

Estendendo o Modelo Espaço-Relacional para o Geoprocessamento

Marcelo Eduardo Giacaglia

Junho de 2021

Níveis de abstração de informações e dados

A modelagem de informações e dados em seus diferentes níveis de abstração, ainda que não padronizada em linguagem e termos, está posta já há algum tempo.

Uma das primeiras iniciativas resultou na especificação ANSI/X3/SPARC (1975), de arquitetura de SGBD de três níveis, cada qual com seu respectivo esquema de banco de dados.

- Interno diz respeito a como os dados estão fisicamente armazenados no hardware e nos bancos de dados de um sistema. O esquema nesse nível é altamente dependente do hardware.
- Conceitual descreve quais dados estão armazenados no banco de dados e quais as suas interrelações, em sua totalidade. Isso, de forma independente de como estão fisicamente armazenados. Apenas os gestores do banco de dados têm acesso a esse esquema.
- Externo, ou Vistas de Usuários, corresponde à parte do banco de dados relevante a cada usuário e a que ele pode ter acesso.

Os esquemas dos níveis conceitual e externos seriam independentes de software, mas eram dependentes do modelo de banco de dados do SGBD da sua efetiva operacionalização.

Chen (1976) propôs um modelo intitulado “entes-relacionamentos” (E-R) que unificava os principais modelos de bancos de dados da época: relacional, hierárquico e rede, assim como de meios para sua conversão para cada um deles.

Setzer (1986) propôs cinco níveis associados ao grau de abstração de um processo de modelagem das informações e dados.

- Do mundo real, não diretamente formalizável;
- Informações Informais e os correspondentes modelos descritivos, “caracterizado por relatórios escritos em linguagem natural (Português, Inglês, etc.)”.
- Informações formais e os correspondentes modelos conceituais, dentre eles, o modelo E-R de Chen (1976);

- Operacional, de dados, e os correspondentes modelos operacionais, que, para Setzer (1989, p.9), corresponde aos níveis Conceitual e Externo da especificação ANSI/X3/SPARC (1975);
- Interno, dos bits e bytes, e os correspondentes modelos internos, que corresponde ao nível Interno da especificação ANSI/X3/SPARC (1975);

No nível das Informações formais, o modelo mais difundido é o E-R de Chen (1976), mas, que vem sendo gradualmente suplantado, a partir do milênio 2000, pela Linguagem Unificada de Modelagem – UML (BOOCH, RUMBAUGH & JACOBSON, 1999; RUMBAUGH, BOOCH & JACOBSON, 1999).

Setzer (1989, p. 6) observou que “os sistemas de computação estão sendo produzidos em nível cada vez mais alto do ponto de vista do usuário, isto é, este está precisando conhecer cada vez menos os detalhes da computação para poder especificar seus problemas e seus dados”. A iteração com o computador passaria, em algum momento no futuro, do “programês” (especificação de como resolver um problema) para o “analistês” (especificação do problema que se quer resolver).

Para Setzer, a principal barreira para a comunicação em níveis menos abstratos de linguagem é a eficiência dos sistemas especificados dessa forma, dada as possibilidades de reconhecimento das especificações dadas no nível descritivo (sintaxe) ou mesmo conceitual (semântica). Para o autor, com a progressiva capacidade de processamento de especificações dos usuários otimizando as estruturas de dados e o código gerado, “a principal vantagem de se usar o nível operacional está começando a desaparecer”, assim como a comunicação no nível operacional substituiu a que era feita no nível interno, nos primórdios da computação.

Quando foi introduzida a linguagem de programação COBOL em 1959, houveram críticas quanto a eficiência dos programas convertidos da linguagem escrita no nível operacional para a codificação exigida para execução pelo computador. O COBOL – *Common Business Oriented Language*, como indica o nome, havia sido desenvolvida para aplicações de negócios. A contra argumentação era a diferença entre o tempo que seria necessário para escrever aplicações complexas, como um sistema de folha de pagamento, em COBOL, versus em linguagem de máquina. Além disso, um mesmo programa, escrito em COBOL, poderia ser compilado para máquinas diferentes, com poucas alterações, desde que existissem os correspondentes compiladores.

A distinção entre os níveis das informações formais e operacional está na dependência deste último do modelo de banco de dados escolhido. Embley (1999, p.7) propôs um modelo conceitual que, com alguma ajuda do usuário (desenvolvedor), pode converter uma especificação convertida em modelo operacional.

Embley (1999, p. 9) aponta a diferença entre seu Modelo de Sistemas Orientados-a-Objetos – OSM e outras abordagens, inclusive orientadas-a-objetos, em que os objetos

não se baseiam em abstração de tipos de dados, seus estados não se baseiam em atributos de instâncias, e o comportamento dos objetos e interação entre eles não são definidos em termos de operações (métodos e mensagens).

Tabela 1 – correspondência entre alguns modelos conceituais

OSM	UML	E-R
Classes e objetos	Classes e objetos	Entes e instâncias
	Atributos	Atributos
	Operações	-
Relacionamentos	Relacionamentos	Relacionamentos

O modelo E-R de Chen (1976) define classes de entes e seus atributos, assim como os relacionamentos entre instâncias definidos para as classes correspondentes. Também inclui o particionamento de classes de entidades (SETZER, 1989 p.47). Falta ao modelo a descrição do comportamento dos entes (COAD & YOURDON, 1991 p.28).

A UML define classes de objetos, seus atributos e operações, relacionamentos de associação, generalização, dependência e agregação (ERIKSSON et al, 2004). A Tabela 1 ilustra a correspondência entre elementos dos modelos OSM, UML e E-R.

Para Embley (1999 p. 9), os modelos que fazem a distinção entre objetos, atributos e métodos se aproximam do nível operacional, da etapa do projeto do sistema. Para o autor, a modelagem do mundo “tal qual ele é”, em termos de objetos e relacionamentos apenas, corresponde ao nível conceitual, da etapa de análise do sistema.

Modelos de Dados Geo-espaciais

No que se refere especificamente a dados geo-espaciais, Davis et al (2002) define três níveis de abstração e Câmara (2005 p. 5) define quatro universos de representação, à semelhança dos níveis de abstração de dados de Setzer (1986), conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo de termos para os níveis de abstrações de informações e dados espaciais

Universos Câmara (2005)	Níveis de abstração Davis et al (2002)	Níveis de abstração Setzer (1986)
Ontológico	-	Informações Informais
Formal	Conceitual	Informações Formais
Estrutural	Apresentação	Operacional
Implementação	Implementação	Interno

Dentre as várias possibilidades de modelos de dados espaciais, associados ao Universo Formal (CÂMARA, 2005), pode-se citar o OMT-G (DAVIS et al, 2002) e o Geo OMT (BORGES e DAVIS, 2005), baseados no modelo OMT (RUMBAUGH et al, 1991) e o UML GeoFrame (LISBOA FILHO, 2001), baseado na notação para classes e objetos da UML, também baseada no OMT. Ambas consistem essencialmente da classificação dos fenômenos espaciais quanto à sua natureza (Objeto ou Campo) e do acréscimo de estereótipos de representação espacial.

No caso do Universo Estrutural (CÂMARA 2005), Lisboa Filho (2001) apresenta proposta de modelo Espaço-Relacional. Neste modelo, os dados geográficos são representados na forma de camadas de informação enquanto que os dados não geográficos são representados por meio de tabelas do modelo Relacional (CODD, 1970).

Ocorre que o modelo Espaço-Relacional proposto por Lisboa Filho (2001) não trata do geoprocessamento em si, objeto deste texto.

Proposta de extensão ao modelo espaço-relacional para o Geoprocessamento

O geoprocessamento, pela sua própria natureza e finalidade, envolve a integração de dados de origens e estruturas diversas. O processamento desses dados para sua integração consome parte significativa dos recursos, se comparada a estrutura intencionada para a operação de um SIG ou análises realizadas em pesquisa acadêmica. Propõe-se que tal processamento se beneficie da modelagem no nível operacional.

Como ocorre em muitas atividades, especialmente as complexas, inclusive as que envolvem extenso trabalho, o planejamento desses trabalhos é essencial à sua eficaz e eficiente conclusão e a elaboração de um modelo descritivo das operações de geoprocessamento atende esta finalidade e também de sua documentação.

A proposta é inspirada nas árvores de expressões definidas para o modelo de dados relacional (GARCIA-MOLINA et al, p. 47), em especial para descrever a otimização de consultas (p. 759).

Trata-se de uma forma de representação gráfica da álgebra relacional, aproveitando seus elementos: tabelas (com suas colunas e linhas), funções aplicadas às colunas, e os operadores: restrict (σ), project (π), inner join (\bowtie), e outer joins (\ltimes e \rtimes). Os parênteses das expressões em álgebra relacional são substituídos por ligações indicativas de quais operações precedem quais outras.

Em geoprocessamento, por outro lado, há inúmeros operadores, dada a variedade e complexidade dos tipos de dados para representar fenômenos geográficos. As operações não se limitam a cada tipo de dado, mas também às diversas associações entre esses tipos de dados, e a variedade de conversões entre eles.

Ainda que não se tenha conseguido ou mesmo se almeje uma linguagem que garanta o fechamento de toda e qualquer forma de geoprocessamento, pode-se propor uma notação para as mais comuns, que se espera encontrar em qualquer software SIG.

Para cada operação descrita, é elaborado um diagrama de dados espaciais com os elementos do modelo espaço-relacional (LISBOA FILHO, 2001) e a notação de árvore de expressões (GARCIA-MOLINA et al, p. 47).

O desenvolvimento de um SIG, entendido como um software do tipo sistema de informação, para usuário final, ou seja, especialistas na aplicação e não em geoprocessamento. Cowen (1988, p. 1555), conclui que um SIG é melhor definido como “um sistema de suporte a decisões que envolve a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente de solução de problemas” [tradução Nossa]¹. Tal desenvolvimento inclui a definição de um modelo conceitual do Universo Formal. A modelagem conceitual precede a modelagem operacional. Também no caso de um projeto acadêmico que envolva geoprocessamento, há de se definir um modelo conceitual antes do operacional.

Mas a modelagem conceitual não se aplicaria ao dados nas suas formas originais ou ao processamento requerido para adequar e integrar esses dados à estrutura e formas requeridas para análises ou operação de um SIG, apenas a forma final idealizada.

