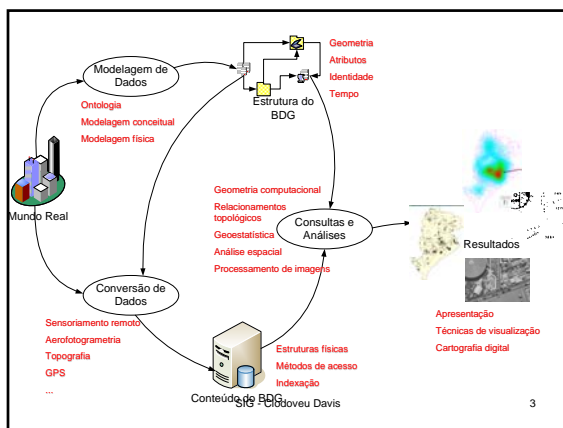


Elementos de SIG

Clodoveu Davis

Roteiro

- Esta unidade do curso discute
 - Processo de desenvolvimento de um SIG
 - Representação computacional da realidade
 - Elementos tecnológicos e funcionais básicos dos SIG
 - Algoritmos e estruturas de dados para SIG
 - Relacionamentos topológicos
 - Organização dos dados geográficos em um BD
 - Processos de consulta ao BD
- Background para situar o escopo das demais disciplinas



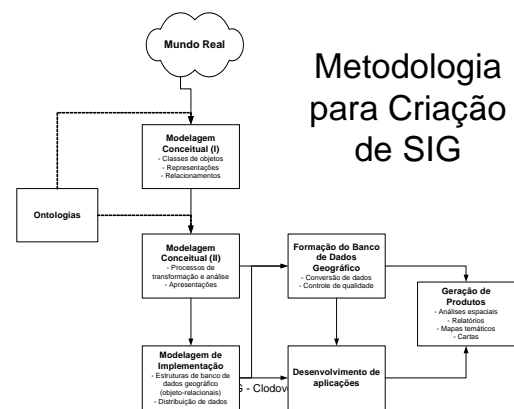
Elementos de SIG

- Todo sistema de informação é desenvolvido para refletir uma certa visão do mundo e resolver um determinado número de problemas
- O processo de construção de um SI requer métodos adequados e conhecimento multidisciplinar

Elementos de SIG

- Representação
 - Como enxergar o mundo real e transformar os conceitos necessários em elementos de um sistema de informação
- Apresentação
 - Como permitir a visualização dos dados modelados e coletados
- Modelagem
 - Processo que permite reunir representações de elementos do mundo real e seus relacionamentos, formando uma visão sistêmica da realidade

Metodologia para Criação de SIG



Metodologia

- O processo de criação de bancos de dados geográficos é análogo ao de sistemas convencionais
- Primeiro passo: identificação do problema
- Aprendizado sobre os elementos do mundo real que interferem sobre o problema
- Levantamento e estruturação de informação sobre esses elementos

SIG - Clodoveu Davis

7

Metodologia

- O mundo real é muito complexo, e não é possível reproduzi-lo com todos os seus detalhes em um sistema informatizado
- É necessário simplificar e generalizar a realidade: **abstração**
- Técnica básica para a modelagem de dados geográficos

SIG - Clodoveu Davis

8

Metodologia

- Para que se consiga simplificar com precisão a realidade, é necessário desenvolver um conjunto de conceitos sobre o *contexto* do mundo real em que o problema está inserido
- O conjunto de conceitos, dependente de contexto, sobre um conjunto de elementos do mundo real chama-se *ontologia*
- A modelagem e explicitação de ontologias ainda está em estágio embrionário: hoje o analista precisa *aprender* sobre o problema

SIG - Clodoveu Davis

9

Metodologia

- Modelagem conceitual do banco de dados
 - Diversas técnicas, a maioria voltada para bancos convencionais, em que as características espaciais dos objetos não são incluídas
- Modelo OMT-G
 - Contém recursos para modelar aplicações geográficas, incluindo classes de objetos, relacionamentos convencionais e espaciais, e restrições de integridade espaciais

SIG - Clodoveu Davis

10

Metodologia

- Extensões da modelagem conceitual
 - Especificação de processos de transformação e análise
 - Especificação de apresentações: relatórios, mapas, plantas, etc.

