabela para a lista de arcos que formam os polígonos e outra tabela mostrando a direção FNODE-TNODE e adjacência RPOLY-LPOLY.

14. Se você possui um mapa em papel, quais os possíveis procedimentos que deveriam ser adotados para transferir os dados do meio analógico para o meio digital, para serem utilizados em um programa de SIG?

15. Explique as diferenças entre digitalização de dados em mesa digitalizadora e a vetorização.

16. Explique os três tipos de vetorização existentes, quando se deve utilizar cada uma delas?

### 3.1.4 Banco de Dados Geográficos

A evolução científica e tecnológica dos últimos anos, impulsionada principalmente pelas necessidades de padronização de dados e a interoperabilidade entre os programas de SIG, fez surgir o conceito de bancos de dados geográficos.

Em um banco de dados geográficos, as geometrias e as descrições dos elementos que representam as características do mundo real são armazenadas, gerenciadas e processadas em um único ambiente computacional, o Sistema Gerenciador de Bancos de Dados Relacional.

Existem muitos SGBDR's que suportam dados geográficos a partir da utilização de drivers específicos, entre eles se pode destacar o PostgreSQL com o driver PostGIS, o Oracle com os drivers Spatial e SDE, Ingres, SQLServer, Sybase, Informix e Access, entre outros. O driver tem a função de realizar conversão, inserção, recuperação e extração de dados geográficos junto ao SGBDR, na figura 12 é possível observar um banco de dados geográficos no ambiente do SGBDR Access.

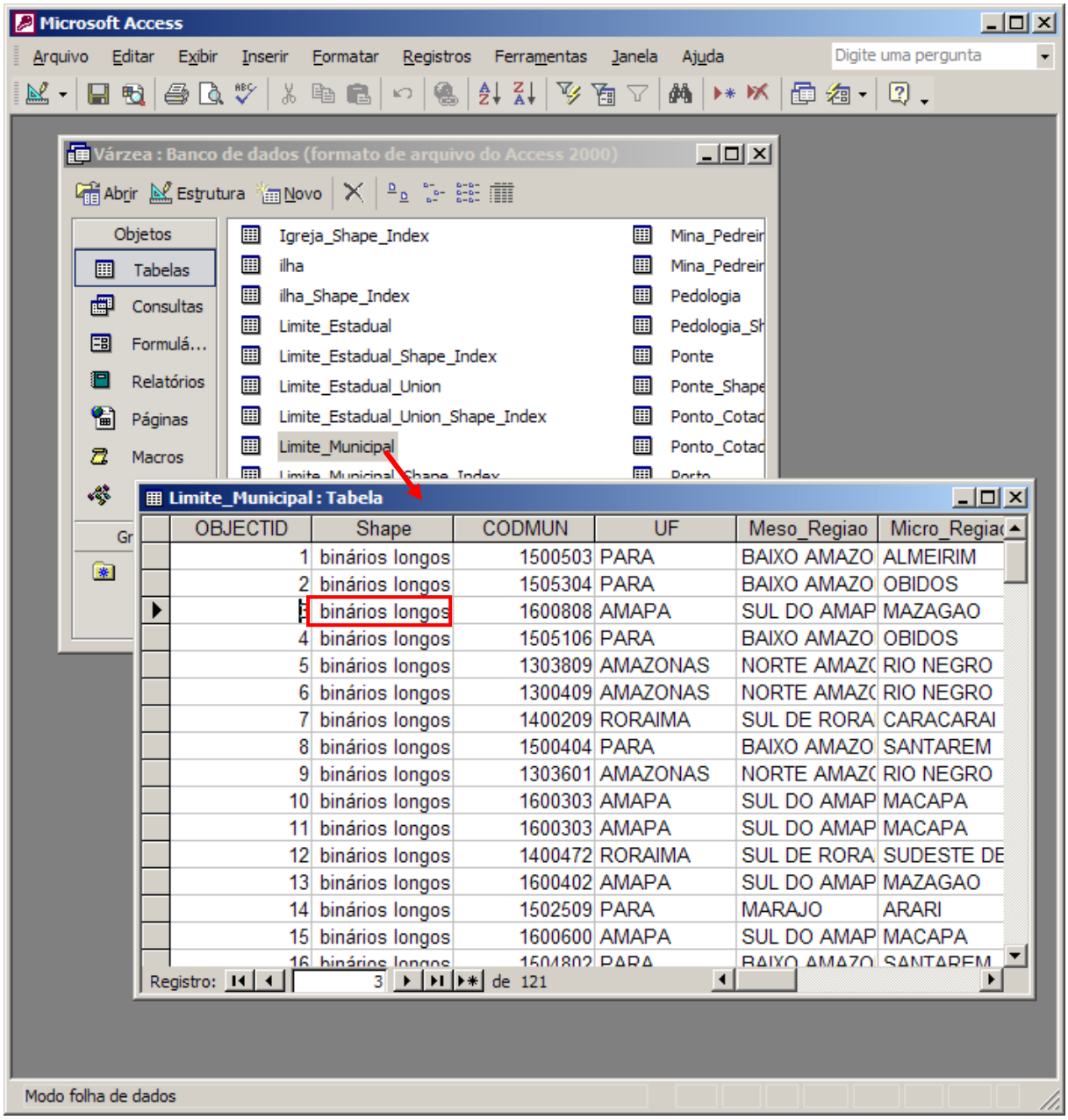



Figura 12 – Banco de dados geográficos em Access, em destaque está a tabela contendo os dados geográficos de limite municipal, é possível observar que o campo Shape da tabela contém os dados da geometria dos limites de municípios, em seguida estão as descrições de cada um dos municípios.

A fim de se conhecer melhor os bancos de dados geográficos, a seguir será apresentado o Geodatabase, um dos formatos de dados espaciais da ESRI, que é armazenado em banco de dados relacional.

### 3.1.4.1 Geodatabase

As estratégias de armazenamento de dados têm sido alteradas ao longo do tempo, devido ao significante aumento na produção e detalhamento de dados, além das inovações tecnológicas. A figura 13 ilustra essas alterações ao longo do tempo, realizadas pela empresa norte-americana ESRI.

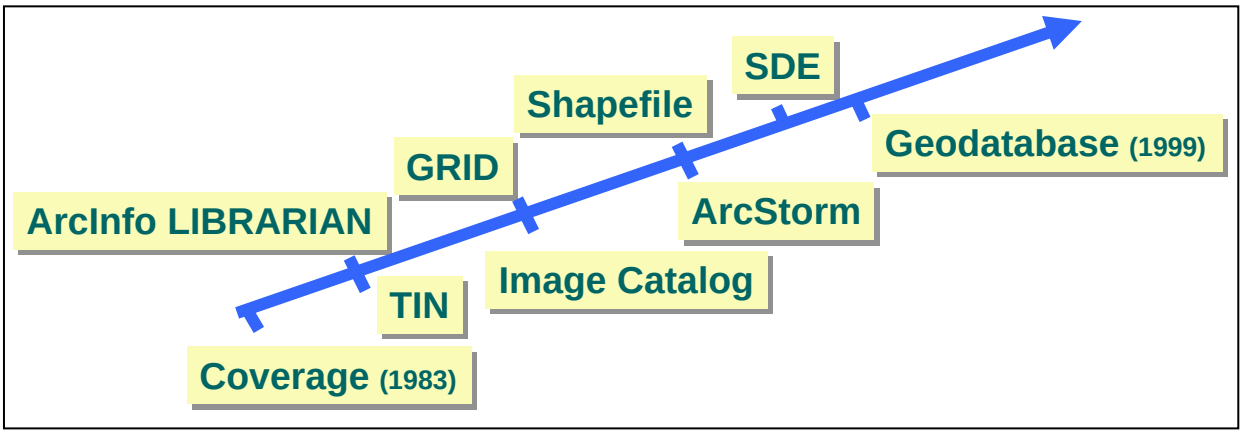



Figura 13 – Alterações nas estratégias de armazenamento de dados geográficos realizadas pela empresa ESRI

O Geodatabase funciona como um depósito de dados espaciais e descritivos, onde os dados geográficos são armazenados em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais (SGBDR). O Geodatabase é uma solução escalável, pois existe o *Personal Geodatabase*, *Enterprise Geodatabase* e na versão 9.2, existe também o *File Geodatabase*. Além disso, suporta integridade e regra nos dados. O ArcGIS possui ferramentas de conversão de dados, viabilizando desta forma, a utilização de dados existentes, conforme se pode observar na figura 14.

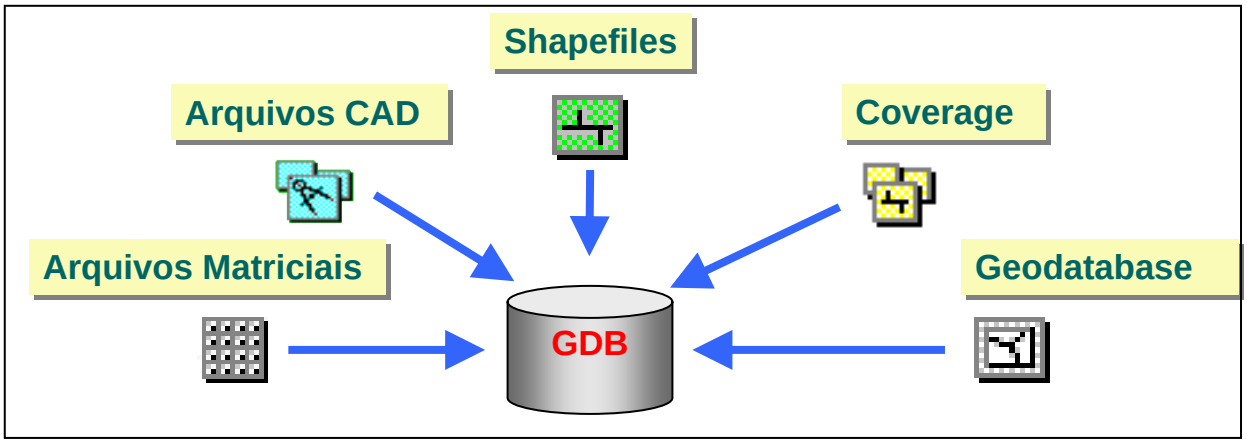



Figura 14 – Tipos de dados suportados pelo Geodatabase

O Geodatabase possui as seguintes vantagens:

- Edição multi-usuário;
- Feições customizadas;
- Inclusão de regras topológicas (validação);
- Melhoria de topologia;
- Subtipos (suporte de regras);
- Validação de atributos (domínio, valores nulos) e
- Armazenamento escalável.

O Personal Geodatabase utiliza o Microsoft Jet Engine e produz arquivos em formato Microsoft Access. Por outro lado, o Enterprise Geodatabase necessita do ArcSDE (ArcInfo Spatial Data Engine) para realizar o armazenamento de dados geográficos em SGBDR. As diferenças (figura 15) entre as três concepções são as seguintes:

- O Personal Geodatabase possui um limite de tamanho de armazenamento de 2 Gigabytes e

- O Enterprise Geodatabase permite versionamento e edição por múltiplos usuários ao mesmo tempo.

- O File Geodatabase armazena conjuntos de dados em um diretório de arquivos no disco do computador. Cada conjunto de dados é armazenado como um arquivo que pode ter aproximadamente 1 TB de tamanho, sendo possível configurar um file geodatabase para armazenar conjuntos de dados muito grandes. File geodatabases podem ser utilizados em multiplas plataformas, podem ser compactados e encriptografados para somente leitura, no caso de uso seguro.

Apesar das diferenças, o Personal Geodatabase, o Enterprise Geodatabase e o File Geodatabase são manipulados com as mesmas ferramentas do ArcGIS.

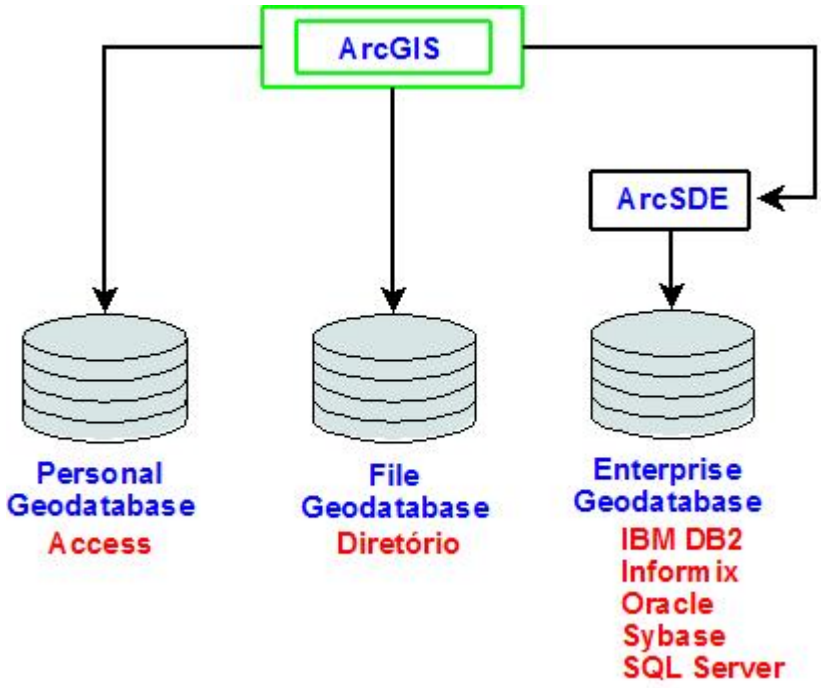



Figura 15 – Diferenças entre Personal Geodatabase, File Geodatabase e Enterprise Geodatabase

Um Geodatabase pode conter vários tipos de elementos, conforme se pode observar na figura 16.

Em seguida, serão descritos cada um desses elementos.

As tabelas são coleções de linhas e colunas contendo dados não espaciais (atributos, endereços, localização x/y, eventos de rotas, entre outros tipos de dados). As tabelas podem ter colunas com comportamento, linhas de subtipo, valores padrão e domínio de atributos. Além disso, as tabelas podem se relacionarem.

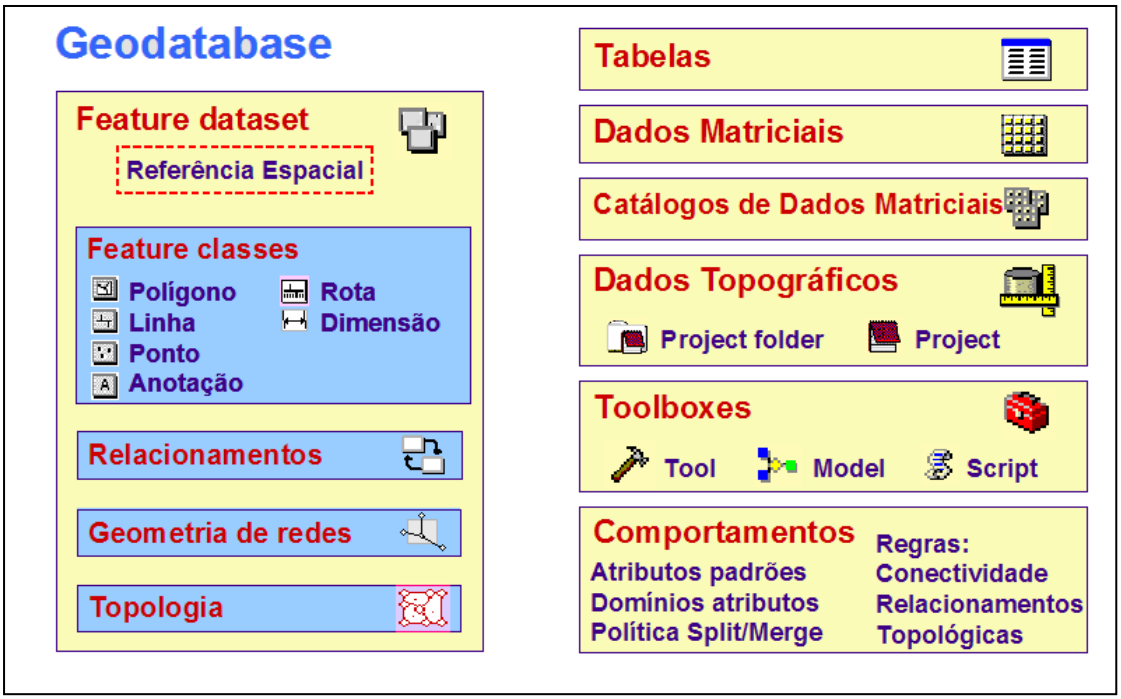
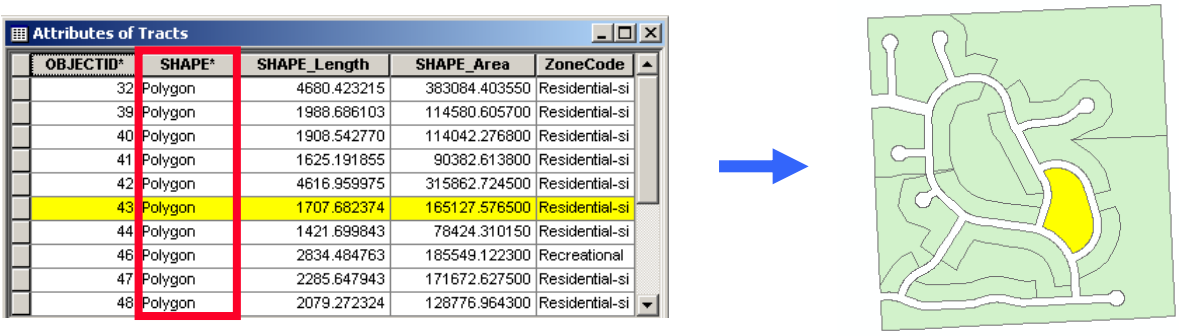



Figura 16 – Elementos de um Geodatabase

As *classes* de feições (feature classes) são tabelas que armazenam as formas dos elementos existentes no mundo real (feições), funcionam como camadas temáticas de dados geográficos. Cada linha da tabela representa uma feição com seus atributos. As feições podem ser de geometria pontual, linear ou poligonal, contendo coordenadas x e y, porém podem também conter coordenadas z e m. As *feature classes* são associadas a um sistema de referência, contendo projeção cartográfica, sistema de coordenadas e extensão espacial, a figura 17 ilustra uma *feature class*.



Attributes of Tracts

| OBJECTID* | SHAPE* | SHAPE_Length | SHAPE_Area | ZoneCode |
|---|---|---|---|---|
| 32 | Polygon | 4680.423215 | 383084.403550 | Residential-si |
| 39 | Polygon | 1988.686103 | 114580.605700 | Residential-si |
| 40 | Polygon | 1908.542770 | 114042.276800 | Residential-si |
| 41 | Polygon | 1625.191855 | 90382.613800 | Residential-si |
| 42 | Polygon | 4616.959975 | 315862.724500 | Residential-si |
| 43 | Polygon | 1707.682374 | 165127.576500 | Residential-si |
| 44 | Polygon | 1421.699843 | 78424.310150 | Residential-si |
| 46 | Polygon | 2834.484763 | 185549.122300 | Recreational |
| 47 | Polygon | 2285.647943 | 171672.627500 | Residential-si |
| 48 | Polygon | 2079.272324 | 128776.964300 | Residential-si |

Figura 17 – *Feature Class* em um Geodatabase

Outro elemento importante que um geodatabase pode conter é o subtipo, que é definido como grupo de elementos numa tabela ou *feature class* agrupado por um atributo inteiro. O subtipo pode ser utilizado para automatizar a simbologia de uma *feature class*, para exibição, conforme se pode observar na figura 18. Contudo, é possível também definir regras para cada

subtipo de uma *feature class*, tais como domínio de atributos, regras topológicas, regras de rede, etc.

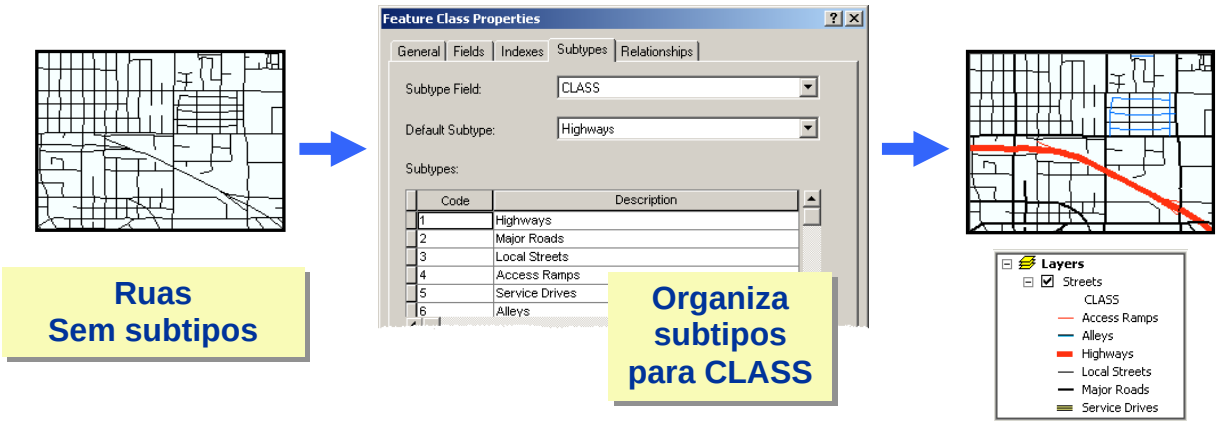



Figura 18 – Subtipo sendo utilizado para exibição de uma *feature class*

As *feature classes* podem ser agrupadas em *feature datasets* que não possuem geometria, porém todas as *feature classes* compartilham a mesma referência espacial. As *features datasets* são necessárias na modelagem de relações espaciais tais como topologia e geometria de rede. A figura 19 apresenta dois geodatabases, com *features datasets*, contendo *feature classes*.

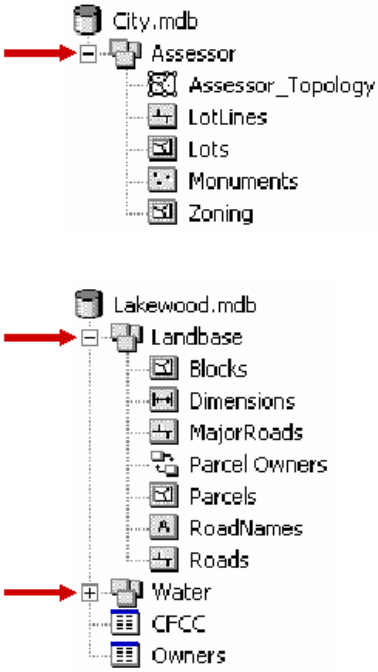



Figura 19 – Geodatabase (City e Lakewood) contendo *feature datasets* com *feature classes*

Um geodatabase tem a capacidade de armazenar imagens (formatos IMG, TIFF, BMP e outros) e grids (formato de estrutura matricial nativo do Arc/Info). Esses dados podem ser

visualizados, manipulados e processados pelo ArcGIS. Além das imagens de satélites e fotografias aéreas, qualquer tipo de dado armazenado em estrutura matricial, tais como relevo, temperatura, pressão, etc. podem ser armazenados em um geodatabase.

A estrutura do geodatabase foi concebida para suportar também os dados provenientes de levantamentos topográficos, é possível armazenar a organização lógica dos dados levantados (Survey Projects), além de coleções de levantamentos de pontos, medidas e anotações compartilhando a mesma extensão geográfica, além de conter conjuntos de dados de levantamentos (Survey Datasets) e informações do levantamento tais como sistema de coordenadas, correções dos levantamentos e as características dos equipamentos utilizados nos levantamentos. A figura 20 ilustra o geodatabase Tract42, com dados provenientes de levantamentos topográficos.

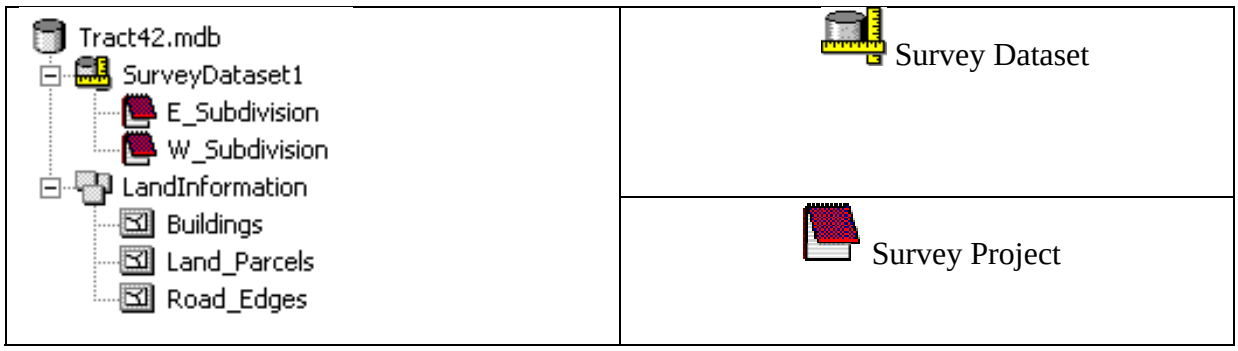



Figura 20 – Geodatabase contendo dados de levantamento topográfico

Como um geodatabase pode conter um grande conjunto de tabelas de *feature classes*, é possível no geodatabase realizar o estabelecimento de relacionamentos entre esses elementos. Para isto, basta criar classes de relacionamentos a partir de campos chaves (campos de tabelas distintas que contenham valores idênticos). A figura 21 ilustra uma classe de relacionamento.

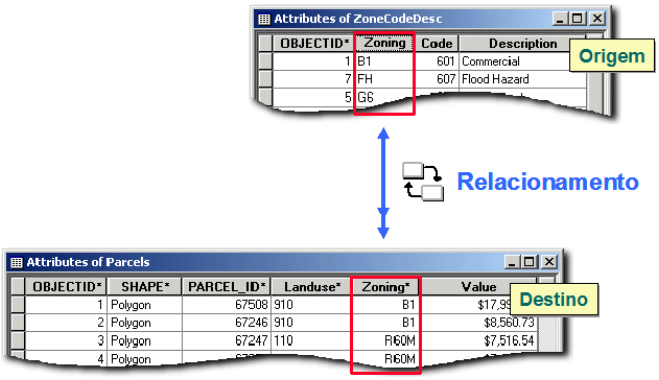



Figura 21 – Classe de relacionamento entre uma tabela (origem) e uma featura class (destino)

O relacionamento espacial entre feições geográficas pode ser definido dentro de um geodatabase com os modelos topológicos, utilizados na validação do relacionamento espacial

das feições de uma *feature class* ou entre um conjunto de *feature classes*. A figura 22 apresenta alguns dos relacionamentos topológicos que um geodatabase pode conter.

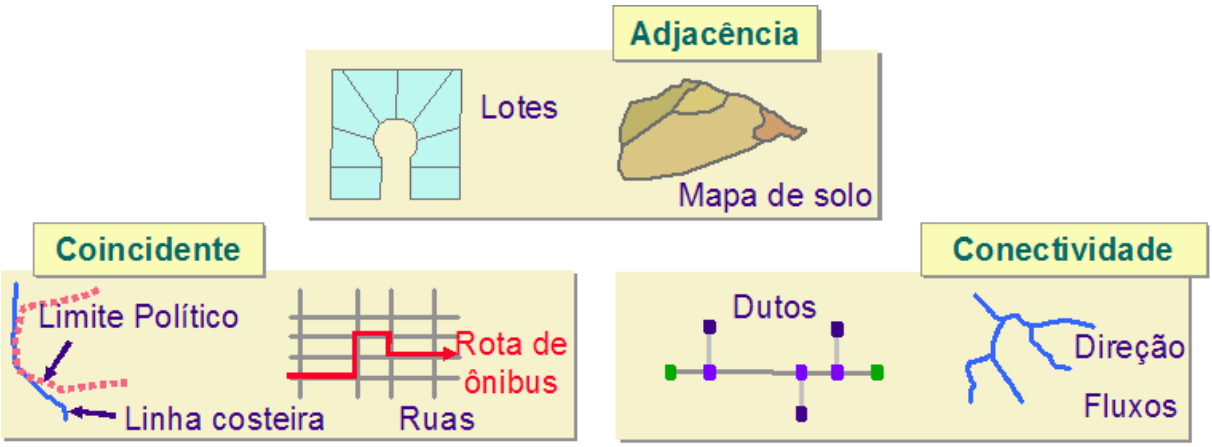



Figura 22 – Alguns relacionamentos topológicos em um geodatabase

A estrutura do geodatabase foi concebida para suportar também dados geográficos que representam as redes geométricas, formadas pelas relações espaciais e topológicas entre conexões (pontos) e ligações (linhas), conforme se pode observar na figura 23.

As redes geométricas são produzidas para se analisar fluxos e melhores opções para deslocamento, analisando-se a conectividade entre as linhas que formam a rede. A conectividade é uma propriedade topológica mantida no geodatabase. Aplicações de infraestrutura tais como rede hidráulica e de esgoto, rede elétrica, rede de telefonia e de gás utilizam os princípios de redes geométricas em SIG.

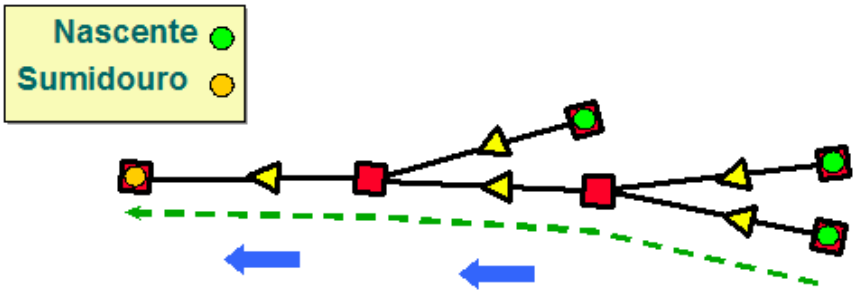



Figura 23 – Rede geométrica contendo propriedades topológicas de conectividade, direção e comprimento

No geodatabase podem ainda ser armazenados procedimentos computacionais para processamento de dados geográficos. O ArcGIS tem o conceito de *Toolbox* (caixa de ferramentas), que podem ser compostas por *Toolsets* (conjuntos de ferramentas) e *Tools* (ferramentas), possibilitando que além dos dados geográficos, o usuário possa também armazenar as funções de processamento dos dados que compõem o geodatabase. É possível

ainda que o usuário construa suas próprias funções de processamento e armazene no geodatabase. A figura 24, ilustra um geodatabase com funções de processamento armazenadas, funções estas provenientes do próprio ArcGIS e também produzidas pelo usuário.