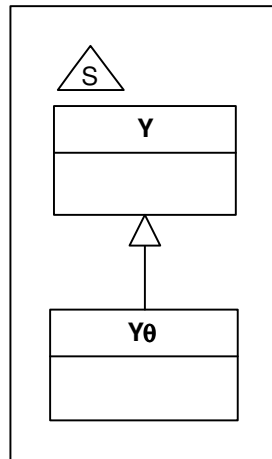
Ainda assim, por questão didática, cada processo apresentado a seguir na forma de uma árvore de processos, como extensão da linguagem usada em modelos espaço-relacional, é precedido de uma representação nos moldes da UML Geoframe / OMT-G / Geo OMT.

Também cabe ressaltar que as operações descritas a seguir se aplicam apenas à formas de representação vetorial, mormente pontos, linhas e polígonos.

¹ Do original, em inglês, “I conclude that a GIS is best defined as a decision support system involving the integration of spatially referenced data in a problem-solving environment”.

1 Consulta por Atributo

Figura 1a – Associação generalização-especialização entre Y e Y_θ

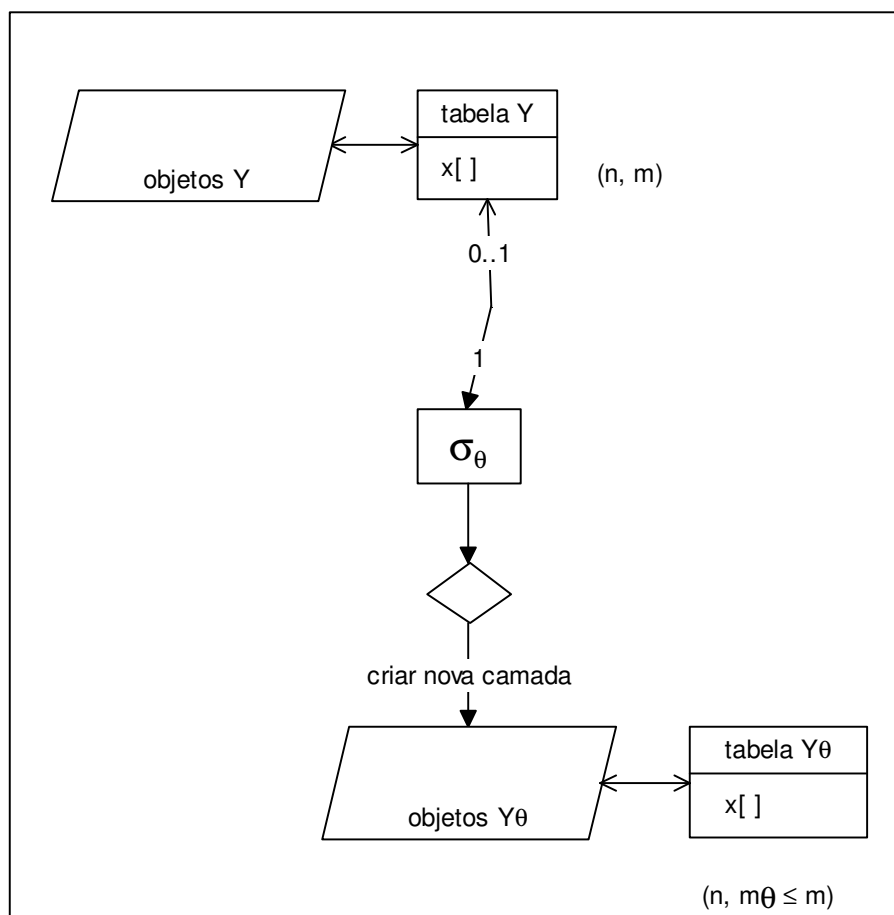


A Consulta por atributo, consiste da filtragem de dados que satisfazem um predicado (condição) representado por θ . Y_θ é subconjunto de Y , representado na Figura 1a como uma associação do tipo generalização-especialização – uma instância de Y_θ é instância de Y que satisfaz o predicado θ . No modelo UML Geoframe, o triângulo com a letra S indica que a classe Y possui estereótipo indicativo de objeto espacial.

Na passagem do Universo Formal para o Estrutural, a classe Y é representada pela camada (*layer*) de dados espaciais Y associada a uma tabela Y com conjunto $X[]$ de atributos, conforme indicado na Figura 1b. As setas abertas indicam que cada objeto espacial da camada está associado a uma linha da tabela, e vice-versa.

A operação de filtragem, representada por σ_θ é similar ao operador relacional *restrict* que seria usado em banco de dados relacional convencional (não espacial). A operação indicada por σ_θ tem como entrada de dados a tabela Y e resulta em uma lista dos elementos (linhas) da tabela Y que satisfazem o predicado θ . Esta lista é representada pela seta aberta enquanto que os dados de entrada processados na consulta são representados pela seta cheia. A cardinalidade das setas é opcional e indica que todo elemento da lista dada por σ_θ tem correspondência com uma linha da tabela Y , e que uma linha da tabela Y pode estar (1) ou não (0) na lista dada por σ_θ .

Figura 1b – Consulta por atributo com opção de criar nova camada

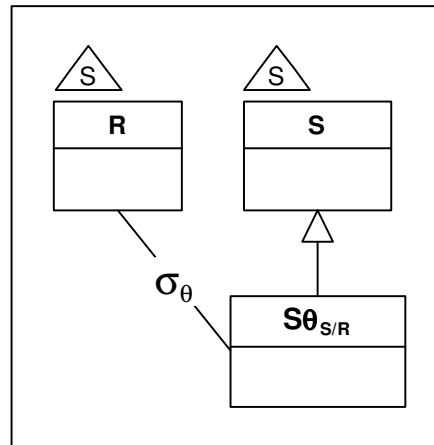


A Figura 1b indica ainda a opção de se criar novos dados a partir do resultado da consulta, no caso uma camada de dados e tabela, com a designação Y_θ . A tabela Y_θ contém os mesmos atributos da tabela Y (designados por n), mas número de linhas (m_θ) é menor ou igual às da tabela Y (m). No planejamento de operações de geoprocessamento e sua posterior documentação, o diagrama não deve conter o losango representativo da opção, se ela for executada, e, se não for executada, esses elementos (a partir da operação σ_θ) não devem ser indicados.

Na Figura 1b o processo σ_θ é o correspondente da classe Y_θ da Figura 1a, por apontar as instâncias de Y que satisfazem o predicado. Já a nova camada-relação Y_θ da Figura 1b “perde” esse vínculo explícito com a camada-relação Y .

2 Consulta Espacial

Figura 2a - $S_{\theta_{S/R}}$ é subclasse de S

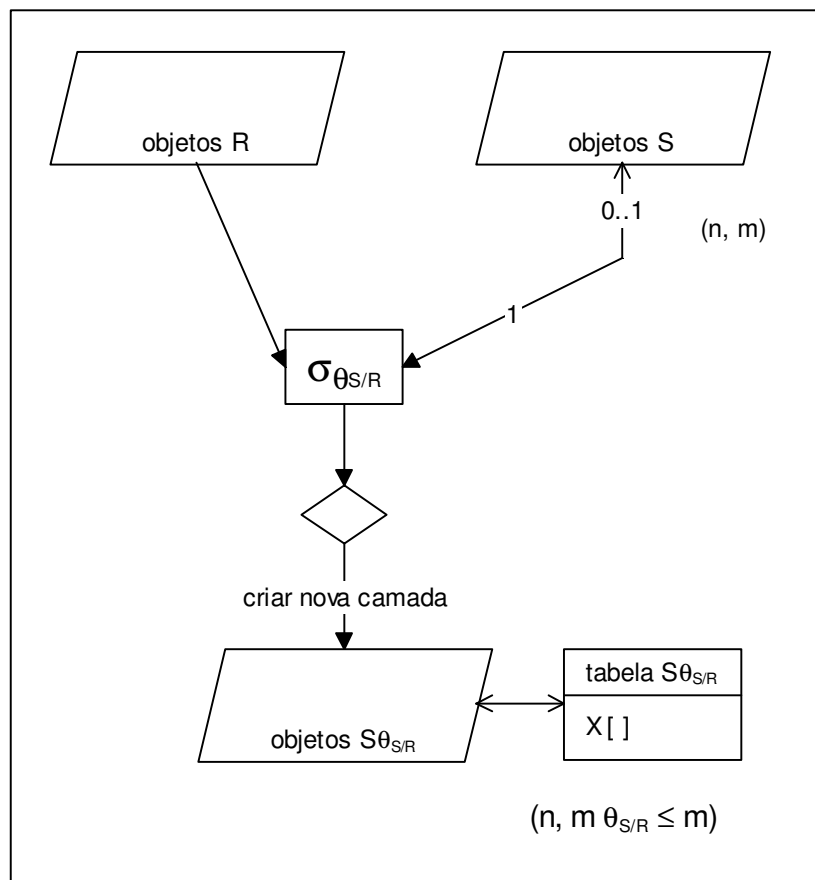


A Consulta Espacial, consiste da filtragem de dados que satisfazem um predicado espacial representado por $\theta_{S/R}$. A Figura 2a indica que $S_{\theta_{S/R}}$ é subconjunto de S. A associação entre S e $S_{\theta_{S/R}}$ é do tipo generalização/especialização – todo elemento de $S_{\theta_{S/R}}$ existe em S. O relacionamento $\sigma_{\theta_{S/R}}$ entre R e $S_{\theta_{S/R}}$ está indicado sem as cardinalidades. Os triângulos com a letra S indicam que as classes R e S possuem estereótipo indicativo de objeto espacial.

Na passagem do Universo Formal para o Estrutural, as classes R e S são representadas pelas respectivas camadas (*layers*) de dados espaciais R e S. Na Figura 2b, cada camada está associada a uma tabela, mas essa representação foi omitida, pois essas tabelas não participam diretamente do processo.

A operação indicada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$ tem como entrada de dados as camadas R e S e resulta em uma lista dos objetos da camada S que satisfazem o predicado $\theta_{S/R}$. Esta lista é representada pela seta aberta enquanto que os dados de entrada processados na consulta são representados por setas cheias. A cardinalidade das setas é opcional e indica que todo elemento da lista dada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$ tem correspondência com uma linha da camada S, e que um objeto da camada S pode estar (1) ou não (0) na lista dada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$.