SIG - Clodoveu Davis

11

Metodologia

- Modelagem para implementação
 - esquema físico
 - estruturas de armazenamento em um banco de dados específico
 - características do objeto
 - forma gráfica
 - localização espacial
 - atributos alfanuméricos

SIG - Clodoveu Davis

12

Metodologia

- Formação do banco de dados
 - Metodologias e tecnologias de conversão de dados
 - Análise de fontes de informação e suas características
 - Digitalização
 - Controle de qualidade
 - Rotina de manutenção

SIG - Clodoveu Davis

13

Metodologia

- Desenvolvimento de aplicativos
 - customização
 - ajuste da interface com o usuário
 - criação de facilidades para execução de tarefas repetitivas
 - atualização com total garantia da manutenção da integridade do banco de dados
 - simplificação de seqüências complexas de comandos
 - interface com outros sistemas de informação
- Alternativa: realizar consultas e análises usando diretamente os recursos do SIG

SIG - Clodoveu Davis

14

Metodologia

- Escolha do SIG
 - alguns dos parâmetros para a escolha são definidos ao longo do processo, e têm a ver com as necessidades da aplicação
 - o uso do mesmo SIG por aplicações que têm finalidades e necessidades diferentes pode gerar dificuldades na escolha

SIG - Clodoveu Davis

15

Representação e Apresentação

- **Representação:** codificação da geometria de objetos espaciais
 - resolução
 - dimensão espacial
 - nível de detalhamento
 - comportamento geométrico
- **Apresentação:** aspecto visual, adequado para comunicar o significado dos dados geográficos de acordo com as necessidades de uma aplicação
 - visualização
 - aparência gráfica (cor, tipo de linha, simbologia)

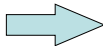
SIG - Clodoveu Davis

16

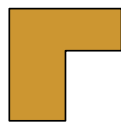
Representação e Apresentação

Representação

x	y
0	0
4	0
4	5
9	5
9	8
0	8
0	0



Apresentação



Representação e Apresentação

- Grande parte das diferenças entre SIG e cartografia automatizada decorre da ênfase que é colocada na representação ou na apresentação
- Em SIG, a tendência é valorizar mais a representação
 - preservar a capacidade de geração de produtos
 - fazer com que a informação seja útil para diversos grupos de usuários
- Em cartografia, a ênfase maior é na apresentação
 - aspectos estéticos (arte)
 - legibilidade

SIG - Clodoveu Davis

18

Representação e Apresentação

- Também parte da divergência entre SIG e cartografia automatizada quanto ao conceito de precisão decorre de representação versus apresentação
 - Em SIG, a preocupação maior é com a precisão da fonte do dado
 - Em cartografia automatizada, a preocupação é com a precisão do resultado impresso
- *Escala x ...*
 - resolução
 - nível de detalhamento
 - erro / grau de incerteza do dado

SIG - Clodoveu Davis

19

Alternativas de Representação

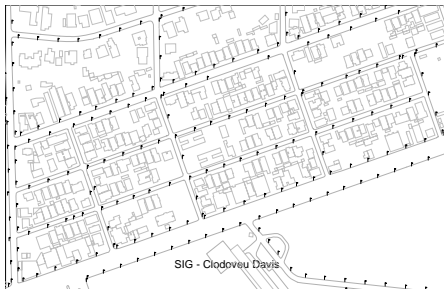
- A escolha de uma alternativa para a representação de um elemento do mundo real envolve:
 - discretização
 - como simplificar a geometria do elemento, para que seja possível incorporá-la a um sistema informatizado
 - amostragem
 - como transformar grandezas medidas no mundo real em valores que podem ser armazenados
- A complexidade e a natureza da representação dependem do uso pretendido pela aplicação

SIG - Clodoveu Davis

20

Alternativas de Representação

- Ponto



21

Alternativas de Representação

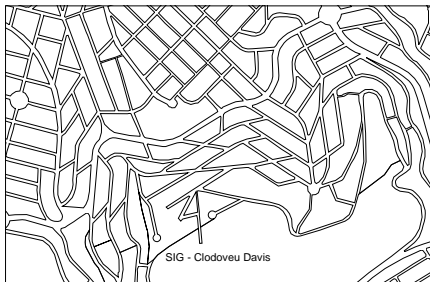
- Linha



22

Alternativas de Representação

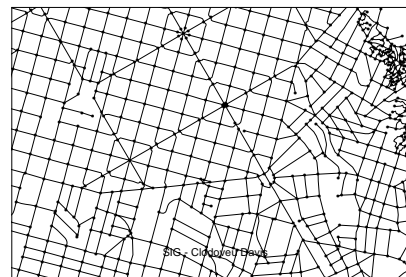
- Polígono



23

Alternativas de Representação

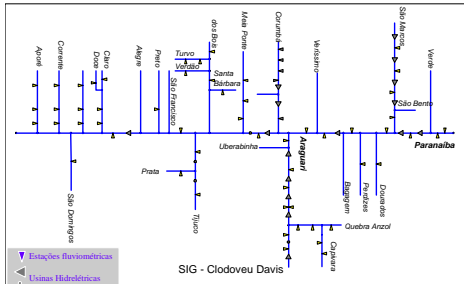
- Nó de rede, arco unidirecional e arco bidirecional