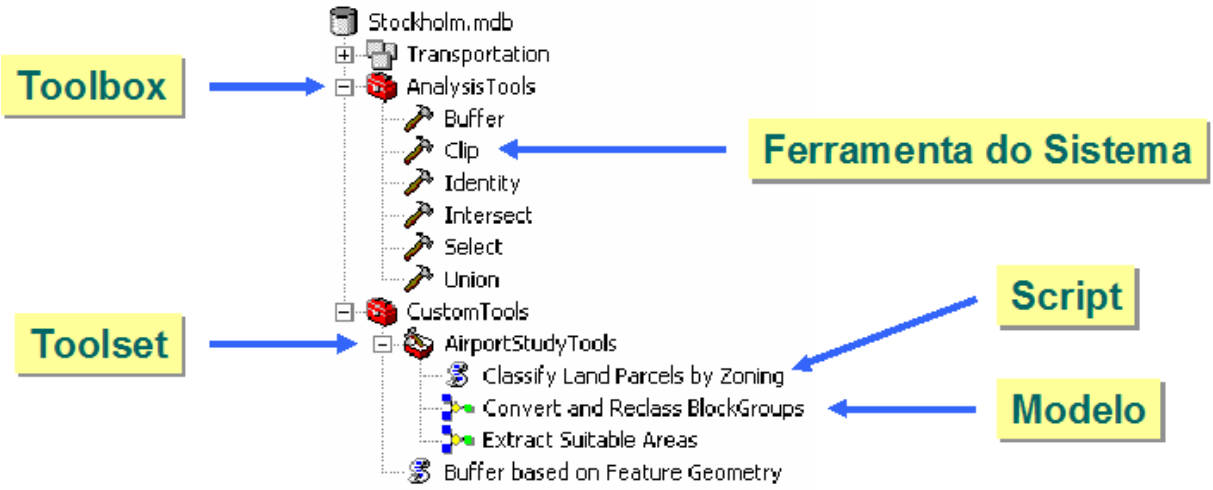



Figura 24 – Geodatabase com dados geográficos e funções de processamento

Finalmente, o geodatabase pode ainda armazenar feições especializadas (auxiliares), tais como anotação (textos que devem compor mapas) e feições de mensuração que são utilizadas no estabelecimento de medidas, por exemplo, a quilometragem de uma rodovia. Essas feições geográficas são denominadas auxiliares, pois não existem explicitamente no mundo real e sim são produzidas por convenções humanas, tais como nome de um rio, nome de uma rodovia, sistema de quilometragem de uma estrada, quantidade de tempo para navegar um trecho de rio, etc.

### 3.1.4.2 Construção de Geodatabase

A construção de geodatabases pressupõe que sejam respondidas algumas questões importantes, sendo elas: Quais dados farão parte do geodatabase? Qual a referência espacial do geodatabase? Quais dados se relacionarão no geodatabase e como serão esses relacionamentos? Quais serão as regras de validação para os dados? Como serão as redes geométricas? Quais serão os subtipos?

As respostas para as questões são obtidas realizando-se uma análise cuidadosa a respeito das informações geográficas que o SIG deverá produzir para suprir as demandas da instituição onde o SIG será ou está implantado.

Antes de se começar a produzir um geodatabase, vários aspectos devem ser observados, o primeiro deles é a respeito da própria finalidade do geodatabase, pois em muitos casos, a tendência do responsável por um SIG é digitalizar todos os dados disponíveis para a área de interesse. Mas a tentativa de colocar todos os dados em um SIG não significa que o trabalho será bem sucedido. Muitas vezes, na tentativa de criar uma base de dados como todos os temas possíveis, pode ocorrer atraso significativo na produção da base de dados devido a não existência do dado, ou ainda devido o mesmo não estar completo ou não possuir detalhamento compatível com os outros dados existentes.

Muitas vezes são investidos recursos financeiros e tempo na busca por um dado, porém o mesmo não é utilizado na geração de informações, por isso antes de tudo é necessário realizar um levantamento das informações geográficas que devem ser produzidas, em seguida se pode então iniciar a aquisição dos dados necessários para gerar as informações geográficas demandadas.

É muito importante especificar claramente os objetivos do geodatabase antes de se selecionar os dados que o irão compor. Este aspecto está relacionado com o fato de que, muitas vezes, no começo de um projeto existe apenas uma vaga idéia das informações geográficas necessárias para a tomada de decisões em uma instituição. Desta forma, a antecipação dos temas necessários se torna um problema. O método de tentativa e erro pode parecer certo neste momento, mas uma base de dados construída desta maneira, provavelmente, não produzirá os resultados esperados, a menos que se desenvolvam grandes esforços de trabalho repetitivo, correções, melhorias e outras ações que podem retardar a implantação do SIG.

Percebe-se que uma abordagem deste tipo pode custar caro, tanto em termos financeiros quanto em termos temporais. A especificação dos objetivos do sistema é um processo sistemático e deve ser realizada várias vezes, a fim de se levantar os objetivos realmente prioritários. Geralmente, na primeira tentativa de se levantar os objetivos de um sistema, ocorrem tendências de se relacionar uma grande quantidade de objetivos, que muitas vezes não são prioritários, desta forma, com a repetição sistemática de levantamentos de objetivos, é possível obter os objetivos realmente necessários que o SIG deverá atingir, ou seja, as informações geográficas necessárias para a tomada de decisão.

Na busca por dados geográficos, é possível se deparar com dados digitais não documentados e, portanto não se consegue obter informações relevantes tais como a instituição ou pessoa que produziu o dado, método de aquisição do dado, níveis de precisão e

acurácia do dado, escala, projeção cartográfica, nível de completeza e data de aquisição do dado. Dados provenientes de fontes duvidosas geram informações duvidosas.

A utilização indiscriminada de dados geográficos, sem a devida preocupação com os aspectos anteriormente citados, seguramente produzirá informações geográficas sobre as quais não será possível conhecer os mínimos aspectos de qualidade e desta forma, qualquer tomada de decisão baseada em tais informações poderá acarretar vários tipos de prejuízos tais como financeiros, sociais, ambientais, políticos, jurídicos e institucionais, acarretando com isso descrença na ciência e na tecnologia da informação geográfica.

Um outro aspecto relevante a ser considerado é quanto ao uso que a informação geográfica produzida terá, se a utilização da informação geográfica envolver aspectos jurídicos e institucionais, é de grande importância que se utilizem dados geográficos homologados por órgãos oficiais.

No ArcGIS, existem quatro possibilidades de se produzir um geodatabase, conforme se pode observar na figura 25.

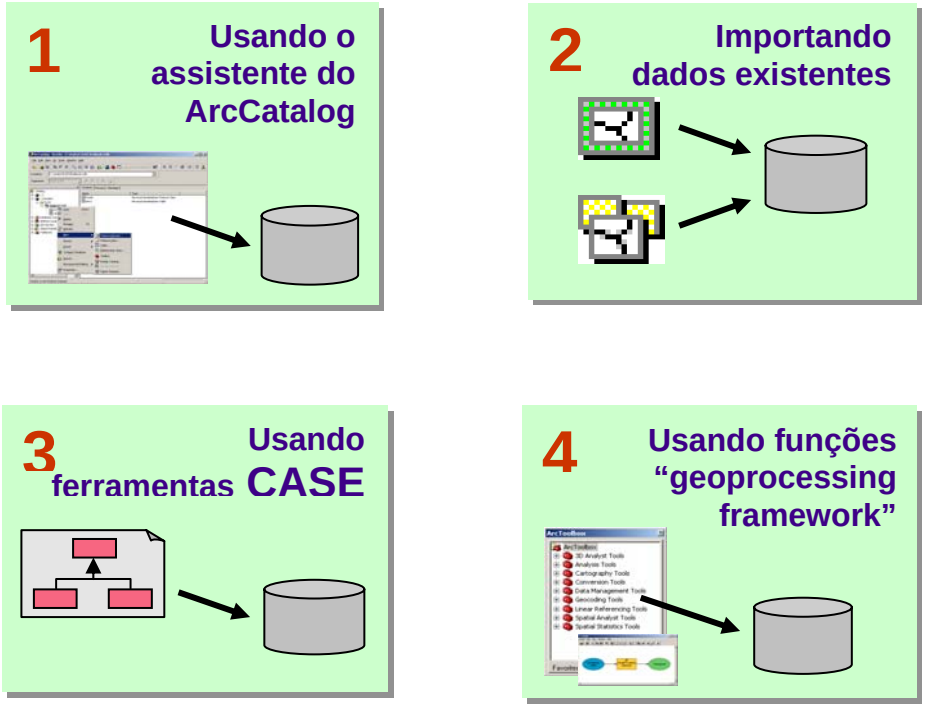



Figura 25 – Possibilidades de construção de um geodatabase

O ArcCatalog dispõe de todas as ferramentas necessárias para se produzir um geodatabase, sendo possível criar um geodatabase vazio, em seguida adicionar à este geodatabase todos os seus elementos e as propriedades de cada um desses elementos.

Se estiverem disponíveis dados geográficos em outros formatos, tais como shapefile, coverage, CAD (DXF, DWG, DGN) e dados matriciais (TIFF, GRID, JPEG, etc), através das

funções disponíveis no ArcCatalog e no ArcToolBox, é possível realizar a conversão desses dados para um geodatabase.

Outra forma de se construir um geodatabase é através da utilização de ferramentas CASE (Computer Aided Software Enginnering), tais como Visio, produzido pela empresa Microsoft e o Rational Rose, produzido pela empresa IBM. Neste caso, utiliza-se a *Unified Modeling Language* (UML) que é uma linguagem de modelagem não proprietária de terceira geração. A UML não é um método de desenvolvimento, o que significa que ela não diz para você o que fazer primeiro e em seguida ou como projetar seu sistema ou mais especificamente seu geodatabase, mas ela lhe auxilia a visualizar seu projeto e a comunicação entre objetos do geodatabase.

Basicamente, a UML permite que se visualize a estrutura do geodatabase através de diagramas padronizados, na figura 26 é possível observar o programa computacional VISIO sendo utilizado na modelagem de um geodatabase através da linguagem UML.

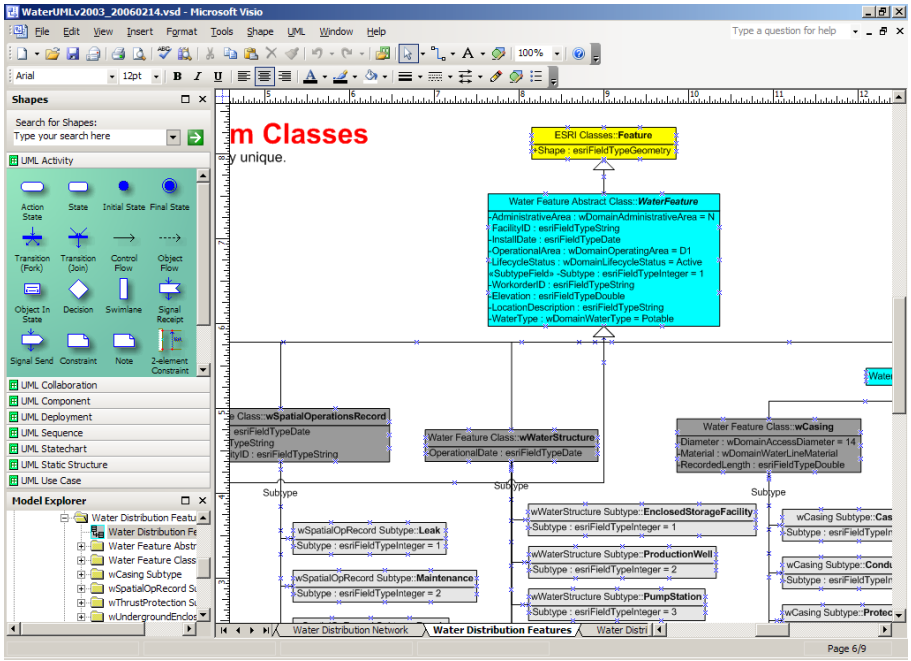



Figura 26 – Utilização de ferramenta CASE para a modelagem de um geodatabase através da linguagem UML

Após a construção do modelo UML do geodatabase com a ferramenta CASE, o ArcCatalog é utilizado para realizar a conversão do modelo UML (modelo lógico) em um modelo físico do geodatabase (estrutura vazia do geodatabase contendo todos os objetos e comportamentos projetados na ferramenta CASE). A empresa ESRI, produtora do ArcGIS, distribui gratuitamente em seu site, vários modelos UML, para vários tipos de aplicações.

Existe a opção, para se ganhar algum tempo ou ainda para se ter uma referência para a construção de seu geodatabase, de se fazer *download* de um desses modelos e em seguida altera-los conforme seus objetivos, utilizando-se uma ferramenta CASE. O problema deste processo é que além do ArcGIS o usuário deve também adquirir o programa computacional Visio ou Rational Rose.

Finalmente, como já foi mencionado anteriormente, as funções disponíveis no ArcToolBox também podem ser utilizadas na construção de um geodatabase. A seguir, será detalhada a construção de um geodatabase a partir das ferramentas disponíveis no ArcGIS.

Conforme ilustra a figura 27, o usuário pode criar um geodatabase a partir do ArcCatalog ou do ArcToolbox.

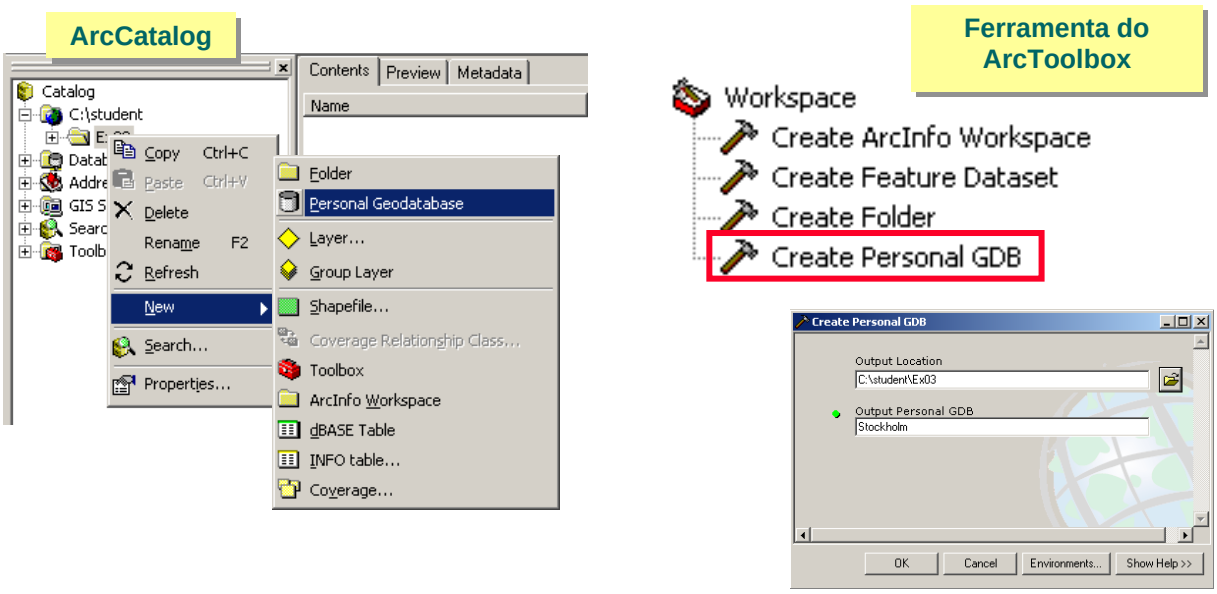



Figura 27 – Criação de um geodatabase a partir do ArcCatalog ou do ArcToolbox

Após a criação do geodatabase, o usuário pode inserir a estrutura de tabelas, conforme se pode observar na figura 28. A inserção de estruturas de tabela pode ser realizada no ArcCatalog e/ou também no ArcToolBox. Inicialmente se especifica o nome da tabela, em seguida os nomes dos campos que integram a tabela, juntamente com os tipos de dados para cada um dos campos.

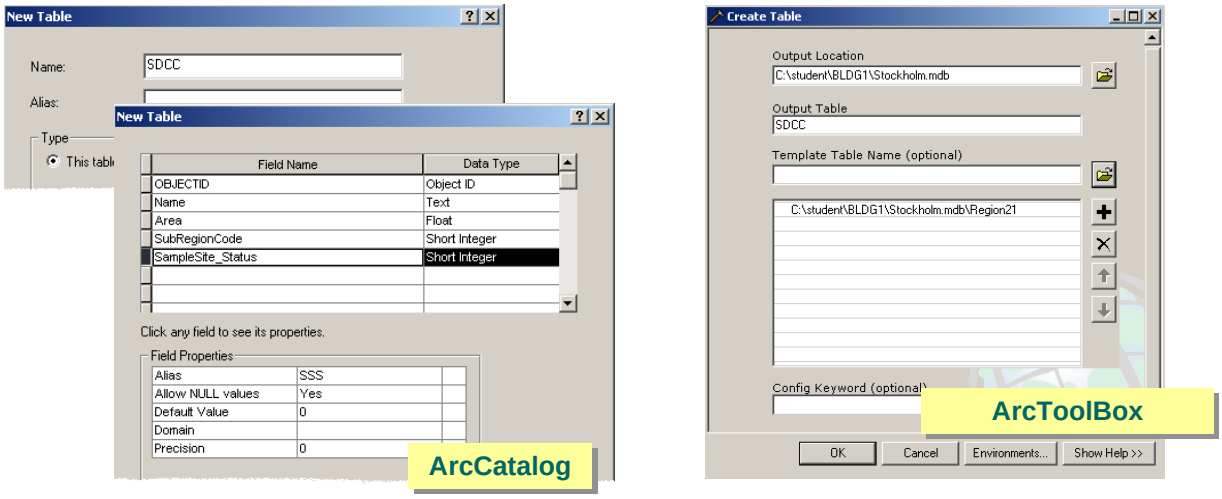



Figura 28 – Criação de uma estrutura de tabela em um geodatabase, utilizando ArcCatalog e ArcToolBox

Os campos das tabelas podem receber até oito tipos de dados, conforme se pode observar na tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de dados que uma tabela de um geodatabase pode conter

| Tipos | Bytes | Limites |
|---|---|---|
| Short Integer | 2 | -32,768 até +32,767 |
| Long Integer | 4 | -2,147,483,648 até +2,147,483,647 |
| Float | 4 | –3.4e38 até +1.2e38 (~7 dígitos significativos) |
| Double | 8 | –2.2e308 até +1.8e308 (~14 dígitos significativos) |
| Text | Variável | Até ~64.000 characters |
| Date | 8 | mm/dd/yyyy hh:mm:ss am/pm |
| BLOB | Variável | Contexto binário ou outras multimídias |
| Raster | Variável | Imagens |

A criação de *feature class* (de pontos, linhas ou polígonos) no geodatabase é semelhante a criação de tabelas, inicialmente se deve especificar o nome da *feature class*, em seguida o tipo de geometria (ponto, linha ou polígono), bem como todos os campos de atributos do dado. É possível especificar ainda a referência espacial. A figura 29 ilustra a criação de uma *feature class* em um geodatabase. Durante a criação da *feature class*, é possível especificar se as feições da mesma conterão valores altimétricos (Z) e valores de medições lineares (M), através da especificação *contains z values* e *contains m values* respectivamente. A figura 30 ilustra feições com valores Z e M.

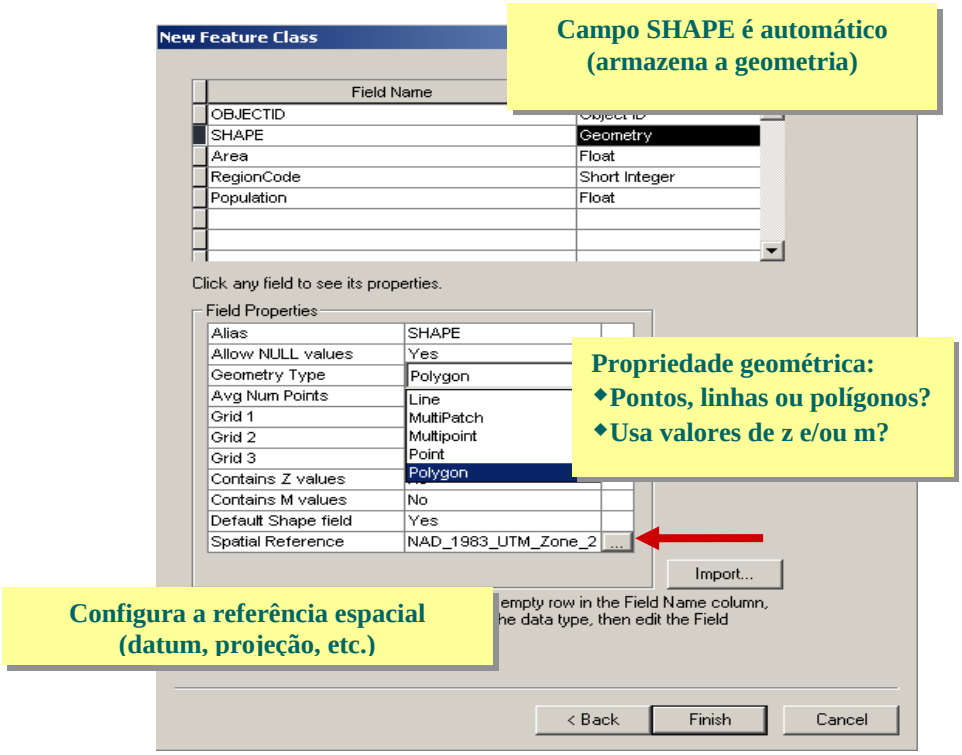



Figura 29 – Criação de uma *feature class* em um geodatabase

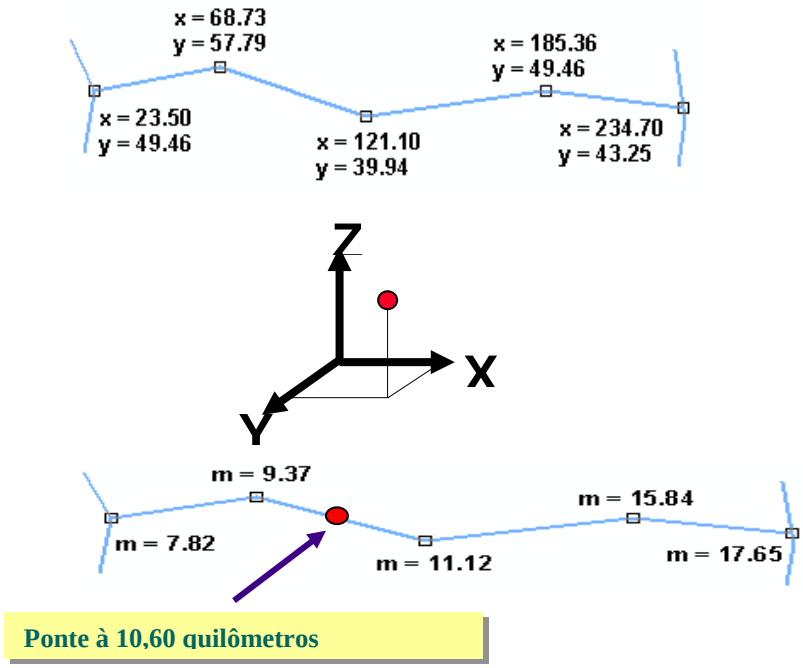



Figura 30 – Propriedades de elevação e de mensuração de uma feição linear

Os pontos, linhas ou polígonos que integram uma *feature class* podem ser únicos ou multi-partes. No caso de feições multi-partes, todas as coordenadas de todas as partes da

feição são armazenadas em um único registro da tabela da *feature class* no geodatabase. No caso de polígonos, é possível ter uma feição com um "buraco", neste caso a feição também será multi-parte. A figura 31 ilustra feições multi-partes.

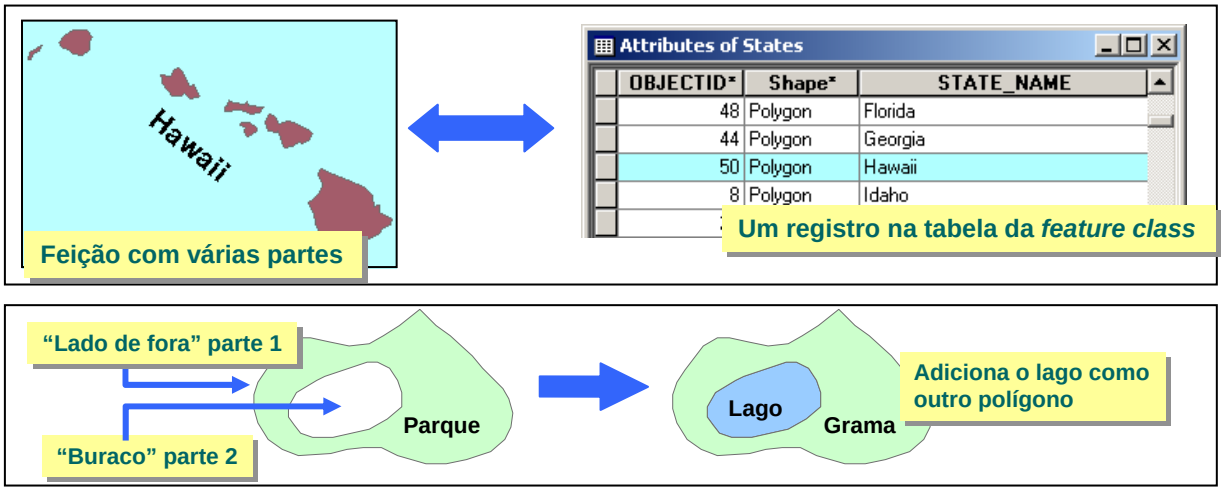



Figura 31 – Feições multi-partes

Em um geodatabase é possível agrupar feições com mesmas características (mesmos valores de atributos de tipo inteiro), através da utilização de subtipos. Os subtipos podem ser aplicados tanto em tabelas como em *feature classes*, além disso, é possível especificar diferentes regras de comportamentos para cada um dos subtipos.

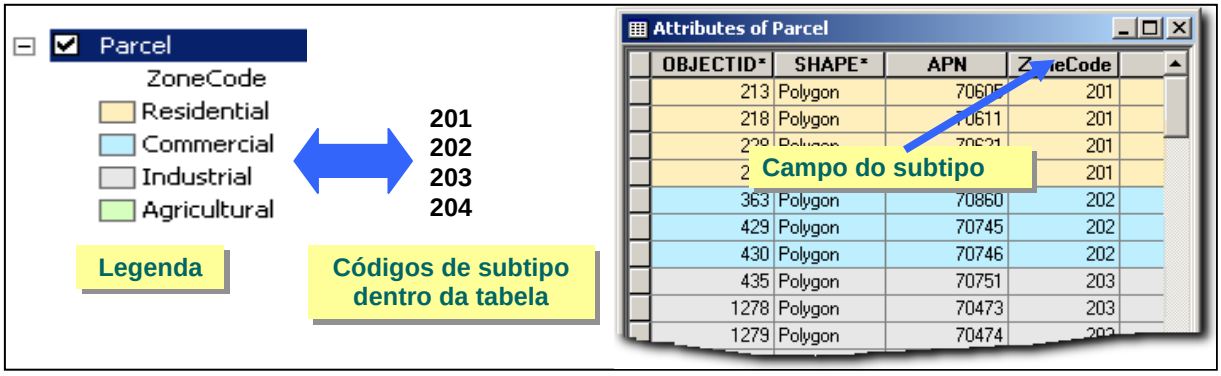



Figura 32 – Agrupamento de feições com mesma característica através de subtipos

Para definir subtipos, basta no ArcCatalog, acessar as propriedades da *feature class* ou da tabela, conforme se pode observar na figura 33. Com a caixa de diálogo aberta, é necessário selecionar o campo de atributos com valores inteiros, em seguida é necessário informar os códigos de subtipos, juntamente com sua descrição (valores lógicos), na terceira etapa é possível fornecer valores padrões e domínios para cada subtipo e finalmente, o usuário pode ainda configurar o subtipo padrão, que geralmente é aquele de maior ocorrência na *feature class* ou tabela.

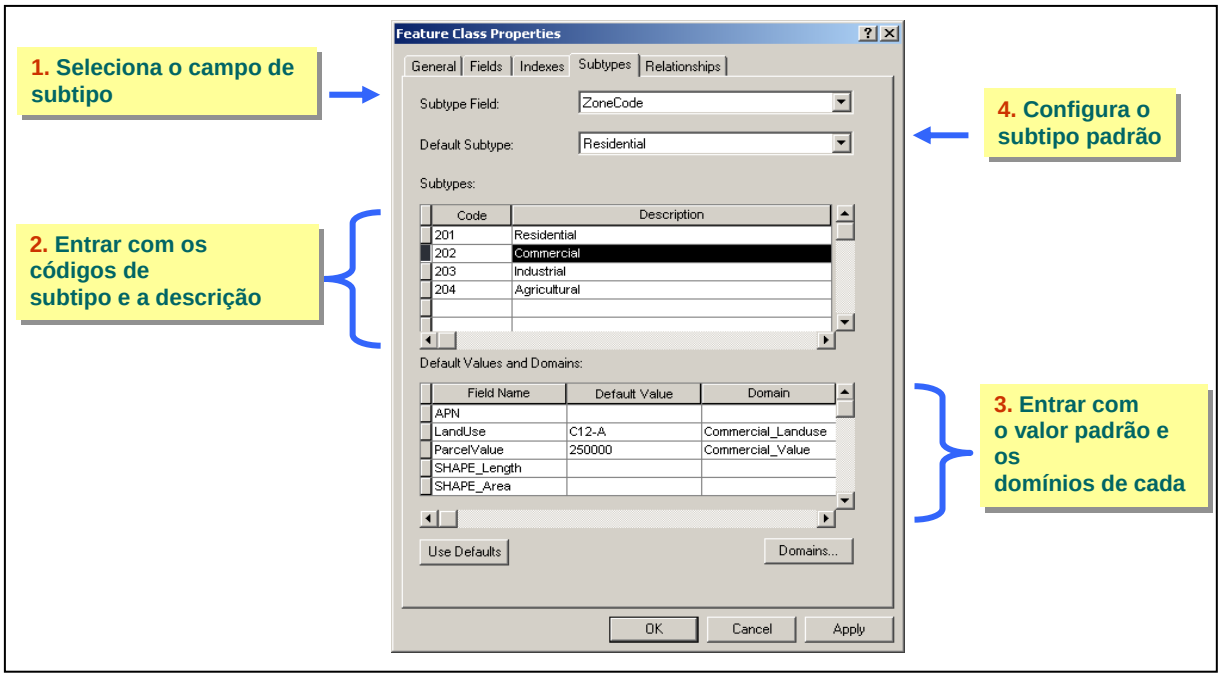



Figura 33 – Especificação de subtipos no ArcCatalog

O geodatabase permite ainda que *feature classes*, de mesma categoria temática sejam agrupadas, o que facilita a organização do geodatabase e também torna ágil o processo de exibição de dados posteriormente. Os grupos de *feature classes* são denominados *feature dataset* (conjunto de dados de *features*) e podem ser produzidos utilizando-se ArcCatalog ou então o ArcToolBox, conforme ilustra a figura 34.