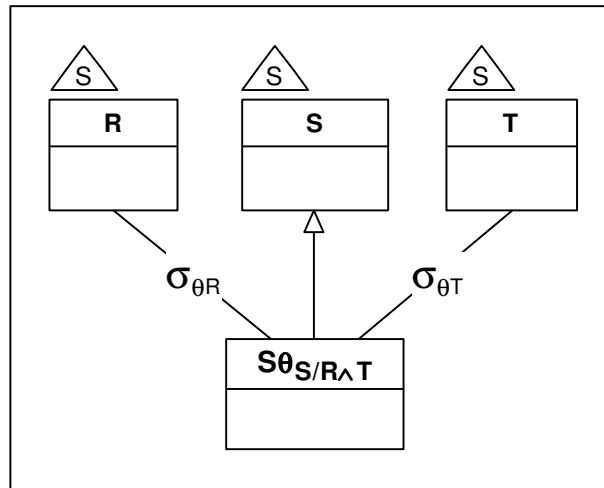
Figura 2b – Consulta espacial com opção de criar nova camada



A Figura 2b indica ainda a opção de se criar novos dados a partir do resultado da consulta, no caso uma camada de dados e tabela, com a designação $S_{\theta_{S/R}}$. A tabela $S_{\theta_{S/R}}$ contém os mesmos atributos da tabela S (designados por n), mas número de linhas (m_{θ}) é menor ou igual às da tabela S (m). No planejamento de operações de geoprocessamento e sua posterior documentação, o diagrama não deve conter o losango representativo da opção, se ela for executada, e, se não for executada, esses elementos (a partir da operação $\sigma_{\theta_{S/R}}$) não devem ser indicados.

3 Consulta Espacial com filtragem adicional

Figura 3a - $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ é subclasse de S



A Consulta Espacial, consiste da filtragem de dados que satisfazem um predicado espacial representado por $\theta_{S/R \wedge T}$. A Figura 2a indica que $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ é subconjunto de S. A associação entre S e $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ é do tipo generalização/especialização – todo elemento de $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ existe em S.

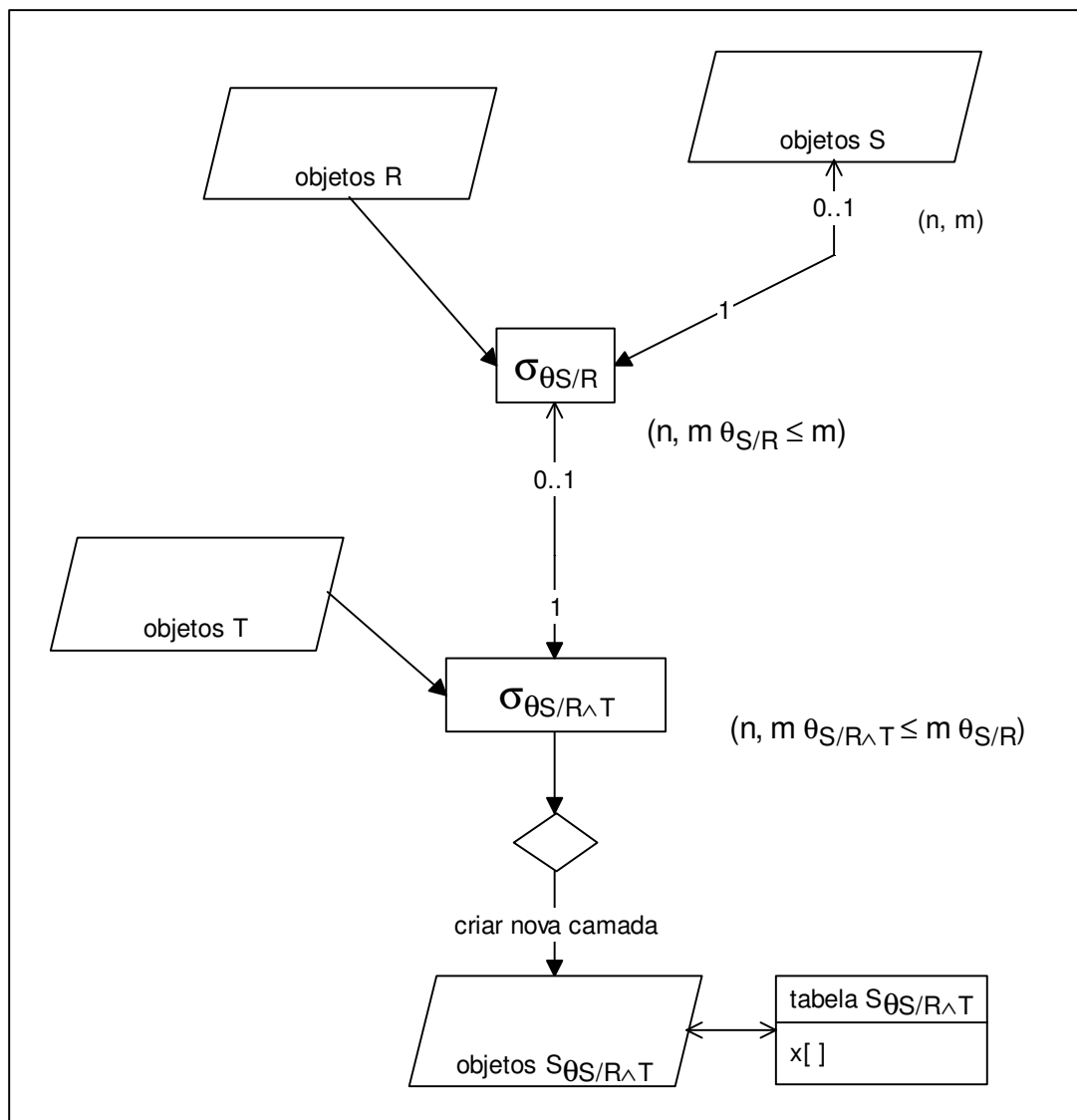
Os relacionamentos $\sigma_{\theta_{S/R}}$ e $\sigma_{\theta_{S/T}}$ entre $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ e, respectivamente, R e T, estão indicados sem as cardinalidades, mas pode-se acrescentar que qualquer instância de $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ está necessariamente associada a, ao menos, uma instância de R e a, ao menos, uma instância de T.

Na passagem do Universo Formal para o Estrutural, as classes R, S e T são representadas pelas respectivas camadas (*layers*) de dados espaciais R, S e T. Na Figura 3b, cada camada está associada a uma tabela, mas essa representação foi omitida, pois essas tabelas não participam diretamente do processo.

A operação indicada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$ tem como entrada de dados as camadas R, S e resulta em uma lista dos objetos da camada S que satisfazem o predicado $\theta_{S/R}$. Esta lista é representada pela seta aberta enquanto que os dados de entrada processados na consulta são representados por setas cheias. A cardinalidade das setas é opcional e indica que todo elemento da lista dada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$ tem correspondência com uma linha da camada S, e que um objeto da camada S pode estar (1) ou não (0) na lista dada por $\sigma_{\theta_{S/R}}$.

A segunda operação $\sigma_{\theta_{S/R \wedge T}}$ se dá sobre o subconjunto $S_{\theta_{S/R}}$, representado apenas pela seta aberta que aponta para S, e a camada T, e tem como resultado uma lista dos objetos da camada S.

Figura 3b – Consulta espacial com filtragem adicional e opção de criar nova camada

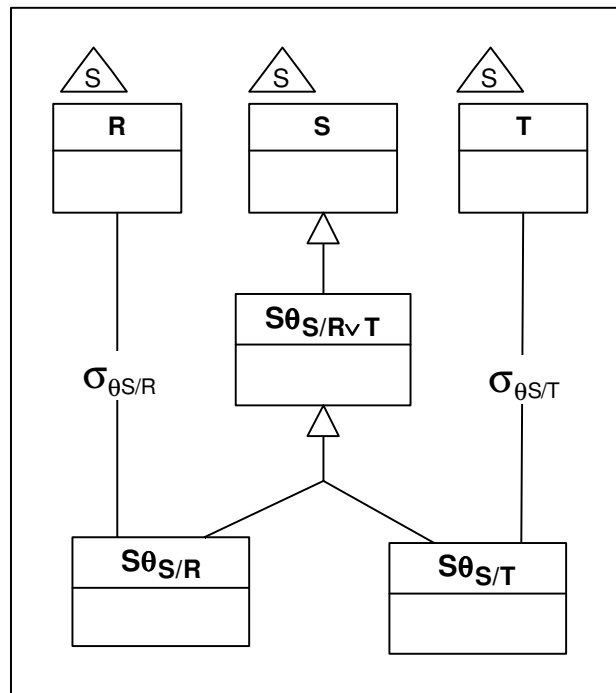


A Figura 3b indica ainda a opção de se criar novos dados a partir do resultado das consultas encadeadas, no caso uma camada de dados e tabela, com a designação $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$. A tabela $S_{\theta_{S/R \wedge T}}$ contém os mesmos atributos da tabela S (designados por n), mas número de linhas ($m_{\theta_{S/R \wedge T}}$) é menor ou igual às da tabela S (m). No planejamento de operações de geoprocessamento e sua posterior documentação, o diagrama não deve

conter o losango representativo da opção, se ela for executada, e, se não for executada, esses elementos (a partir da operação $\sigma_{\theta S/R \wedge T}$) não devem ser indicados.