24

Alternativas de Representação

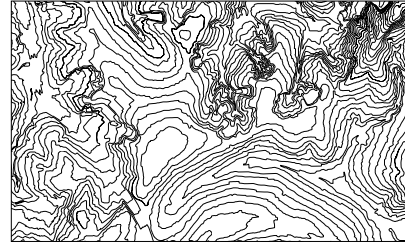
- Nó de rede, arco unidirecional e arco bidirecional



25

Alternativas de Representação

- Isolinhas



26

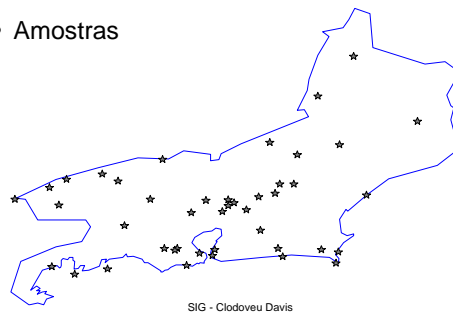
Alternativas de Representação

- Tesselação



Alternativas de Representação

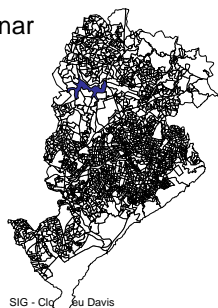
- Amostras



28

Alternativas de Representação

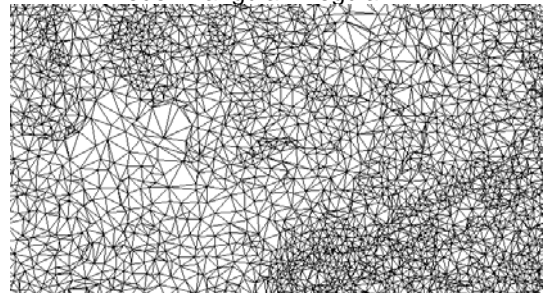
- Subdivisão planar



29

Alternativas de Representação

- TIN - Rede Triangular Irregular



Objetos x Campos

- Em SIG, o mundo real é freqüentemente modelado segundo duas visões complementares: o modelo de *campos* e o modelo de *objetos*
- Um campo é uma função matemática cujo domínio é uma abstração de uma região geográfica
- Um objeto representa uma entidade ou fenômeno individualizável, com geometria e características próprias

SIG - Clodoveu Davis

31

Objetos x Campos

- Campos seguem o princípio de restrição de preenchimento do plano (*planar enforcement*)
- Objetos podem ser superpostos e compartilhar o mesmo espaço
- A representação de campos e de objetos no computador pressupõe algum processo de *amostragem*, que leva em conta fatores como *resolução, escala e projeção cartográfica*
- A amostragem para campos é feita segundo uma matriz ou alguma outra forma de tesselação
- A amostragem para objetos procura recursos geométricos para representar sua aparência

SIG - Clodoveu Davis

32

Objetos x Campos

- Representações de geo-objetos
 - Ponto
 - Linha
 - Polígono
 - Nó de rede, arco uni- e bidirecional
- Representações de geo-campos
 - Tesselação
 - Isolinhas
 - Amostras
 - Subdivisão planar
 - TIN

SIG - Clodoveu Davis

33

Objetos x Campos

- Problemas em aberto:
 - Múltiplas representações: variações quanto à escala, tipo de uso, resolução e nível de detalhe
 - Representação de atributos temporais, ou de variação geométrica ao longo do tempo
 - “Objetos geográficos com fronteiras indeterminadas”
 - Semântica para interoperabilidade

SIG - Clodoveu Davis

34

Vetores

- Vetores são objetos gráficos representados por conjuntos de coordenadas e dimensões
- Linha Poligonal: vetor de coordenadas (x, y) dos vértices
- Polígono: linha poligonal fechada
- Círculo: coordenadas (x, y) do centro e raio
- Arco de círculo: coordenadas (x, y) do centro, raio, ângulo inicial, ângulo final
 - *Geometria analítica e álgebra vetorial*