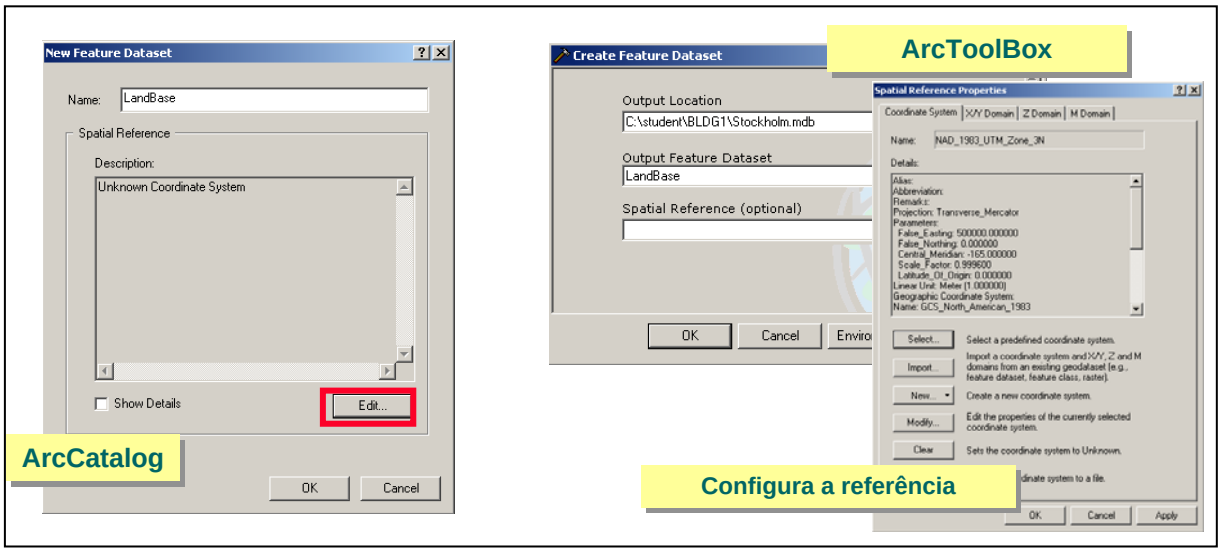



Figura 34 – Criação de uma *feature dataset* em um geodatabase

Como exemplo da aplicação de uma *feature dataset*, tem-se a rede de drenagem, composta por *feature classes* pontuais (nascentes, cachoeiras, pequenos lagos, poços, etc.), *feature classes* lineares (córregos, riachos, rios, etc.) e *feature classes* poligonais (lagos, rios,

áreas alagadas, etc.). Ao agrupar todas essas *feature classes* em uma *feature dataset*, se tem o benefício da organização dos dados, além do aumento da rapidez na utilização dos dados.

Em um geodatabase, as *feature classes* e as *features dataset* podem possuir diferentes referências espaciais. Para se especificar a referência espacial, é necessário inicialmente realizar a especificação do sistema de referência geográfico, ou seja, especificar o elipsóide e datum do dado, em seguida, se pode especificar a projeção cartográfica desejada e finalmente o domínio espacial do dado, conforme se pode observar na figura 35.

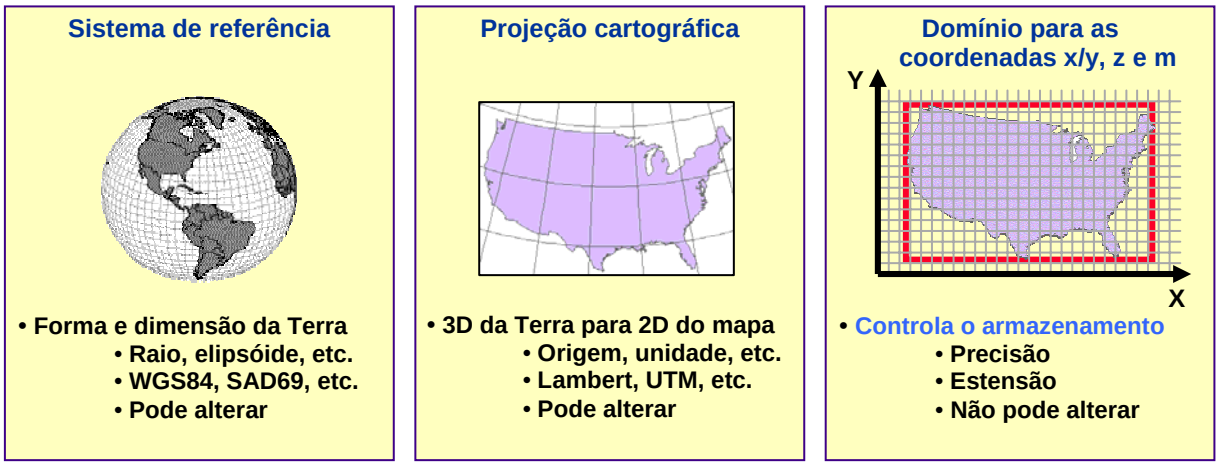



Figura 35 – Etapas para especificação da referência espacial de um geodatabase

A etapa de definição da referência espacial deve ser realizada com bastante cautela, é necessário que se tenha bom conhecimento sobre Geodésia e Cartografia neste momento, devido a grande quantidade de elipsóide e data. Além disso, também existe uma grande quantidade de projeções cartográficas e cada uma delas apresenta características distintas e devem ser utilizadas para atingir objetivos específicos, na figura 36 (a) e (b) é possível observar algumas das características gerais das projeções cartográficas. Antes de se escolher uma determinada projeção cartográfica, é sempre importante que se faça uma leitura de suas características, limitações e empregos, desta forma, o ArcGIS disponibiliza através do seu sistema de ajuda todas as descrições sobre as projeções cartográficas nele disponíveis, conforme se pode observar na figura 37. Outro aspecto relevante é a observação da legislação e normas cartográficas uma vez que podem existir instrumentos jurídicos em nível federal, estadual e municipal que regulam qual datum e/ou que projeção cartográfica deve ser utilizada na produção de dados e informações geográficas. A observação da legislação e também o conhecimento de Geodésia e Cartografia seguramente evitarão transtornos técnicos, jurídicos, políticos e institucionais na tomada de decisões a partir das informações geograficamente referenciadas.

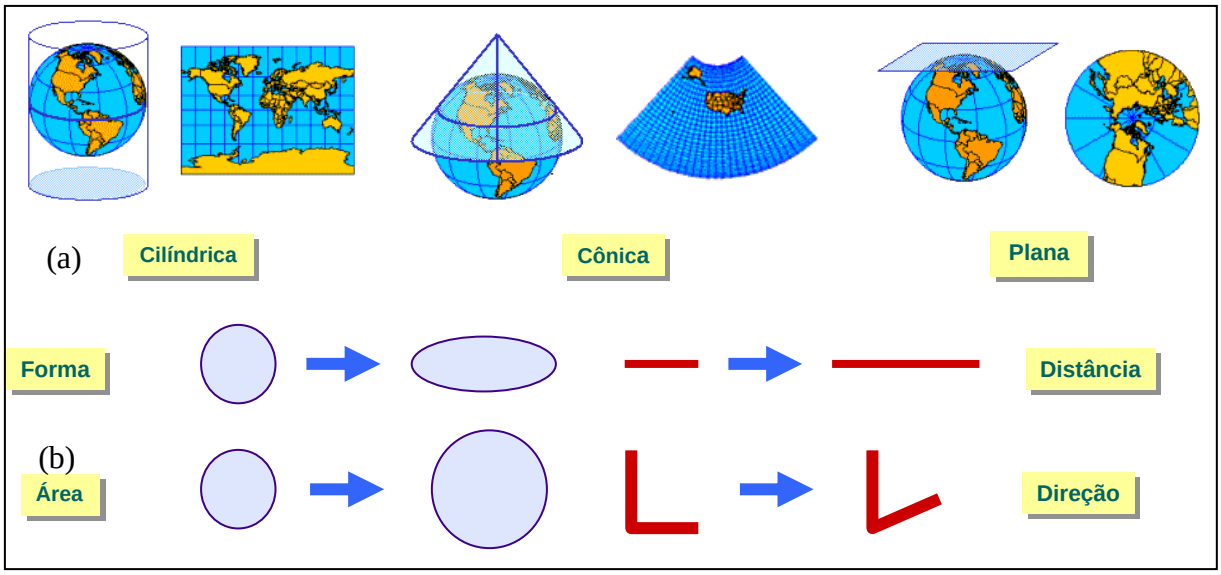



Figura 36 – (a) Tipos de projeção cartográfica utilizando superfícies geométricas de projeção; (b) Tipos de distorções que ocorrem com a aplicação de projeção cartográfica.

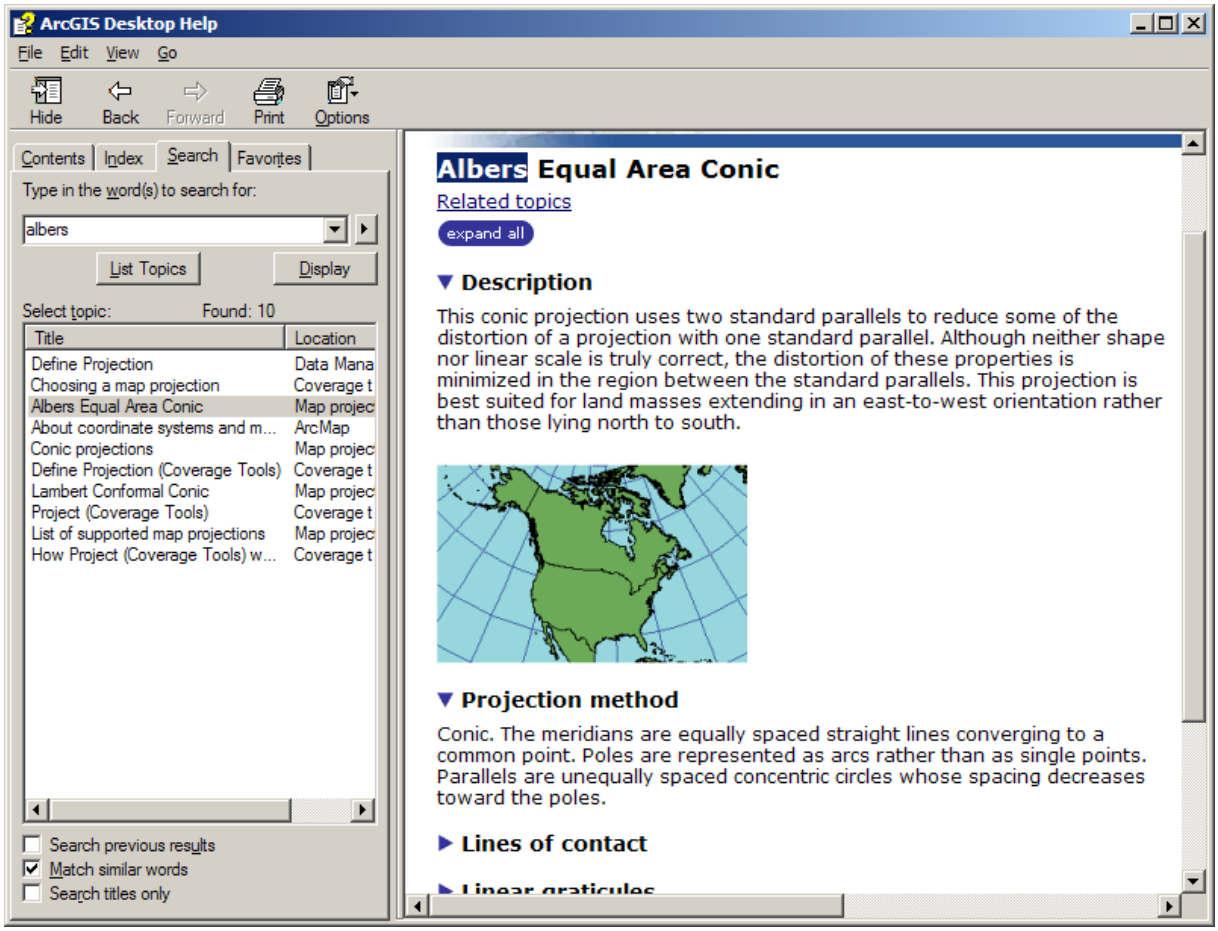



Figura 37 – Consulta das características de uma projeção cartográfica no sistema de ajuda do ArcGIS

A definição e/ou alteração da referência espacial de *features datasets*, de *feature classes* ou de qualquer outro tipo de arquivo vetorial ou matricial suportado pelo ArcGIS pode ser realizada a partir do ArcCatalog e/ou do ArcToolBox. Em cada uma das opções passa-se pela mesma ferramenta, que possibilita a seleção do sistema de referência geodésico e a projeção cartográfica a partir de listas disponíveis no ArcGIS, ou ainda é possível importar essas informações de algum outro dado já existente, além de possibilitar a criação de um sistema de referencia espacial personalizado ou finalmente realizar a modificação de sistemas de referências geodésicas e projeções cartográficas existentes. Na figura 38 é possível observar a ferramenta para definição e/ou alteração da referência espacial.

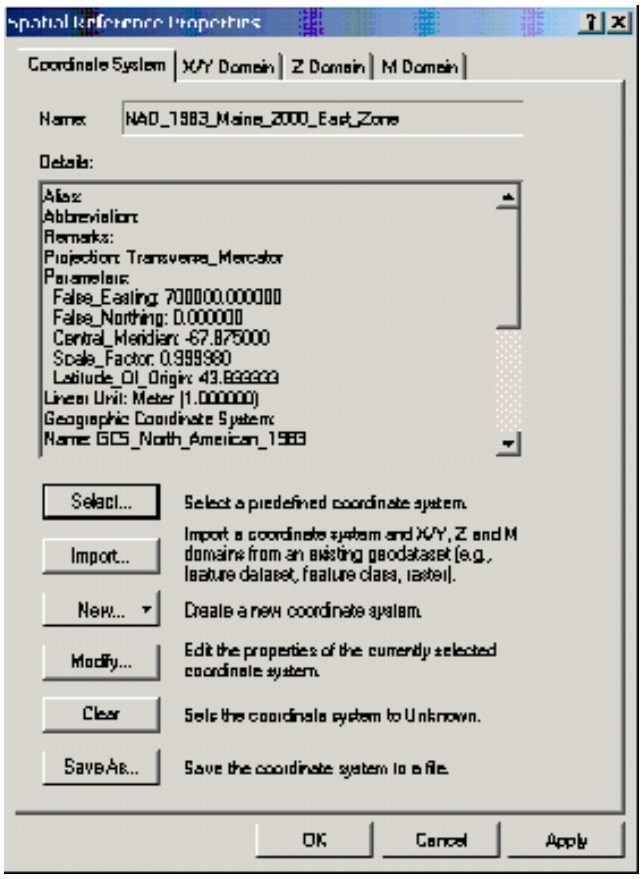



Figura 38 - Ferramenta para definição e/ou alteração da referência espacial

De posse de um geodatabase estruturado, a etapa seguinte consiste em acrescentar dados no mesmo. Podem ser acrescentados dados armazenados em estrutura vetorial ou em matricial, nesta etapa será considerada apenas a inclusão de dados vetoriais em geodatabases.

Os dados geográficos vetoriais podem ser provenientes de inúmeras fontes, desta forma, o ArcGIS disponibiliza ao usuário um grande conjunto de ferramentas para realizar conversões de formatos e estruturas de dados para o geodatabase. Com ArcGIS é possível digitalizar mapas a partir de mesas digitalizadoras ou então vetorizar mapas digitalizados em

scanners, é possível ainda fornecer conjuntos de coordenadas x,y (provenientes por exemplo de um levantamento com receptores GNSS), endereços e rotas e então converter esses dados em *feature classes* de um geodatabase, além de realizar a conversão direta de formatos de arquivos vetoriais para um geodatabase, conforme se pode observar na figura 39.

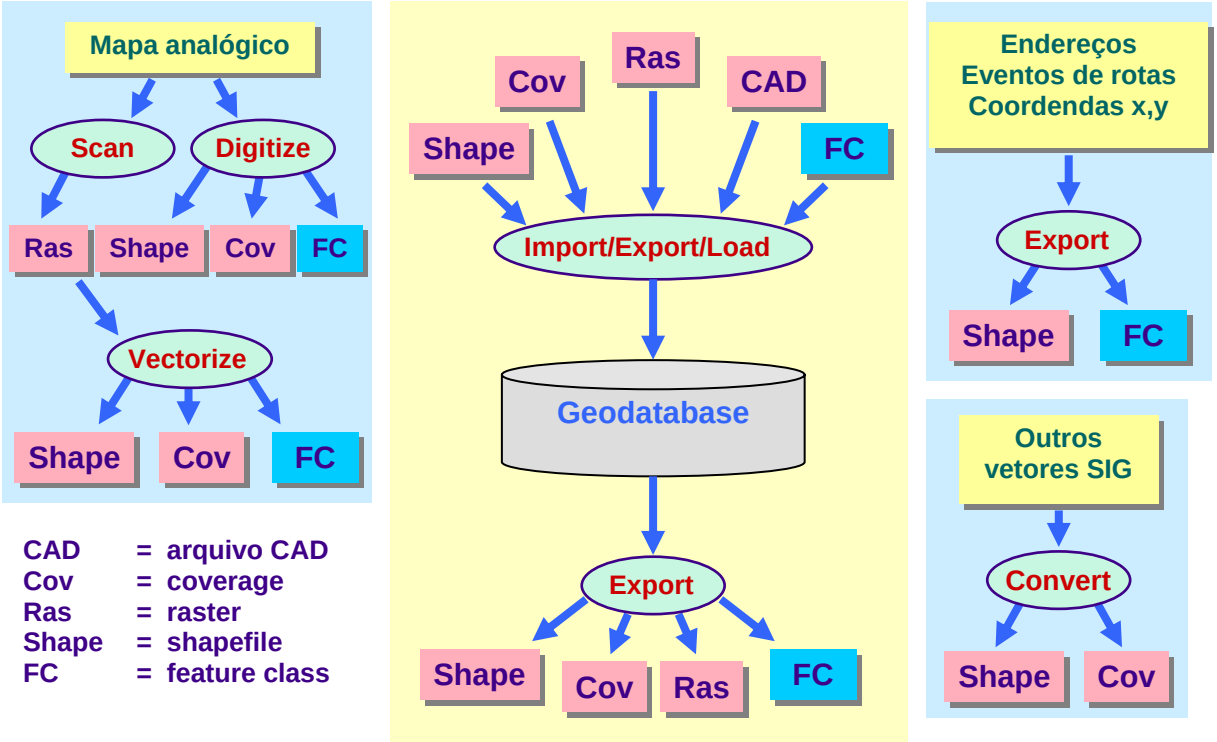



Figura 39 – Fontes de dados geográficos vetoriais para um geodatabase

O ArcCatalog e o ArcToolBox, conforme se pode observar na figura 40, fornecem ferramentas para a conversão direta de formatos de arquivos vetoriais para o geodatabase. No caso de conversão de estrutura (matricial para vetorial), é necessário realizar a vetorização dos dados, desta forma, existe a extensão ArcScan que realiza este tipo de conversão diretamente para o geodatabase ou ainda para o formato shapefile.

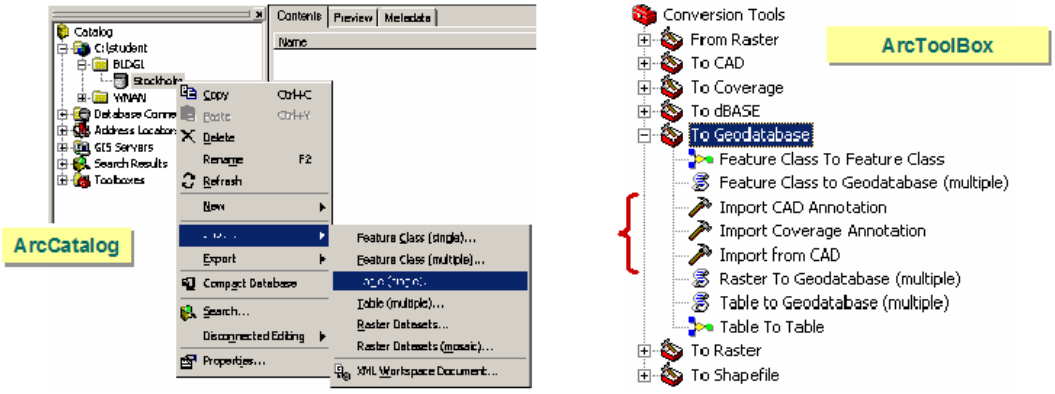



Figura 40 – Ferramentas para conversão de formatos vetoriais para um geodatabase (importação)

É possível também, no ArcCatalog, selecionar uma *feature class* do geodatabase e então solicitar uma carga de dados para esta *feature class*, conforme se pode observar na figura 41.

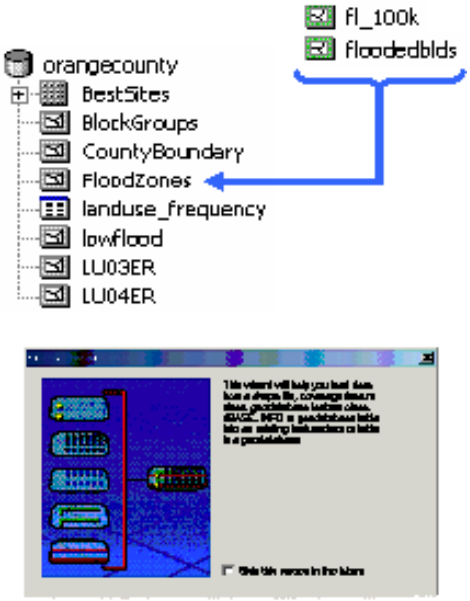



Figura 41 – Carga de dados em uma *feature class* de um geodatabase

O carregamento de dados pode ser realizado em uma feature class ou em uma tabela existente, que pode estar vazia ou ainda já contem alguns dados. É importante observar que se forem carregadas múltiplas fontes de dados, estas devem tem a mesma estrutura. No caso de feature class, a fonte de dados deve ser da mesma geometria (ponto, linha ou polígono) que a feature class. Finalmente, é possível aplicar filtros durante o carregamento, para selecionar apenas alguns dados de interesse.

Um personal geodatabase é um arquivo de extensão [MDB], acessível pelo programa computacional Access da Microsoft, conforme se pode observar na figura 42. Este arquivo pode ser visualizado no Access, tornando-se possível observar que cada feature class é uma tabela do banco de dados Access.

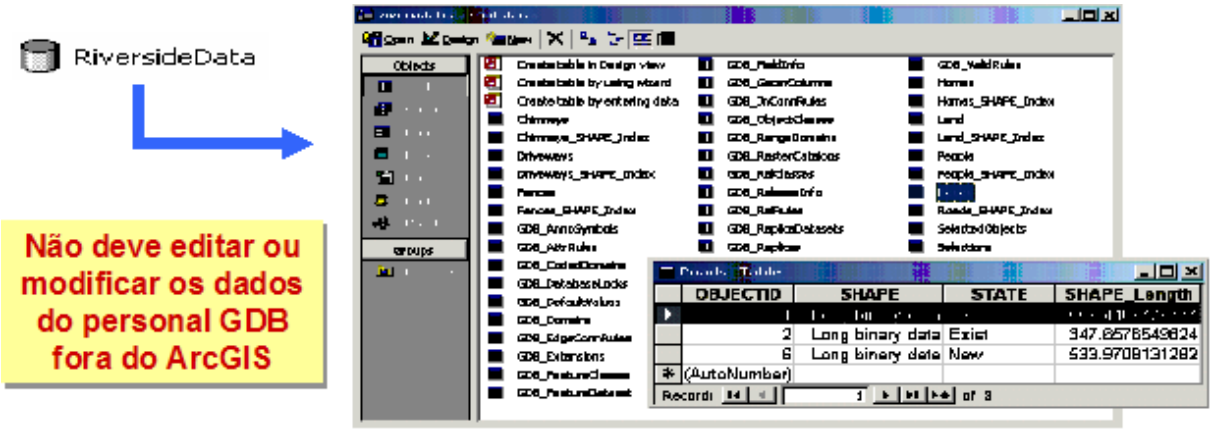



Figura 42 – Personal Geodatabase sendo visualizado utilizando-se o Access

É importante observar que não se deve editar ou modificar qualquer dado do geodatabase sem a utilização do ArcGIS, pois além das tabelas de feature class existem outras tabelas e relacionamentos de difícil controle e qualquer alteração realizada sem a utilização do ArcGIS pode levar a degradação e/ou corrupção do geodatabase e portanto à perda definitiva de parte ou de todos os dados que compõem o geodatabase.

Além dos dados armazenados em estruturas vetoriais, o geodatabase suporta também dados armazenados em estruturas matriciais.

A menor unidade do dado matricial é o pixel, sendo que um dado matricial pode possuir uma grande quantidade de pixels, cada um deles representando um valor numérico. Os pixels são organizados em linhas e colunas, conforme se pode observar na figura 43, além disso, o dado matricial pode também ser composto de várias camadas (ou bandas). Existem dois tipos de dados matriciais, os discretos que representam uma variável qualitativa e os contínuos que representam uma variável quantitativa.

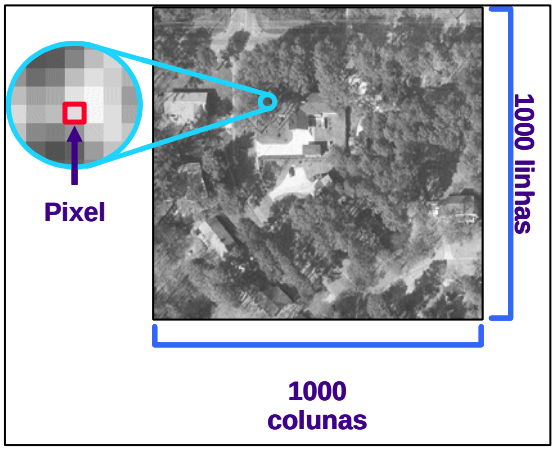



Figura 43 – Detalhe de um pixel de um dado armazenado em estrutura matricial

Quando os dados matriciais representam apenas uma variável, eles possuem apenas uma banda de dados, no entanto, os dados matriciais podem também representar múltiplas variáveis, neste caso, eles possuirão múltiplas bandas, sendo que no geodatabase, todas as bandas são armazenadas num Raster Dataset, sendo que até três bandas podem ser exibidas em uma composição colorida na tela do computador.

No caso das imagens de satélite, quando o sistema sensor produz apenas uma banda o dado matricial é denominado de monocromático, por outro lado, quando o sensor produz várias bandas de várias partes do espectro eletro-magnético, o dado matricial é denominado multiespectral, conforme se pode observar na figura 44. Por outro lado, qualquer dado geográfico pode ser armazenado em estrutura matricial, por exemplo, um mapa composto de vetores (linhas, pontos e polígonos) pode ser digitalizado num scanner gerando assim um

dado matricial. Dados de superfícies contínuas, tais como relevo, temperatura, pressão atmosférica, batimetria, entre outros também podem ser armazenados em estrutura matricial.

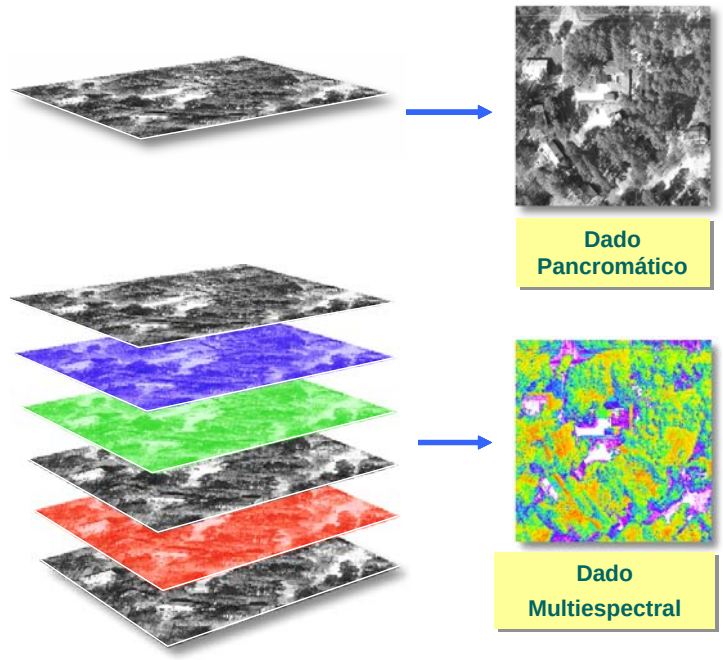



Figura 44 – Dados matriciais com somente uma banda (pancromático) e com várias bandas (multiespectral)

O ArcCatalog e o ArcToolBox possuem ferramentas para criar e carregar dados matriciais em geodatabase, sendo que no ArcToolBox se faz necessário acessar a *tool box* denominada *Data Management Tools* e em seguida se faz necessário acessar a *toolset Raster*, conforme se pode observar na figura 45.

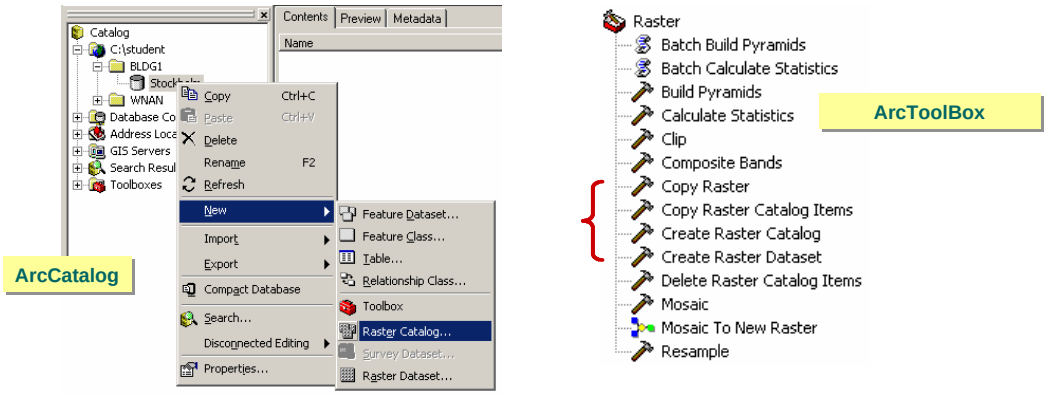



Figura 45 – Ferramentas para criação e importação de dados matriciais no geodatabase

Existem três possibilidades de se armazenar dados matriciais em um geodatabase. Os dados matriciais podem ser armazenados em um *Raster Dataset* ou em *Raster Catalog* ou ainda como atributos de uma *feature class* ou tabela.

Um *Raster Dataset* suporta qualquer tipo de dado matricial válido para o ArcGIS (GRID, IMG, TIFF, etc.), possibilita rápida visualização em qualquer escala, pode ainda mosaicar (concatenar) múltiplas imagens e construir camadas de reamostragens (algorítmo pirâmide). O ArcToolBox disponibiliza ferramentas para copiar dados matriciais, convertendo desta forma arquivos no formato GRID, IMG, TIFF, etc. para o geodatabase, além de carregar *Raster Datasets* em um *Raster Catalog*. É possível também criar *Raster Datasets* vazios, mosaicar *Raster Datasets* num *Raster Dataset* existente ou em um novo. A figura 46 ilustra as ferramentas do ArcToolBox utilizadas para manipular *Raster Datasets*.