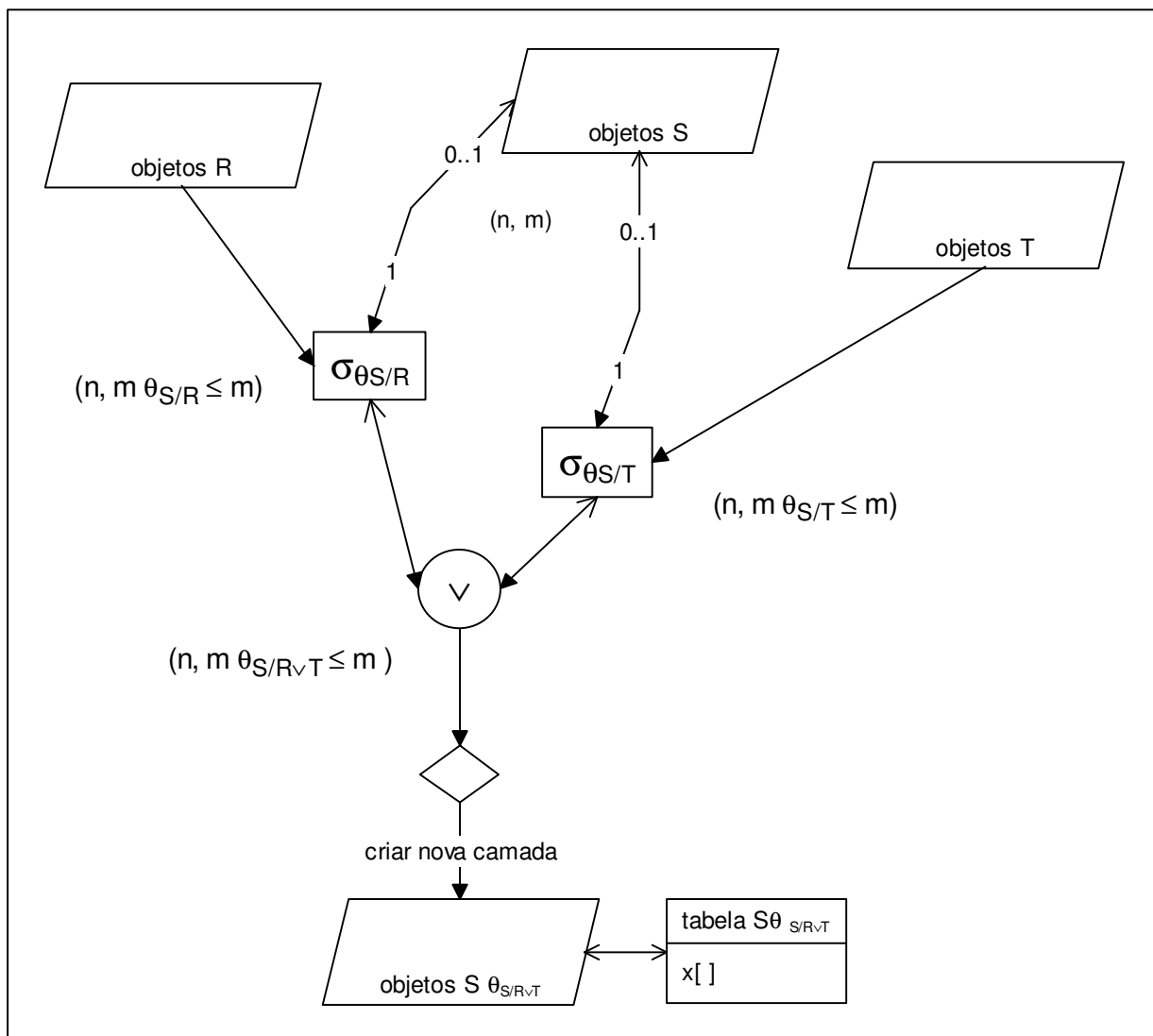
4 Seleção Espacial com Acréscimo

Figura 4a - $S_{\theta S/R \vee T}$ é subclasse de S e superclasse de $S_{\theta S/R}$ e $S_{\theta S/T}$



Trata-se de novo caso de consultas encadeadas, mas a nova consulta acrescenta dados à lista da consulta anterior. A Figura 4a – indica que a classe $S_{\theta S/R \vee T}$ é subclasse de S pela associação generalização/especialização. A classe $S_{\theta S/R \vee T}$ tem por subclasses $S_{\theta S/R}$ e $S_{\theta S/T}$. As classes $S_{\theta S/R}$ e $S_{\theta S/T}$ possuem relacionamentos, respectivamente $\sigma_{\theta S/R}$ com R, e $\sigma_{\theta S/T}$, com T.

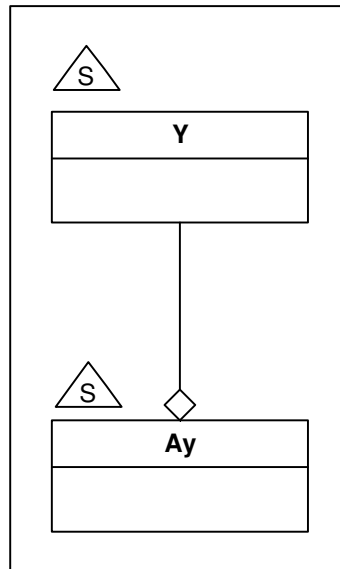
Figura 4b – Consulta espacial com acréscimo e opção de criar nova camada



Na Figura 4b o conector com o símbolo \vee (ou) indica que as listas são unidas em seus apontadores aos objetos da camada S.

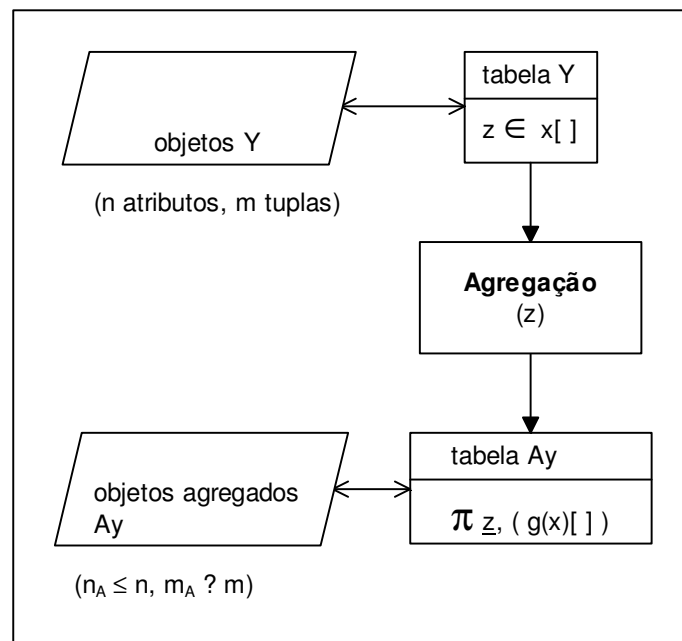
5 Agregação (Dissolver)

Figura 5a – Ay é composição de Y



A Figura 5a indica que cada instância da classe Ay é uma composição de uma ou mais instâncias da classe Y. Um exemplo desse tipo de ocorrência seria a classificação de objetos com base em valores dos seus atributos – a formação de regiões a partir de uma organização espacial desagregada, ou, a reclassificação de uma imagem (*raster*) em intervalos de valores.

Figura 4b – Operação Agregação

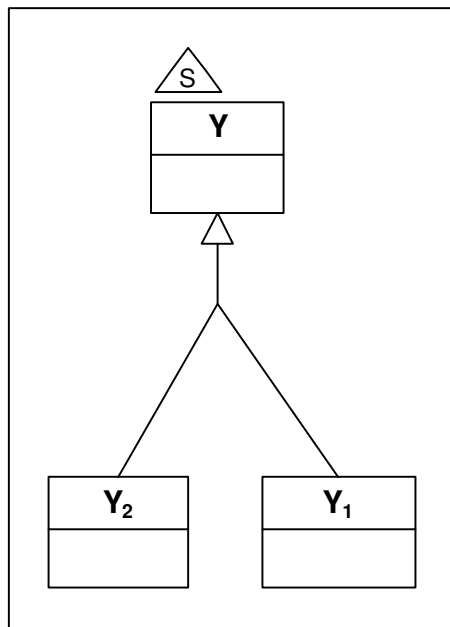


A Figura 5b corresponde à operação de agregação, em que um ou mais atributos (z) são selecionados como critério dessa agregação. Os demais atributos são descartados ou agregados por meio de uma função (g(x)[]), soma, média, maior, menor, etc..

Os objetos resultantes do processo de agregação são em igual ou menor número que os objetos alimentados ao processo, em geral menor. A lista de atributos em geral é menor, mas pode ser até maior, se um mesmo atributo for agregado com o uso de mais de uma função.

6 Soma (Mesclar)

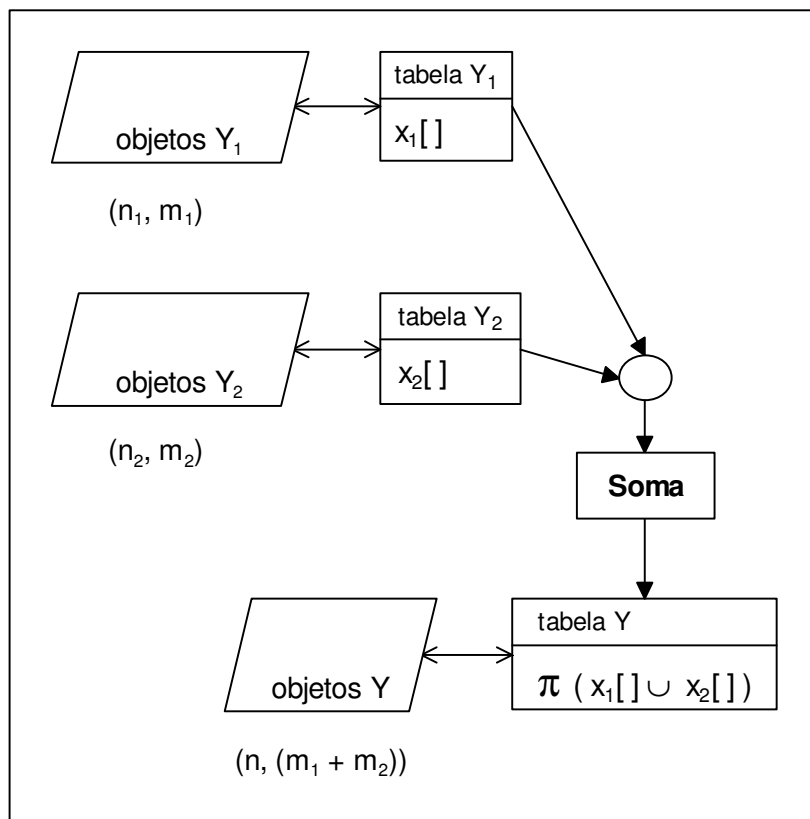
Figura 6a – Y_1 e Y_2 são subclasses de Y



A Soma de Y_1 e Y_2 produz Y .

Y pode ser visto como a generalização de Y_1 e Y_2 .

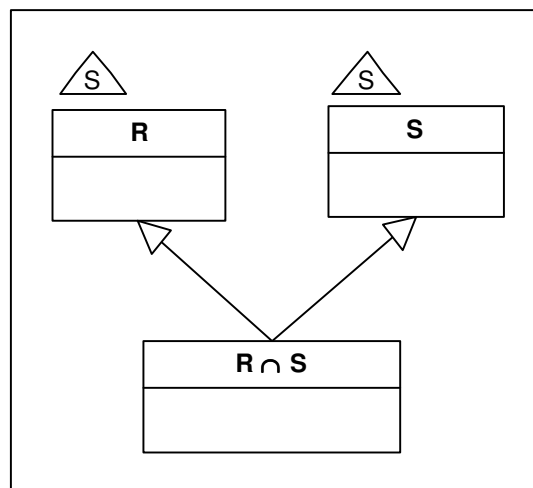
Figura 6b – Processo Soma



A operação Soma é em geral executada com classes de objetos similares, com a mesma representação geométrica e atributos em comum. Na Figura 6b, a camada Y irá conter os dos objetos das camadas Y_1 e Y_2 e as colunas de Y é a união das colunas de Y_1 e Y_2 .