SIG - Clodoveu Davis

35

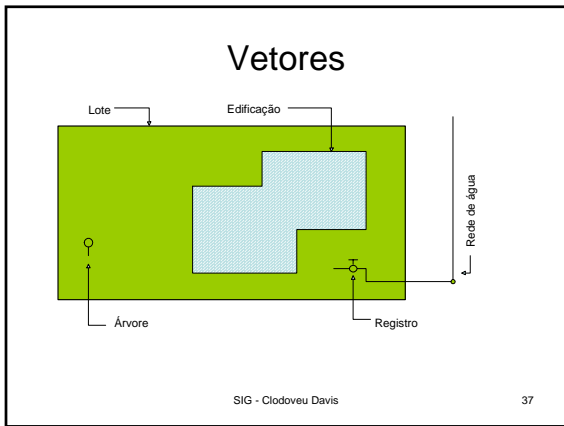
Vetores

- Exemplo

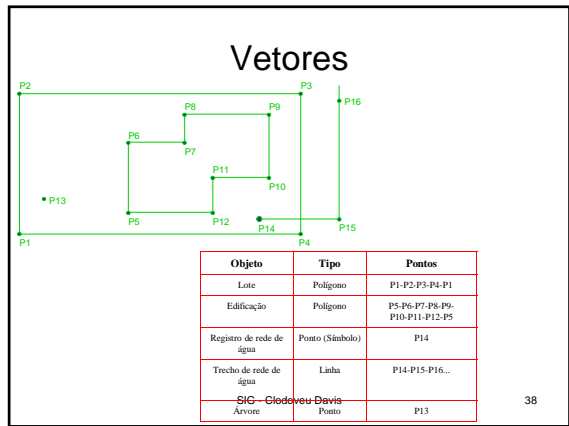


SIG - Clodoveu Davis

36



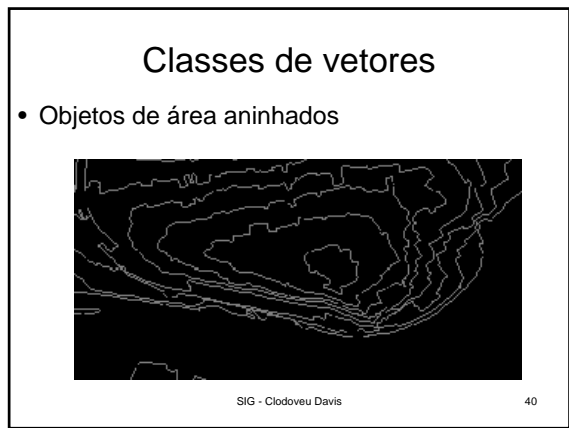
37



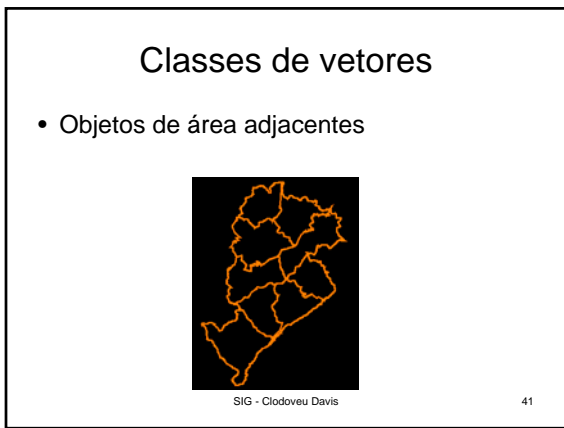
38



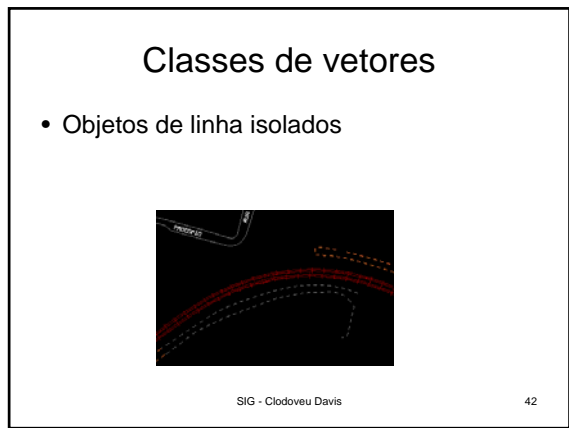
39



40



41



42

Classes de vetores

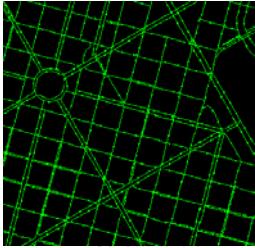
- Objetos de linha em árvore



SIG - Clodoveu Davis 43

Classes de vetores

- Objetos de linha em rede



SIG - Clodoveu Davis 44

Vetores: problemas de nomenclatura

- Linha poligonal:
 - polilinha (polyline, line string)
 - arco
 - link
 - 1-cell
 - cadeia (chain)
- Ponto:
 - 0-cell
 - símbolo
- Área:
 - 2-cell
 - região