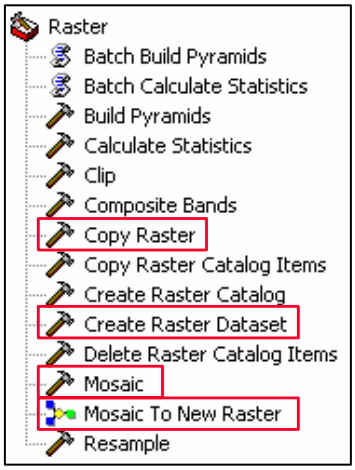
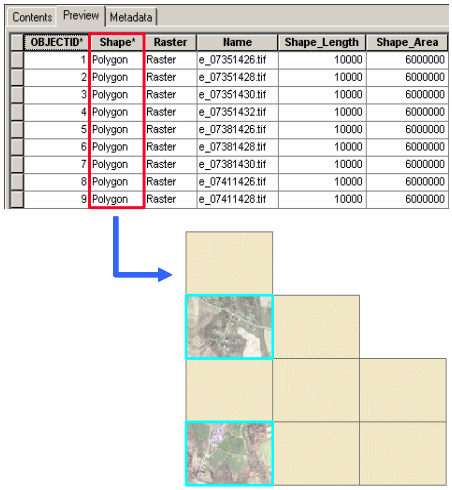



Figura 46 – Ferramentas do ArcToolBox utilizadas para manipulação de *Raster Datasets*

Um *Raster Catalog* é uma coleção lógica de *Rasters Datasets*, onde uma tabela possui os endereços dos *Rasters Datasets*, cada *Raster Dataset* fica referenciado a uma linha da tabela. Um *Raster Catalog* produz a articulação geográfica das *Rasters Dataset*, esta articulação pode ser utilizada em pesquisas espaciais, a figura 47 ilustra um *Raster Catalog*.



Contents | Preview | Metadata

| OBJECTID* | Shape* | Raster | Name | Shape_Length | Shape_Area |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Polygon | Raster | e_07351426.tif | 10000 | 6000000 |
| 2 | Polygon | Raster | e_07351428.tif | 10000 | 6000000 |
| 3 | Polygon | Raster | e_07351430.tif | 10000 | 6000000 |
| 4 | Polygon | Raster | e_07351432.tif | 10000 | 6000000 |
| 5 | Polygon | Raster | e_07381426.tif | 10000 | 6000000 |
| 6 | Polygon | Raster | e_07381428.tif | 10000 | 6000000 |
| 7 | Polygon | Raster | e_07381430.tif | 10000 | 6000000 |
| 8 | Polygon | Raster | e_07411426.tif | 10000 | 6000000 |
| 9 | Polygon | Raster | e_07411428.tif | 10000 | 6000000 |

Figura 47 – Articulação de um *Raster Catalog*

As ferramentas para criação e manipulação de Rasters Catalogs, estão disponíveis no ArcToolBox, conforme se pode observar na figura 48.

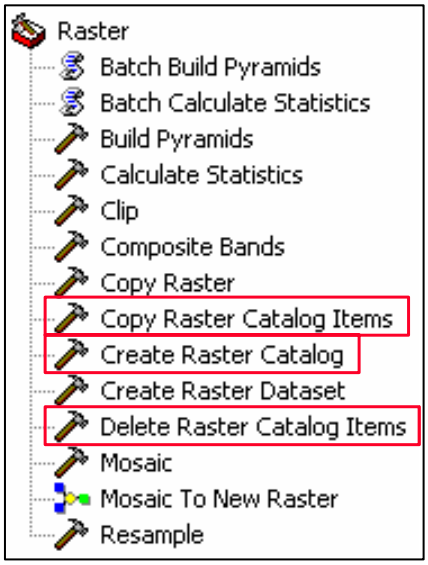



Figura 48 – Ferramentas do ArcToolBox para criação e manipulação de *Raster Catalog*

Finalmente, existe mais uma possibilidade de se armazenar dados matriciais em um geodatabase. Com os avanços tecnológicos da informática, surgiu o conceito de multimídia, que possibilitou integrar os mais diversos tipos de dados (imagens digitais, sons, vídeos, etc.). O geodatabase oferece a possibilidade de integrar os elementos de *feature classes* com imagens digitais, de tal forma, que se possa visualizar além dos dados espaciais e os descritivos, imagens digitais sobre o elemento geográfico. Por exemplo, além do mapa de um parque e suas descrições é possível visualizar uma fotografia digital do parque. O mesmo pode ser feito também com uma tabela de dados.

A associação de imagens digitais com *feature classes* ou tabelas, é realizada através da definição de um atributo do tipo Raster na tabela, como ilustra a figura 49.

| ObjectID | Shape | Area | Stories | CurbPicture |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | 1500.50 | 1 | <Raster> |
| 2 | | 1750.65 | 2 | <Raster> |
| 3 | | 1400.50 | 1 | <Raster> |
| 4 | | 1350.85 | 1 | <Raster> |

Figura 49 – *Feature class* com item tipo Raster

Depois de inseridas as imagens na feature class ou na tabela, elas podem ser acessadas para visualização no ArcGIS, como ilustra a figura 50.

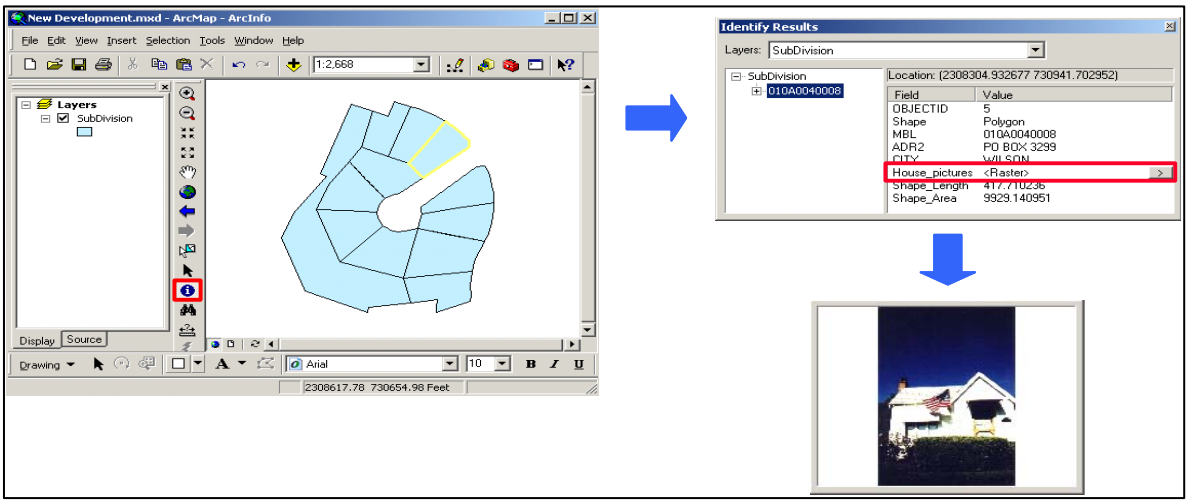



Figura 50 – Exibição de uma imagem digital associada à uma *feature class* através de um atributo do tipo *Raster*

**Exercícios**

1. Quais são as funções de um driver de dados geográficos em um banco de dados?

2. Qual é o driver utilizado para o banco de dados PostgreSQL?

3. O que é o Geodatabase?

4. Quais são os tipos de dados suportados pelo Geodatabase?

5. Quais as diferenças entre Personal Geodatabase, File Geodatabase e Enterprise Geodatabase?

6. O que são as feature dataset e as feature classes?

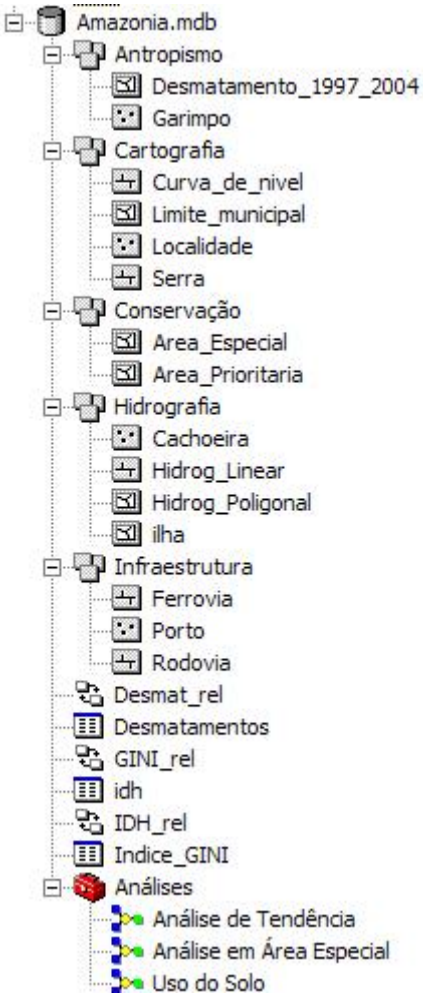
7. Um geodatabase pode conter dados armazenados em estrutura vetorial? Se a resposta for positiva, quais os formatos de arquivos matriciais são suportados?

8. Um geodatabase pode armazenar toolbox, toolsets, ferramentas de sistema, scripts e modelos. Defina cada um desses elementos.

9. O que são anotações?

10. Quais são as questões as serem consideradas antes da construção de um geodatabase?

11. Observe a estrutura do geodatabase abaixo e responda:




a.) Qual é o nome do geodatabase?

b.) Quantos *feature datasets* possui e quais são eles?

c.) Quantos *feature classes* existem no *feature dataset* Cartografia? Quais são poligonais, quais são lineares e quais são pontuais?

d.) Quantas tabelas existem no geodatabase e quais os nomes das tabelas.

e.) Quantas classes de relacionamento existem no geodatabase e quais os nome delas.

f.) Qual o nome da ToolBox existente no geodatabase? Quais os tipos e nomes das ferramentas?

g.) Existe dado armazenado em estrutura matricial no Geodatabase? Qual o nome dele?

h.) Existe alguma *Feature Class* do tipo anotação no geodatabase?

12. No caso da criação de um geodatabase contendo feature datasets, na projeção cônica equivalente de Albers, pergunta-se: Quais os parâmetros desta projeção cartográfica, quais as características, restrições e emprego desta projeção cartográfica?

13. O que é um raster dataset e o que é um raster catalog?

14. No diretório c:\disciplinas\sig\dados\brasil, crie um personal geodatabase denominado Brasil. Siga as etapas de criação do geodatabase, conforme é apresentado no vídeo geodatabase1.htm.

15. Assista o video “subtipo1.htm”, sobre a criação e utilização de subtipos e repita as etapas do vídeo.

16. Adicione, visualize e explore as feature classes do geodatabase Brasil no ArcMap.

### 3.1.4.3 Regras e Domínios dos Atributos

O Geodatabase além de armazenar dados em estruturas matricial e vetorial, por ser concebido sobre os conceitos de bancos de dados, suporta o armazenamento de domínios e regras de validação para os atributos de tabelas e de *feature classes*.

As regras de validação para campos de atributos ajudam a encontrar e a prevenir erros nos atributos. Elas são implementadas como propriedades dos campos e também como domínios que podem estar associados aos campos.

As propriedades de campo de atributos são aplicadas em todos os registros (linhas) de uma tabela ou *feature class* para um campo específico, porém valores padrões e domínios podem ser atribuídos para subtipos.

Pode ser especificado que um determinado campo não pode conter valores nulos (Allow NULL values). Esta regra é testada durante sessões de edição do dado (tabela ou *feature class*).

É possível especificar também valores padrões (Default value), para ser automaticamente atribuído ao campo de atributo da tabela quando um novo registro (ou feição) for criado. Valores padrões podem ser associados a um campo para todos os registros ou para subtipos específicos.

Ao solicitar as propriedades de uma tabela ou *feature class*, o usuário pode especificar regras de validação e domínios, conforme se pode observar na figura 51.

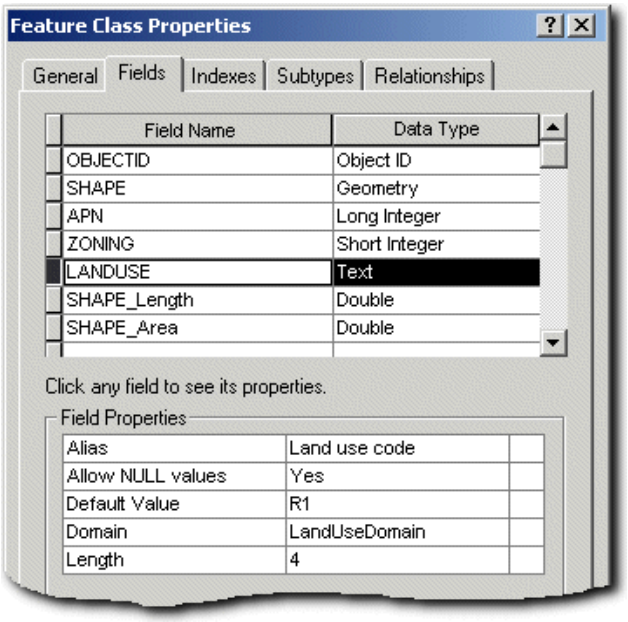



Figura 51 – Acessando as propriedades de uma *feature class*

Os domínios de atributos definem regras adicionais para os campos em tabelas ou *feature classes*. Eles são criados como propriedades do geodatabase. Eles são associados aos campos através da edição das propriedades da tabela ou da *feature class* (figura 51). O mesmo domínio pode ser associado à muitos campos em diferentes tabelas e podem ser aplicados à todos os registros e subtipos de registros.

A utilização primária de um domínio é a definição dos valores legais que podem ser armazenados em um campo. Existem dois tipos de domínio, o tipo a ser utilizado depende da natureza do dado a ser armazenado na tabela ou na *feature class*.

Os domínios de intervalo (Range Domains) são utilizados para dados mensurados (quantitativos), tais como profundidade de poços, níveis de contaminação, ou ainda altura de postes. Eles definem os valores máximo e mínimo legais para o campo.

Os domínios de valores codificados (Coded value domains) são utilizados para dados qualitativos, tais como códigos de uso do solo, códigos de material de encanamento de água, ou ainda códigos de tipo de pavimentação de ruas. Eles definem uma lista de códigos legais e suas descrições.

A figura 52 apresenta uma tabela contendo os dois tipos de domínio, com o destaque na cor vermelha está o campo PoleHeight (Altura de postes), que possui domínio de intervalo e com destaque na cor verde, está o campo Landuse (Uso da terra) com domínio de valores codificados (Comercial, Industrial e Residencial.

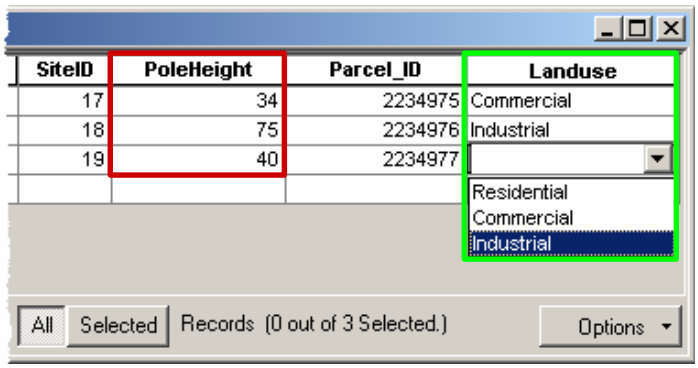



Figura 52 – Tabela contendo domínios de intervalo (range domain) na cor vermelha e valores codificados (coded domain)

Para criar domínios em um geodatabase, é necessário que se siga as seguintes etapas, no ArcCatalog, se deve clicar com o botão direito do mouse sobre o geodatabase desejado, em seguida abrir suas propriedades. Será aberta uma caixa de diálogo contendo uma aba

denominada Domains, que deverá ser acessada. Essas propriedades podem também ser acessadas a partir da aba Subtipos das propriedades de uma *feature class*. Em seguida, se deve selecionar uma linha vazia e então digitar um nome de domínio, juntamente com sua descrição. Em seguida, o usuário pode optar pelo tipo de domínio *Range Domain* e *Coded Value Domain*, finalmente é necessário informar os dados auxiliares do domínio. A figura 53 ilustra os procedimentos descritos.

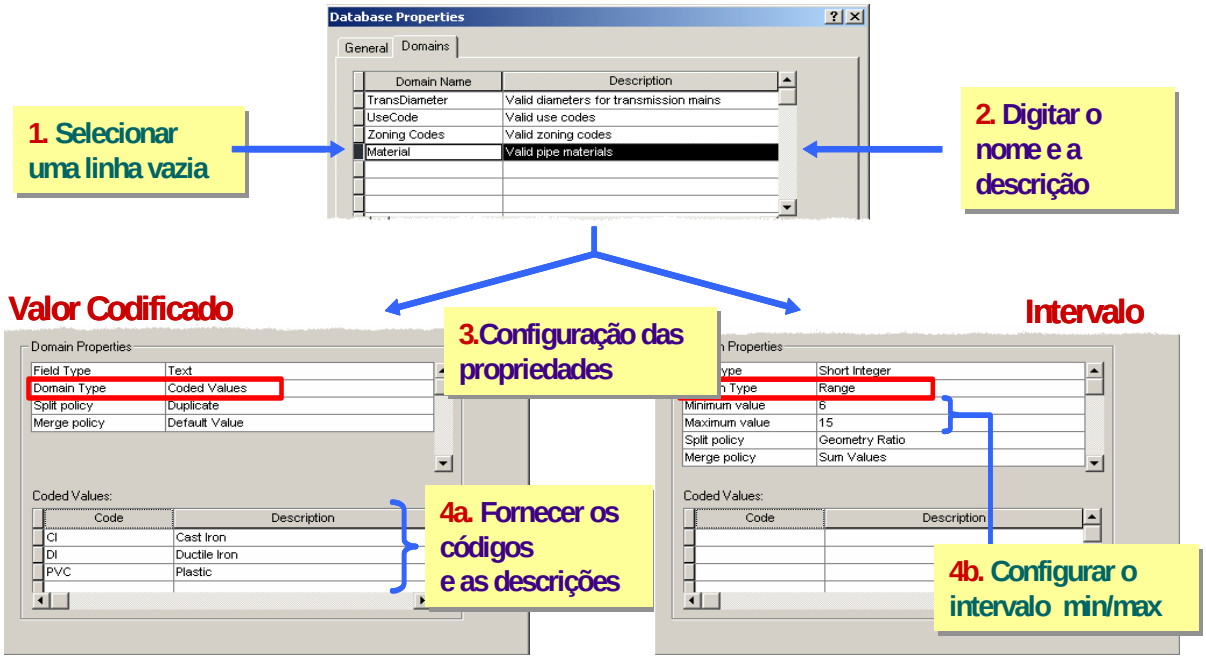



Figura 53 – Procedimentos para especificação de domínios

Após os domínios terem sido criados, eles podem ser associados para campos de tabelas ou *feature classes*. Um domínio pode ser associado a vários campos de qualquer tabela ou *feature class*.

Os domínios que são associados ao nível de campos são aplicados a todos os registros ou feições. Os domínios podem também ser aplicados em subtipos.

Na figura 54 um domínio é associado ao campo LineSize, então são associados diferentes domínios para o campo para os subtipos Main Line e Service Line, mas não para o subtipo Hydrant lateral. Quando são editados os atributos de Main line ou Service line são visualizados seus domínios, porém quando são editados os atributos de Hydrant lateral (que não possui domínio associado), será visualizado o domínio que foi associado para todo o campo LineSize.

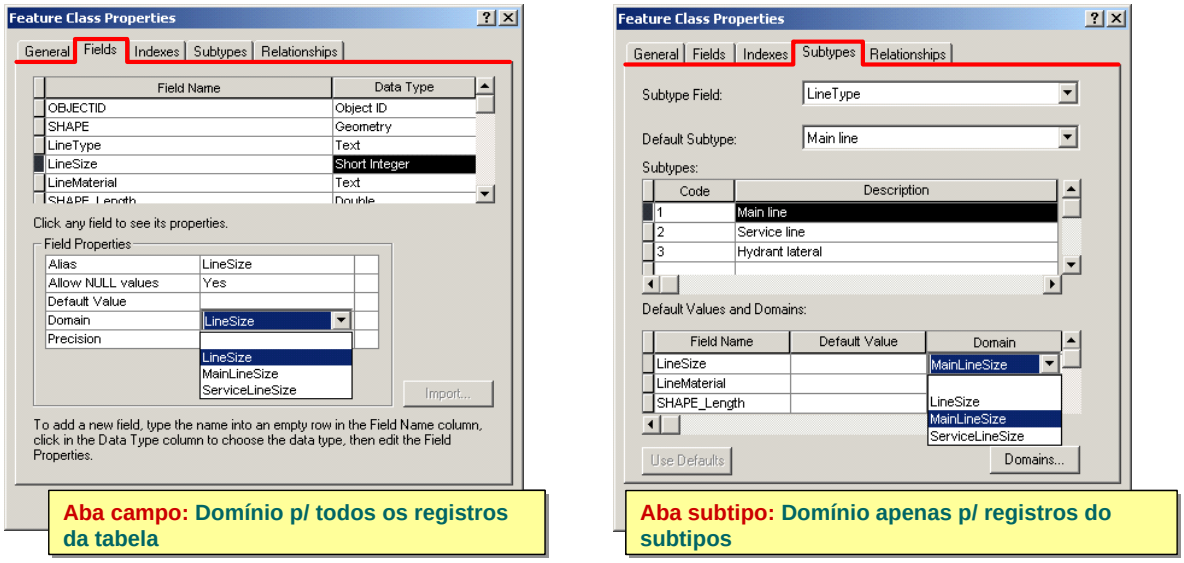



Figura 54 – Associando domínios para campos e subtipos

Como já foi mencionado anteriormente, os domínios são utilizados para se evitar ou prevenir erros na entrada e edição de dados descritivos, porém podem também serem utilizados em outras fases da produção da informação geográfica, tais como exibição de dados geográficos, atributos, produção de mapas, etc.

Durante a entrada ou edição de dados, no caso de domínios de valores codificados, é exibida uma lista e o usuário seleciona o valor desejado na lista, para que o atributo da tabela ou da *feature class* seja preenchido. No entanto, no caso de domínios de intervalos de valores, não existe a lista de possíveis valores e assim um valor deve ser digitado e este pode ser um valor fora do intervalo especificado e, portanto errado. O ArcGIS então identifica linhas de tabela ou feições com valores de atributos ilegais a partir da ferramenta Validade Features, disponível na barra de ferramentas Editor. Com esta ferramenta as feições em edição que violam uma ou mais regras se tornam selecionadas e uma mensagem é exibida indicando o tipo de erro. É possível também fazer com que essa validação seja automática no ArcGIS.

A figura 55 ilustra o processo de validação de atributos, no exemplo, foi fornecido um valor de diâmetro ilegal (fora do intervalo do domínio), após a validação foi selecionada a feição geográfica correspondente e foi exibida uma caixa com a mensagem de falha na validação.

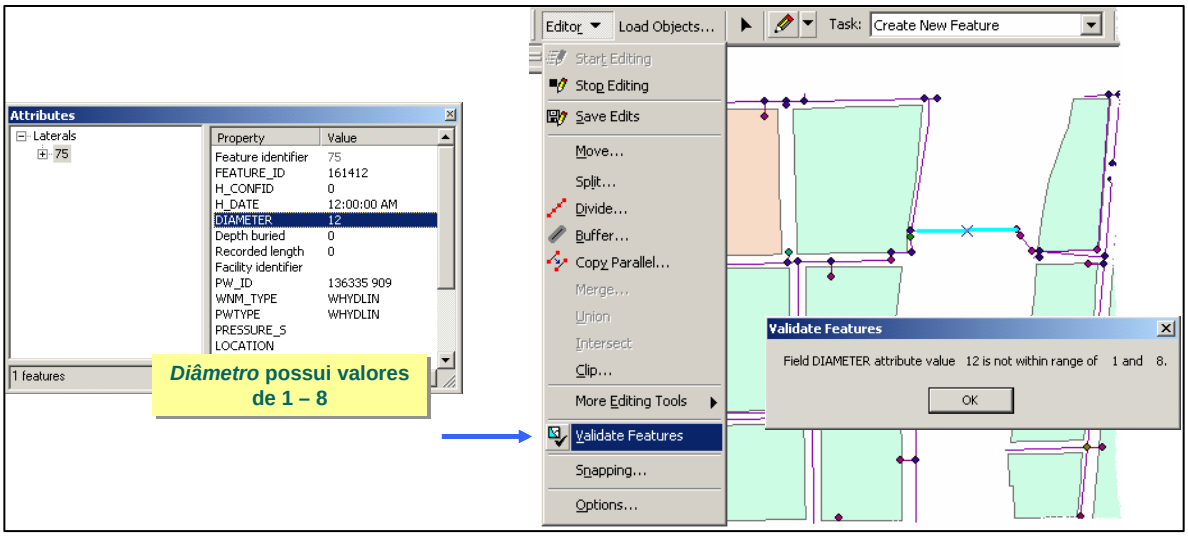



Figura 55 – Processo de validação de uma feição geográfica com regra de domínio

**Exercícios**

1. Para que servem os domínios?

2. Quantos domínios um geodatabase pode conter?

3. O que são domínios do tipo *Coded* e domínios do tipo *Range*?

4. Assista o vídeo “dominio1.htm”, e repita cada uma das ações do filme, para criar domínios, associar domínios à campos de feature classes e realizar edição de dados com domínios.

### 3.1.4.4 Classes de Relacionamento do Geodatabase

As classes de relacionamento do geodatabase gerenciam o relacionamento entre pares de *classes* em um geodatabase. Um relacionamento é implementado como um elemento e aparece no ArcCatalog como ícone contendo nome único e propriedades. A figura 56 apresenta um relacionamento entre duas *feature classes*. As classes de relacionamento oferecem muitas capacidades avançadas:

Acesso de leitura e escrita (Read-write access): Possibilita a edição de atributos em *classes* relacionadas.

Todas as cardinalidades (All cardinalities): As cardinalidades um-para-um, um-para-muitos, e muitos-para muitos são suportadas.

Simples ou composta (Simple or composite): Relacionamentos podem ser simples ou composto, onde a classe pai controla o tempo de vida da classe filha relacionada. Por exemplo, se duas *feature classes* estão relacionadas com um relacionamento composto, a feição “filha” segue a feição “pai” quando ela é movida ou rotacionada.

Regras de relacionamento (Relationship rules): É possível criar regras para refinar a cardinalidade entre *classes* baseadas em subtipos. Por exemplo, lotes e edificações possuem cardinalidade um-para-muitos, mas regras podem estabelecer que uma propriedade comercial possa somente estar relacionada com edificações comerciais (escritórios, armazéns, etc.).

Integridade Referencial (Referential integrity): A classe de relacionamento gerencia os campos chaves que ligam as *classes* e em um relacionamento composto, realize uma “eliminação em cascata” para apagar todas as *classes* “filhas” quando relacionadas com uma classe “pai” apagada.

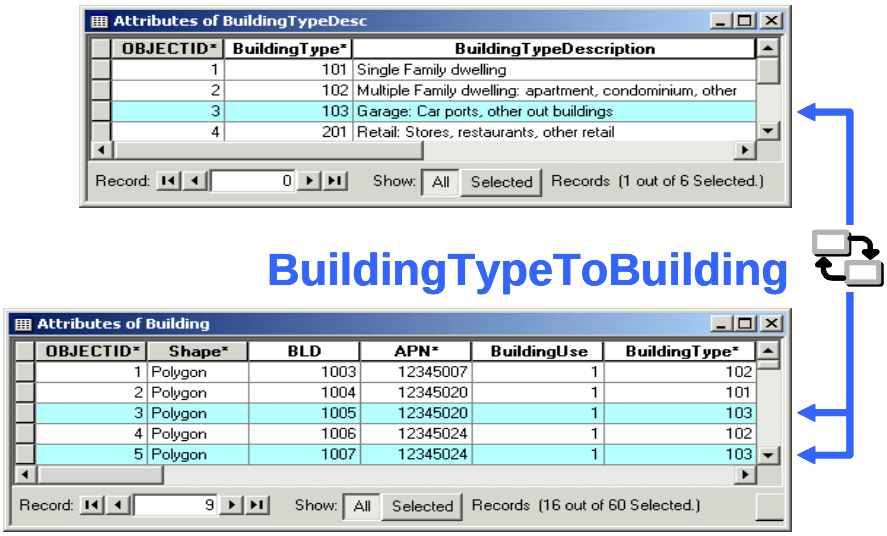



Figura 56 – Estabelecimento de uma classe de relacionamento

Uma classe de relacionamento pode ser utilizada para pesquisar, editar, analisar e produzir relatórios de dados e informações geográficas.

Os relacionamentos são estabelecidos entre pares de *classes* (tabelas e/ou *feature classes* em um geodatabase), sendo um deles a origem e outro o destino do relacionamento. A escolha da origem tem impacto na integridade referencial. As *classes* são relacionadas através de seus campos chaves com valores comuns.

Os campos em duas *classes* são correlacionados baseados nos valores encontrados em seus campos chaves. Na figura 57 o lote 789 se correlaciona com as edificações 2 e 3 pois todos aqueles registros possuem o mesmo valor para lote. Os campos chaves podem ter nomes

diferentes (no exemplo Lote_ID e Lote), porém devem ter o mesmo tipo de dado (tal como short integer, long integer, ou text) e possuir o mesmo valor de informação.

O campo chave na classe origem é chamado de chave primária origem em muitas vezes possui a notação “PK”. Por outro lado, o campo chave na classe destino é denominada chave estrangeira destino e contém valores que se correlacionam com o campo chave primária origem. O campo chave estrangeira destino possui a notação “FK”.

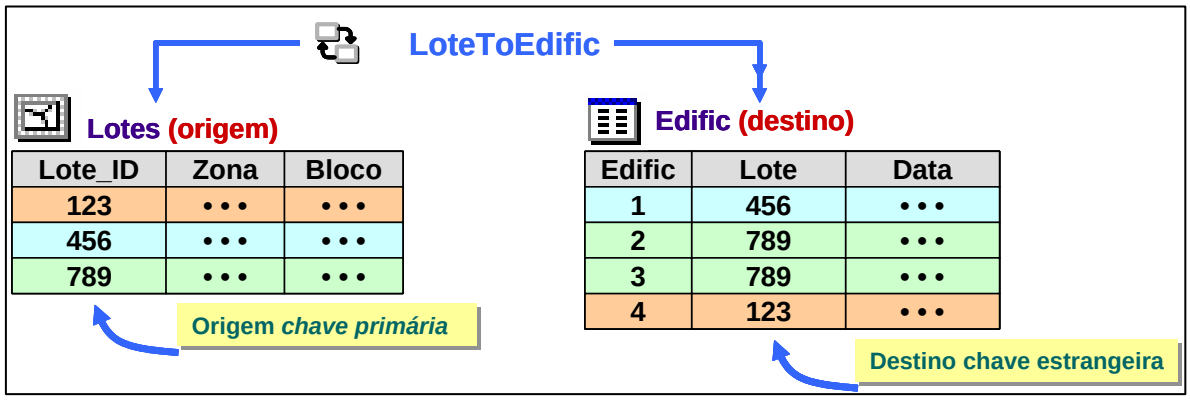



Figura 57 – Chaves de relacionamento primaria e estrangeira no estabelecimento de uma classe de relacionamento

Uma classe de relacionamento pode ser criada em ArcCatalog, com a manipulação de um geodatabase ou de um feature dataset (dentro de um geodatabase). Conforme se pode observar na figura 58, é aberta uma caixa de diálogo onde são especificadas as propriedades da classe de relacionamento. O ArcToolBox também disponibiliza as ferramentas para se criar classes de relacionamentos.