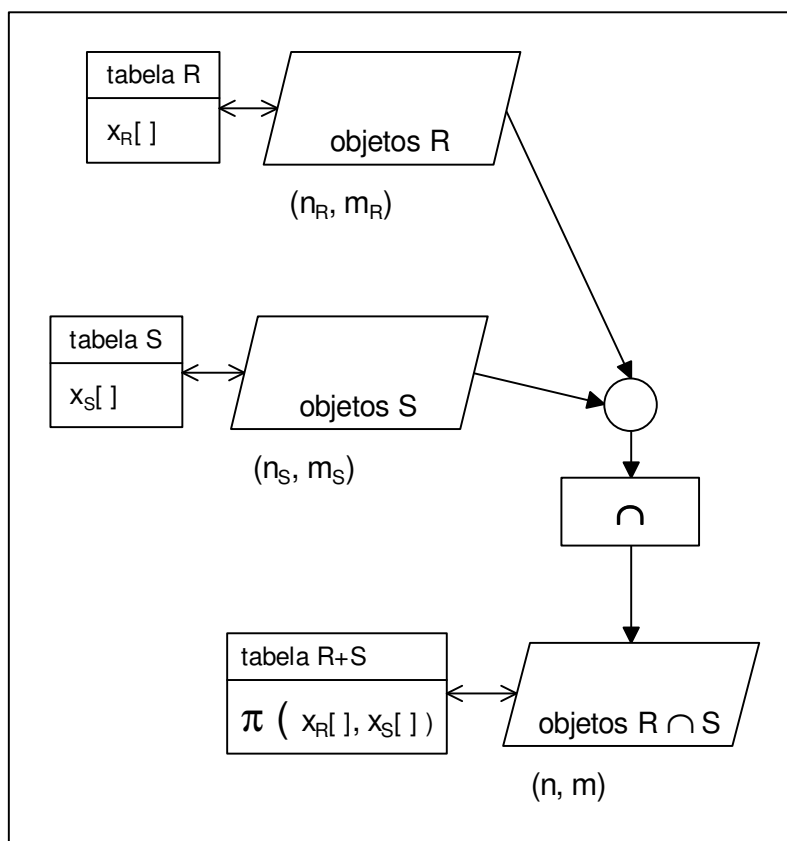
7 Interseção Espacial

Figura 7a – Herança múltipla



Na Figura 7a a classe $R \cap S$, representa a interseção espacial de outras duas, R e S , e herda os atributos de R e S , isto é, cada instância de $R \cap S$ possui os atributos de R e de S (herança múltipla).

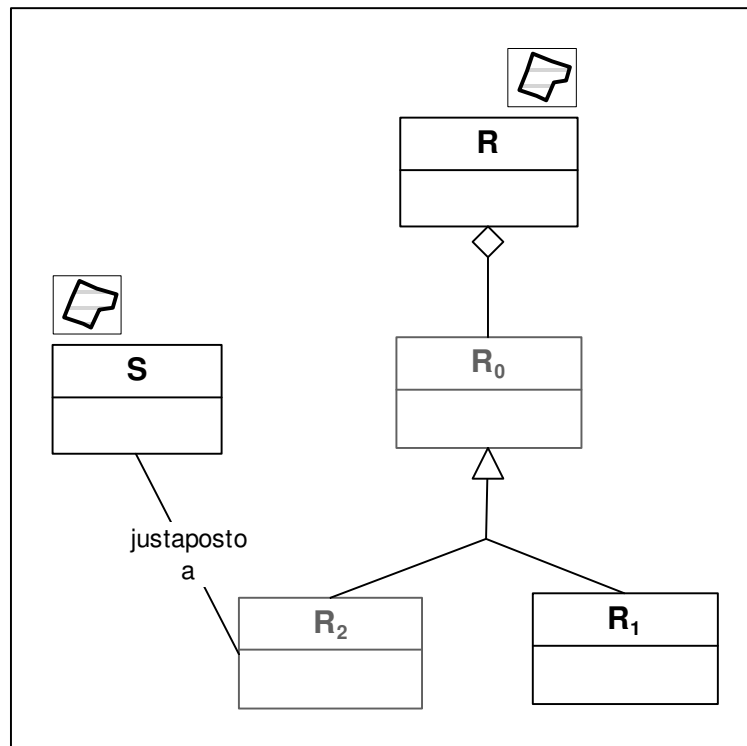
Figura 7b –Operação Interseção Espacial



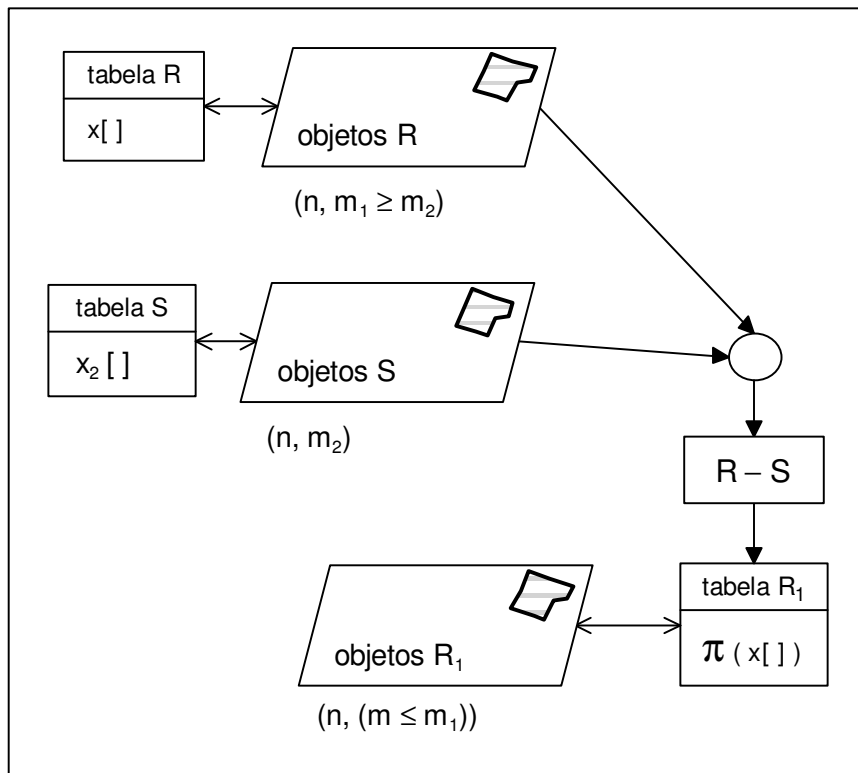
A Figura 7b mostra a Interseção espacial de R e S. Na camada o resultado é a interseção espacial de suas formas, em geral, polígonos. Na tabela, somam-se as colunas.

8 Diferença (subtração espacial)

Figura 8a – R é agregação de R_1 e de R_2 justaposto a S



Na Figura 8a R é agregação de R_0 , dos polígonos R_1 que não possuem sobreposição espacial com S e dos polígonos R_2 que são justapostos a S.

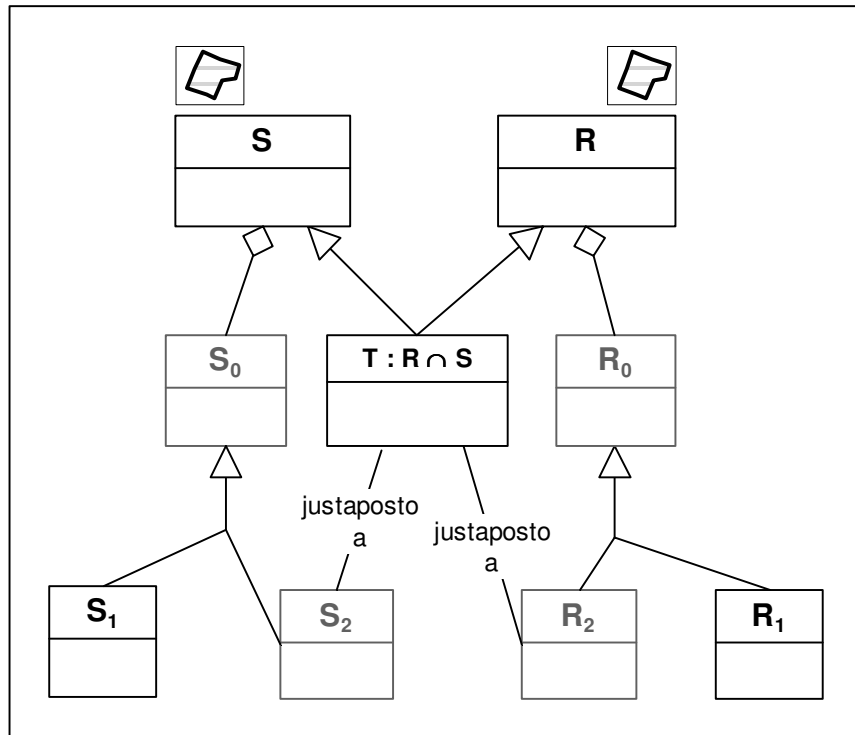
Figura 8b – R_1 resulta da subtração espacial $R - S$ 

A subtração espacial elimina as partes dos polígonos do minuendo que estão justapostas a polígonos do subtraendo. Na Figura 8b, R é o minuendo, S o subtraendo, e R_1 é a parte de R que não possui sobreposição espacial com S .

As classes R_0 e R_2 ilustradas na Figura 8a não têm correspondências no modelo espaço-relacional da Figura 8b. Na Figura 8a elas são necessárias para a descrição das associações entre R , S , e $R_1 = (R - S)$.