☞ Existe muita variação de conceitos por trás das variações de nomenclatura

☞ Normalização e padronização são dificultadas


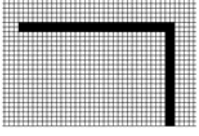
SIG - Clodoveu Davis 45

Matrizes ou imagens

- Imagem digital: função $f(x, y)$, bidimensional, definida em um *arranjo (matriz)* regular de pontos
- **Amostragem:** definição das dimensões do arranjo e suas subdivisões
- **Quantização:** determinação do valor de cada amostra, pela captura de alguma grandeza física
- O processo de quantização é geralmente feito por varredura, daí o termo *raster*

SIG - Clodoveu Davis 46

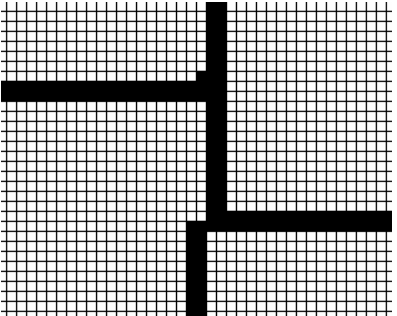
Matrizes ou imagens

- Matriz de células (*pixels*)
 - Valor
 - "Endereço" (posição na matriz)
 - Fragmento do mundo real
- Resolução
 - Satélite - Landsat - 30 x 30 m
 - Scanner
 - 200 DPI - Pontos por polegada
 - Cada pixel : 1/200 de pol ou 0,127 mm do mapa original

SIG - Clodoveu Davis 47

Matricial (Raster)

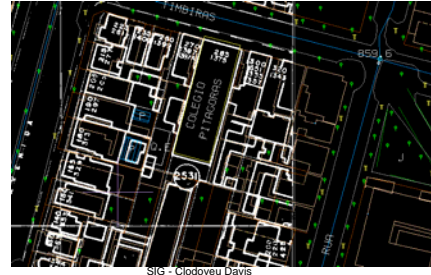


SIG - Clodoveu Davis 48

Cartografia Sistemática

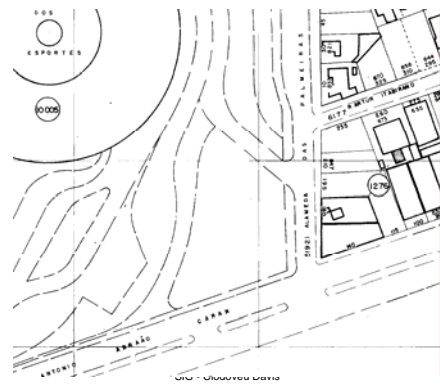


Superposição de imagem e vetores

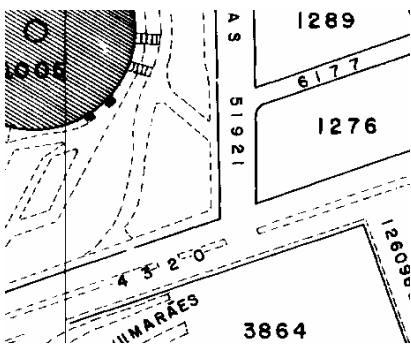


SIG - Clodoveu Davis

51



52



SIG - Clodoveu Davis

53

Aplicações de imagens em GIS

- Sensoriamento remoto
- Conversão de dados
- Imagens como pano de fundo em bases vetoriais
- Associação de imagens a informações geográficas
- Fotogrametria

SIG - Clodoveu Davis

54

Escolha da resolução mais adequada

- Parâmetros:
 - Resolução da tela
 - Espessura das linhas no original
 - Tamanho dos textos no original
 - Necessidade de replotagem

Vetores x Imagens

- Vetores:
 - Associação de atributos alfanuméricos é mais simples
 - Armazenamento mais eficiente em bancos de dados
 - Separação em níveis / camadas
 - Uso de simbologia
- Representação de informações como em projetos de engenharia

Vetores x Imagens

- Imagens (*Raster*)
 - Captura mais fácil, mais rápida e mais barata
 - Grandes volumes
 - Dificuldades no armazenamento e acesso por partes
 - Possibilidade de execução de estudos de classificação

Vetores x Imagens

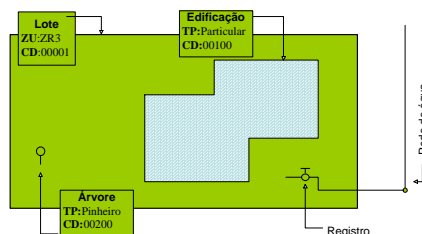
- Vetores:
 - Ideais para representar informações pontuais, lineares ou de área
 - Representação simplificada de feições naturais ou construídas pelo homem
- Imagens:
 - Ideais para representar fenômenos que variam de forma contínua na natureza

