

## 2 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO

Tanto na Cartografia convencional quanto na Cartografia Digital há demanda por operações de combinação de dados de fontes diferentes, com vistas à geração de produtos em escalas diferentes daquela para as quais os dados foram coletados. A mudança de escala ou a mescla de dados cartográficos em escalas diferentes leva à generalização cartográfica, que ocorre de modo distinto na cartografia convencional e na cartografia digital. Quando realiza a generalização manual, o cartógrafo aplica sua experiência e seu conhecimento geográfico acerca do significado das feições presentes no mapa original, bem como dos relacionamentos de hierarquia e interdependência, e determina a maneira como serão representados na nova escala. Por fim, realiza as modificações (SSC, 1979). A operação de generalização manual de cartas topográficas é tarefa de tamanha complexidade que pode ser expressa com a frase atribuída a E. von Sydow "*Somente Ele, que tem domínio sobre a matéria e pode fazer com as mãos o que a mente deseja, está habilitado a generalizar de forma correta*" (SSC, 1979).

Segundo KEATES (1989), as operações realizadas sobre produtos cartográficos e consideradas generalização cartográfica são: a *omissão seletiva*; a *simplificação*; o *exagero*; e o *deslocamento*. A omissão seletiva é a determinação dos objetos do mundo real que deverão ser representados no mapa. A simplificação consiste da redução de detalhe de feições individuais ou de grupos de feições similares. O exagero é conseqüente da simbolização com intuito de mostrar a importância de determinada feição ou objeto, mesmo que isso signifique a perda da relação espacial entre a representação, a escala e a feição real. O deslocamento é uma operação que surge da necessidade de representar um determinado conjunto de feições ou objetos e o espaço a eles destinado no mapa não os comporta. A solução para acomodá-los requer que suas posições geográficas sejam alteradas para permitir a sua representação. Estas operações envolvem as componentes sintática e semântica de um mapa.

Existem quatro fatores que afetam a realização de generalização. Dois destes fatores são objetivos, e dois são subjetivos. Como fatores objetivos de influência sobre a generalização cartográfica estão a *escala* e os *requisitos gráficos*. Os fatores subjetivos são a *característica* e a *importância* das feições. A escala interfere no processo de generalização porque determina o espaço disponível para a representação. Os requisitos gráficos estão relacionados com a legibilidade daquilo que deverá ser representado considerando a escala escolhida. Algumas feições que são importantes devem ser exageradas, embora tenham dimensões reais tais que quando se aplica à escala de representação resultem em dimensões gráficas situadas abaixo do poder de representação de dispositivos gráficos. As feições podem apresentar comportamento característico que deverá ser mantido após a generalização. Pode-se citar como exemplos as ferrovias, os rios meândricos e as áreas densamente povoadas (KEATES, 1989).

Os ambientes computacionais se caracterizam por oferecer flexibilidade e velocidade na manipulação dos dados. Na realização da Cartografia Digital são expressas no ambiente computacional todas as operações necessárias para a geração de produtos cartográficos. A adoção da Cartografia Digital modificou a forma de se produzir mapas, e também a forma como os dados presentes numa base cartográfica podem ser acessados. A generalização no meio digital é realizada com base em operações de transformações estatísticas e operações geométricas. MCMASTER e SHEA (1992, p. 3) propõem um conceito de generalização adequado à Cartografia Digital: "a generalização digital pode ser definida como os processos de derivar um conjunto de dados cartográficos simbolicamente ou digitalmente codificados pela aplicação de transformações espaciais e de atributos a uma fonte de dados". Neste conceito, os autores enfocam a derivação de dados a partir de outros dados por meio de transformações. Na Cartografia Convencional pode-se dizer que a generalização é realizada pela manipulação de imagens gráficas (pontos, linhas e áreas), e na cartografia digital a generalização é realizada pela '*manipulação computacional*' da representação digital de feições cartográficas.

Segundo Muller (1995), os problemas decorrentes da adoção da Cartografia Digital como tecnologia de produção cartográfica ou como tecnologia de manutenção de acervo cartográfico, são mais complexos comparativamente à cartografia convencional. A razão para isso é a exigência de maior grau de abstração no uso de dados armazenados em meio digital. Para que ocorra qualquer interação do usuário com as feições presentes na representação digital são realizadas operações de busca e processamento de dados. O mesmo nível de complexidade está envolvido na realização da generalização em meio digital.

A organização dos dados no ambiente computacional determina o uso que se pode dar a estes dados, e como consequência a generalização em ambiente computacional também está limitada às operações impostas pela organização dos dados. A esta organização de dados se dá o nome de modelo de dados lógico. Um modelo de dados lógico é implementado por meio de uma linguagem de programação. Um aspecto central ao problema da generalização em ambiente computacional está no modelo de dados utilizado para a representação das feições e de seus atributos.

A generalização cartográfica é uma tarefa fundamental e uma das tarefas mais difíceis de automatizar. Para JONES (1997), a razão para isto é que um mapa é uma representação simbólica elaborada do mundo, e a simbologia empregada considera o propósito do mapa, sua escala e os elementos nele representados.

A abordagem que se deu ao tema generalização cartográfica inicia-se pela apresentação das razões que justificam a aplicação de generalização conforme MULLER (1995), apresentação de modelos conceituais propostos, e finalmente abordando um modelo de McMaster e Shea, citado por KRAAK e ORMELING<sup>1</sup> (1998), como tendo sido desenvolvido explicitamente para Cartografia Digital.