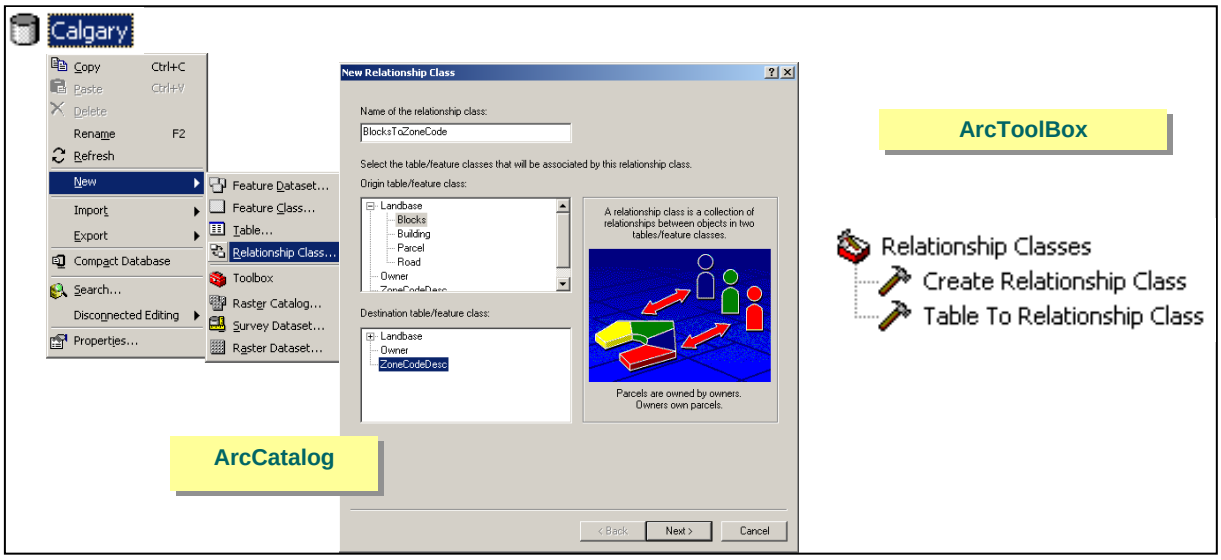



Figura 58 – Criação de classes de relacionamento no ArcCatalog e no ArcToolBox

Como todos os outros elementos do geodatabase, as classes de relacionamento possuem propriedades. As propriedades básicas são definidas com a criação da classe de relacionamento, elas não podem ser alteradas. As regras também são propriedades do relacionamento, porém elas são definidas após o relacionamento ter sido criado e podem ser alteradas.

Não se pode alterar a maioria das propriedades de uma classe de relacionamento, quando este tipo de ação for necessário, se torna mais fácil apagar e re-criar a classe de relacionamento. No ArcCatalog é possível visualizar as propriedade de uma classe de relacionamento, conforme se pode observar na figura 59.

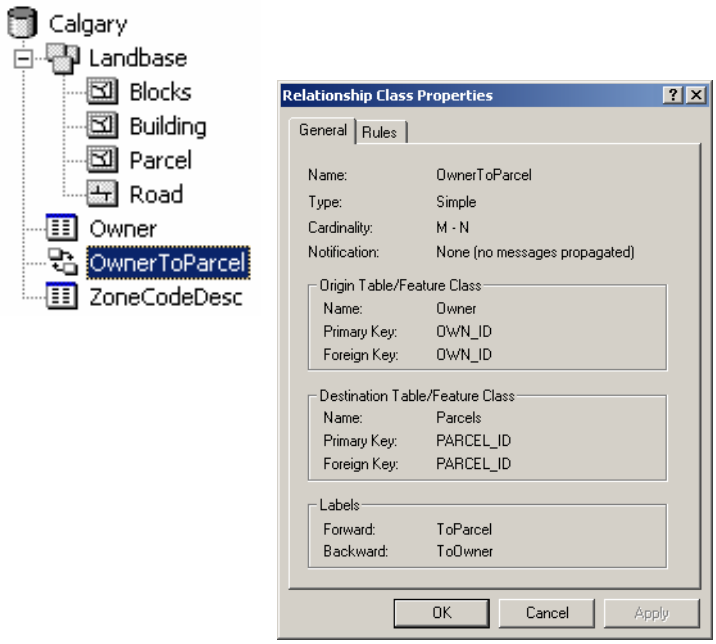



Figura 59 – Observação das propriedades de uma classe de relacionamento

O tipo de uma classe de relacionamento pode ser simples ou composto. A diferença está em como a classe de relacionamento trata a integridade referencial. O tipo composto somente pode ser definido para o relacionamento um-para-muitos.

No tipo simples, os objetos nas *classes* (tabelas ou *features*) existem independentemente uns dos outros. Se for apagado um objeto de origem, o valor do campo chave no destino é definido como nulo (Null Value), porém, se for apagado o destino, não ocorrerá nenhum efeito na origem. Este tipo de comportamento é denominado par a par (peer-to-peer). Na figura 60, foi apagado um lote e a chave de relacionamento recebeu o valor nulo para as edificações correspondentes.

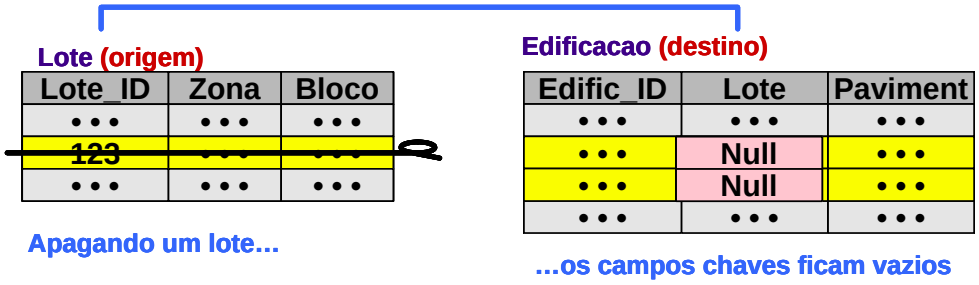



Figura 60 – Comportamento em classe de relacionamento do tipo simples

No tipo de relacionamento composto, a existência dos objetos destino é controlada pelo objeto origem. Se for apagado o objeto origem, os objetos destinos também são apagados em um processo denominado eliminação em cascata. Porém, a eliminação de um objeto destino não tem qualquer efeito sobre o objeto origem. Este tipo de comportamento é denominado de relacionamento pai-filho (parent-child). Na figura 61, ao apagar um lote também são apagadas as edificações relacionadas. Um objeto "filho" (uma edificação) não pode existir sem um "pai" (um lote).

Um relacionamento composto também tem um efeito espacial, se uma feição origem foi movimentada ou sofrer rotação, as feições destino também sofrerão o mesmo efeito. Este tipo de possibilidade é especialmente importante para a manutenção da integridade de feições de anotação (textos), pois se uma determinada feição sofrer movimentação ou rotação, o texto referente a esta feição também se movimentará ou rotacionará na mesma magnitude.

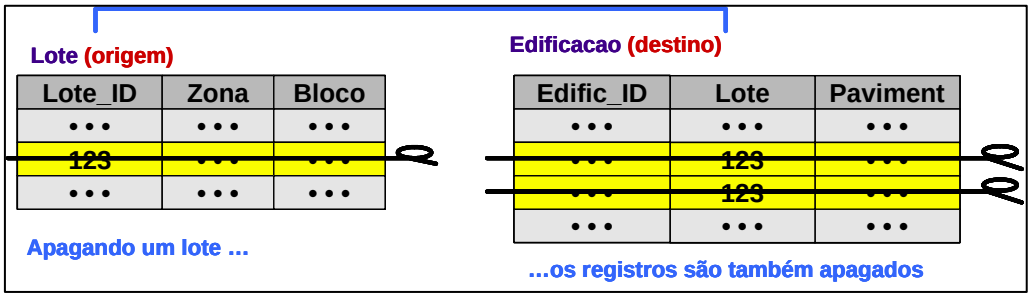



Figura 61 – Classe de relacionamento do tipo composto

**Exercícios**

1. Para que servem as classes de relacionamento no Geodatabase?

2. Quais as vantagens de relacionamentos compostos?

3. O que são campos chaves no relacionamento de dados?

4. Quantos dados (tabelas ou feature classes) são relacionados em uma classe de relacionamento?

5. Assista o vídeo “relate_class1.htm” e repita as operações de relacionamento entre as feature classes Limite_estadual e Limite_municipal.

### 3.1.4.5 Anotações no geodatabase

Um mapa sem textos é um mapa mudo, fica incompleto e sua utilização praticamente inviabilizada, por isso, se faz necessário colocar textos sobre os mapas, para descrever sucintamente as feições geográficas. Apesar de parecer uma tarefa simples, quando se começa a verificar a grande quantidade de feições que um mapa pode conter e ainda os requisitos que o mapa deve ter em relação aos textos (os textos devem possuir cores e tamanho para serem lidos com facilidade, porém não devem se destacar mais que as feições cartográficas, não devem se sobrepor com outros textos, devem ser colocados de forma estratégica e harmoniosa, devem apresentar sobreposição mínima com as feições geográficas, etc.), esta se torna uma tarefa bastante complexa.

Em ArcGIS, existem duas maneiras de se colocar textos nas feições dos mapas, uma delas é através do uso de rótulos (labels) e outra através do uso de anotações.

Um rótulo é um texto exibido dinamicamente sobre o mapa, quando o usuário aproxima, afasta ou desloca o mapa, os rótulos são re-posicionados e re-dimensionados de acordo com a escala de exibição do mapa em tela. Os rótulos são sempre tratados como um grupo, ou seja, não se pode movimentar ou alterar a cor de apenas um rótulo individualmente. As propriedades dos rótulos (cor, tamanho, posição, fonte) são armazenadas como elementos do

mapa e são sempre ligadas com as feições que elas representam, portanto, se uma feição não for exibida, o seu texto também não será exibido no mapa.

As anotações são diferentes dos rótulos, pois cada anotação possui sua posição, texto e propriedades de exibição individuais, assim, em um mapa cada anotação pode ser selecionada e individualmente editada. As anotações são estáticas, quando se desloca ou aproxima o mapa, as anotações não sofrem qualquer re-posicionamento ou re-dimensionamento, sendo necessário alterar suas características de posição e dimensão manualmente. Contudo, é possível gerenciar a posição, cor, tipo de fonte, tamanho, etc. de cada anotação individualmente. As anotações podem ser armazenadas de três maneiras: (1) como um gráfico no documento de mapa, (2) como uma *feature class* em um geodatabase, ou (3) como uma feição ligada a uma *feature class* em um geodatabase.

As anotações são tipicamente textos, porém o ArcGIS permite que outras entidades gráficas tais como retângulos, círculos, pontos, setas, etc. possam ser armazenados no geodatabase como anotações.

Partes individuais de anotação podem ser selecionadas e editadas, como qualquer outra feição, utilizando-se o ArcMAP do ArcGIS. Como qualquer outro tipo de feição em geodatabase, todas as feições em uma *feature class* de anotação possuem localização e atributos. Elas também podem ser armazenadas dentro de *feature dataset*.

Comparada com *feature classes* simples (pontos, linhas, ou polígonos), a anotação é única, pois cada feição de anotação possui simbologia associada, que inclui propriedades como tipo de fonte, tamanho, cor, e alinhamento. Estas propriedades de simbologia são armazenadas como atributos em uma *feature class* de anotação.

Podem ser estabelecidas classes de relacionamento de tipo composto entre uma *feature class* de anotação e outra *feature class* simples (pontos, linhas ou polígonos), mantendo desta forma a integridade referencial, como está ilustrado na figura 62. Desta forma, se uma feição simples for movimentada, ou sofrer rotação, ou ainda, for apagada, o mesmo efeito será reproduzido sobre a anotação.

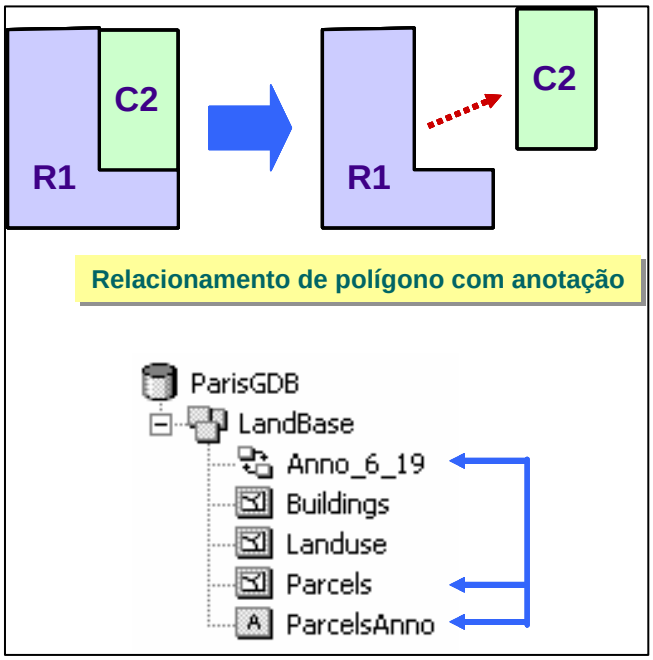



Figura 62 – Classe de relacionamento composto entre dados de polígonos e anotação

Um relacionamento composto é automaticamente construído entre as feições de anotação e suas feições "pai" quando é criada uma *feature class* de anotação ligada à feição (feature-linked). O efeito é que as feições de anotação herdam todos os efeitos de edição gráfica que as feições "pai" recebem.

O texto utilizado pela anotação é também derivado dos atributos de uma feição "pai", e quando o atributo é alterado, a anotação é automaticamente atualizada.

Uma *feature class* simples de geodatabase pode ter várias *feature classes* de anotação ligadas, porém uma *feature class* de anotação pode ser ligada a somente uma *feature class* simples. A figura 63 ilustra como é estabelecida a classe de relacionamento em anotação e *feature class* simples.

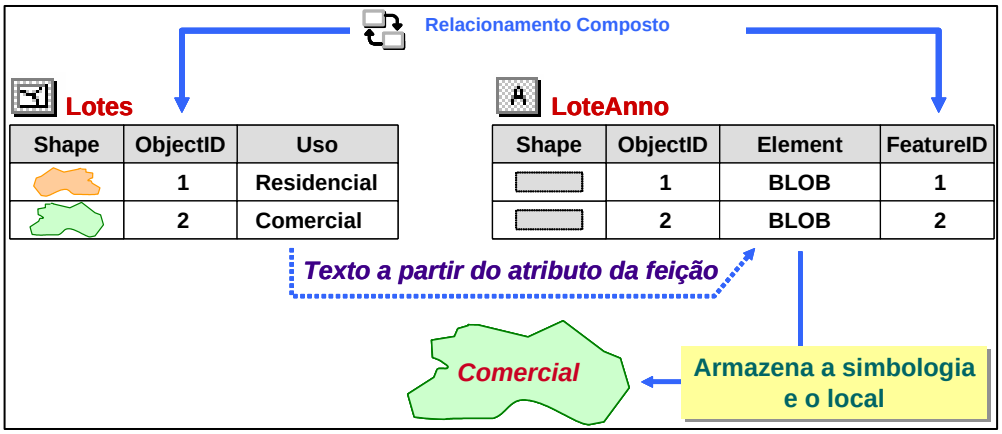



Figura 63 – *Feature class* simples e anotação

Existem três métodos para se criar anotações, uma delas é através da conversão de rótulos (labels) para anotações, conforme ilustra a figura 64. Este procedimento tem a vantagem da utilização das funções disponíveis no ArcMap para a criação de rótulos, especialmente se for utilizada uma extensão denominadas Maplex, além disso, é o método mais fácil e utilizado para se gerar anotações.

Alternativamente, se pode criar uma nova *feature class* de anotação vazia em ArcCatalog e então adicionar novas feições de anotação utilizando o ambiente de edição do ArcMap.

Existem também ferramentas no ArcToolBox para converter anotações de coverage de arquivos CAD para anotação de geodatabase.

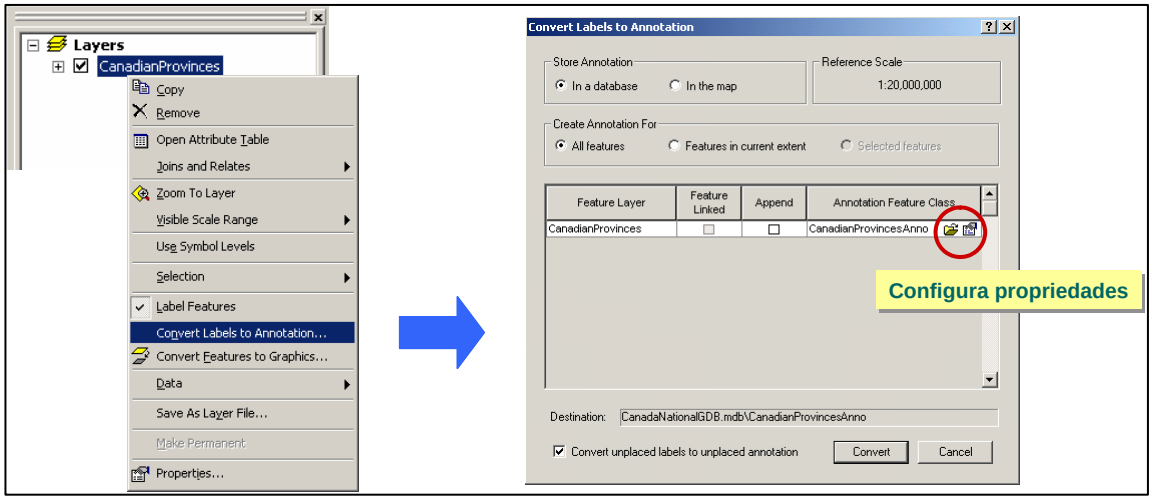



Figura 64 – Conversão de rótulos em anotação no ArcMAP

**Exercícios**

1. O que são anotações?

2. Quais são as diferenças entre rótulos e anotações? Qual a vantagem em se utilizar anotações?

3. Assista o vídeo “annotation1.htm” e repita os procedimentos observados no vídeo.

### 3.1.4.6 Topologia no geodatabase

Topologia é uma área e estudo da matemática, porém no contexto de mapas e cartografia, ela se ocupa com o relacionamento do posicionamento espacial entre feições geográficas, por exemplo, rodovias que estão conectadas, uma área urbana que está contida em um município, ou duas unidades fundiárias adjacentes. Os usuários de mapas intuitivamente trabalham com topologia quando realizam leituras de mapas. Por exemplo, um motorista procura seguir as rodovias que conectam a origem e o destino de sua viagem.

Os relacionamentos topológicos entre feições podem ser matematicamente obtidos examinando-se as coordenadas das feições, e os usuários de Sistemas de Informações Geográficas podem obter vantagens a partir da estrutura topológica de seus mapas digitais. Por exemplo, em ArcMAP, a ferramenta de seleção por localização (Select by Location) oferece dezenas de pesquisas topológicas que analisam a estrutura topológica do dado espacial. As análises de fluxo (trace) em redes geométricas também se sustentam na estrutura topológica do dado espacial, por exemplo, identificação dos canos da rede de água que estão conectados em uma determinada válvula.

A estrutura topológica dos dados geográficos digitais também pode ser utilizada para garantir que as feições geográficas estejam corretas; por exemplo, encontrar os locais onde polígonos de uma mapa de solos apresentam sobreposição, ou onde as rodovias não estão conectadas, ou ainda onde as rotas de ônibus não são coincidentes com as rodovias.

A topologia em geodatabase se ocupa em oferecer ferramentas que garantam a integridade topológica das feições geográficas. As feições que devam ser supostamente espacialmente coincidentes, como rotas de ônibus sobre ruas, ou ainda limites comuns entre lotes, são “amarradas” para assegurar que realmente sejam coincidentes com a precisão da coordenada armazenada. É possível controlar o quanto as coordenadas podem ser mover para se tornarem coincidentes, e ainda definir o nível de importância relativa das *feature classes*

nesta movimentação de coordenadas. Por exemplo, é possível forçar que um dado de baixa acurácia se mova em relação a um dado de alta acurácia.

Um uma base de dados de SIG, muitas feições podem ser completamente ou parcialmente coincidentes. Por exemplo, os lotes, setores censitários, e uso do solo podem apresentar sobreposição uns com os outros. Uma topologia de geodatabase integra feições coincidentes em um ambiente de edição comum no ArcMap de tal forma que, se for alterada uma feição compartilhada (como limite de lote), automaticamente as feições coincidentes também são alteradas.

É possível escolher um conjunto de dezenas de regras topológicas entre as *feature classes* em uma topologia para definir as relações espaciais válidas entre elas. A topologia do geodatabase encontra erros, e o ArcMap possui as ferramentas para exibi-los e corrigi-los.

A topologia permite o gerenciamento da integridade espacial do dado com ferramentas para edição de geometria coincidente entre *classes*. Desta forma, múltiplas *feature classes* podem ser editadas simultaneamente se eles possuem geometria coincidente. Por exemplo, é possível que um lote possa compartilhar um limite comum com polígonos de zoneamento, uso do solo e subdivisão. Utilizando as ferramentas de edição de topologia para alterar limites compartilhados, todas as feature classes serão automaticamente atualizadas de uma só vez.

A integridade espacial é gerenciada por um conjunto de regras que o usuário define para auxiliar a encontrar e corrigir os erros topológicos. Por exemplo, o usuário pode decidir implementar uma regra, na qual os polígonos de solos não podem se sobrepor uns aos outros. A topologia encontra um erro e o armazena como uma feição especial de polígono, que pode ser exibido em ArcMap. A maioria dos erros possuem correções automáticas que podem ser aplicadas através do ArcMap. Para continuar o exemplo, o usuário selecionaria o erro de sobreposição, e então escolheria uma opção para apagar a área sobreposta: fazendo a junção com um dos polígonos de solo, ou criando um novo polígono de solo para ele. A figura 64 ilustra alguns procedimentos de edição de dados a partir de regras tolológicas.

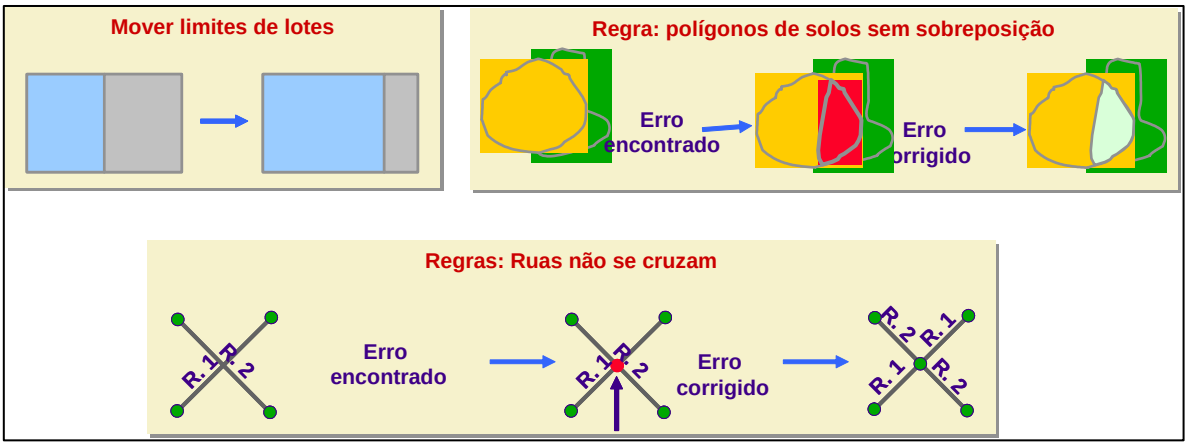



Figura 64 – Edição de feições geográficas a partir da utilização de regras topológicas

As ferramentas topológicas também podem ser utilizadas na produção de novas feições a partir de feições existentes. Em ArcCatalog, é possível criar uma nova *feature class* de polígonos a partir de um conjunto de feições de linhas de entrada. Em ArcMap é possível construir novas feições de polígonos a partir de um conjunto de linhas selecionadas, criar novas feições de linhas a partir da quebra de linhas selecionadas onde elas se cruzam, ou ainda criar novas feições de linhas a partir das bordas de polígonos selecionados.

A topologia é um elemento especializado do geodatabase. Como todos os elementos, ela armazena propriedade, mas também armazenas feições especializadas de pontos, linhas, e polígonos que são utilizadas na localização de violações de regras e áreas "sujas" (áreas não validades). Em vez de armazenar informação topológica com as *feature classes*, a topologia descobre os relacionamentos onde a informação é requisitada, ou seja onde se está editando com as ferramentas de edição topológica do ArcMap.

A topologia pode ser criada com ArcCatalog ou com ArcToolBox. Um elemento de topologia é sempre localizado na mesma *feature dataset* que contém as *feature classes* participantes de topologia, como se pode observar na figura 65. O usuário fornece o nome da topologia, define uma tolerância de agrupamento (cluster tolerance), e especifica que *feature classes* participam da topologia e sua relativa posição (rank), ou importância. O usuário pode então definir regras opcionais para a topologia.

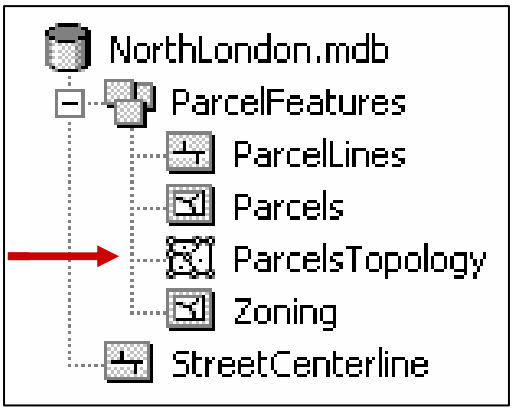



Figura 65 – Topologia “ParcelsTopology”, localizada dentro da *feature dataset* “ParcelFeatures”, no geodatabase NorthLondon.mdb

Após a criação da topologia em ArcCatalog ou em ArcToolBox, o usuário pode escolher validá-la em ArcCatalog ou em ArcMap (a validação é quando as coordenadas são agrupadas “snapped”). As *feature classes* participantes da topologia são editadas em ArcMap, que cria áreas “sujas” (não validadas). Durante a edição, a topologia é utilizada com o intuito de se encontrar erros e então corrigi-los com as ferramentas de edição topológica. Ou ainda os erros podem ser marcados como exceção. O trabalho pode ser validado no ArcMap para encontrar mais erros ou ainda para eliminar as áreas “sujas” da topologia. A figura 66 apresenta um diagrama com os procedimentos que envolvem o trabalho com topologia.

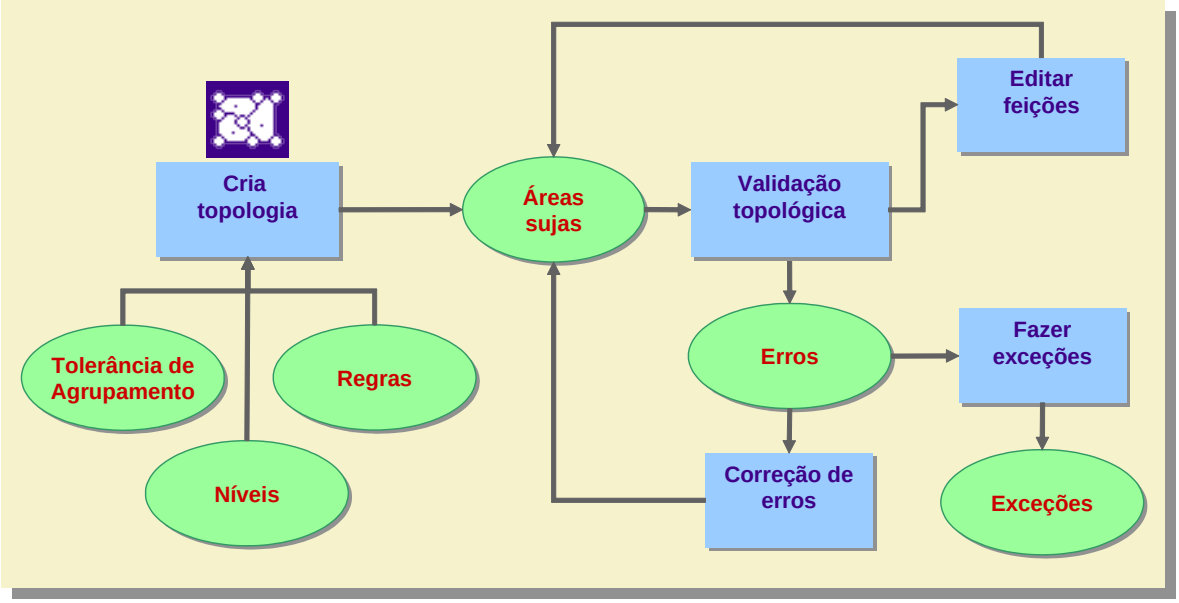



Figura 66 – Etapas do trabalho com dados topológicos

Nenhuma função do ArcGIS é desabilitada se uma topologia não for validada ou se contém erros. É possível utilizar as *feature classes* participantes em pesquisas, análises, exibições, etc. sem nenhum problema.

Existem algumas regras para serem seguidas durante a criação de topologia em geodatabase:

- Uma topologia somente pode ser criada dentro de uma *feature dataset*;
- Muitas topologias podem ser criadas na mesma *feature dataset*;
- Todas as *feature classes* participantes devem estar na mesma *feature dataset*;
- Uma dada *feature class* pode participar somente de uma topologia ou rede geométrica;
- Somente *feature classes* simples (pontos, linhas e polígonos) podem participar em uma topologia.