Atributos

- Os objetos geográficos geralmente têm uma representação gráfica e atributos alfanuméricos
- Os atributos correspondem a características descritivas do objeto real, de acordo com o modelo de dados
- Os atributos são concebidos, implementados e armazenados exatamente como em um banco de dados convencional

Conceitos básicos em SIG

Atributos



Parêntesis: Camadas, *Layers*, Classes

- A noção de camadas ou *layers* origina-se nos sistemas CAD
 - Analogia com plantas sobrepostas em mesa de luz
- É usada também na cartografia digital
 - Analogia com os elementos da legenda

SIG - Clodoveu Davis

61

Diferenças Fundamentais entre CAD e SIG

CAD

- Não lida com as relações topológicas entre os objetos geográficos
- Não dispõe de indexação espacial
- Geralmente não faz restrições ou críticas à entrada de dados
- Grande variedade de ferramentas de criação e edição de entidades gráficas
- **Ênfase na representação gráfica e aparência final do produto**

SIG - Clodoveu Davis

62

Diferenças Fundamentais entre CAD e SIG

SIG

- Geralmente exige topologia corretamente definida
- Geralmente suporta apenas elementos gráficos simbólicos ou lineares
- Exige estrita aderência a um modelo de dados previamente definido
- **Ênfase na estrutura dos objetos gráficos e no relacionamento espacial entre eles**

SIG - Clodoveu Davis

63

Diferenças Fundamentais entre CAD e SIG

CAD

- *Layer* é um conjunto de elementos que devem ser visualizados ou plotados simultaneamente
- **Superposição de plantas**

SIG

- *Layer* é um conjunto de objetos pertencentes a uma mesma classe de dados, com representação gráfica e atributos comuns
- **Tabela de um banco de dados**

SIG - Clodoveu Davis

64

Diferenças entre SIG e Cartografia Automatizada

- Os processos de coleta de dados para cartografia e geoprocessamento são o item mais dispendioso dos projetos
- Existe a necessidade de se aumentar o potencial de uso da informação coletada
- Não faz mais sentido coletar dados apenas para produzir mapas que serão publicados em papel
- A demanda por dados em meio digital é muito intensa

SIG x Carto Auto

- A grande demanda por dados geográficos em meio digital tem levado muitas empresas a digitalizar mapas em papel existentes
 - ex: cartas do IBGE
- A simples transcrição da informação de documentos cartográficos não permite a construção de bases de dados geográficas corretas
 - Os documentos cartográficos contêm distorções intencionais, destinadas a aumentar a legibilidade do mapa
 - Em geral, não existe como reverter essas distorções

Mudança de Paradigma

- Processo cartográfico tradicional
 - coleta de dados
 - compilação de mapas detalhados
 - o cartógrafo decide o que entra e o que não entra no mapa, considerando o uso pretendido
 - objetivos: manter constante a densidade de informação e garantir a legibilidade
 - generalização dos mapas detalhados para escalas menores
 - são realizadas diversas operações que transformam os dados originais
 - algumas das informações originais do levantamento de dados são perdidas

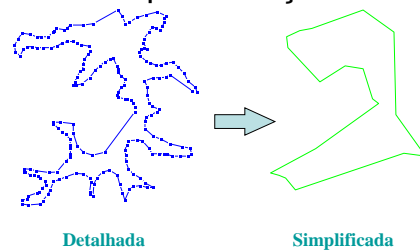
Mudança de Paradigma

- Novo processo
 - coleta e manutenção de dados
 - voltada para o armazenamento digital
 - formação de banco de dados geográfico
 - apoiada em um modelo de dados previamente definido
 - produção de mapas a partir do banco de dados geográfico na escala requerida
 - a partir dos dados mais detalhados
 - maior escala dependente da precisão do levantamento original
- Separar a **representação** da **apresentação**

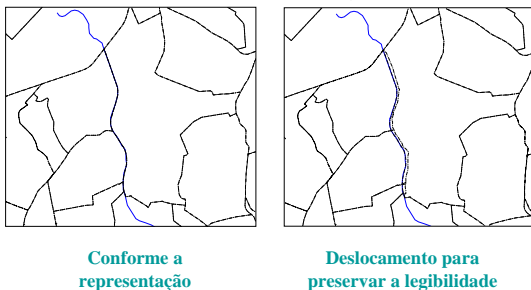
Transformações

- De representação para representação
 - simplificar a forma geométrica
 - eliminar detalhamento excessivo
 - ⇒ **Fidelidade ao dado original**
- De representação para apresentação
 - escolher parâmetros visuais
 - melhorar a qualidade visual do resultado
 - ⇒ **Apoiar a capacidade humana de absorção de informação através da visualização**