A generalização foi mostrada como uma necessidade surgida da mudança de escala de uma dada representação, ou da geração de um mapa a partir de outros em escalas maiores. Esta perspectiva, no entanto, não considera a realidade da Cartografia Digital. Os dados cartográficos existem também na forma digital, e isso implica uma

---

<sup>1</sup> MCMMASTER, R & SHEA, K.S. Generalization in Digital Cartography. 1ed. Washington: Association of American Geographers, 1992.

reformulação no conjunto de razões que levam à generalização, de tal modo que as especificidades dos dados digitais e tudo o que os cerca seja considerado do ponto de vista de generalização.

MULLER (1991) apresenta razões para generalizar, e mostra que o processo não busca apenas os propósitos de visualização:

- a primeira razão é de ordem econômica, e trata da necessidade de se especificar a coleta de dados em função do propósito a que se destinam os dados. A resolução espacial dos procedimentos de coleta de dados está na razão direta com seu custo. O resultado é a realização de um procedimento de generalização, visto que algumas feições serão apresentadas e outras não, e que segundo algum critério de classificação serão geradas classes para comportar feições semelhantes;
- a segunda razão está ligada à qualidade dos dados coletados. Os dados coletados são sujeitos a erros que podem, segundo MULLER (1991), ser filtrados e consolidar tendências. Na digitalização de dados surgem os *spikes* (picos) e os *anomalous points*, produzidos por instabilidade nas mesas de digitalização. São procedimentos de generalização aplicados aos dados e que lhes dão consistência;
- a razão multipropósito está baseada no conceito de base de dados primária DLM (Digital Landscape Model). Este conceito orientou a geração de uma estrutura organizacional utilizada na Alemanha, denominada ATKIS (Authoritative Topographic-Cartographic Information System), que significa um Sistema de Informação Oficial Topográfico e Cartográfico. Este sistema é composto por dados oriundos de levantamentos diretos como Topografia e Geodésia, e por mapas digitalizados. Este modelo de administração de dados espaciais tem como sustentação a idéia de que a partir de uma base de dados espaciais única seja possível derivar, por generalização, produtos em qualquer escala, respeitadas as resoluções dos dados; e
- a razão cartográfica tradicional de realizar a generalização que é a visualização e comunicação. A geração de bases de dados cartográficos orientados para uma escala ou resolução acarreta problemas quando se aplica uma redução de escala, e requer a realização da generalização cartográfica.

Em SPIESS (1995), são apresentados os propósitos e os benefícios da generalização:

- a) a aplicação de generalização permite a representação da realidade com diferentes níveis de abstração;
- b) a generalização permite a modelagem de bases de dados espaciais;
- c) a visualização demanda generalização, o que aprimora produtos visuais;
- d) a generalização é a ferramenta que permite representar a informação relevante de forma legível numa dada escala;
- e) a generalização permite manter o nível de informação original de uma base de dados numa dada escala; e
- f) a generalização permite remover ruído de uma imagem e realçar a informação essencial, não apenas ruído geométrico mas o ruído conceitual ou a informação redundante.

Segundo o mesmo autor, os mapas em papel continuarão a ser produzidos em diferentes formatos e escalas a partir de dados digitais. Isso reforça a relevância da generalização cartográfica voltada à geração de visualizações. A afirmativa e) acima sugere a aplicação de alguma forma de avaliar o nível de informação da base de dados. Um dos possíveis modos pode ser a aplicação da TMC proposta por Shannon (BJORKE, 1996).

## 2.2 ASPECTOS DA PESQUISA INTERNACIONAL E NACIONAL

No âmbito internacional, a maior expressão em progressos em generalização cartográfica são originados no *Working Group in Map Generalization* da Sociedade Cartográfica Internacional – ICA. Estes progressos são periodicamente avaliados em Seminários realizados a cada dois anos e são relatados no endereço de página eletrônica da Sociedade (<http://www.geo.unizh.ch/ICA/index.html>). Foram realizados seminários em Barcelona em 1995, em Gävle (Suécia) em 1997, em Otawa (Canadá) em 1999, em Barcelona (Espanha) em 2000 e em Beijing (China) em 2001. Os principais temas abordados no Seminário de Barcelona (Espanha) 1995, foram a avaliação da qualidade do projeto cartográfico, a formalização do conhecimento em Cartografia, visto que isso auxilia na realização de generalização, e detecção de

resolução de conflitos, que é um problema específico de generalização. No Seminário realizado em Gävle (Suécia) em 1997, na discussão sobre modelagem semântica e estruturas não espaciais, J. T. BJORKE apresentou estudo sobre a avaliação da entropia de elementos pontuais, e sua importância na caracterização de uma distribuição quando se realizam operações de remoção. Com relação à modelagem de estruturas espaciais a discussão foi acerca das vantagens e desvantagens das soluções de generalização de dados vetoriais e de dados matriciais, tendo por base o cubo de MacEachren. Nos seminários realizados em Otawa (1999), em Barcelona (2000) e em Beijing (2001) não foram encontrados temas relacionados à generalização de superfícies nem temas relacionados à TMC.

Dentre os trabalhos publicados nos Anais da 18<sup>a</sup> Conferência Cartográfica Internacional (Estocolmo, 1997), destacam-se dois trabalhos que enfocam a TMC aplicada à Cartografia. O primeiro trabalho trata teoricamente a questão da comunicação cartográfica baseando-se na TMC (GLUCK, 1997). O segundo trabalho trata da aplicação da mesma teoria na eliminação de feições durante a generalização (BJORKE, 1997).