A figura 67 ilustra a criação de uma topologia e a seleção das *feature classes* participantes utilizando o ArcCatalog

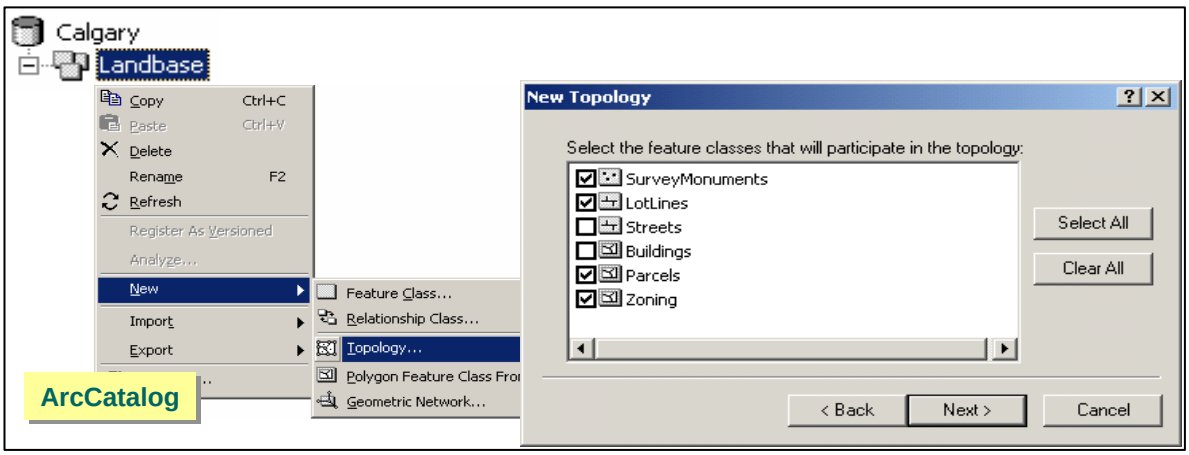



Figura 67 – Criação de topologia e seleção de *feature classes* participantes em ArcCatalog

Com relação à tolerância de agrupamento (cluster tolerance), se vértices ou pontos são encontrados em uma especificada distância de outro vértice ou ponto, então eles são movimentados de tal forma que tenham os exatos mesmos valores de coordenadas, como está ilustrado na figura 68.

A tolerância de agrupamento não é um limite sobre o quanto uma dada coordenada pode se mover, porém, devido ao processo de agrupamento é iterativa. Por exemplo, dois vértices poderiam ser movidos para uma posição média e então se aquela nova posição atender a tolerância de agrupamento com outro vértice, eles seriam movidos novamente e assim por diante.

Para especificar a tolerância de agrupamento, a sugestão é que se utilize o erro padrão para cartas classe A, obtido junto às normas cartográficas brasileiras. Desta forma, a tolerância de agrupamento pode ser calculada da seguinte forma:

TA = 0,3 mm x D.E.C [3]

Onde:

TA – Tolerância de Agrupamento e

D.E.C – Denominador da Escala da Carta.

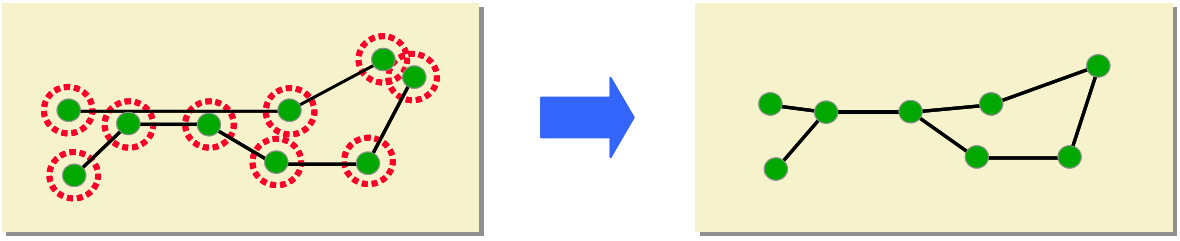


Figura 68 – Efeito da tolerância e agrupamento em uma feição geográfica

Na topologia, o nível relativo da *feature class* (rank) permite controlar como os vértices são movimentados durante o processo de validação. O usuário determina o número de níveis (até 50; sendo 1 o maior, e 50 o menor nível) baseado em sua base de dados, e a prioridade de cada *feature class* na topologia. Isto permite integrar dados com menor acurácia para coincidirem com dados com maior acurácia.

Pontos de quebra (crack points) são criados como parte do processo de validação da topologia, onde vértices são criados na intersecção das bordas das feições.

Quando *feature classes* possuem níveis iguais:

- Pontos de quebra se movem para pontos finais;
- Múltiplos pontos finais são movimentados para uma posição media.

Quando as feature classes possuem níveis diferentes:

- Pontos finais, pontos de quebra, ou ambos de feições de menor nível (números altos) se movem para pontos finais/pontos de quebra de feições de maior nível (altos números).
- *Feature classes* de baixa qualidade são ajustadas à *feature classes* de alta qualidade.

Por exemplo, suponha que se tenha uma *feature class* de lotes e outra de zoneamento e a *feature class* de lotes tenha sido obtida a partir de um levantamento de alta precisão, com receptores GNSS topográficos (precisão centimétrica), então os lotes seriam de nível 1 (rank = 1). Por outro lado, se a *feature class* de zoneamento fosse obtida a partir de um mapa

(construído com levantamentos expeditos), digitalizado em mesa digitalizadora, este segundo dado seria de menor qualidade que o primeiro, assim seria atribuído à ele um nível menor (rank = 2, por exemplo), desta forma, as bordas do zoneamento seriam ajustadas com as bordas dos lotes durante o processo de validação.

A figura 69 ilustra as movimentações que ocorrem com os pontos finais e as linhas de quebra das feições em um processo de validação.

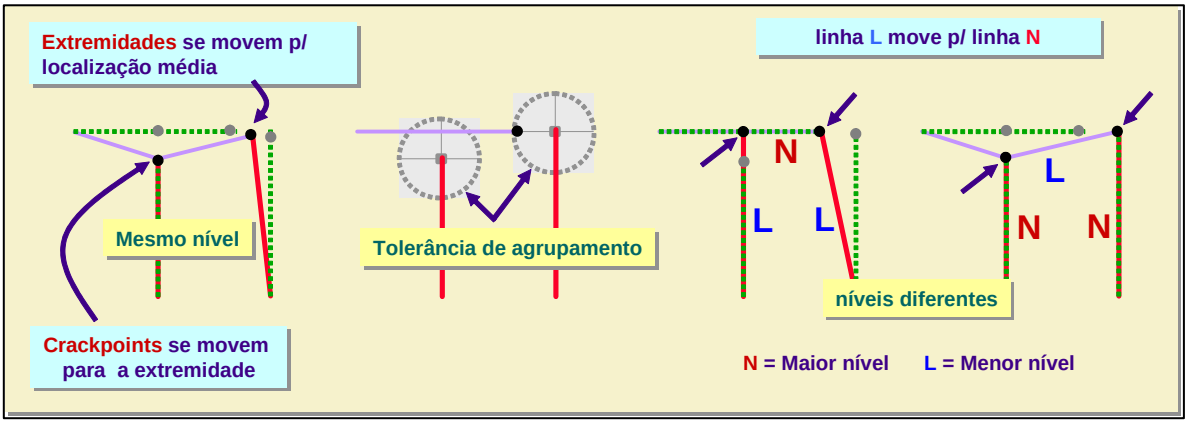



Figura 69 – Movimentações que ocorrem durante processo de validação

Existem vinte e cinco regras topológicas pré-definidas que se pode opcionalmente utilizar para definir os relacionamentos topológicos entre feições geográficas. As regras podem ser aplicadas em *feature classes* e em subtipos de *feature classes*. Algumas regras envolvem uma única *feature class* enquanto que outras envolvem duas *feature classes* de mesma ou de diferentes geometrias. Alguns exemplos de regras topológicas são apresentados a seguir e ilustrados na figura 70:

- Lotes ... Não devem ter espaços vazios entre eles (gaps)
- Estados ... O limite da área deve ser coberto pelos limites de municípios
- Curvas de Nível ... Não devem ter intersecção
- Rotas de Ônibus ... Devem coincidir com as ruas
- Válvulas … Devem coincidir com os pontos finais dos canos

Após a especificação das regras, elas são testadas durante a validação topológica. Os erros são armazenados na topologia para uso no ArcMap, que possui ferramentas especiais para localiza-los e corrigi-los.

As regras de topologia podem ser definidas quando se cria uma nova topologia. É possível adicionar e apagar regras através da edição das propriedades de uma topologia existente.

É possível gravar as regras em um arquivo para carregá-las quando necessárias.

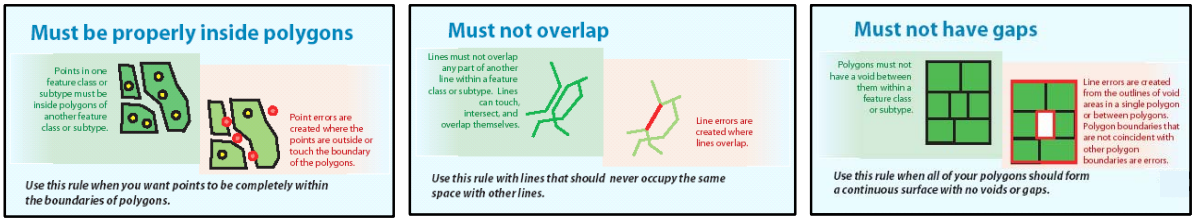



Figura 70 – Algumas regras topológicas pré-definidas e apresentadas pelo ArcGIS

Uma área suja (dirty área) é qualquer parte da topologia que tenha sido editada desde a última validação, ou seja, as coordenadas não foram ajustadas e as regras topológicas não tenham sido aplicadas naquela área. Uma topologia pode possuir várias áreas sujas.

Quando se cria uma topologia, toda extensão geográfica da *feature class* é uma área suja. Após a validação não existirão mais áreas sujas. Na sessão de edição subseqüente, cada vez que se edita uma coordenada, uma área suja é criada ao redor das feições envolvidas na edição, conforme se pode observar na figura 71. As validações subseqüentes são aplicadas somente nas áreas sujas, portanto economizando tempo de processamento.

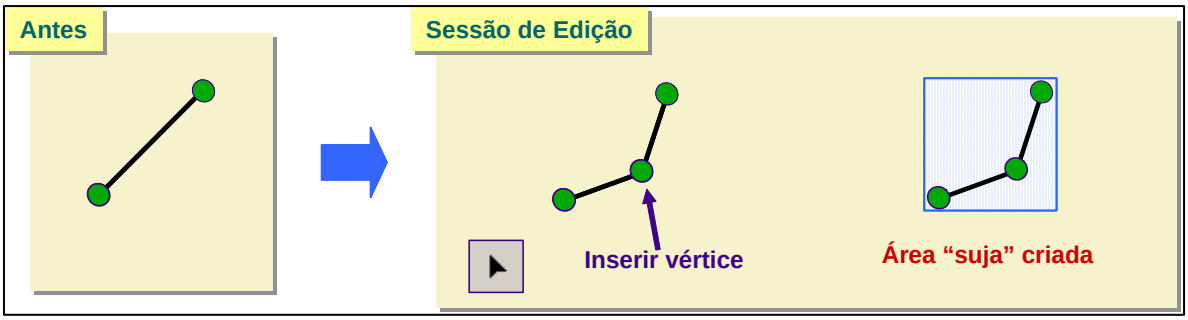



Figura 71 – Criação de área após edição de vértice

É possível que áreas sujas sejam criadas após a alteração de subtipos de feições, devido a alteração de regras topológicas, ou pela alteração da tolerância de agrupamento da propriedade de topologia. Nestes casos, é necessário realizar a validação topológica após esses tipos de alterações.

Com a validação podem existem três estados de topologia:

- Não validada: A topologia não foi validade e uma ou mais áreas sujas existem. Erros podem ou não existir;
- Validada com erros: A topologia foi validada. Não existem áreas sujas, porém foram encontrados erros;
- Validada sem erros: A topologia foi validada. Não existem áreas sujas, e não foram encontrados erros.

O processo de validação movimenta as coordenadas de feições para assegurar que se tornem iguais se elas estão dentro da tolerância de agrupamento. Ela também aplica as regras topológicas especificadas produzindo feições geográficas sem erros. É possível escolher a validação da topologia em ArcCatalog, em uma sessão de edição de ArcMap (onde é possível desfazer a validação), ou no ArcToolBox.

No primeiro estágio da validação, as feições são testadas para verificar se elas estão dentro da tolerância de agrupamento com outras feições através da checagem dos vértices. Se necessários novos vértices são criados (através de quebras – cracking) em linhas e polígonos onde estão dentro da tolerância de agrupamento com outra feição. Em seguida os vértices são agrupados (são movimentados para uma posição média, ou um se move para a posição do outro). Este processo nunca cria novas feições, ele simplesmente faz feições existentes se coincidirem geograficamente. A figura 72 ilustra este processo.

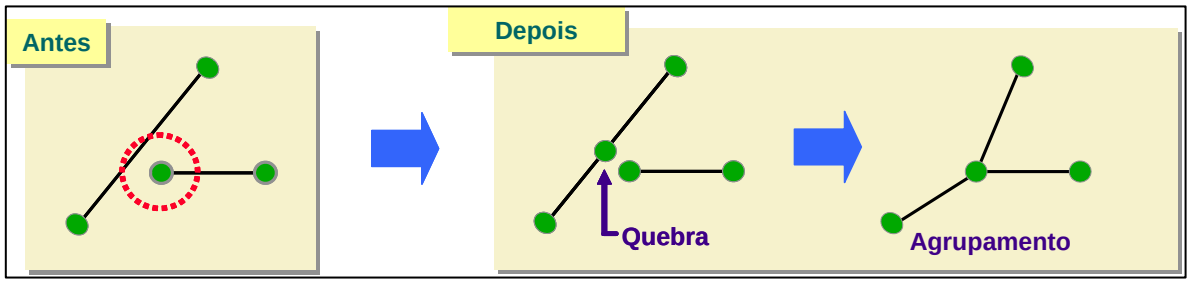



Figura 72 – Processo de quebra e agrupamento de feições durante a validação topológica

Finais de linhas são consideradas mais importantes que os vértices e linhas. A seguir são apresentadas as regras de movimentação de finais e vértices de linhas (este comportamento pode ser alterado com os níveis de prioridades das feições):

- Dois finais de linha são agrupados;
- Dois vértices de linhas são agrupados;
- Um vértice de linha é agrupado com um final de linha.

No segundo estágio da validação, as feições ajustadas são testadas para se verificar se elas estão violando alguma das regras topológicas (linhas em balanço, polígonos se sobrepondo, etc.). Os erros são gravados como feições pontuais, lineares e poligonais no elemento de topologia do geodatabase e podem se exibidos em ArcMap.

As regras topológicas são testadas durante a validação. Se uma violação é encontrada, então uma feição de erro (que pode ser de ponto, linha ou polígono) é criada, dentro do elemento de topologia, com os atributos que identificam a regra que foi violada, as feições que causaram o erro, e sua localização. As ferramentas de edição topológica do ArcMap

fazem a leitura destas informações para viabilizar a correção automática que estão disponíveis em algumas das ferramentas.

Para exibir os erros topológicos, é necessário exibir o elemento de topologia no ArcMap.

As feições de erro podem ser pontos, linhas ou polígonos, dependendo da origem do erro. O usuário não pode diretamente apagar ou trabalhar com uma feição de erro oriunda da topologia, é possível somente corrigir o problema com a geometria da feição que causou o erro. Uma vez que o problema, a topologia automaticamente apaga suas próprias feições de erro.

Um único problema com a geometria da feição pode violar múltiplas regras e causar múltiplos erros. Por exemplo, o usuário pode ter uma regra que estabelece que linhas de divisas de lotes não possam ter linhas em balanço (desconectadas), e outra que estabelece que as bordas de polígonos de devam se cobertos por linhas de lotes. Uma única linha em balanço iria violar as duas regras.

A figura 73 apresenta alguns exemplos de erros topológicos.

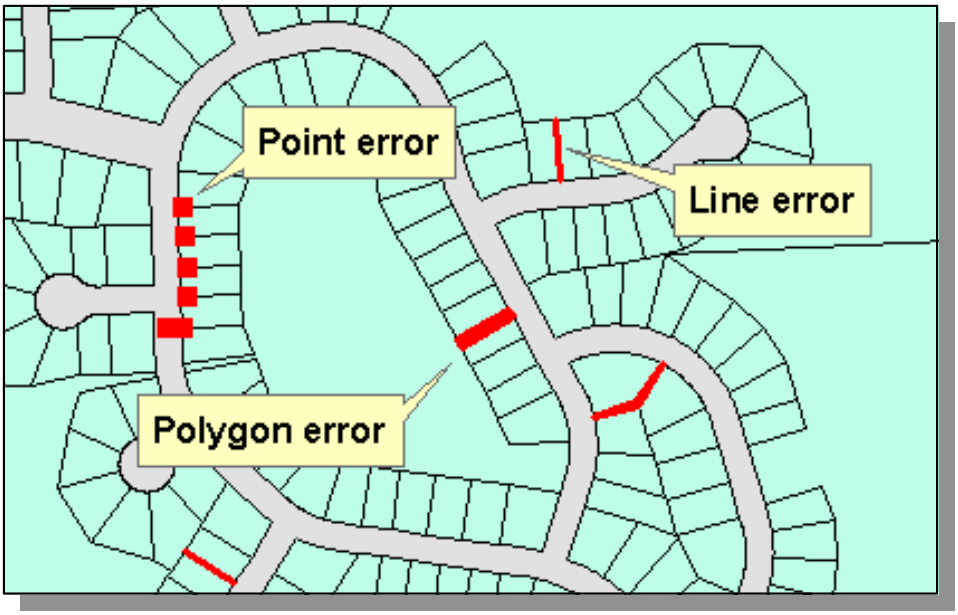



Figura 73 – Exemplos de erros topológicos

A presença de um erro topológico não bloqueia qualquer outra operação do ArcGIS, tais como exibição, pesquisas ou analises. Este tipo de característica fornece a liberdade para integrar o processo de controle de qualidade com as outras atividades de produção de informações geográficas, sem interrupções.

**Exercícios**

1. O que é topologia?

2. Para que a estrutura topológica dos dados pode ser utilizada?

3. O que são regras topológicas e o que são áreas “sujas”?

4. Qual é o objetivo de se utilizar regras topológicas durante a edição de feature classes?

5. Quais são as regras para serem seguidas durante a criação de topologia em geodatabase?

6. Calcule as tolerâncias de agrupamento para as seguintes escalas: 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000, 1:500.000 e 1:1.000.000.

7. Como é possível integrar dados com menor acurácia para coincidirem com dados com maior acurácia?

8. Quais são os três estados de topologia que existem com a validação.

9. Como funciona o processo de validação?

10. Assista o vídeo “topology1.htm” e repita os procedimentos de criação de topologia, edição e validação topológica.

## 3.2 Outros Bancos de Dados Geográficos

Existem vários programas computacionais para SIG, alguns deles produzidos e comercializados por empresas particulares de todo o mundo, outros desenvolvidos por instituições governamentais e/ou comunidades interessadas no desenvolvimento de soluções computacionais livres e/ou gratuitas. É importante tratar da diferença entre um programa computacional livre e o programa computacional gratuito, no primeiro caso, o usuário tem a liberdade de adquirir gratuitamente o programa computacional, utilizar o programa computacional adquirido, observar todo o código fonte do programa para aprender novas técnicas, alterar o código fonte, utilizar o programa modificado e também distribuir suas

versões modificadas. No segundo caso, o usuário tem a liberdade de adquirir e utilizar gratuitamente o programa computacional, mas não consegue observar o código fonte, alterá-lo e distribuir novas versões alteradas.

Nos últimos anos tem havido uma grande oferta de programas computacionais livres e gratuítos, em todas as áreas do conhecimento, basta consultar o portal www.sourceforge.net para acessar a maioria das novidades que surgem a cada dia, inclusive na linha dos programas computacionais para SIG.

Como exemplo, se pode citar programas computacionais como o SPRING, TERRALIB e TERRAVIEW (figura 74), cujo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais é o maior desenvolvedor.

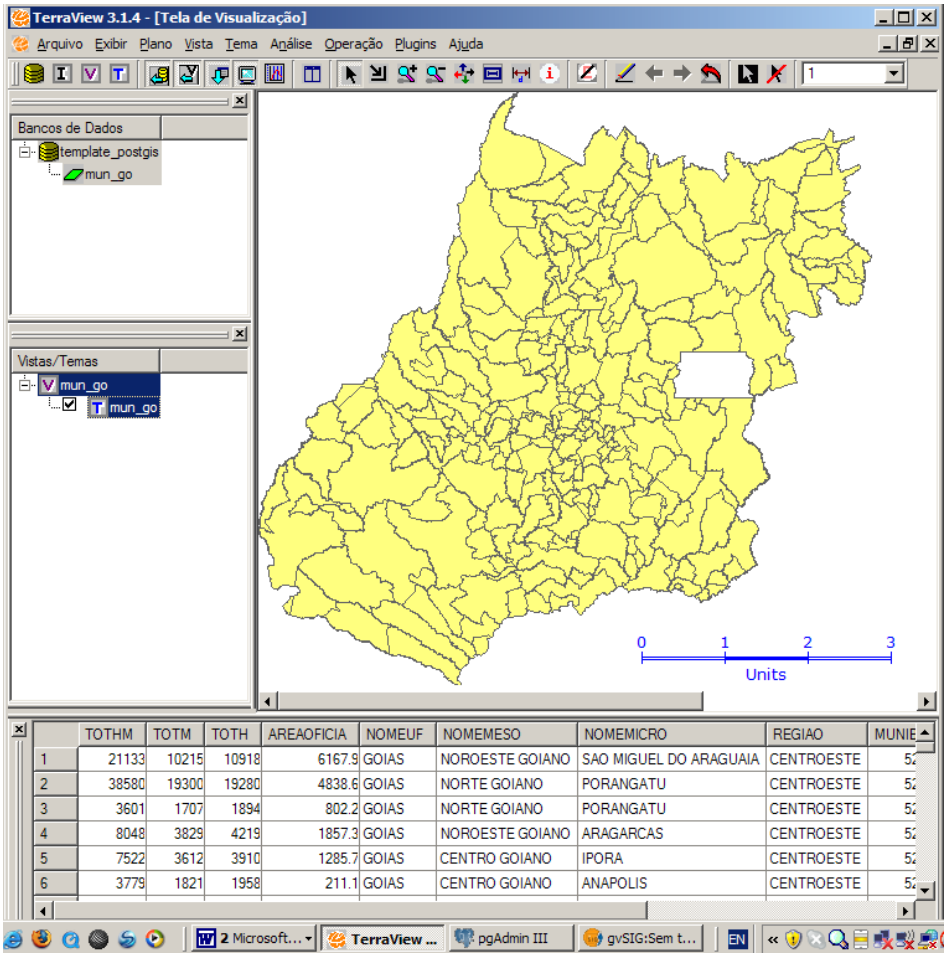



Figura 74 – Programa Computacional TerraView, desenvolvido pelo INPE, TecgrafPUC-RIO e FUNCATE em parceria com LESTE/UFMG

Existem ainda outros programas computacionais desenvolvidos por outros países tais como o gvSIG (figura 75), o QuantumGIS, o OpenJump, o ILWIS, etc. Alguns desses programas trabalham com o conceito de banco de dados geográficos e muitos deles utilizam o

banco de dados POSTGRESQL para armazenar dados geográficos, para isso, é necessário mais um programa computacional que promove a comunicação entre os programas computacionais de SIG e o POSTGRESQL, que é o POSTGIS, esses programas podem ser adquiridos acessando os sites http://www.postgresql.org e http://www.postgis.org.

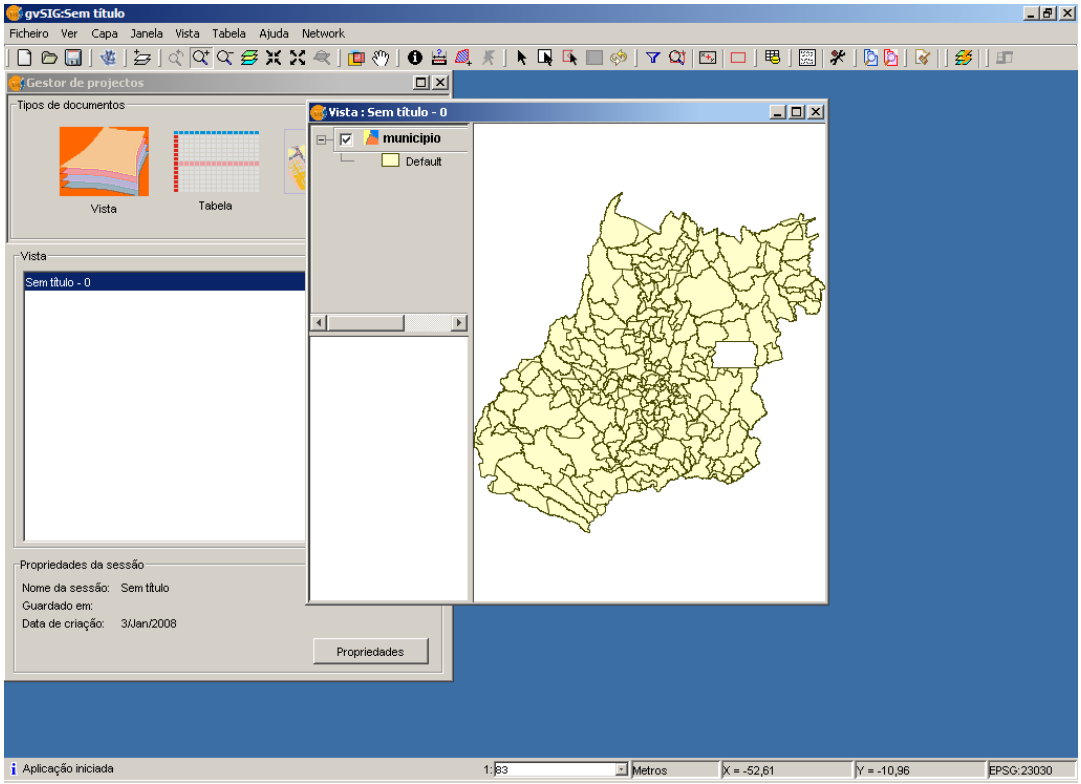



Figura 75 – Programa computaciona gvSIG, desenvolvido em Valência-Espanha.

Em ambiente do sistema operacional Windows, após a instalação do POSTGRESQL/POSTGIS, o usuário pode acessar o programa pgAdmin (figura 76)

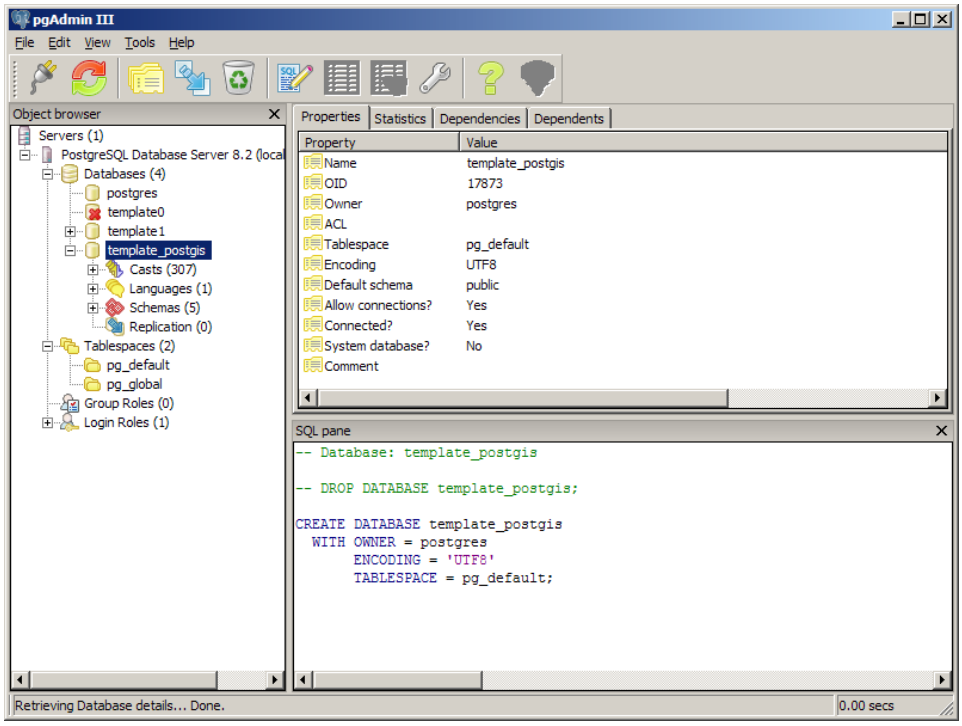



Figura 76 – PgAdmin, programa computacional gráfico para acessar o banco de dados POSTGRESQL/POSTGIS.

NOTA: Ao instalar o POSTGRESQL/POSTGIS, é importante que se escolha o Encoding do tipo UTF8, para que os dados geográficos sejam corretamente armazenados no banco de dados POSTGRESQL.

Além do POSTGRESQL/POSTGIS, existem outros programas computacionais para banco de dados geográficos, tais como MySQL, Oracle Spatial, etc. O ArcGIS tem a capacidade de utilizar dados geográficos armazenados no POSTGRESQL/POSTGIS, através de um aplicativo chamado zigGIS, disponível gratuitamente na Internet.

**Exercícios**

1. Quais as diferenças entre programas computacionais livres e programas computacionais gratuítos.

2. Consulte os sites www.sourceforge.net e www.freegis.org para consultar os programas computacionais para GIS livres e/ou gratuitos.

3. Consulte o site www.dpi.inpe.br/terraview, faça download do programa computacional TerraView e instale o mesmo no seu computador.

4. Faça download do programa computacional gvSIG e também do programa computacional POSTGRESQL/POSTGIS e instale os mesmos em seu computador. Não esqueça de definir o Encoding como UTF8.

5. Assista o vídeo “postgis1.htm” e repita os procedimentos do vídeo para armazenar e utilizar dados geográficos em formato shapefile, no banco de dados POSTGRESQL.

## 4. Funções de um Sistema de Informações Geográficas

Atualmente, com o grande desenvolvimento tecnológico que vem ocorrendo, as funções dos programas computacionais para SIG vem aumentando consideravelmente com a adoção de ferramentas para processamento de imagens, processamento de superfícies, captura de dados das mais diversas fontes, etc. Contudo, se podem agrupar as funções de um SIG em seis grandes categorias, sendo elas as funções para capturar, armazenar e gerenciar, exibir, pesquisar, analisar, e publicar os dados e informações geográficas.

### 4.1 Funções para Capturar Dados Geográficos

Existem muitas formas para se capturar dados geográficos, devido aos vários métodos e equipamentos utilizados no levantamento de dados geográficos. É possível utilizar técnicas de topografia com equipamentos tais como teodolitos, trenas, estações totais, etc. se pode utilizar ainda receptores de sinais GNSS em levantamentos absolutos ou relativos. O sensoriamento remoto, através do processamento de imagens digitais obtidas por sensores orbitais também tem sido ao longo dos anos uma importante fonte de dados geográficos. Da mesma forma, se deve considerar a fotogrametria principalmente para levantamentos de alta precisão e acurácia geométrica, considerando as grandes escalas, mais especificamente maiores que 1:25.000. Mais recentemente o desenvolvimento tecnológico propiciou o advento dos mapeamentos com a utilização do laser (laser scanning).

Atualmente, vários programas computacionais para SIG por adotarem o conceito de solução escalonável podem ser estendidos suportando desta forma a captura de dados a partir dos vários métodos e equipamentos anteriormente citados. O programa computacional ArcGIS disponibiliza várias possibilidades neste sentido.