8.1 caso de encadeamento de interseção e diferença

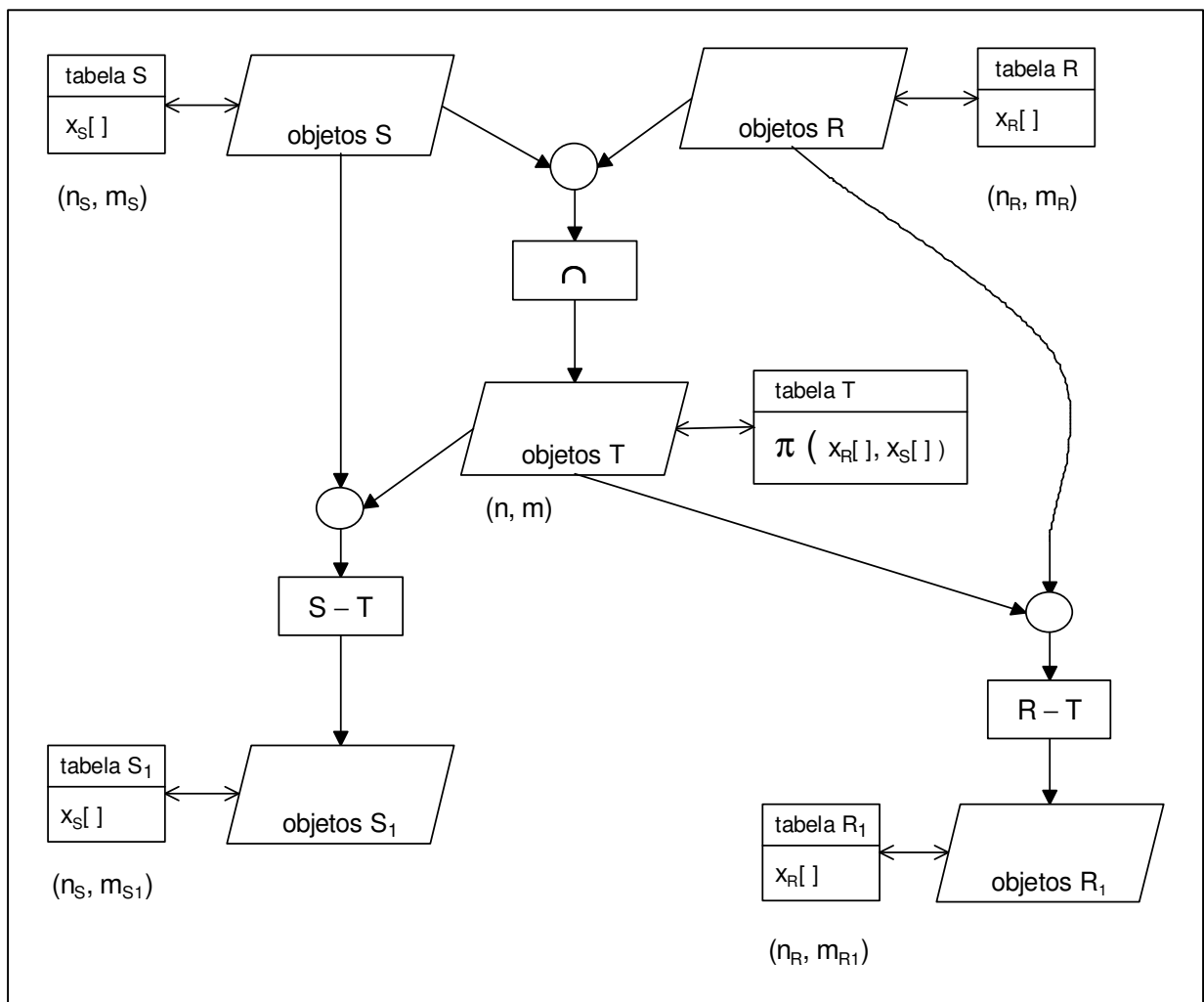
Figura 8.1a – associações entre R, S, T, R₁ e S₁



Um caso ilustrativo de encadeamento, de interseção e diferença, é a separação entre usos do solo Urbano e Não Urbano da Emplasa (2010). Apesar de ambas bases se referirem aos levantamentos serem de 2010, ao que tudo indica, os usos ditos Não Urbanos, são de *circa* 2007. Ao abrir ambas bases se percebe que ocorrem sobreposições. Algumas talvez por mudanças ocorridas no período que separou cada estudo. Outras, talvez por critério, pois os estudos foram feitos por equipes diferentes.

Na Figura 8.1a, as classes R e S representam as bases obtidas da Emplasa (2010). A classe T representa a interseção espacial entre R e S. S é agregação de R₁ e R₂, respectivamente, das partes dos polígonos sem justaposição com polígonos de T e os justapostos a polígonos de T. O mesmo quanto a S.

Figura 8.1b – encadeamento das operações de interseção espacial e subtrações

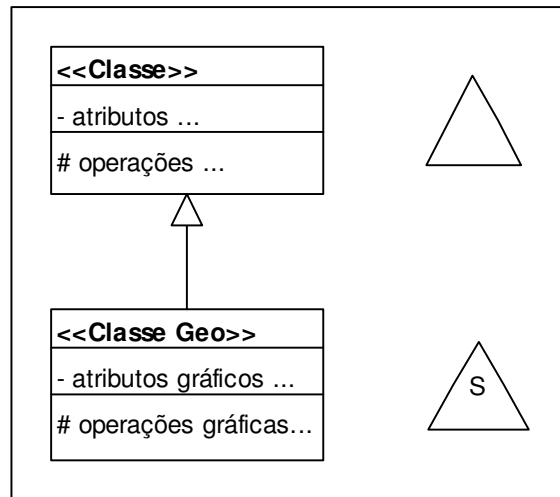


A Figura 8.1b mostra a sequência de operações para se obter três camadas, T, R₁ e S₁, sem sobreposição de polígonos, a partir das camadas R e S.

As classes R₀, R₂, S₀ e S₂ ilustradas na Figura 8.1a não têm correspondências no modelo espaço-relacional da Figura 8.1b. Na Figura 8.1a elas são necessárias para a descrição das associações entre R, S, T = (R ∩ S), R₁ = (R - T) e S₁ = (S - T).

9 Coletar (Unir atributos pela posição)

Figura 9a –associação generalização entre a meta-classe Classe e a especialização meta-classe Classe Geo



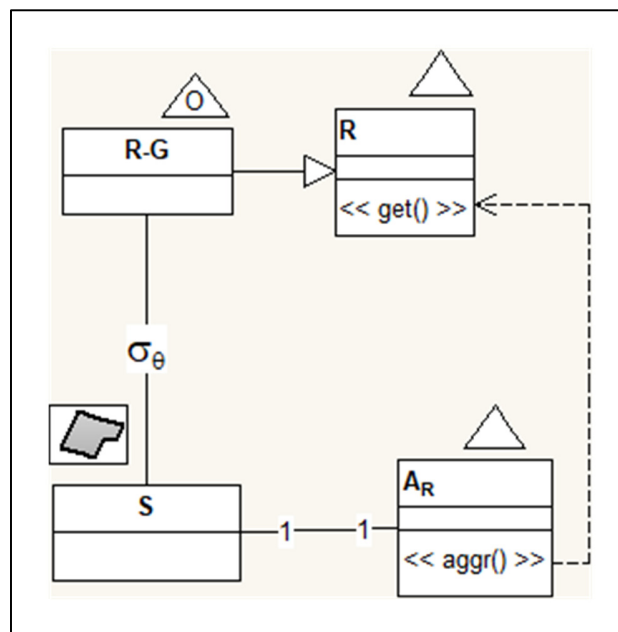
Antes da representação da Coleta, há de se reforçar o entendimento sobre a relação entre uma Classe Geo (objeto de modelos do tipo UML GeoFrame, OMT-G ou Geo OMT). A Figura 9a exhibe a relação de generalização-especialização que existe entre quaisquer classes de Objetos Geo e a correspondente Classe Convencional, ou simplesmente Classe.

A convenção para meta-classes, é a do uso de enquadrar seus nomes com << e >> e, simplificada, com o uso de estereótipos quando se deseja dizer que determinada classe é do tipo indicado pela meta-classe.

O triângulo vazio é indicativo de uma classe ser do tipo indicado por << Classe >> e o triângulo com S (de espaço) é indicativo de uma classe ser do tipo << Classe Geo>>.

Na UML as classes possuem atributos e operações. As classes do tipo << Classe Geo >> possuem atributos e operações específicos de suas extensões gráficas.

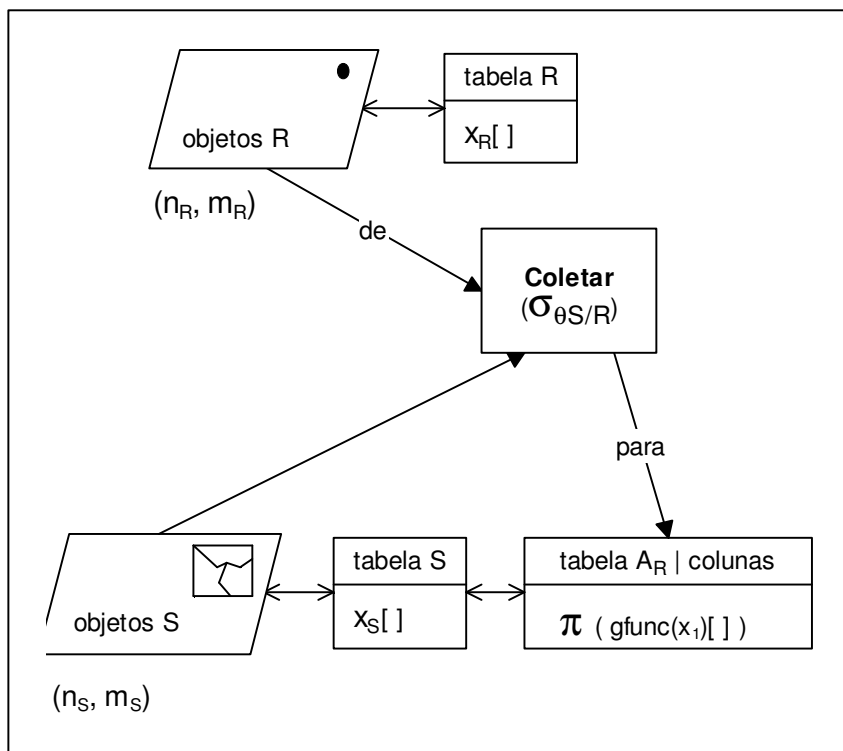
Figura 9b –Representação de uma Coleta em UML



A Figura 9b indica que há uma relação espacial entre as extensões espaciais das classes S e R-G. Também mostra a classe A_R associada a S e o uso de operações não espaciais de agregação de valores, indicadas por $\ll aggr() \gg$ as quais invocam operações não espaciais $\ll get() \gg$ em instâncias da classe R, das correspondentes instâncias de R-G que satisfazem o predicado espacial $\sigma_{\theta} S/R-G$. A cardinalidade dessa associação não está indicada, mas a uma instância de S podem corresponder uma ou mais instâncias de R-G.

Uma Operação $\ll get() \gg$ recupera o valor de algum dos atributos de uma instância da sua classe. Uma operação $\ll aggr() \gg$ além de agregar valores, armazena o resultado do cálculo em algum atributo da instância da sua classe. Os valores vêm de instâncias da classe apontada pela seta tracejada. O diagrama da figura 9b omite, por razão de simplicidade, a criação das instâncias A_R a partir de uma meta-classe genérica.