Dois trabalhos acadêmicos abordam o tema generalização cartográfica no Brasil. São eles: "Generalização Cartográfica: Proposta Metodológica para uma Transição de Escala Assistida por Computador", realizada no Departamento de Transportes da Universidade de São Paulo (BERNARD, 1998), e "Generalização Cartográfica em Ambiente Digital Escala 1:250000 a partir de Dados Cartográficos Digitais na Escala 1:50000", realizada no Departamento de Cartografia do Instituto Militar de Engenharia (VIANNA, 1997). O primeiro trata da generalização de cartas na escala 1:10.000 para 1:50.000, produzidas pelo órgão de mapeamento oficial do Estado de São Paulo. Neste trabalho, a autora realiza a generalização automática de linhas e generalização manual, em ambiente computacional, dos outros elementos cartográficos. O segundo trata do estabelecimento de uma forma de classificação de feições cartográficas que deverão constar da carta na escala 1:250.000 gerada a partir de dados de cartas analógicas na escala 1:50.000. Além destes trabalhos pode-se citar trabalhos que abordam a representação de dados em múltiplas escalas e alguns

algoritmos de simplificação de linhas (DAVIS, 2000), e trabalho que aborda os algoritmos de simplificação de linhas de Lang e de Douglas-Peucker (VIANNA *et al.*, 1997).

### 2.3 MODELOS CONCEITUAIS

MCMASTER e SHEA (1992) citam que uma das razões que justificam o lento desenvolvimento da generalização está no fato de que os cartógrafos convencionais não se preocuparam em formalizar o conhecimento sobre as técnicas de generalização manual. A generalização manual é realizada de forma empírica e baseada na finalidade do mapa, na experiência, no conhecimento geográfico e no senso estético do cartógrafo. A sistematização do conhecimento em qualquer área faz uso de modelos descritivos da realidade a ser tratada.

Modelos são ferramentas para diversas disciplinas, são idealizados segundo um propósito específico e consistem essencialmente de um processo de generalização<sup>1</sup>. O estabelecimento de modelos conceituais sempre é o ponto de partida para a automatização. A automatização de processos deve ocorrer dentro de um conjunto de possibilidades previstas num modelo conceitual (GRÜNREICH, 1995).

O modelo conceitual de generalização mais aceito é aquele proposto por McMaster e Shea (KRAAK e ORMELING, 1998), no entanto há outros modelos anteriores que têm importância porque trazem uma visão do desenvolvimento da generalização cartográfica. São citados por McMaster e Shea (MCMASTER e SHEA, 1992) os modelos conceituais de Ratajski, de Morrison, de Brassel e Weibel, de Nickerson e Freeman e o de McMaster e Shea. No modelo de Ratajski, apresentado em 1967, são identificados os processos quantitativos que tratam da gradual redução do conteúdo do mapa em função da redução de escala, e os processos qualitativos que tratam da transformação de formas elementares de simbolização para formas mais abstratas. O autor propõe o conceito de ponto de generalização, que indica ao cartógrafo quando deve ser feita uma mudança no método de representar uma feição. O Modelo de Morrison, apresentado em 1974, é baseado na Teoria de Conjuntos de

---

<sup>1</sup> Não necessariamente no sentido cartográfico do termo.

Kantor e utiliza explicitamente os conceitos de classificação, simplificação, simbolização e indução propostos por Robinson. O mapa produzido contém elementos de um subconjunto da realidade sensorial do cartógrafo. A aplicação deste modelo resulta num mapa que apresenta diferenças com a realidade sensorial visto que houve transformações de diferentes naturezas. A produção do mapa é vista como a aplicação de um conjunto de transformações por meio de funções dos tipos injetora, sobrejetora e bijetora. O modelo de Brassel e Weibel é considerado por MCMASTER e SHEA (1992) como o modelo conceitual de generalização cartográfica mais detalhado. Consiste de cinco processos que são: 1) reconhecimento de estrutura; 2) reconhecimento do processo; 3) modelagem do processo; 4) execução do processo; e 5) visualização dos dados. Os autores da proposição, Brassel e Weibel, consideram uma diferença de objetivos entre generalização estatística e generalização cartográfica. Na primeira são realizados processos de filtragem em que o interesse está na compressão de dados e análise estatística. Na segunda são realizadas operações que envolvem a estrutura do mapa de modo a manter a qualidade de comunicação revelada pelos dados. Nickerson e Freeman, em seu modelo, introduzem o conceito de mapa intermediário. O mapa intermediário é composto pelas feições afetadas por operações de eliminação, simplificação, combinação e por símbolos afetados de um nível de exagero. Deve ocorrer a realocação de feições e o posicionamento dos símbolos, seguidos da redução de escala e da colocação de nomes. O resultado deste conjunto de operações deve ser um mapa generalizado.

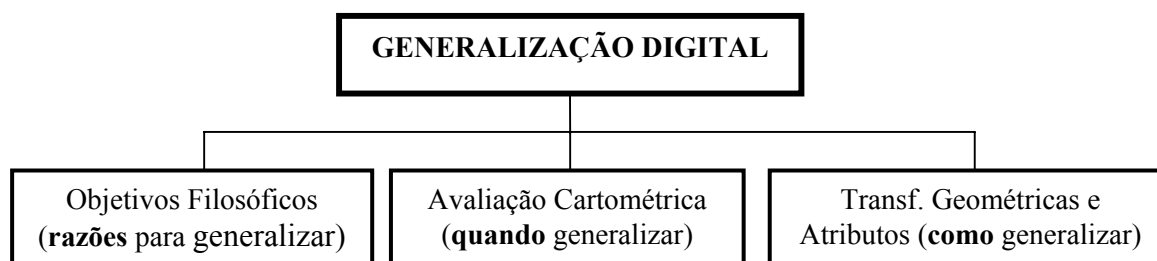
#### 2.4 MODELO CONCEITUAL DE MCMASTER E SHEA

Este modelo conceitual trata a generalização segundo três aspectos: as razões filosóficas, ou **porque** generalizar; razões de ordem cartométrica, ou **quando** generalizar; e a seleção de transformações espaciais e de atributos ou **como** generalizar. A apresentação deste modelo conceitual está de acordo com MCMASTER e SHEA (1992), (Fig. 2.1).