No caso de levantamentos topográficos, com estações totais, teodolitos, etc., o ArcGIS possui a Extensão Survey Analyst (figura 74). No caso de levantamentos com receptores de

sinais GNSS, um exemplo é a extensão GPS Analyst (figura 75), desenvolvida a partir de uma parceria entre as empresas ESRI e Trimble.

O sensoriamento remoto foi uma das primeiras ciências que puderam ser plenamente integradas aos programas de SIG, a figura 76 ilustra a extensão Image Analysis, desenvolvida a partir da parceria estabelecida entre a ESRI e a Leica Geosystems. O ArcGIS possui também a extensão Spatial Analyst que possui um grande conjunto de funções utilizadas na manipulação e análise de dados armazenados em estrutura matricial e que fornece funções de processamento de imagens digitais.

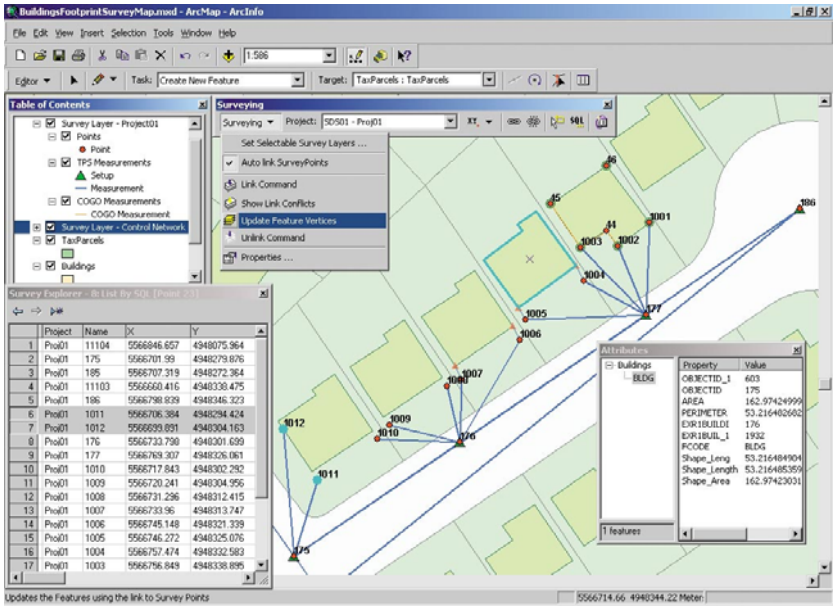



Figura 74 – Funções para processamento de dados topográficos no ArcGIS a partir da extensão Survey Analyst

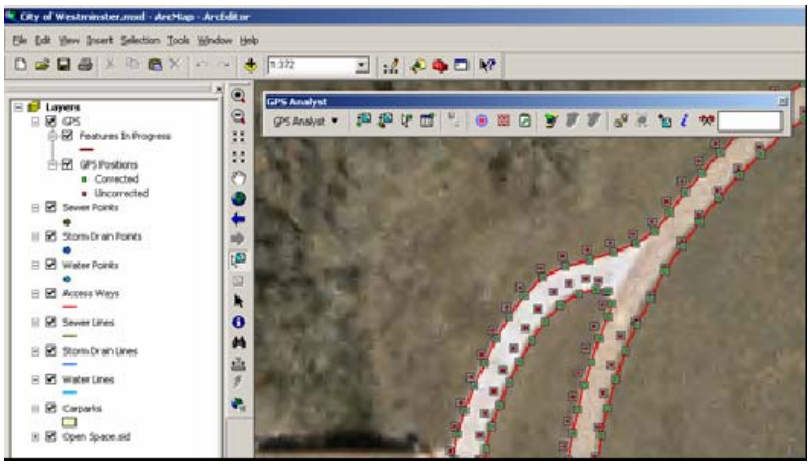



Figura 75 – Funções para processamento de dados obtidos por receptores de sinais GNSS no ArcGIS a partir da extensão GPS Analyst

Devido as complicações tecnológicas referentes a visão tridimensional via tela de computador, as técnicas de fotogrametria, em especial a estereoscopia, só puderam ser implementadas em computadores pessoais recentemente. Todavia, atualmente alguns programas de SIG já incorporaram as funções de fotogrametria, como é o caso do ArcGIS, através da extensão Stereo Analysis produzida pela empresa Leica Geosystems, conforme ilustra a figura 76. Além da extensão de fotogrametria, é necessária a utilização de placas de vídeo e óculos especiais para que seja possível a visão estereoscópica (em terceira dimensão).

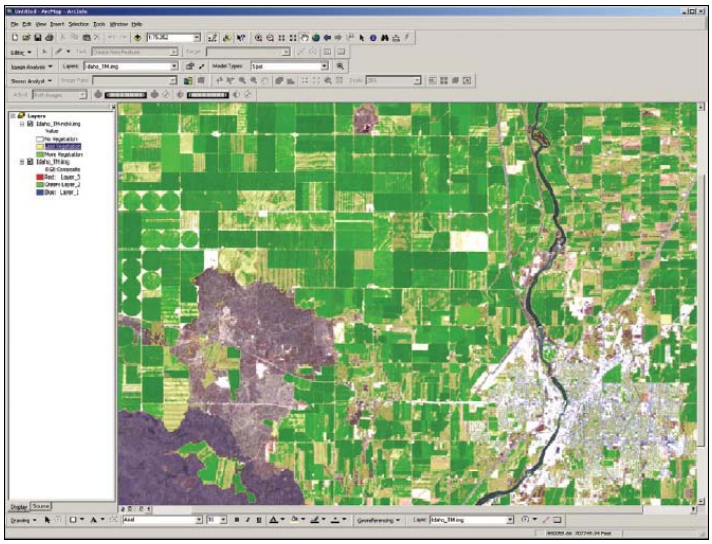


Figura 76 - Funções para processamento de imagens digitais no ArcGIS a partir da extensão Image Analysis

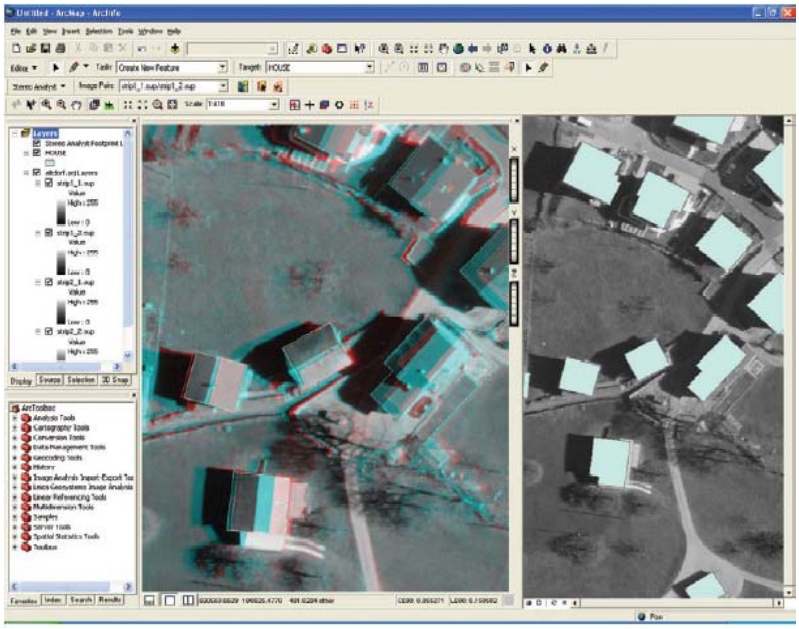


Figura 77 - Funções para fotogrametria no ArcGIS a partir da extensão Stereo Analysis

O mapeamento com a utilização de laser é uma inovação tecnológica muito recente, no entanto, já existe a possibilidade de se processar dados oriundos deste tipo de mapeamento em ambientes de sistemas de informações geográficas, como é o caso do ArcGIS com a extensão Lidar Analyst. A figura 78 ilustra a extração de feições geográficas vetoriais tridimensionais (em formato shapefile), a partir de dados de mapeamento com laser.

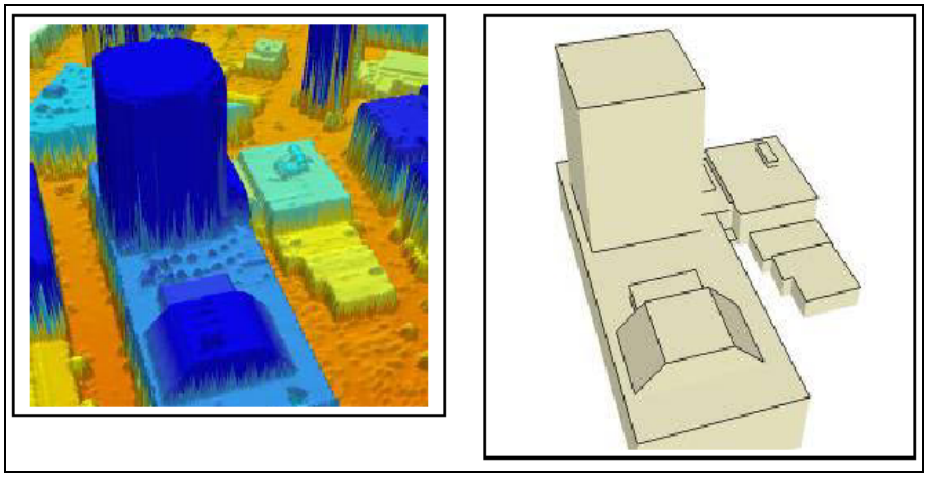


Figura 78 – Extração de feições geográficas tridimensionais no programa computacional ArcGIS, com a extensão Lidar Analyst, a partir do processamento de dados obtidos por mapeamento com laser

Vários outros programas computacionais de SIG tais como Geomedia, MapInfo, SPRING, etc. possuem funções e ferramentas semelhantes para a aquisição de dados a partir de levantamentos terrestre, aéreos e orbitais. Um outro fator a ser considerado é que os programas computacionais dedicados ao processamento de dados topográficos, de GNSS, fotogramétricos, de sensoriamento remoto, etc. atualmente produzem dados armazenados em estruturas vetoriais e/ou matriciais compatíveis e viáveis de serem utilizados pelos programas SIG de forma direta (sem conversão) ou indireta (mediante conversão de dados).

Além de todos os métodos e equipamentos utilizados no levantamento de dados geográficos, muitas vezes é necessário utilizar mapas prontos, armazenados em meio analógico (papel) e também em meios digitais (CD-ROM, DVD, Internet, etc.). No caso de mapas em papel, esses necessitam ser digitalizados (convertidos da forma analógica para digital), isto pode ser realizado utilizando-se *scanners* ou mesas digitalizadoras (figura 79). Com mesas digitalizadoras são obtidos arquivos digitais armazenados em estruturas vetoriais (pontos, linhas e polígonos), no entanto, a digitalização com este tipo de dispositivo é um

processo demorado e oneroso, pois além do próprio custo da mesa digitalizadora para aquisição e manutenção, ainda é necessário a disponibilização de espaço físico considerável para a instalação do equipamento. É necessário considerar também outros fatores importantes a respeito do uso desses equipamentos, um deles é com relação a fixação do mapa sobre a mesa, que geralmente é realizado com fita adesiva que com o tempo e umidade podem se deformarem ou soltarem; outro fator importante é o tempo para a digitalização de mapas, o que pode levar o operador a cometer erros, principalmente devido ao cansaço.

Mesa Digitalizadora

Scanner

Figura 79 – Equipamentos utilizados na digitalização de mapas

O processo geral de digitalização de mapas envolve as seguintes etapas:

1. Fixação do mapa na mesa digitalizadora, que é feito principalmente com a utilização de fitas adesivas. O mapa deve ser colocado na área útil da mesa e não é necessária nenhuma preocupação maior em relação ao posicionamento do mapa sobre a mesa.
2. Registro ou calibração do mapa através da utilização de pontos de coordenadas conhecidas (pontos de controle). São identificados pontos com coordenadas conhecidas, principalmente nos cantos do mapa, com o auxílio na maioria das vezes do reticulado da projeção cartográfica. Esses pontos são digitalizados e então são fornecidas as coordenadas de terreno destes pontos. Em seguida, utiliza-se algum processo de transformação de coordenadas planas (isogonal, afim, polinomial, projetiva, etc.) para estabelecer as relações matemáticas entre as coordenadas da mesa digitalizadora e as coordenadas de mapa. O processo matemático de registro (ou calibração) de mapas será apresentado adiante.
3. Digitalização de feições geográficas (pontos, linhas e polígonos) em camadas de dados específicas (layers, shapefiles, feature classes, etc.). De posse das relações

matemáticas entre o sistema de coordenadas da mesa digitalizadora e do mapa, qualquer feição que for digitalizada no mapa, ao ser transferido para o computador tem suas coordenadas transformadas do sistema de coordenadas da mesa digitalizadora para o sistema de coordenadas de mapa.

4. Após a digitalização, sempre é necessário que se faça a edição dos dados, para se eliminar pequenos erros e inconsistências.

**Exercícios**

1. Qual é a diferença entre GPS e GNSS?

2. Quais os tipos de feições geográficas que podem ser coletadas com receptores GNSS, topografia e restituição fotogramétrica? Cite 10 formatos de arquivos vetoriais que podem ser obtidos através desses equipamentos e técnicas.

3. O que é um programa computacional escalonável?

4. Quais são as etapas para se digitalizar um mapa utilizando mesa-digitalizadora?

5. Assista o filme “sensoriamento1.htm” e repita as etapas da produção de um mapa de uso do solo a partir de uma imagem de satélite.

6. Trabalho de campo: Utilizando um receptor GPS de navegação, faça um mapeamento de postes, descarregue os dados utilizando um programa específico de processamento de dados GPS, grave o resultado do levantamento em formato shapefile, ou DXF, ou DWG, ou DGN, ou ainda uma lista de coordenadas em formato TXT ou dBase e carregue o arquivo resultante em algum programa SIG (ArcGIS, TerraView, gvSIG, etc.)

A digitalização com a utilização de *scanner* é rápida e em muitos casos, não é necessária a aquisição do equipamento, sendo possível simplesmente a contratação do serviço de digitalização que na maioria das vezes tem custos bastante viáveis. O resultado da digitalização com *scanner* é um arquivo digital armazenado em estrutura matricial (em formato tiff, jpeg, bmp, etc.). Além de mapas, o scanner pode ser utilizado para digitalizar outros tipos de documentos, tais como fotografias aéreas, imagens de satélite que estejam em papel, etc.

O arquivo matricial produzido com digitalização via scanner não possui referência geográfica, sendo assim seus pixels estão no sistema de coordenadas de imagem (onde a origem do sistema de coordenadas pode estar em qualquer parte da imagem e o mapa pode estar orientado para uma direção aleatória) conforme se pode observar na figura 80.

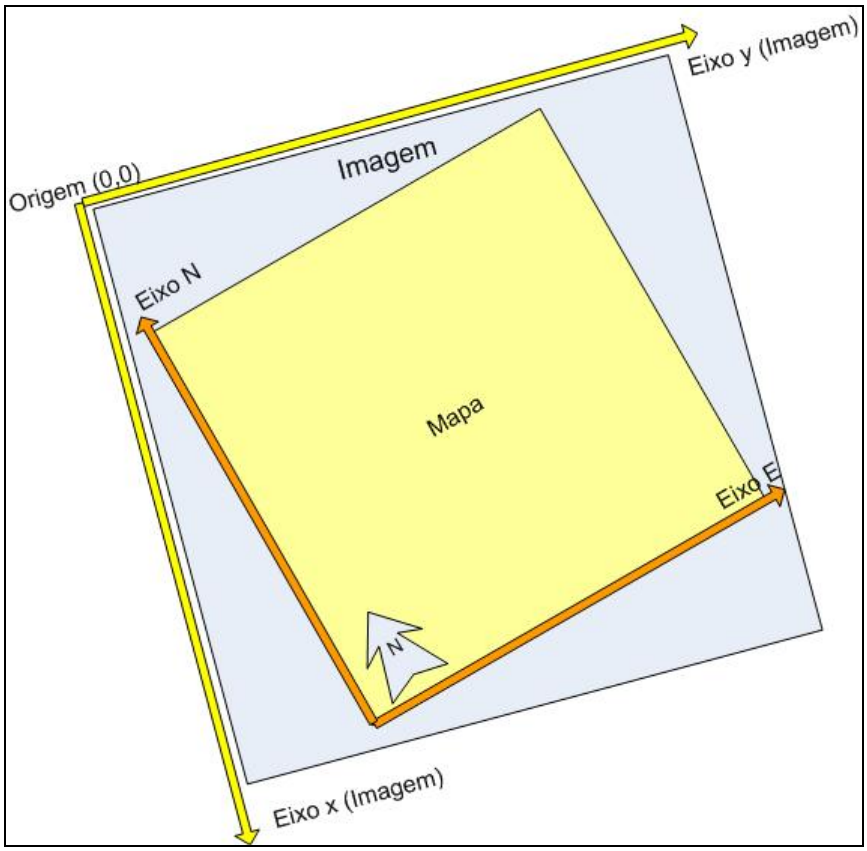



Figura 80 – Sistema de coordenadas de imagem e sistema de coordenadas de mapa

Para que seja possível utilizar o arquivo matricial em um sistema de informações geográficas, se faz necessário que as coordenadas de imagem sejam transformadas para coordenadas de mundo (ou de mapa). Esta transformação é realizada através de procedimentos matemáticos denominados transformações geométricas bidimensionais e são

as mesmas utilizadas na calibração (ou registro) de mapas em mesa digitalizadora, anteriormente mencionado e também no registro de imagens de satélite.

Para que seja possível realizar a transformação de coordenadas de imagem em coordenadas de mapa, é necessário que existam pontos (bem distribuídos e em quantidade suficiente) no mapa onde tanto as coordenadas de imagem quanto as coordenadas de mapa estejam explicitas, esses pontos são também denominados de pontos de controle, além disso, é necessária também a escolha de um modelo matemático que represente todas as transformações e distorções geométricas necessárias durante a transformação de coordenadas. Finalmente, como a imagem sofrerá algumas transformações e distorções é necessária a escolha de um método de reamostragem de pixels que garanta a qualidade do produto final. A figura 81 ilustra as etapas deste tipo de procedimento.

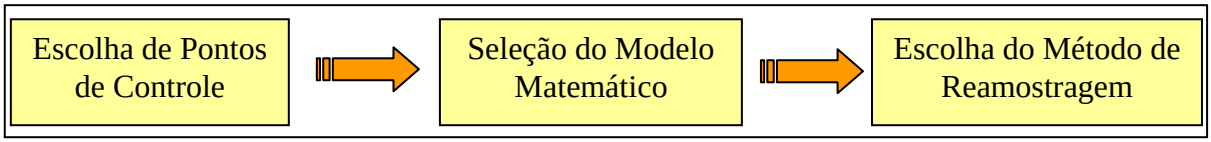



Figura 81 – Etapas da transformação de coordenadas

No caso de mapas, a escolha de pontos de controle é facilitada através do reticulado da projeção cartográfica. Se o arquivo matricial do mapa estiver em boas condições (não possuir distorções) basta que se escolham no mínimo quatro pontos, cada um deles em cada canto extremo do mapa, no entanto, com a seleção de mais pontos espalhados pelo mapa, a transformação pode ter maior qualidade, no entanto, é necessário observar se o tempo gasto nesta etapa não está também comprometendo o desenvolvimento do trabalho. No caso de outros documentos, tais como fotografias aéreas e imagens de satélite, que não tenham um reticulado cartográfico confiável materializado, a seleção dos pontos de controle é realizada a partir de pontos notáveis (cruzamentos de estradas, cantos de construções, etc.) perfeitamente identificáveis no documento, no entanto é necessário que se obtenha as coordenadas de mundo desses pontos, isto pode ser realizado utilizando-se levantamentos com receptores GNSS, mapas, ou ainda imagens orbitais e aéreas que tenham sido geograficamente corrigidos (tenham sofrido transformações de coordenadas previamente). É necessário observar também, no caso das imagens aéreas e orbitais, a distribuição geométrica, bem como a quantidade de pontos de controle considerados.

Em relação à seleção do modelo matemático para se realizar a transformação de coordenadas, pode se optar por um modelo isogonal, ou afim ou ainda polinomial. O modelo

matemático da transformação isogonal envolve quatro parâmetros, sendo eles, dois referentes a translação (uma no eixo das abscissas (X) e outra no eixo das ordenadas (Y)), um referente a escala e finalmente o último referente a rotação. O modelo é apresentado a seguir:

$X = a * coluna + b * linha + X_0$ [4]

$Y = -b * coluna + a * linha + Y_0$ [5]

Sendo que:

X e Y → Coordenadas de mapa (ou de mundo);

a, b, $X_0$ e $Y_0$ → Parâmetros da transformação, onde $X_0$ e $Y_0$ são as translações; e

linha e coluna → Linha e coluna da imagem.

A transformação afim possui seis parâmetros sendo eles, duas translações, uma rotação, duas escalas (uma para X e outra para Y) e um fator de não ortogonalidade entre os eixos do sistema de coordenadas. O modelo é apresentado a seguir:

$X = a * coluna + b * linha + X_0$ [6]

$Y = c * coluna + d * linha + Y_0$ [7]

Onde:

X e Y → Coordenadas de mapa (ou de mundo);

a, b, c, d, $X_0$ e $Y_0$ → Parâmetros da transformação, onde $X_0$ e $Y_0$ são as translações; e

linha e coluna → Linha e coluna da imagem.

As transformações polinomiais possuem número de parâmetros variáveis, dependente do grau do polinômio aplicado, sendo que sempre possuem os dois parâmetros de translação. A seguir é apresentado o modelo matemático polinomial até 2º grau:

$X = X_0 + a_0 * coluna + a_1 * linha + a_2 * coluna^2 + a_3 * linha * coluna + a_4 * linha^2 ...$ [8]

$Y = Y_0 + b_0 * coluna + b_1 * linha + b_2 * coluna^2 + b_3 * linha * coluna + b_4 * linha^2 ...$ [9]

Sendo:

X e Y → Coordenadas de mapa (ou de mundo);

$a_0...a_n$, $b_0...b_n$, $X_0$ e $Y_0$ → Parâmetros da transformação, onde $X_0$ e $Y_0$ são as translações; e

linha e coluna → Linha e coluna da imagem.

As transformações polinomiais devem ser utilizadas em ocasiões especiais, quando houver distorções geométricas que as transformações isogonal e afim não contemplem.

Todas as transformações de coordenadas apresentam a mesma lógica, ou seja, de posse dos parâmetros de transformação, qualquer coordenada de linha e coluna da imagem pode ser transformado em coordenadas de mundo. Porém, existe o problema de se determinar os valores dos parâmetros da transformação, para isto é que são utilizados os pontos de controle

bem como, as técnicas matemáticas de ajustamento de observações (Gemael, 1994). Ao se obter os parâmetros de transformação, obtém-se consecutivamente o erro médio quadrático e se este for menor que o padrão de exatidão cartográfico classe A (0,5 mm * Denominador da Escala do Mapa) para a escala do mapa que se está transformando as coordenadas, pode-se aceitar e então aplicar os parâmetros de transformação de coordenadas.

Existem vários programas computacionais capazes de realizar a transformação de coordenadas (ou o georreferenciamento) de dados matriciais. O ArcMap é um desses programas, através de uma barra de ferramentas denominada Georeferencing, ilustra a figura 82.

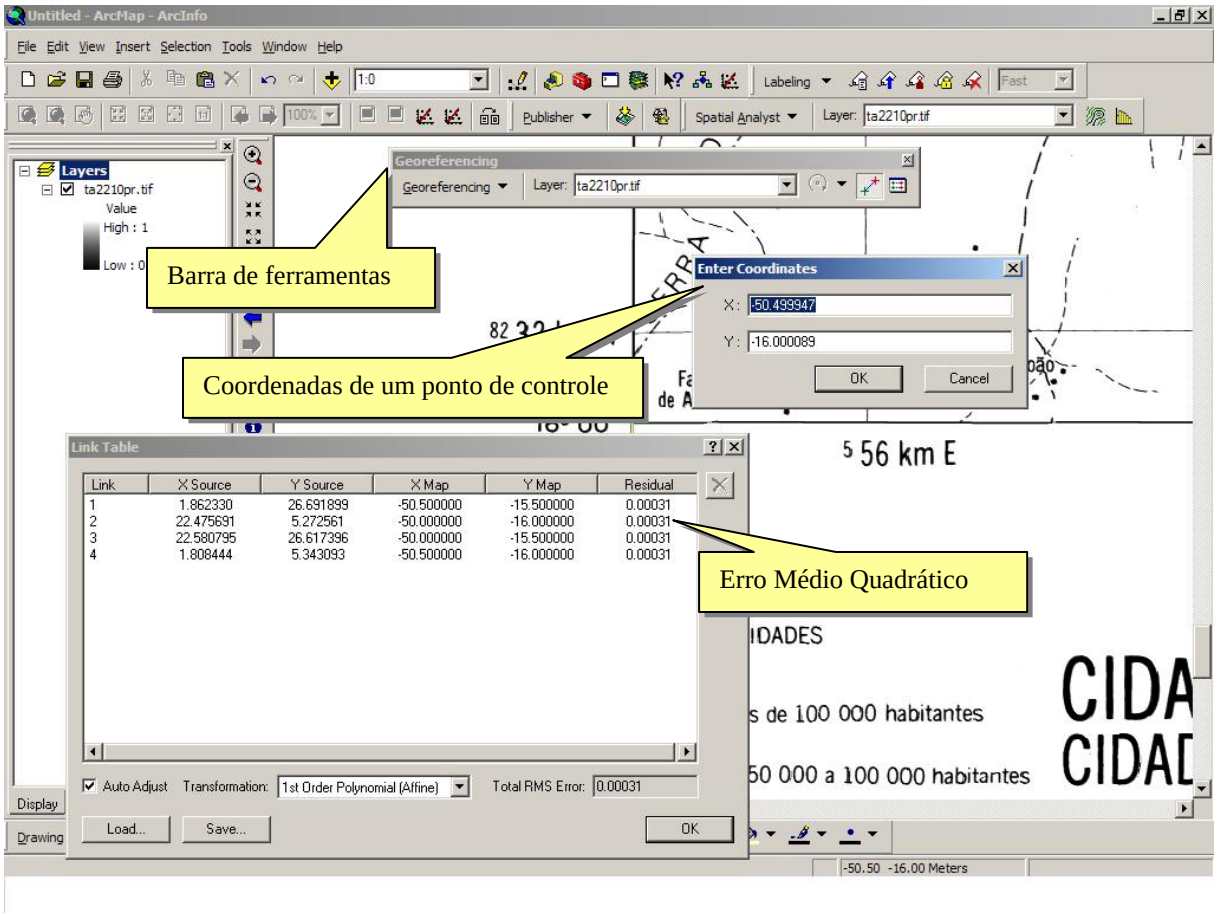



Figura 82 – Barra de ferramentas Georeferencing com a entrada de um ponto de controle por apontamento e fornecimento de coordenadas, e o relatório com o erro médio quadrático (RMS) de cada ponto de controle.

O Georeferencing utiliza a transformação de coordenadas afim (que coincide com o polinômio de 1º grau), bem como os polinômios de 2º e 3º graus. Além disso, possibilita ao

usuário total autonomia na edição dos pontos de controle, sendo possível além da adição de novos pontos, a eliminação de pontos fornecidos e ainda a edição de coordenadas fornecidas.

Além da entrada das coordenadas de mapa do ponto de controle por digitação, conforme mostrado na figura 82, a ferramenta permite ainda que a coordenada de mapa dos pontos de controle sejam coletados a partir de outros documentos cartográficos anteriormente georreferenciados tais como mapas digitais e imagens de sensores orbitais e aerotransportados. Depois de fornecidos todos os pontos de controle necessários e verificados os valores dos RMS, estará finalizado o registro do arquivo matricial, em seguida deve ser realizada a retificação, que consiste em produzir um novo arquivo matricial geograficamente referenciado (utilizando-se os parâmetros da transformação de coordenadas), com métodos de reamostragem desejado (vizinho mais próximo, interpolação bilinear ou convolução cúbica), para isso, na barra de ferramentas do Georeferencing está disponibilizada a função Rectify. Em relação aos métodos de reamostragem, estes são descritos em bibliografia de processamento de imagens digitais.

Após o dado matricial estar retificado, o mesmo está preparado para ser utilizado nos programas de SIG, podem ser medidas direções, áreas e distâncias em qualquer local da imagem, no entanto, é necessário saber qual a função deste dado no sistema, se for somente para visualização, não é necessária mais nenhuma intervenção do usuário. No entanto, muitas vezes é necessário ir além, ou seja, é necessário extrair informações vetoriais a partir deste dado matricial, através de um processo denominado vetorização. Para isto, existem vários programas computacionais especializados em vetorização de mapas, no entanto, o ArcGIS possui a extensão ArcScan, desenvolvida especialmente para a vetorização no ambiente do ArcGIS, aproveitando desta forma, todas as possibilidades fornecidas pela modelagem de dados (geodatabase, shapefile e coverage), além de toda a funcionalidade de edição de dados vetoriais no ArcGIS.

A extensão ArcScan permite que a vetorização possa ser realizada manualmente através do delineamento interativo (interactive tracing raster) de células ou automaticamente utilizando processamento em lote (batch mode).

O processo de conversão de dados matriciais em vetoriais depende de ajustes realizados pelo usuário. Esses ajustes permitem que o usuário influencie na composição geométrica das feições vetoriais de saída. Ao determinar os ajustes ideais da vetorização, eles podem ser imediatamente utilizados e/ou então gravados para serem re-utilizados em outros trabalhos.

A extensão ArcScan possui ferramentas que permitem a realização de edições simples em arquivos matriciais durante o processo de preparação para a vetorização. Esta etapa é conhecida como pré-processamento, e pode ajudar a eliminar elementos indesejáveis que não estão no escopo da vetorização. Para que o ArcScan seja utilizado, é importante que o dado matricial a ser utilizado seja binário, ou seja, que os pixels tenham somente dois valores possível 0 ou 1, conforme se pode observar na figura 83 onde os pixels de valor 0 (em preto) são as curvas de nível e textos, o restante (em branco) são pixels com valor 1.