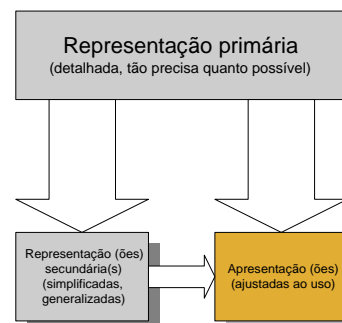
Transformação entre Representações



Transformação de Representação para Apresentação



Transformações



72

SIG como Ferramenta para Cartografia Automatizada

- Em geral, os SIG estão preocupados em imitar os processos cartográficos usuais
- SIG usualmente lidam com dados usando uma única representação, conteúdo estático e resolução fixa, empregando-os em uma faixa estreita de escalas, de maneira análoga a um mapa em papel
- Em consequência, os SIG não são sistemas de informação espacial genéricos

73

Operadores de Generalização Cartográfica

- Agregação
- Colapso
- Combinação
- Fusão
- Refinamento
- Simplificação
- Suavização
- Deslocamento
- Destaque
- Exagero

74

Refinamento



1:25.000



1:50.000

Deslocamento



1:25.000



1:250.000



Exagero



Exagero



1:5.000

1:25.000

Fecha Parêntesis

- Cartografia é uma mistura de ciência e arte
- Os SIG atuais são capazes de resolver bastante bem a parte “científica”
- Na parte artística, é necessário contar com o senso estético e o treinamento de programação visual do cartógrafo
- Ainda é difícil conceber e implementar funções que auxiliem o cartógrafo na produção de apresentações

Fecha Parêntesis

- O processo de geração de bancos de dados geográficos precisa se tornar independente da produção cartográfica
- É necessário mudar os processos tradicionais de produção cartográfica para que se baseiem em bancos de dados geográficos detalhados e de uso genérico

Representação Física em Banco de Dados Espacial

- Existem diversas alternativas para armazenamento da parte de localização e forma geométrica dos dados geográficos
- Essas alternativas evoluíram ao longo do tempo usando formatos *proprietários*
 - Apenas o desenvolvedor consegue interpretar o conteúdo dos arquivos
- A tendência atual é abrir o acesso, usando formatos padronizados e estruturas de dados publicamente conhecidas (OpenGIS)

SIG - Clodoveu Davis

82

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- Estrutura dos objetos do tipo SDO_GEOMETRY:

```
CREATE TYPE SDO_GEOMETRY AS OBJECT {
  SDO_GTYPE          NUMBER,
  SDO_SRID           NUMBER,
  SDO_POINT          SDO_POINT_TYPE,
  SDO_ELEM_INFO     MDSYS.SDO_ELEM_INFO_ARRAY,
  SDO_ORDINATES     MDSYS.SDO_ORDINATE_ARRAY };
```

SIG - Clodoveu Davis

83

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- SDO_GTYPE: tipo de geometria do objeto
 - Previsão para 3D, mas falta um tipo para superfícies

Valor de SDO_GTYPE	Tipo de geometria
d000	Desconhecido
d001	Ponto
d002	Poligonal
d003	Polígono (são permitidos buracos)
d004	Coleção heterogênea de elementos
d005	Múltiplos pontos
d006	Múltiplas poligonais
d007	Múltiplos polígonos (ilhas)

SIG - Clodoveu Davis

84

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- SDO_SRID: identificação do sistema de coordenadas usado *na codificação do objeto*
 - Podem existir na mesma tabela objetos cujas coordenadas estão expressos em sistemas diferentes
 - É tarefa do SIG (interface) interpretar e projetar essas coordenadas sobre a tela no momento da visualização
 - O valor do campo é numérico, e serve de chave para outra tabela em que os parâmetros das diversas projeções cartográficas estão codificados
 - Ex: SAD-69, hemisfério Sul, fuso 23 (45° WGr): código 83701

SIG - Clodoveu Davis

85

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- SDO_POINT: coordenadas de um vértice tridimensional (variável do tipo SDO_POINT_TYPE)
 - Se o objeto for do tipo ponto, toda a geometria está definida
 - Se o objeto for de outro tipo, este campo é ignorado
 - Recurso válido para acelerar a seleção e apresentação de objetos do tipo ponto, muito comuns nas aplicações

SIG - Clodoveu Davis

86

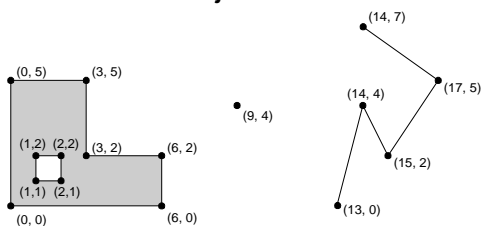
Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- SDO_ELEM_INFO e SDO_ORDINATES: dois vetores coordenados que codificam a geometria de objetos lineares e poligonais
 - SDO_ORDINATES: uma seqüência de conjuntos de coordenadas 3D
 - SDO_ELEM_INFO: separação das coordenadas em grupos, dando a cada grupo uma definição de comportamento