A apresentação deste modelo conceitual de generalização inicia-se pela apresentação das razões para se realizar a generalização. Dentre as razões que levam a generalizar estão elementos teóricos, a dependência da aplicação, e dependência

computacional. Na avaliação cartométrica são relacionadas algumas condições geométricas que são identificadas e que demandam a aplicação da generalização, medidas espaciais e medidas globais (*holísticas*) que permitem determinar a ocorrência das condições geométricas, e o controle das transformações, que é uma forma de determinar o alcance da aplicação da generalização. E por fim, trata-se de como generalizar, ou seja quais serão os operadores de generalização que deverão ser aplicados. A realização da generalização se dá pela aplicação de transformações espaciais, que operam dados geométricos, e por operações de transformação de atributos, que operam dados de atributo.

FIGURA 2.1 - ESTRUTURA DO MODELO CONCEITUAL DE MCMASTER E SHEA (1992)



FONTE: Adaptado de McMaster e Shea, 1992, p. 27

#### 2.4.1 Objetivos Filosóficos ou **razões** para Generalizar

A aplicação de generalização cartográfica deve ocorrer sem que princípios de projeto cartográfico e comunicação cartográfica sejam desrespeitados. A complexidade gráfica causada pela redução de escala deve ser reduzida, uma vez que pequenos detalhes podem não ser representáveis. A eficiência da comunicação depende da quantidade e da diversidade de elementos gráficos. Cabe ao processo de generalização cartográfica reduzir a complexidade para alcançar uma apresentação mais eficiente. A manutenção da acuracidade espacial deve ser buscada, visto que os elementos gráficos poderão sofrer deslocamentos após a redução de escala. Uma das metas da generalização é limitar o erro de deslocamento entre cada feição e sua representação generalizada.

O significado dos atributos deve ser preservado quando uma redução de escala é realizada. A acurácia de atributo é puramente numérica em natureza e envolve tanto

análise estatística quanto métodos de classificação. A manutenção da acurácia de atributo é mais relevante em mapeamento temático do que em mapeamento topográfico. A redução de escala acarreta perda da estética, e sua manutenção busca garantir eficiência na comunicação. O projeto cartográfico forma uma das bases da cartografia, e a redução de escala não pode empobrecer a qualidade estética determinada para o produto original. A hierarquia lógica pode ser prejudicada com a redução da escala, seu restabelecimento requer a aplicação da generalização. Existe uma grande parcela de subjetividade no processo de generalização que a automação do processo não é capaz de remover ou imitar. Para MCMASTER e SHEA (1992) provavelmente há mais variação nos resultados da generalização causados pela variação na seleção e aplicação de algoritmos de generalização no modo digital do que em duas versões manuais. De modo a obter generalizações consistentes e isentas de julgamento subjetivo, o cartógrafo deverá tratar três aspectos: (1) o(s) algoritmo(s) a usar; (2) sua ordem de aplicação; e (3) os parâmetros necessários para uma dada escala.

Poucos dos elementos teóricos apresentados podem ser completamente quantificados e satisfeitos com a tecnologia computacional corrente (MCMASTER e SHEA, 1992). A acuracidade espacial e de atributo podem ser mantidas pois dependem de operações analíticas, no entanto, os elementos restantes, como a qualidade estética, a manutenção de hierarquia lógica, e a aplicação consistente de regras podem ocorrer parcialmente. A razão para isso está na natureza holística e perceptual da análise que deve ser realizada para sua consecução. A utilização da teoria da informação pode ser útil na redução da complexidade, na manutenção da qualidade estética e na aplicação consistente de regras de generalização (BJORKE, 1996).

A derivação de um mapa por generalização deve levar em conta o público alvo, visto que a utilização da informação veiculada justifica a sua geração. O conteúdo do novo mapa deve satisfazer às necessidades do usuário, e os dados representados deverão ser escolhidos do conjunto de dados disponíveis, portanto pela realização de um processo de classificação e seleção. O propósito do mapa deve ser compatível com

a escala do novo mapa, pois devem ser apresentadas todas as feições de interesse do usuário. Como a escala determina o montante de informação a ser representada, existe uma dependência entre propósito e escala. Relacionado ao montante de detalhe retido após a generalização, há a Lei de Töpfer ou lei da densidade uniforme (JONES, 1997, p. 275), que envolve o número de feições tanto na escala original quanto na escala generalizada e proporciona uma medida convincente de quantas feições devem ser retidas, mas negligencia a importante seleção e distribuição de entidades específicas, e não trata a densidade local de feições. Em função da legibilidade da representação, a generalização deverá operar em seleção, estética, hierarquia, propósito e na acuidade visual do usuário. Todos estes elementos têm interferência direta sobre o produto que sofre redução de escala.

A aplicação da generalização cartográfica na Cartografia Digital tem implícita a sua dependência de elementos computacionais. A aplicação de diferentes algoritmos em situações idênticas pode levar a tempos de processamento diferentes e a qualidades de generalizações diferentes. A razão computacional está, principalmente, centrada no armazenamento de dados, visto que aumento no armazenamento implica aumento de tempo de processamento. Quanto maior o nível de detalhe de uma feição maior será o espaço requerido para o seu armazenamento, e também maior será o tempo de processamento necessário para o seu tratamento.