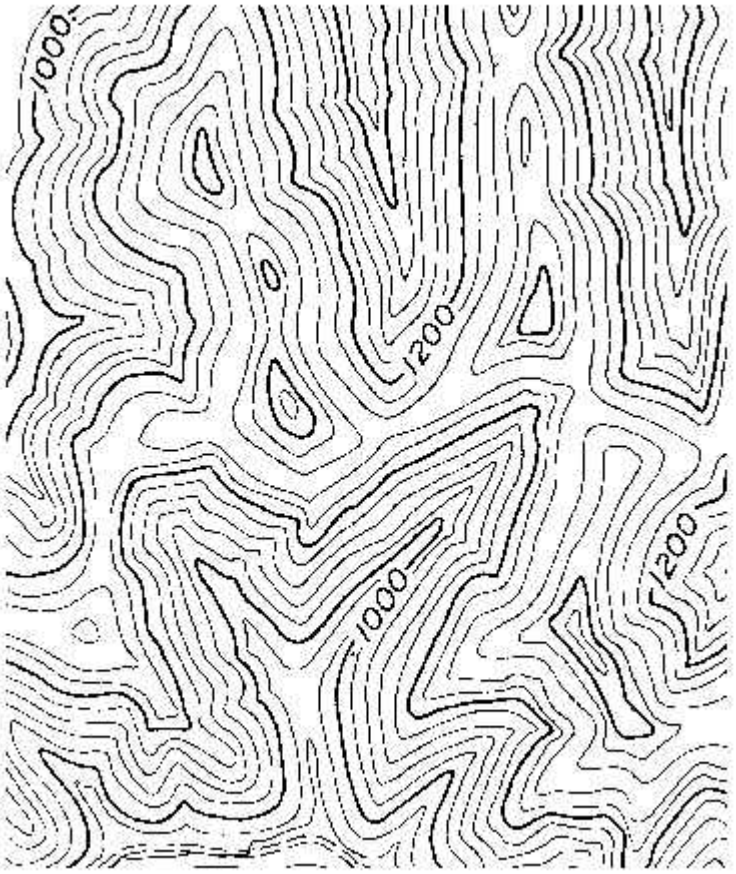



Figura 83 – Típico mapa altimétrico pronto para ser vetorizado por ArcScan

Uma das características chave do ArcScan é sua capacidade de converter automaticamente dados matriciais em vetoriais. Este processo, conhecido como vetorização automática (ou em lote), pode reduzir o tempo de conversão significativamente.

ArcScan suporta dois tipos de métodos de vetorização automática: *centerline* e *outline*. Dependendo das necessidades e do tipo de mapa digitalizado (matricialmente) que se está trabalhando, o método de vetorização empregado pode variar. No método de vetorização *centerline*, são produzidas feições lineares ao longo do centro de células (pixels) conectadas,

este método é tipicamente utilizado em mapas topográficos que contém linhas tais com rede de drenagem, lotes, curvas de nível, rodovias, etc. No método de vetorização *outline*, são geradas feições lineares ao longo das bordas de células conectadas, este método é utilizado em mapas temáticos contendo feições poligonais, tais como tipos de solos, vegetação, uso do solo, etc.

A vetorização automática necessita das definições a respeito da configuração das feições vetoriais resultantes. Estas definições (ou estilos) podem ser gravadas e re-utilizadas com outros arquivos matriciais e objetivos com características similares.

Além da vetorização automática, ArcScan possibilita a vetorização manualmente. Este processo é conhecido como vetorização interativa (que pode ser semi-automática ou ponto a ponto) e utiliza as técnicas de criação de feições vetoriais no ambiente de edição do ArcMap. A vetorização interativa possui dois componentes: *raster snapping* e *raster tracing*.

A extensão ArcScan tem a capacidade de realizar *snap* com pixels, esta capacidade faz com que a vetorização interativa seja realizada com maior acurácia. O *snapping* pode ser realizado no centro de linhas (centerlines), intersecções, vértices, etc., conforme se pode observar na figura 84.

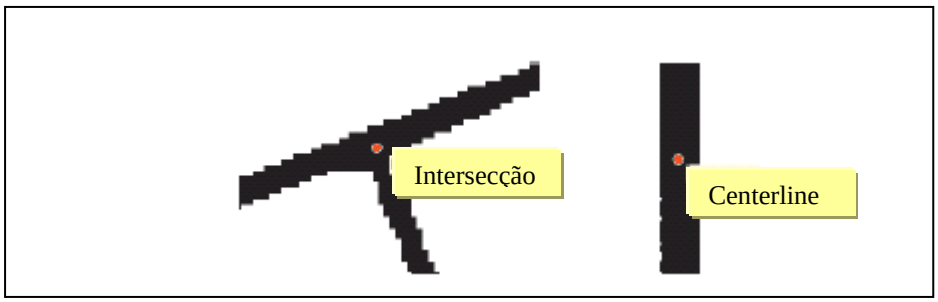



Figura 84 – Exemplos de snapping em intersecção e no centro de linha.

No processo de *raster tracing*, uma seqüência de células conectadas (formando uma linha) é selecionada pelo usuário e automaticamente vetorizada.

O *raster tracing* é útil em casos em que se necessita obter maior controle sobre o processo de vetorização ou ainda vetorizar uma pequena parte de um dado matricial. Com a ferramenta de vetorização *trace*, o usuário simplesmente aponta o cursor na direção que se deseja vetorizar e então pressiona o botão esquerdo do mouse. Com cada click do mouse, as feições vetoriais são geradas no *centerline* das células do arquivo matricial. As configurações da vetorização influenciarão na geometria do dado vetorial resultante. O usuário tem a opção de gerar feições vetoriais lineares ou poligonais. A figura 85 ilustra a vetorização a partir de um arquivo matricial.

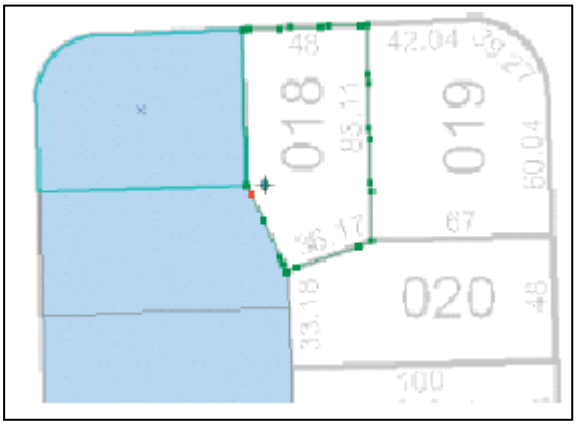



Figura 85 – *Raster tracing* com *snapping* em *centerline* resultando em feição poligonal

Existem também ferramentas para a seleção de células do arquivo matricial, isto é feito interativamente clicando uma série de células conectadas ou ainda executando uma pesquisa (query) baseada em expressão lógica. Estas ferramentas de seleção podem auxiliar na definição do escopo de vetorização. Este procedimento ajuda a selecionar (filtrar) as células que serão utilizadas na vetorização.

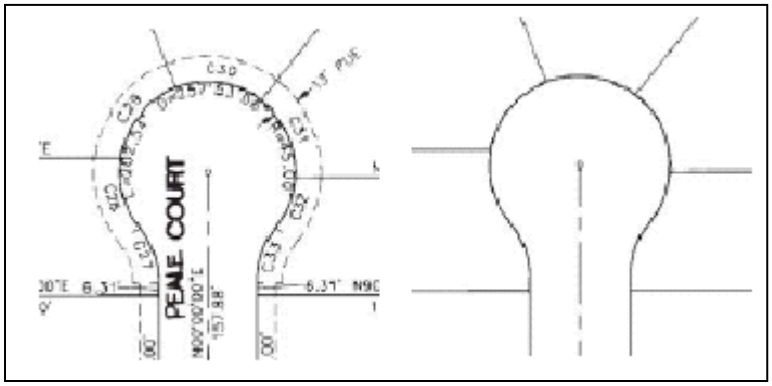



Figura 86 – Processo de “limpeza” de arquivo matricial para vetorização

Além da seleção de células, é possível desenhar e preencher células de dados matriciais. Se for necessário, o usuário pode exportar o arquivo modificado para um novo arquivo, preservando desta forma a cópia original.

**Exercícios**

1. O que são pontos de controle? Porque a distribuição de pontos de controle sobre a imagem é importante?

2. Num mapa como podem ser obtidos pontos de controle? Como podem ser obtidos pontos de controle em fotografias aéreas e imagens de satélite?

3. Quais são os parâmetros da transformação isogonal e da transformação afim?

4. Calcule o erro médio quadrático aceitável para as seguintes escalas: 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000; 1:250.000

5. Assista o vídeo “georref1.htm” e repita as etapas de registro e retificação de imagem.

6. Assista os vídeos “vetorizacao1.htm” e “vetorizacao2.htm” e repita as etapas de produção de Feature Class com subtipos que será vetorizada e realize a vetorização semi-automática do mapa de solos que foi geograficamente referenciado no exercício anterior.

### 4.1.1 Funções para Conversão de Dados Geográficos

Os Sistemas de Informações Geográficas utilizam tanto dados gráficos, armazenados em estruturas vetoriais e matriciais, quanto dados alfanuméricos (que descrevem as feições dos dados gráficos), armazenados em tabelas.

Os dados matriciais podem ser oriundos das mais diversas fontes, tais como sensores remotos (orbitais e aéreos), equipamentos de digitalização matricial (scanners), programas de processamento de imagens digitais, etc. Esses dados podem ser obtidos diretamente da fonte ou ainda obtidos via Internet e podem estar armazenados nos mais diversos formatos. Na tabela 2 é possível observar os formatos de arquivos matriciais suportados pelo ArcGIS.

Tabela 2 – Formatos de arquivos matriciais suportados pelo ArcGIS

| Formato | Descrição | Extensões |
|---|---|---|
| ARC Digitized Raster Graphics (ADRG) | Distribuído em CD-ROM pela National Imagery and Mapping Agency (NIMA). ADRG é geograficamente referenciado e formado por um conjunto de arquivos matriciais e legendas. Disponível nos Estados Unidos. | Multiplos arquivos:<br>Arquivo—extensão *.img or *.ovr<br>Legenda—extensão *.lgg |
| Banda Intervalada por Linha (ESRI BIL), Banda Intervalada por Pixel (ESRI BIP), Banda Seqüencial (ESRI BSQ) | Estes formatos são métodos para leitura e exibição de arquivos matricial não-comprimidos, BIL, BIP, e BSQ. É necessário um arquivo texto (ASCII) que descreve o layout da imagem, preto-e-branco, níveis de cinza, pseudo-cor, ou multi-bandas. | Multiplos arquivos:<br>Arquivos—extensão *.bil, *.bip, ou *.bsq<br>Cabeçalho—extensão *.hdr<br>Mapa de cores—extensão *.clr<br>Estatística—extensão *.stx |

| | | |
|---|---|---|
| Bitmap (BMP), Formato Device-Independent Bitmap (DIB), ou Microsoft Windows Bitmap | Arquivos BMP são utilizados principalmente para armazenar figures que são transferidas entre diferentes aplicações em plataformas Windows. | Arquivo único—extensão *.bmp |
| Compressed ARC Digitized Raster Graphics (CADRG) | Distribuído em CD–ROM pelo NIMA. CADRG é geograficamente referenciado. O dado é composto de vários arquivos matriciais, gerados por digitalização. CADRG é compactado com um taxa de compressão de 55:1. Distribuído nos Estados Unidos. | Não tem extensão padrão |
| Controlled Image Base (CIB) | Imagens pancromáticas (níveis de cinza) georreferenciadas e corrigidas de distorções devido o relevo. Distribuído pelo NIMA. São similares a ortofotos digitais. | Não tem extensão padrão |
| Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST) Arc Standard Raster Product (ASRP), UTM/UPS Standard Raster Product (USRP) | Os conjuntos de dados DIGEST são replicas digital de produtos gráficos produzidos para cobertura mundial contínua. O dado é transformado ASRP no sistema ARC e divide a superfície terrestre em zonas latitudinais. O dado USRP utiliza as projeções cartográficas UTM ou SUP e datum WGS 1984. | Multiplos arquivos: Arquivo principal—extensão *.img Arquivo de informação geral—extensião *.gen Georreferência—extensão *.ger Arquivo fonte—extensão *.sou Qualidade—extensão *.qal Cabeçalho—extensão *.thf |
| Digital Terrain Elevation Data (DTED) Nível 0, 1, & 2 | Criado pelo NIMA | Arquivo único—várias extensões *.dt0, *.dt1, *.dt2 |
| ER Mapper | Um formato matricial proprietário do ER Mapper. Produzido a partir da utilização do programa de processamento de imagens. | Multiplos Arquivos: Cabeçalho—extensão *.ers Dados—o mesmo nome do cabeçalho sem a extensão, mas pode ser qualquer nome definido no cabeçalho. |
| Graphics Interchange Format (GIF) | Um formato proprietário (Unisys) altamente compactado. Permite gráficos de alta qualidade e alta resolução. | Arquivo único—extensão *.gif |
| ERDAS 7.5 GIS | Imagem temática produzida no programa de processamento de imagens ERDAS 7.X | Multiplos arquivos: Dados—extensão *.gis Cores—extensão *.trl |
| ESRI GRID | Um formato proprietário da ESRI que suporta dados inteiros e reiasi de 32-bit. Os GRIDS são úteis para representar fenômenos geográficos que variam continuamente no espaço e na realização de modelagem espacial, análises de fluxos, tendências e superfícies. | Diretório arquivo de cores—extensão *.clr |

| | | |
|---|---|---|
| ERDAS IMAGINE | Produzido utilizando o programa de processamento de imagens ERDAS-IMAGINE, os arquivos podem armazenar dados contínuos e discretos, em multi-bandas ou em uma única banda. | Arquivo único—extensão *.img |
| Intergraph Raster Files: CIT—Dado Binário; COT—Níveis de cinza | Formato proprietário da Intergraph para dados de 16-bit (CIT) e 8-bit sem sinal (COT). | Multiplos arquivos: Imagem binária—extensão *.cit Tons de cinza—extensão *.cot |
| Joint Photographic Experts Group (JPEG) File Interchange Format (JFIF) | Uma técnica de compressão padrão para armazenamento de imagens coloridas ou em níveis de cinza. | Arquivo único— extensões possíveis: *.jpg, *.jpeg, *.jpe |
| JPEG 2000 | Uma técnica de compressão para manutenção da qualidade de grandes imagens. Permite alta taxa de compressão e rápido acesso a grandes quantidades de dados em qualquer escala. | Arquivo único—extensão *.jp2 |
| ERDAS 7.5 LAN | Imagens contínuas de única ou multi-bandas produzida pelo programa de processamento de imagens ERDAS 7.X. | Multiplos arquivos: Dados—extensão *.lan Cores—extensão *.trl |
| Multiresolution Seamless Image Database (MrSID) | Compressão desenvolvida para manutenção da qualidade de grandes imagens. Permite alta taxa de compressão e rápido acesso a grandes quantidades de dados em qualquer escala. | Arquivo único—extensão *.sid |
| ArcSDE rasters | Arquivo matricial armazenado em uma base de dados ArcSDE. | Armazenado em SDE d |
| Tag Image File Format (TIFF ou GEOTIFF.) | Utilizado mundialmente em programas de editoração gráfica. Utilizado como uma interface por vários scanners e programas gráficos. TIFF suporta imagens preto e branco (binária), níveis de cinza, pseudo-cor, e imagens coloridas. TIFF pode compactar os dados. | Arquivo único— possíveis extensões *.tif, *.tiff, *.tff |
| Portable Network Graphics (PNG) | Arquivo portável, bem compactado sem perda de dados. Pode ser utilizado como substituto de imagens .gif e suporta dados de 64-bits. | Arquivo único—extensão *.png |
| National Image Transfer Format (NITF) | Desenvolvido pelo NIMA como um formato padronizado para imagens. Se tornou o formato padrão para imagens digitais da comunidade de inteligência dos Estados Unidos. | Arquivo único—extensão *.ntf |

A conversão de dados matriciais no ArcGIS pode ser feita utilizando-se o ArcToolBox e o ArcCatalog. No ArcToolBox, basta acessar a ToolBox “Conversion Tools”, onde se encontra funções para conversão entre formatos matriciais, conversão automática entre estruturas matriciais (discretas) para vetoriais (imagem para ponto, imagem para linha ou

imagem para polígono). Nesta mesma ToolBox, encontra-se a função para armazenar dados matriciais no geodatabase. A figura 87 ilustra a ToolBox “Conversion Tools”.

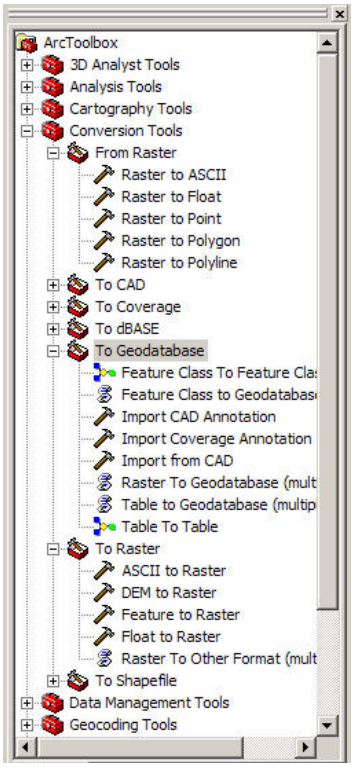



Figura 87 – Ferramentas para conversão de dados matriciais no ArcToolBox

No caso da conversão no ArcCatalog, basta selecionar o arquivo matricial e em seguida, pressionar o botão direito do mouse. Um menu é aberto e as ferramentas para conversão de dados matriciais podem ser acessadas. A figura 88 ilustra a conversão de dados matriciais via ArcCatalog.

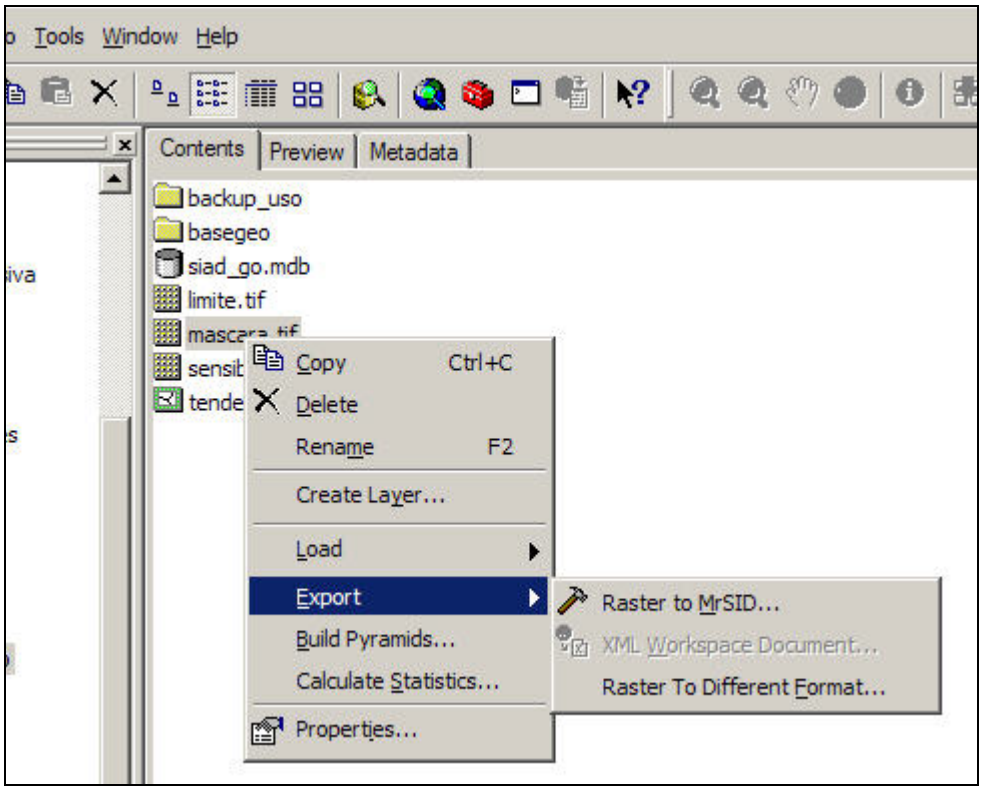



Figura 88 – Conversão de dados matriciais a partir do ArcCatalog

Da mesma forma que os arquivos matriciais, existem uma grande quantidade de formatos de arquivos vetoriais, que podem ser produzidos pelos mais diversos programas de computação gráfica, tais como os programas CAD, que geram formatos tais como DXF, DWG, DGN e IGES. Além disso, têm-se outros formatos produzidos por programas de SIG e por padronizações internacionais, tais como Shapefile, Coverage, AGF, IGDS, MIF, ADS, DFAD, DIME, DLG, ETAK, GIRAS, S-57, SDTS e SLF. Os procedimentos para conversão de dados vetoriais são semelhantes aos procedimentos de conversão de dados matriciais.

É importante mencionar também, que a grande maioria dos formatos de dados matriciais e vetoriais apresentados, podem ser visualizados no ArcMap e ArcCatalog, sem a necessidade de conversão. Alguns desses formatos podem ser também utilizados diretamente em funções do ArcCatalog, ArcMap e ArcToolBox, sem a necessidade prévia de conversão de formatos.

**Exercícios**

1. Qual a diferença entre estrutura de dados e formato de arquivos?

2. Os programas CAD produzem dados em que estrutura? Cite três formatos de arquivos produzidos por programas CAD, que o ArcGIS suporta. Quais os formatos de arquivos CAD que o gvSIG suporta?

3. Converta o mapa de solos vetorizado no exercício anterior, para o formato CAD DXF (DXF_R2000) e veja o que acontece com os atributos do dado. Visualize o arquivo DXF no ArcCatalog, ArcMap e gvSIG.

4. Abra o arquivo DXF no editor de textos WordPad, veja como estão armazenadas as coordenada X e Y. Assista o vídeo "conversao1.htm" o observe como são realizados os exercício 3 e 4.

5. No ArcCatalog, converta a imagem "buenos-aires_tm.img" para o formato MrSID. Utilize as bandas 3, 4 e 5, com taxa de conversão de 20%. Visualize as imagens no ArcCatalog e verifique o tamanho das imagens geradas. Assista o vídeo "conversao2.htm" para ver a resolução do exercício 5.

## 4.2 Funções para Exibição de Dados Geográficos

De posse de um conjunto de dados geográficos é possível realizar a exibição desses dados utilizando-se ferramentas e funções disponíveis no ArcGIS. Os dados geográficos podem ser exibidos em ArcCatalog ou no ArcMap, sendo que neste segundo programa, estão disponíveis a maioria das funções de exibição de mapas.

O mapa é o elemento fundamental do ArcMap, para trabalhar sobre um mapa, é necessário abri-lo no ArcMap. Conhecendo-se a localização dele no disco, o usuário pode navegar até a localização com ArcCatalog e então pode abrir-lo no ArcMap. É possível abrir um mapa diretamente no ArcMap através da função disponível para isto. O ArcCatalog possui também ferramentas para uma pré-visualização do mapa.

Um mapa não armazena (não contém) os dados geográficos apresentado por ele. Em vez disso, ele armazena as referências para a localização (no disco do computador ou na rede de computadores) das fontes de dados (Grids, coverages, shapefiles, feature classes). Portanto, quando se abre um mapa, o ArcMap verifica as ligações para os dados. Se não forem encontrados alguns dados (se alguns dados tiverem sido apagados ou renomeados, ou um drive da rede não estiver acessível) o ArcMap informa o usuário que o dado não foi localizado

e o usuário pode então informar a nova localização ou o novo nome do dado, ou ainda retirar sua referência do mapa.

Em ArcMap, o mapa pode ser apresentado de duas formas, através do Data View (onde se podem observar e trabalhar somente com os *layers* que compõem o mapa) e o Layout View (onde se podem observar e trabalhar com os *layers* e também com os elementos cartográficos do mapa tais como escala gráfica, textos, elementos gráficos, grade de coordenadas, etc.). A figura 89 se pode observar um mapa contendo dois *layers* e alguns elementos cartográficos.

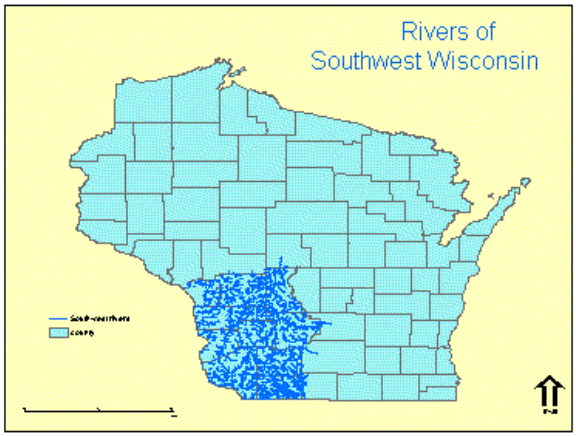



Figura 89 – Exemplo de mapa produzido com ArcGIS

O ArcMap fornece uma grande quantidade de ferramentas e funções para exibição, edição e processamento de dados e informações geográficas, desta forma, é importante conhecer as características da interface do mesmo, que segue a lógica do padrão das aplicações para o sistema operacional Windows.

- A barra de título sempre exibe o nome do documento (mapa) que está aberto;
- As barras de ferramentas são destacáveis e, portanto podem ser movimentadas e posicionadas conforme as necessidades do usuário;
- A tabela de conteúdos lista os “data views” e as legendas dos *layers;*
- A tabela de legendas também é destacável e pode ser redimensionada;
- A área de exibição (display área) é onde as feições do mapa são desenhas;
- A barra de status exibe dinamicamente as coordenadas do mapa e a descrição dos botões e menus selecionados.
- O ArcMap disponibiliza um conjunto de ferramentas de desenho para edição de elementos gráficos do mapa.

A figura 90 ilustra os elementos principais da interface do ArcMap.

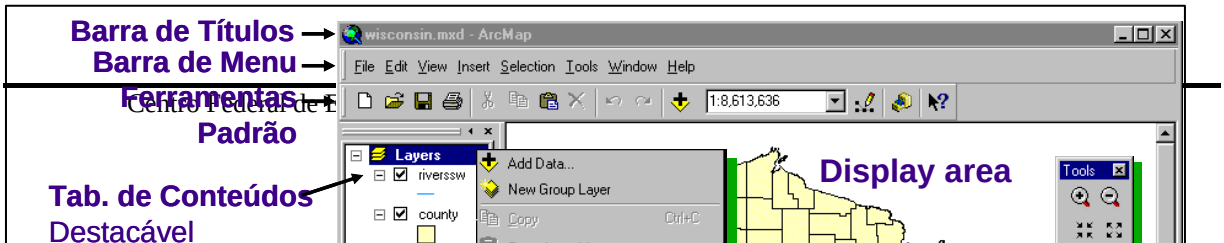


Figura 90 – Elementos principais da interface do ArcMap

Conforme foi mencionado anteriormente, o ArcMap possui dois ambientes de trabalho, o Data View, que é utilizado para exibir, pesquisar, editar, explorar, e analisar dados geográficos. O Layout View é utilizado para criação final de mapas, neste ambiente, é possível adicionar e manipular outros elementos cartográficos, tais como seta de norte, legenda, escala, título e outras informações textuais, além de adicionar e manipular elementos gráficos tais como linhas, pontos e polígonos, especificando-se símbolos e cores para os mesmos. Uma vez que o mapa esteja completo, é possível envia-lo para os equipamentos de impressão. A figura 91 ilustra o acesso aos ambientes de trabalho Data View e Layout View.

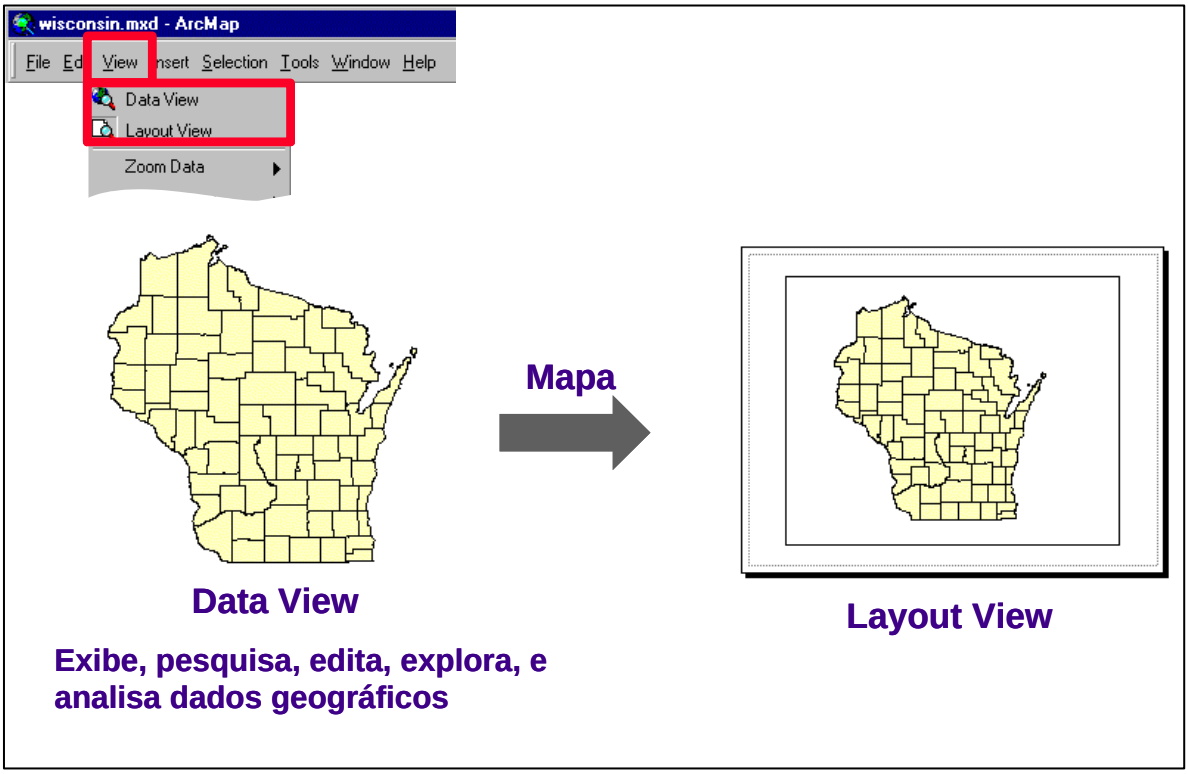


Figura 91 – Ambientes de trabalho no ArcGIS

No ambiente Data View, quando as funções de Zoom-In (aproximação) e Zoom-Out (afastamento) são acessadas, ocorre uma mudança de escala do mapa na área de exibição. O ArcMap exibe a escala de apresentação automaticamente e o usuário pode também alterar a fração da escala, que pode ser utilizada na criação do mapa final. A figura 92 ilustra as ferramentas de controle de visualização do ArcMap.

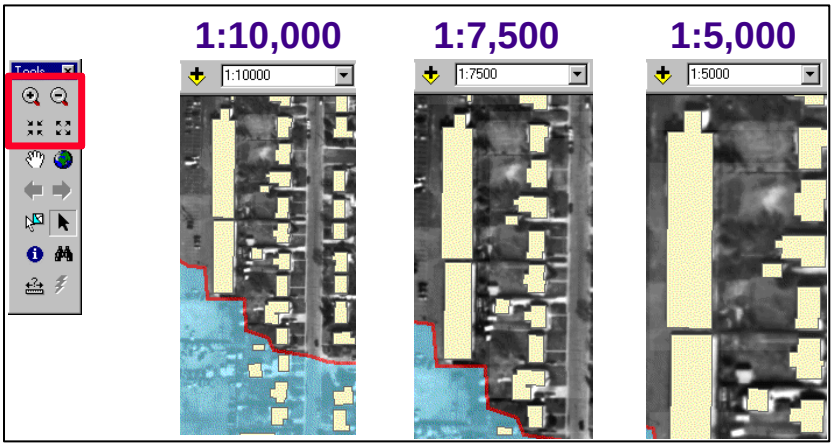



Figura 92 – Ferramentas de controle de exibição de dados no ArcMap