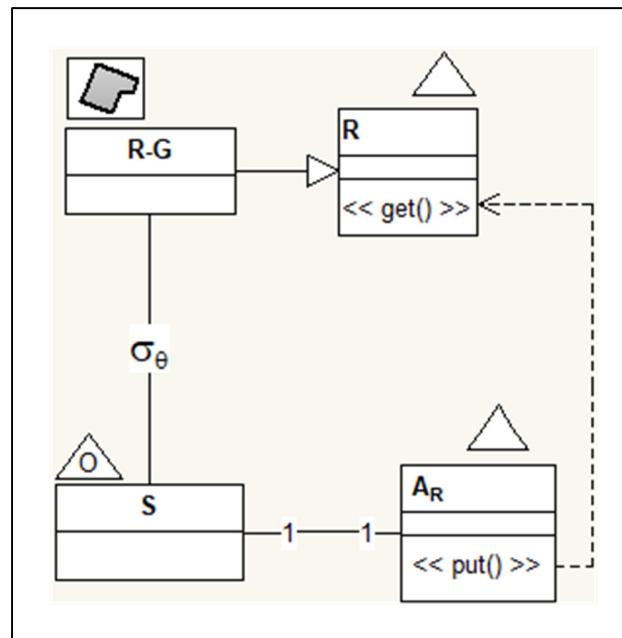
Figura 9c – Ilustração da Operação Coletar



A Figura 9c ilustra a operação: Coletar, no âmbito operacional, de tabela associada a uma camada de pontos isolados para uma tabela associada a uma camada de polígonos adjacentes, com base num predicado espacial dado por $\sigma_{\theta S/R}$. A tabela A_R é acrescida ao conjunto de tabelas da tabela S. Ou as suas colunas, resultantes das agregações de atributos da tabela R, são acrescidas à tabela S.

10 Distribuir (Unir atributos pela posição)

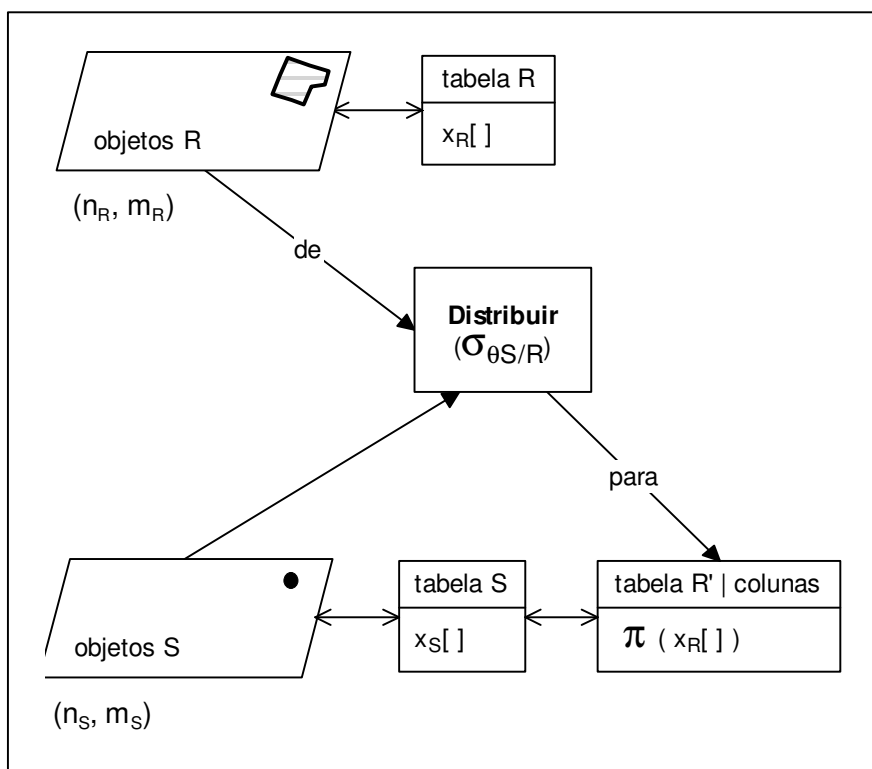
Figura 10a – Representação de uma Distribuição em UML



A Figura 10a indica que há uma relação espacial entre as extensões espaciais das classes S e R-G. Também mostra a classe A_R associada a S e o uso de operações cópia de valores, indicadas por `<< put() >>` as quais invocam operações não espaciais `<< get() >>` em de instâncias da classe R, das correspondentes instâncias de R-G que satisfazem o predicado espacial $\sigma_{\theta S/R-G}$. A cardinalidade dessa associação não está indicada, mas a uma instância de S em geral pode corresponder uma (às vezes mais do que uma) instância de R-G.

Uma Operação `<< get() >>` recupera o valor de algum dos atributos de uma instância da sua classe. Uma operação `<< put() >>` armazena o valor de algum atributo na instância da sua classe. Os valores vêm de instâncias da classe apontada pela seta tracejada. O diagrama da figura 10b omite, por razão de simplicidade, a criação das instâncias A_R a partir de uma meta-classe genérica.

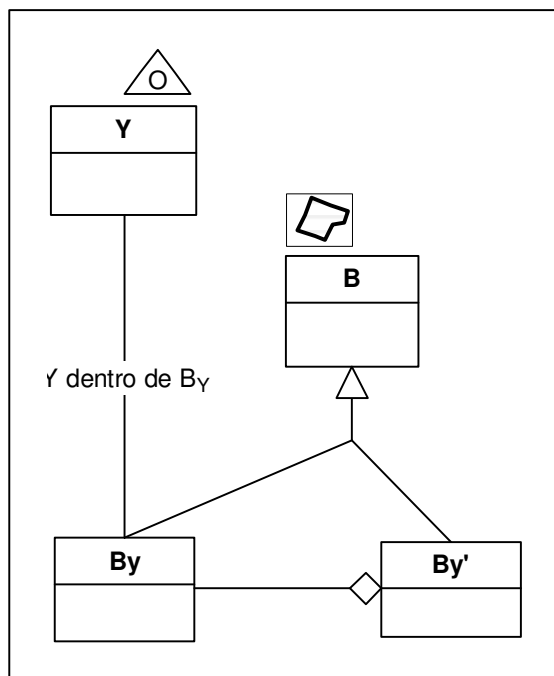
Figura 10b – Ilustração da Operação Distribuir



A Figura 10b ilustra a operação: Distribuir, no âmbito operacional, de tabela associada a uma camada de polígonos isolados para a tabela associada a uma camada de pontos isolados, com base num predicado espacial dado por $\sigma_{\theta S/R}$. A tabela R' é acrescida ao conjunto de tabelas da tabela S. Ou as suas colunas, oriundas de atributos da tabela R, são acrescidas à tabela S.

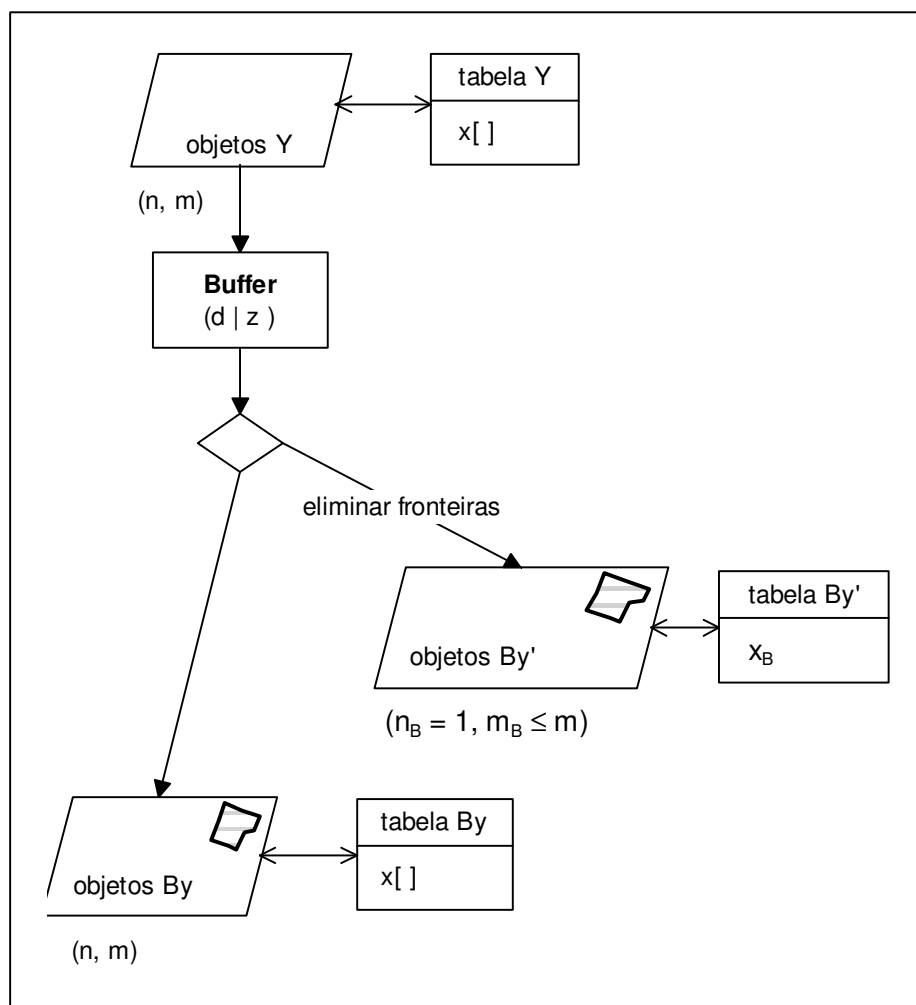
11 Buffer

Figura 11a – Classes Buffer de uma classe de objetos



A Figura 11a ilustra duas alternativas B de buffers criados a partir de uma classe de objetos espaciais Y. By representa a classe dos buffers de cada objeto de Y, enquanto que By' representa a agregação desses buffers num único objeto (polígono ou multipolígono). O diagrama mostra também o relacionamento espacial entre as extensões espaciais das instâncias de Y e as de By que as contém. Ainda que não indicado, a cardinalidade desses relacionamentos é um para um.

Figura 11b – Operação Buffer



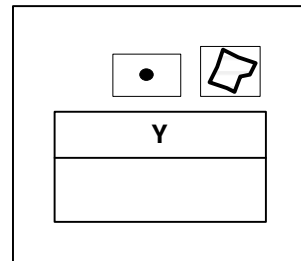
A Figura 11b ilustra duas alternativas mais comuns em se tratando da criação de buffers, A primeira é a de um buffer em By para cada objeto de Y . Pode-se também criar um único buffer By' , resultante da união desses buffers.

A primeira alternativa tem a vantagem de carregar consigo os atributos (da tabela Y) de cada objeto a partir do qual um buffer é criado. A segunda tem a vantagem da eliminação de sobreposições dos buffers quando elas ocorrem.