O desenvolvimento de sistemas de computadores tem mostrado, ao longo do tempo, que os custos de *hardware* tem baixado, a velocidade de processamento tem aumentado rapidamente, e o armazenamento tem tido a capacidade e a variedade aumentada. Apesar disso, sempre se busca maior velocidade nos processos de recuperação de dados e para as aplicações baseadas na *internet* a redução de volumes de dados para transmissão é aspecto importante.

O volume de armazenamento pode diminuir pela redução do montante de informação de coordenadas necessária para representar a entidade espacial, e pela utilização de estruturas de dados mais compactas. Nos dois casos procura-se a manutenção do máximo de informação com o mínimo de requisitos de armazenamento. Embora não seja considerado como uma componente do processo de

generalização, a redução de estruturas de dados pode afetar a seleção e a aplicação de operadores de generalização específicos.

Dentre os objetivos filosóficos, ou razões de porque generalizar, mais importantes são aqueles elementos relacionados à manutenção dos princípios da comunicação cartográfica na forma como são expressos num projeto cartográfico, à satisfação dos requisitos do usuário e aos aspectos tecnológicos de sistemas de computação que são consequência de um estágio tecnológico.

No modelo conceitual de McMaster e Shea (MCMASTER e SHEA, 1992) os aspectos relacionados à manutenção da qualidade do projeto cartográfico são associados a elementos teóricos que justificam a necessidade da aplicação de generalização. Os aspectos relacionados às necessidades do usuário do produto cartográfico derivado por generalização caracterizam os elementos da aplicação. A necessidade de redução de armazenamento e ganho em tempo de processamentos caracterizam elementos computacionais. Esta componente do modelo conceitual trata das razões da realização da generalização cartográfica quando realizada no ambiente digital (Fig. 2.2).

FIGURA 2.2 - OBJETIVOS FILOSÓFICOS OU PORQUE GENERALIZAR



Fonte: Adaptado de McMaster e Shea, 1992, p. 28

#### 2.4.2 Avaliação Cartométrica ou **quando** Generalizar

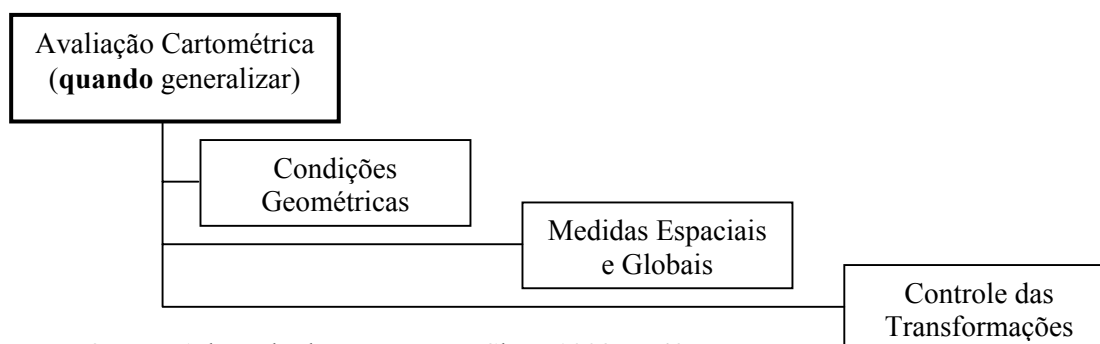
A avaliação cartométrica engloba todos os procedimentos em que se busca determinar a existência das condições causadas pela mudança de escala que demandam a realização da generalização. Toda mudança de escala, que produza como

resultado uma modificação na comunicação cartográfica estabelecida no projeto original para o qual os dados foram coletados, requer a aplicação da generalização.

A avaliação cartométrica consiste de três pontos distintos: (1) as condições geométricas sob as quais os procedimentos de generalização devem ser invocados; (2) as medidas espaciais e globais (*holísticas*) sob as quais aquelas determinações foram feitas; e (3) os controles das transformações das técnicas de generalização empregadas para acompanhar as mudanças (Fig. 2.3).

As condições geométricas detectadas nos dados são definidas como seis situações diferentes. Estas condições são o congestionamento, a coalescência, o conflito, a complicação, a inconsistência, e a imperceptibilidade. Estas denominações identificam situações geométricas originadas do fato de se reduzir a escala de apresentação dos dados. Cada uma destas situações detectadas deve desencadear a aplicação de um ou mais operadores de generalização.

FIGURA 2.3 - AVALIAÇÃO CARTOMÉTRICA OU QUANDO GENERALIZAR



FONTE: Adaptado de McMaster e Shea, 1992, p. 43

A identificação ou a detecção da ocorrência das condições geométricas pode ser alcançada pela aplicação de procedimentos de medidas espaciais e globais (*holísticas*). A finalidade destas medidas é proporcionar a quantificação de alguma grandeza que permita a identificação daquelas condições geométricas. O que se pode realizar são medidas que permitam determinar inter e intra relacionamentos. Os relacionamentos podem envolver mais de uma feição ou podem ser detectados entre feições do mesmo tipo. Segundo os autores, as medidas propostas ou relacionadas em seu modelo conceitual não formam o conjunto definitivo de medidas possíveis sobre dados, mas servem como início para a discussão de tais avaliações.

MCMASTER e SHEA (1992) propõem e discutem as seguintes medidas: *de densidade; de distribuição; de comprimento e sinuosidade; de forma; de distância; Gestalt; e abstratas*. São propostas como formas de avaliar as medidas espaciais e globais. A forma de avaliar as medidas espaciais e globais (*holísticas*) deve ser implementada de tal modo que sirvam de base para a tomada de decisão acerca da seqüência de operadores de generalização a aplicar. A avaliação das medidas *Gestalt* e *holísticas* é uma questão complexa pelo fato de que tratam de aspectos subjetivos relacionados à percepção.