SIG - Clodoveu Davis

87

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional



SIG - Clodoveu Davis

88

Objeto	Campo	Valor	Comentário
1	SDO_GTYPE	2003	Polígono simples, 2D
1	SDO_SRID	83201	UTM, Fuso 23, hemisfério sul, SAD-69
1	SDO_POINT	<nulo>	Desnecessário
1	SDO_ELEM_INFO	(1, 1003, 1, 8, 2003, 1)	Começando do par de coordenadas número 1, trata-se de um polígono externo (1003), com arestas retas (1); do par 8 em diante, é um polígono interno ou buraco (2003), com arestas retas (1).
1	SDO_ORDINATES	(0, 0, 6, 0, 6, 2, 3, 2, 3, 5, 0, 5, 0, 0, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 1, 1)	Seqüência x, y em sentido anti-horário no polígono externo e em sentido horário para o polígono interno (indica buraco); o último ponto repete o primeiro nos dois casos.
2	SDO_GTYPE	2001	Ponto 2D
2	SDO_SRID	82301	UTM, Fuso 23, hemisfério sul, SAD-69
2	SDO_POINT	(9, 4, 0)	Coordenadas do ponto
2	SDO_ELEM_INFO	<nulo>	Desnecessário
2	SDO_ORDINATES	<nulo>	Desnecessário
3	SDO_GTYPE	2002	Poligonal 2D
3	SDO_SRID	82301	UTM, Fuso 23, hemisfério sul, SAD-69
3	SDO_POINT	<nulo>	Desnecessário
3	SDO_ELEM_INFO	(1, 2, 1)	Começando do par de coordenadas número 1, trata-se de uma poligonal aberta (2), com arestas retas (1).
3	SDO_ORDINATES	(13, 0, 14, 4, 15, 2, 17, 5, 14, 7)	Seqüência x, y.

Objetos Geográficos em BD objeto-relacional

- Não existe na estrutura de armazenamento do Oracle nenhuma informação sobre apresentação
 - Isso é deixado a cargo do SIG (cliente)
 - Benefício: isolamento completo entre a representação e a apresentação de cada objeto
- Não existe nenhum tipo de codificação explícita da topologia
 - Relacionamentos topológicos são definidos dinamicamente, no momento do processamento de uma consulta ou da realização de uma operação

SIG - Clodoveu Davis

90

Mapeamento entre representação e implementação

- Geo-campos
 - Amostras: pontos ou conjuntos de pontos com atributos que refletem o valor do geo-campo no local
 - Isolinhas: poligonais abertas ou fechadas, com atributo indicando a cota
 - Triangulação: polígonos triangulares relacionados com pontos que contêm o valor do geo-campo como atributo
 - Grade regular: pontos com atributos, convenientemente dispostos
 - Subdivisão planar: conjuntos de polígonos que não se sobrepõem
 - Tesselação: imagens digitais

SIG - Clodoveu Davis

91

Mapeamento entre representação e implementação

- Geo-objetos
 - Pontos: idem
 - Linhas: idem
 - Polígonos: idem
 - Nós de rede: pontos relacionados a linhas
 - Arcos bidirecionados: linhas relacionadas a *exatamente* dois pontos
 - Arcos unidirecionados: linhas relacionadas *exatamente* a dois pontos, em ordem (alternativa: a direção do arco corresponde ao sentido de digitalização do mesmo)

SIG - Clodoveu Davis

92

Elementos de SIG (cont.)

- Geometria e algoritmos geométricos
- Relacionamentos topológicos / topologia
- Indexação espacial e métodos de acesso a dados geográficos

SIG - Clodoveu Davis

93

Leitura complementar

- Câmara, G. *Representação Computacional de Dados Geográficos*. Capítulo 1 de Casanova, M. A., Câmara, G., Davis Jr., C. A., Vinhas, L., Queiroz, G. R. (editores) *Bancos de Dados Geográficos*. Ed. MundoGeo, 2005.
- Borges, K. A. V., Davis Jr., C. A., Laender, A. H. F. *Modelagem conceitual de dados geográficos*. Capítulo 3 de Casanova, M. A., Câmara, G., Davis Jr., C. A., Vinhas, L., Queiroz, G. R. (editores) *Bancos de Dados Geográficos*. Ed. MundoGeo, 2005.
- Kothuri, R., Godfrind, A., Beinat, E. *Pro Oracle Spatial*. Apress, 2005.
- <http://postgis.refractions.net> e <http://www.postgresql.org>

SIG - Clodoveu Davis

94