A operação buffer requer a distância (d) que pode ser fixa ou, em alguns casos, derivada de alguma coluna de dados da tabela Y . Por vezes, também existe a possibilidade de se criar de uma única vez sequências de buffers concêntricos (parâmetro z , com $d_i = i \cdot d$, $1 \leq i \leq z$).

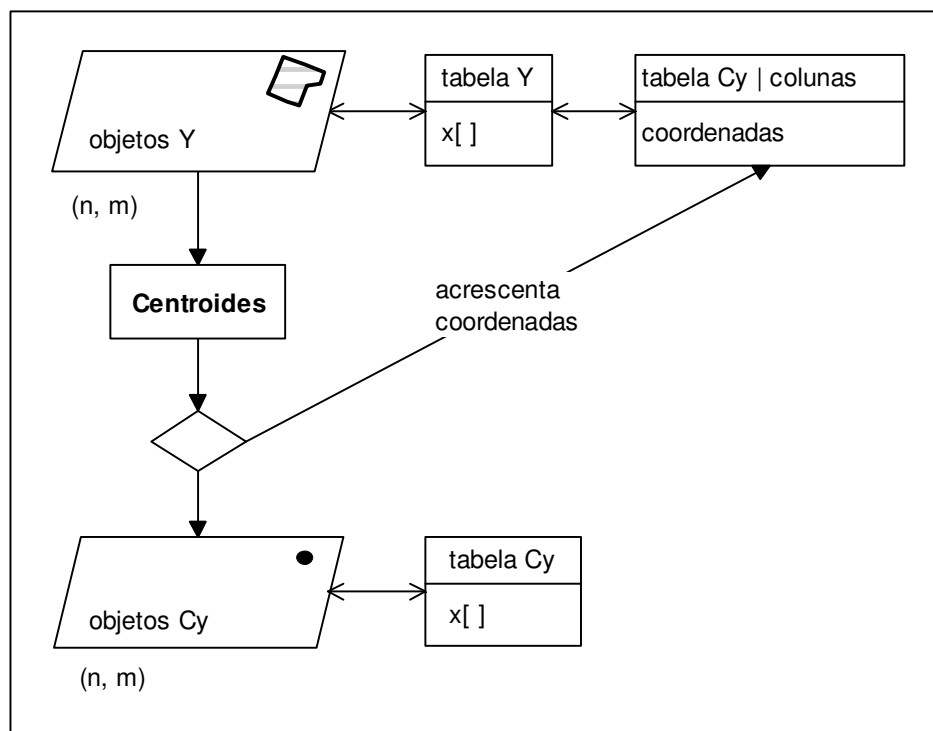
12 Centroides

Figura 11a – Polígonos e seus centroides



A Figura 12a descreve os centroides de um conjunto de polígonos como uma segunda representação espacial dos objetos.

Figura 12b – Geração de Centroides de Polígonos



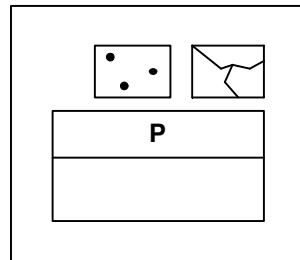
A Figura 12b ilustra o processo de criação de centroides C_y de polígonos isolados Y , com a opção de carregar colunas da tabela de Y para a tabela dos centroides C_y , ou a alternativa de acrescentar as coordenadas de cada centroide aos respectivos polígonos.

O centroide recebe as coordenadas do centro geométrico de cada polígono. Se o polígono for simples e convexo essas coordenadas estão dentro da sua extensão espacial. Mas, no

caso de polígonos côncavos e, principalmente, de multipolígonos as coordenadas do centroide podem ser geradas fora de suas extensões espaciais.

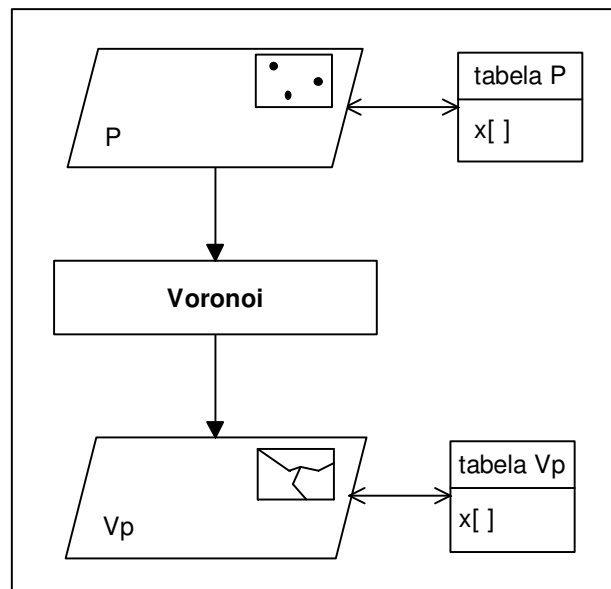
13 Tesselação de Voronoi (polígonos de Thiessen)

Figura 13a – Polígonos de Thiessen de P



Na Figura 13a, cada instância de P tem representação de ponto, à qual se acrescenta a de um polígono de Thiessen. Cada polígono de Thiessen tem como centro o ponto ao qual está associado e representa o lugar geométrico dos pontos cuja distância a esse ponto é menor ou igual (em suas arestas) ao de qualquer outro ponto.

Figura 13b – Geração da Tesselação de Voronoi

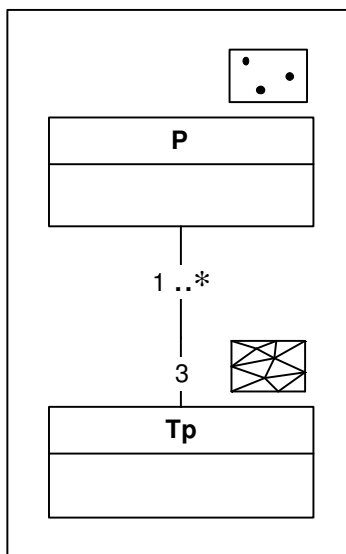


A Figura 13b ilustra a geração dos polígonos de Voronoi V_p para um conjunto de pontos aleatórios P , com a cópia da tabela de P em V_p . A tesselação de Voronoi é usada para gerar interpolações de valores a partir de valores dos pontos que lhe dão origem, por

exemplo, a pluviosidade em toda uma região com base em medições feitas em estações pluviométricas presentes em locais dessa região.

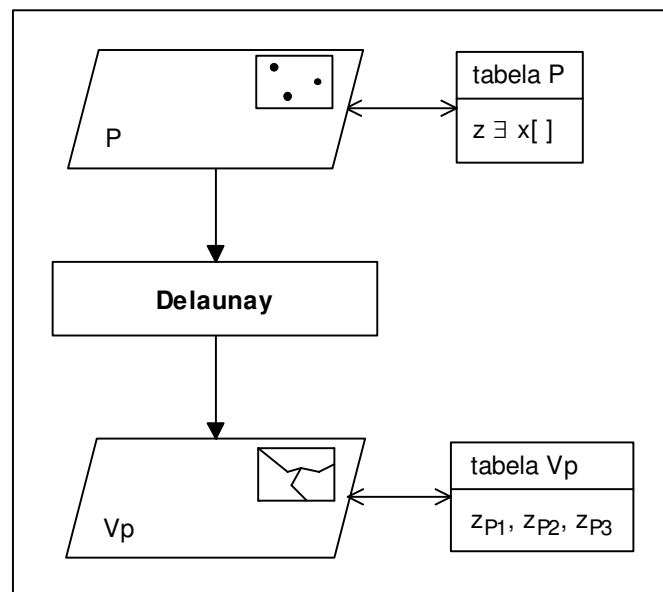
14 Triangulação de Delaunay

Figura 14a – Triangulação de Delaunay



A Figura 14a mostra a Triangulação de Delaunay de um conjunto de pontos. A triangulação é realizada de modo a maximizar os ângulos de cada triângulo gerado. Outra propriedade dessa tesselação é dos pontos, tornados vértices de um ou mais triângulos não estarem inseridos em quaisquer círculos circunscritos a triângulos vizinhos.

Figura 14b – Geração de triangulação de Delaunay



A Figura 14b ilustra a geração de uma triangulação de Delaunay para um conjunto de pontos aleatórios. Uma das aplicações mais conhecidas de uso dessa triangulação é a Rede Irregular de Triângulos - TIN (do inglês, *Triangular Irregular Network*). A tabela Vp contém valores (em geral a cota z) associada de cada vértice do triângulo correspondente na camada Vp.

Referências

- ANSI/X3/SPARC Study Group on Data Base Management Systems: (1975), Interim Report. FDT, ACM SIGMOD Bulletin. Volume 7, No. 2.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *The unified modeling language user's guide*. Addison-Wesley, 1999.
- BORGES, K. e DAVIS, C. A. Modelagem de dados geográficos. In: CASANOVA M. A; CÂMARA, G.; DAVIS, C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. *Bancos de dados geográficos*. Curitiba: MundoGeo, 2005.
- CÂMARA, G. Representação de dados geográficos. In: CASANOVA M. A; CÂMARA, G.; DAVIS, C. A.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. *Bancos de dados geográficos*. Curitiba: MundoGeo, 2005.
- CHEN, P. The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*, v. 1, n. 1., pp 9-36, 1976.
- COAD, P.; YOURDON, E. *Object-oriented analysis*. Englewood Cliffs, NJ; Prentice-Hall, 1991.
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, v.55, n.11, p.1551-1555.
- DAVIS, C A.; BORGES, K.; LAENDER, A. OMT-G: an object-oriented data model for geographic applications. *Geoinformatica*, v.2 n.1 pp. 221-260, 2002.
- EMPLASA. Dados de uso do solo urbano e não urbano da Região Metropolitana de São Paulo. [DVD]. Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano: São Paulo, 2010.
- GARCIA-MOLINA, H.; ULLMAN, J. D.; WIDOM, J. Database systems: the complete book. 2nd Ed., Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 2009.
- LISBOA FILHO, J. Estruturação e modelagem de bancos de dados In: Gis Brasil, Curitiba, 2001.
- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. *Object-oriented modeling and design*. Englewood-Cliffs, NJ: Prentice Hal, 1991.
- RUMBAUGH, J.; BOOCH, G.; JACOBSON, I. *The unified modeling language reference manual*. Addison-Wesley, 1999.
- SETZER, V.W. *Bancos de Dados - Conceitos, Modelos, Gerenciadores, Projeto Lógico e Projeto Físico*. Ed. Edgard Blücher, São Paulo 1986.