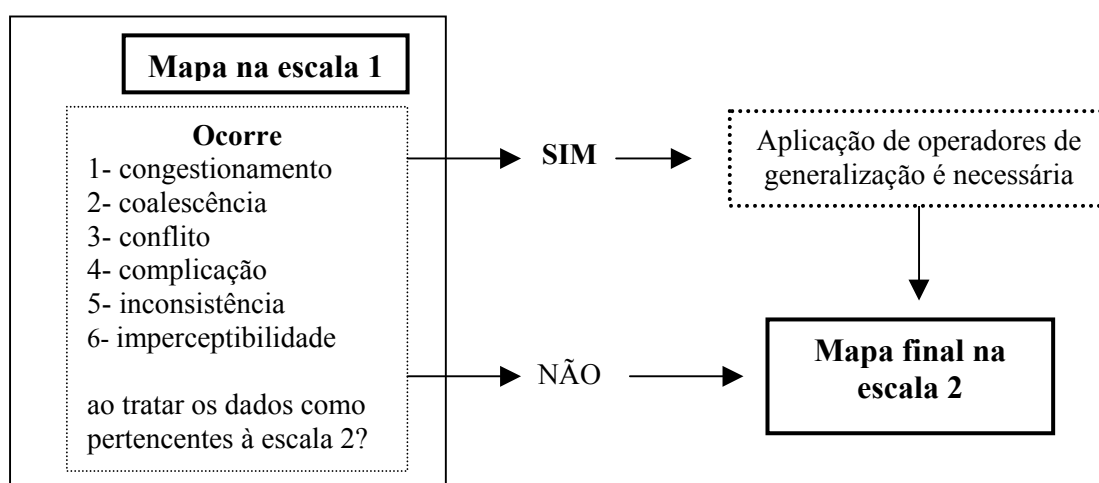
A generalização propriamente dita é realizada por meio da aplicação de operadores cuja responsabilidade é realizar transformações. Controlar a transformação significa: selecionar o operador; selecionar o algoritmo; e determinar valores para os parâmetros. Os operadores são separados em duas categorias, conforme o tipo de dados que tratam, e podem atuar em dados de geometria ou em dados de atributo. Segundo MCMASTER e SHEA (1992), a ordem em que os operadores de generalização são aplicados para se chegar a uma generalização não tendenciosa se torna tão crítica quanto a seleção dos algoritmos usados por aqueles operadores. Os parâmetros de entrada necessários para alcançar um determinado resultado em uma dada escala desempenham importante função nas transformações de generalização.

A pesquisa atual em generalização busca a automatização do processo, desse modo a seleção de operadores deve ser modelada de forma que as transformações sejam realizadas com isenção. No entanto, autores como JONES (1997), KRAAK e ORMELING (1998), dentre outros, chamam a atenção para o aspecto altamente subjetivo da atividade. A realização da seleção de operadores de generalização deve considerar a importância das feições individuais, e isto quer dizer propósito do mapa, a complexidade do relacionamento entre feições, a presença e a influência resultante da desordem do mapa sobre a eficiência de sua comunicação, a necessidade de variar o montante, tipo, e a ordem da generalização em diferentes feições, e a disponibilidade e robustez dos operadores de generalização e de algoritmos computacionais (MCMASTER e SHEA, 1992).

A seleção do parâmetro de entrada (tolerância) provavelmente resulta em mais variação no resultado final da generalização do que os operadores e algoritmos de generalização em si (MCMASTER e SHEA, 1992). Além de orientações muito básicas sobre a seleção de pesos para rotinas de suavização e derivação de linhas simplificadas, não existem trabalhos empíricos para outras rotinas de generalização. Uma exceção recente a isso, segundo McMaster e Shea (MCMASTER e SHEA 1992), são os trabalhos de BUTTENFIELD (1991)<sup>2</sup>, (1986)<sup>3</sup> e (1985)<sup>4</sup>, que estão direcionados para a quantificação de informação contida em linhas digitalizadas.

A detecção da existência das condições geométricas indica que deve ser realizada a generalização cartográfica. O conjunto de medidas espaciais e de conjunto deve ser capaz de detectar estas condições. A generalização propriamente dita ocorre pela aplicação de operadores expressos em forma de algoritmos computacionais (Fig. 2.4).

FIGURA 2.4 - CONDIÇÕES GEOMÉTRICAS QUE DEMANDAM GENERALIZAÇÃO



### 2.4.3 Transformações Espaciais e de Atributos ou *como* Generalizar

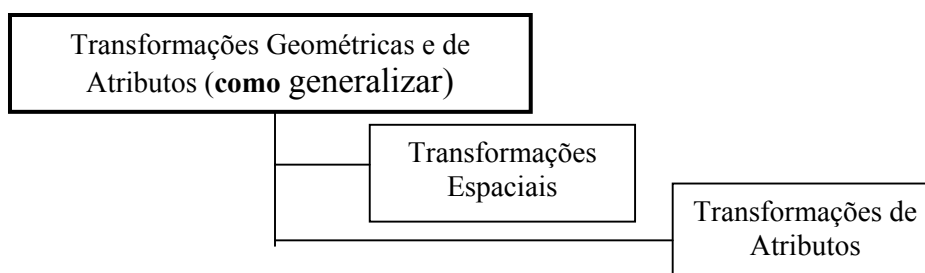
A última parte do modelo conceitual de generalização trata das operações de modificação dos dados. As modificações são denominadas transformações a que os

<sup>2</sup> BUTTENFIELD, B. P. 1991, A Rule for Describing Line Feature Geometry, in *Map Generalization : Making Rules for Knowledge Representation*, ed. B.P. Buttenfield and R.B. McMaster, 150-171. London: Longman, Ltd.

<sup>3</sup> BUTTENFIELD, B.P. 1986. Digital Definitions of Scale-Dependent Line Structure. *Proceedings, Auto-Carto London*, London, England. London: Auto-Carto London, 1:497-506.

dados são submetidos para produzir novos dados apropriados para a nova escala. Estas transformações espaciais e de atributos são a componente **como** da generalização. As modificações são executadas por algoritmos que são a realização de conceitos de operadores de generalização. Estes operadores de generalização são versões computacionais dos procedimentos da generalização manual. Existem operadores para tratar dados geométricos e operadores para tratar dados de atributos. Há situações em que estes operadores são tratados de forma isolada e há situações em que os operadores devem necessariamente ser tratados considerando a existência de alguma interdependência em sua aplicação pela natureza dos dados e relacionamentos existentes (MCMMASTER e SHEA,1992).

FIGURA 2.5 - TRANSFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS E DE ATRIBUTOS OU **COMO** GENERALIZAR



FONTE: Adaptado de McMaster e Shea, 1992, p.55

Na generalização cartográfica digital inicia-se pela seleção de objetos e atributos da base de dados que existirão na nova representação. Apesar de não ser considerada como processo de generalização, a seleção deve necessariamente ocorrer como um tipo de pré processamento necessário para as transformações espaciais e de atributo. Antes que os objetos geográficos ou seus atributos estatísticos possam ser manipulados pelos operadores de generalização, deve ser tomada uma decisão acerca de sua inclusão ou exclusão do mapa final generalizado.

Do ponto de vista de operadores a generalização geográfica, isto é a parte da generalização que trata de dados espaciais, envolve a manipulação geométrica da informação espacial do objeto, seja ele representado no formato vetorial ou no formato matricial. A generalização estatística envolve os processos de classificação e/ou

---

<sup>4</sup> BUTTENFIELD, B.P. 1985. Treatment of the Cartographic Line. *Cartographica*, 22(2):1-26.

simbolização. Por exemplo, a agregação de cinquenta feições pontuais pode requerer um ajustamento à classificação e simbolização existente, para a criação de uma área com um padrão de preenchimento. De forma alternativa, a classificação de três polígonos adjacentes numa mesma categoria pode resultar na eliminação de limites.

Existem dez transformações espaciais que controlam a modificação gráfica das feições cartográficas representadas. Segundo MCMASTER e SHEA (1992), estas transformações são realizadas por meio de algoritmos de simplificação, suavização, agregação, amalgamação, intercalação ou mesclagem, colapso, refinamento, exagero, realce, e deslocamento. A ação destes operadores depende de uma ordem de aplicação e da determinação de valores de tolerância.

Os atributos sofrem generalização pela aplicação das transformações de classificação e de simbolização. Na *classificação* procura-se o agrupamento de objetos em categorias de feições que compartilham atributos idênticos ou similares. Pela impossibilidade de simbolizar e mapear cada valor individual de uma distribuição invoca-se o processo de classificação. A classificação normalmente é utilizada com propósitos específicos, baseando-se no propósito do mapa. A proximidade entre valores de dados ou a proximidade semântica admitem a aplicação da classificação. A classificação automática requer uma base de dados que contenha a representação do conhecimento (MCMASTER, 1991).

A transformação de *simbolização* atua sobre o modo como os tipos de marcas gráficas ou símbolos cartográficos são usados para representar as feições da base de dados. As decisões tomadas acerca da simbolização é crítica para o mapa uma vez que o resultado final, a visualização, é dependente da simbolização. De modo a representar as feições do mundo real em um mapa, e associar significado àquelas representações, a apresentação gráfica das feições é sistematicamente ajustada por meio de mudanças nos elementos gráficos primários de *tom, valor, tamanho, forma, espaçamento, orientação e localização* (ROBINSON *et al.* 1984), citado por MCMASTER e SHEA (1992).

A transformação de simbolização consiste de um processo de dois níveis: mudança na escala de medida do conjunto de dados original; ou mudança do tipo de

dados. Escala de medida é o modo como, classicamente (KEATES, 1989; ROBINSON, 1984), estão organizadas as medidas dos objetos do mundo real: *nominal*, *ordinal*, *intervalar* e *razão*. A consideração de que uma medida de um fenômeno pertence à escala de medida *nominal* indica que somente um nome basta para identificá-lo, e que este fenômeno pertence a uma classe ou grupo, e reflete somente diferenças qualitativas. Da mesma forma, as escalas *ordinais* posicionam fenômenos numa escala de valores que refletem apenas diferenças em ordem. Nas escalas de *intervalos*, os fenômenos são valorados não somente em termos de alguma propriedade, mas também as diferenças ou intervalos numéricos, em termos daquela propriedade, são conhecidos. E nas escalas de *razão*, os fenômenos possuem origem natural para seus valores a partir da qual os dados podem ser comparados.

A generalização das escalas de medida ocorre segundo a consideração de que uma medida nominal é a mais geral e que uma medida de razão é mais específica, isto é, contém mais informação (Fig. 2.6). Uma medida de razão pode ser generalizada para uma das três medidas restantes. Para o caso de uma medida de intervalo só existem duas possibilidades, ser generalizada para medida ordinal ou medida nominal. E por fim, uma medida ordinal pode somente ser generalizada para uma medida nominal. A generalização no sentido oposto não é possível.

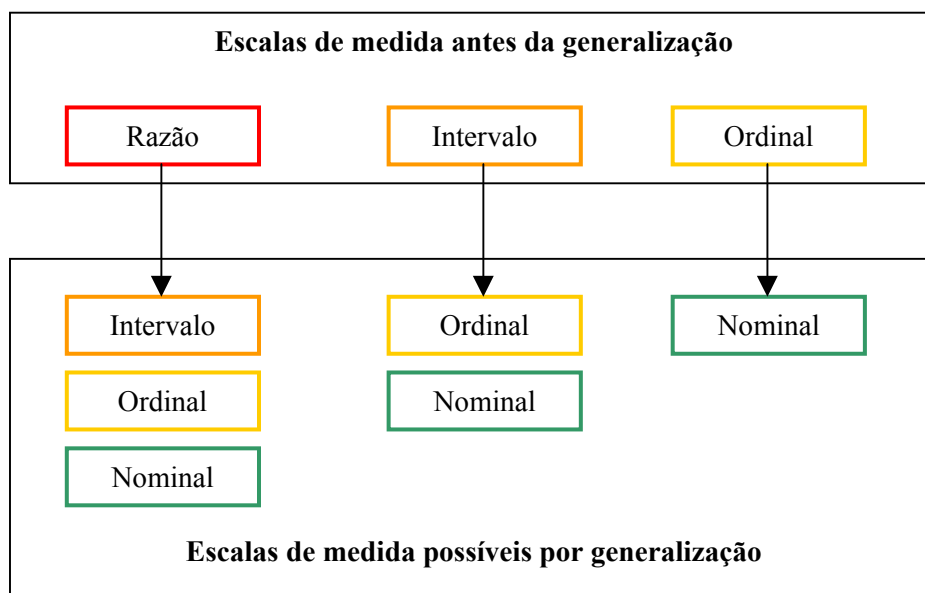
A mudança na dimensionalidade entre a feição e sua representação permite ao cartógrafo generalizar feições do mapa (MUEHRCKE (1986)<sup>5</sup>, citado em MCMASTER e SHEA (1992)). Como os dados existentes em uma base de dados podem estar numa das quatro categorias geométricas básicas (pontual, linear, areal ou volumétrica), as suas representações no mapa podem estar numa das quatro formas simbólicas (ponto, linha, área ou volume). Portanto, na generalização por simbolização pode acontecer mudança de escala de medida ou mudança de tipo de dado, ou ambos. Este processo de simbolização acontece durante o projeto cartográfico em que cada um destes dois elementos é avaliado. Para ROBINSON (1984), a generalização que também acontece durante o projeto cartográfico é vital para o sucesso do mapa, e que

---

<sup>5</sup> MUEHRCKE, P.C. 1986. Map Use: Reading, Analysis, and Interpretation. 2 Ed. Madison: JP Publications.

em presença de mudança de escala a condição de comunicabilidade do mapa original deve ser restabelecida ou adequada à nova demanda.

FIGURA 2.6 - GENERALIZAÇÃO DE ESCALAS DE MEDIDA



MCMASTER e SHEA (1992), resumem as características das transformações geométricas e de atributos em termos de tipo de feição sobre a qual atuam, que tipo de modificação executam, se ocorre mudança de dimensão ou mudança de simbologia. Um operador de simplificação, por exemplo, pode ser aplicado a elementos lineares, a elementos de área e a elementos de volume. O resultado dessa transformação não altera a simbologia, preserva a dimensão, pode depender de outros operadores de generalização, pode resultar em mudança de escala de medida e pode resultar em mudança de tipo de dado. Um operador de mescla, por exemplo, é aplicado a elementos lineares e pode resultar em mudança de simbologia, não acarreta mudança na dimensão e não tem dependência de outros operadores, porém pode acarretar mudança na escala de medida e mudança de tipo de dado.

## 2.5 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA AUTOMATIZADA E A TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO

Diante das considerações realizadas por MCMASTER e SHEA (1992), a automatização do processo de generalização se mostra uma tarefa de extrema complexidade, como atestado por JONES, (1997) e KRAAK e ORMELING (1998). A identificação das condições geométricas que demandam a realização da generalização é algumas vezes subjetiva, requer conhecimento não presente na base de dados, e com isso requer a interferência do cartógrafo. Além disso, a realização das medidas para a definição de operadores e de valores de parâmetros para estes operadores é uma tarefa significativa e decisiva para o resultado da generalização.

O relacionamento entre a generalização cartográfica e a TMC, está na capacidade desta teoria em tratar informação num sistema de comunicação. O relacionamento entre Cartografia e TMC é mostrado por BJORKE (1996), e aplicado a problemas de generalização por FIRKOWSKI (2001). A abordagem de TMC e seu relacionamento com cartografia, especificamente no relacionamento com projeto cartográfico, é tomada como referência na proposição da presente Tese. Em sistemas de comunicação busca-se determinar qual é o montante de informação recebida, a partir do conhecimento do montante de informação transmitida. O montante de informação recebida é avaliado em termos da certeza ou incerteza do significado que se pode extrair dela. Nos termos da Cartografia pode-se dizer que uma representação cartográfica é a portadora da informação e o usuário é o alvo da transmissão e, portanto, sofre uma impressão acerca do conteúdo daquela representação. A realização de uma representação cartográfica está baseada em um projeto cartográfico, e a variação em parâmetros do projeto cartográfico implica modificações na eficiência do sistema de comunicação, ou na comunicação propriamente dita.