

INCORPORANDO SUPORTE A RESTRIÇÕES ESPACIAIS NO PADRÃO OPENGIS

VANIA BOGORNY (VANIA@INF.UFRGS.BR)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
AV. BENTO GONÇALVES, 9500, BLOCO IV,
PRÉDIO 43424 – BAIRRO AGRONOMIA
CEP:91501-970 – PORTO ALEGRE – RS
FONE: 51-316-6160

CIRANO IOCHPE (IOCHPE@INF.UFRGS.BR)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
AV. BENTO GONÇALVES, 9500, BLOCO IV,
PRÉDIO 43425 SALA 217 - BAIRRO AGRONOMIA
CEP:91501-970 – PORTO ALEGRE – RS
FONE/FAX: 51-316-6820 / 51-316-6160

RESUMO

A qualidade e a integridade espacial dos dados geográficos é um fator de grande importância em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pois informações inconsistentes podem gerar problemas na tomada de decisões baseadas em consultas e análises espaciais. Entretanto, a maioria dos softwares de SIG atuais, usados para manipular esses dados, não provêem um esquema para a definição e a garantia de restrições que garantem a integridade na forma de representação espacial dos dados georreferenciados. O *OpenGIS*, uma arquitetura padrão para garantir interoperabilidade de softwares de SIG, mas que não trata restrições espaciais, foi estendido para suportar a definição e a garantia das restrições de integridade topológica.

ABSTRACT

The quality and the spatial integrity of geographic data is a great importance factor in Geographic Information Systems (GIS) because inconsistent information may generate problems in decisions based on queries and spatial analyses. However, the most current GIS softwares used to manipulate these data doesn't provide an schema to declare and warrant the constraints that assure the integrity on the spatial representation form of geographic data. The OpenGIS, that is an standard architecture to warrant interoperability between GIS software, but which doesn't consider spatial constraints, was extended to supports the warranty and definition process of topological integrity constraints.

1 – INTRODUÇÃO

Os SIG são sistemas computacionais capazes de capturar, armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos do mundo real, cuja localização em relação à superfície da Terra seja considerada [LIS96].

A interoperabilidade desses sistemas [THO98, BOG00], que constitui-se na capacidade de compartilhar e trocar informações e processos entre ambientes computacionais heterogêneos, se faz necessária, pois o elevado custo de aquisição dos dados geográficos obriga usuários de SIG a compartilharem dados de fontes existentes e sem a necessidade de fazer conversões. Porém, pela complexidade e incompatibilidades de representação, de estrutura e de semântica das informações geográficas, a maioria dos softwares de SIG ainda não são interoperáveis.

Existe também, além do problema da não interoperabilidade, uma crescente preocupação com relação à qualidade e à integridade espacial dos dados geográficos. Contudo, os softwares de SIG atuais não oferecem os meios adequados para representar e garantir a integridade espacial das informações.

Através de dois trabalhos individuais realizados durante a pesquisa [BOG99, BOG99a] e com base na necessidade de garantir restrições espaciais em SIG, decidiu-se pela extensão ao Modelo Abstrato *OpenGIS* [BUE98], modelo este que deve ser um padrão de interoperabilidade de software para SIG. A extensão proposta oferece suporte a um subconjunto de tipos de restrição espacial, buscando garantir o maior número possível de regras da realidade geográfica expressáveis na modelagem conceitual do sistema.

O restante do artigo esta organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma visão geral sobre de restrições espaciais. A Seção 3 faz uma breve introdução ao Modelo Abstrato *OpenGIS*. A Seção 4 apresenta a extensão do Modelo Abstrato. A Seção 5 aborda a validação da extensão apresentada e a Seção 6 apresenta as conclusões.

2 – RESTRIÇÕES ESPACIAIS

Restrições de integridade espacial são normas referentes à forma e às relações espaciais da entidade geográfica no mundo real e que precisam ser observadas na sua representação espacial na base de dados [BOR 97].

Na realidade geográfica, existem diversos tipos de restrição espacial que podem ser considerados mais ou menos importantes, dependendo do contexto e do objetivo da aplicação. Grande parte deles são baseados em relacionamentos topológicos binários. Tais relacionamentos descrevem o tipo de interseção existente entre a geometria que representa a forma espacial dos objetos geográficos.

Na busca de encontrar uma série de restrições espaciais, dois estudos de caso foram realizados em diferentes organizações: um na Primeira Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro (1ªDL) - responsável pela produção da Base Cartográfica Brasileira; outro na Secretaria Executiva do Programa Pró-Guaíba, subordinada à Secretaria da Administração e Planejamento do Estado do Rio Grande do Sul, onde é realizada a análise e a manipulação de dados geográficos de interesse do Estado. As regras encontradas nos estudos de caso podem ser encontradas em [BOG01].

No estudo de caso realizado no contexto do Programa Pró-Guaíba, a maioria das restrições espaciais encontradas são baseadas em relacionamentos topológicos. No estudo de caso realizado na 1ªDL, também foi identificado um grande número de restrições. Contudo, a maioria delas, não é baseada em relacionamentos espaciais, mas na correta forma de representação geométrica de cada objeto do mundo real, já que aquele órgão do Exército está mais preocupado com restrições que devem ser respeitadas no processo de construção da cartografia digital. Esse tipo de restrição, portanto, não é tratado neste contexto, já que a arquitetura *OpenGIS* prevê restrições dessa natureza.

Além dos estudos de caso, quatro métodos que definem formalmente um conjunto de relacionamentos topológicos foram avaliados: o *4-Intersection* [EGE91], o *9-Intersection* [CLE94], o *Dimension Extended Method* (DEM)[CLE93] e o *Calculus Based Method* (CBM) [CLE93], todos baseados na teoria dos conjuntos. A união dos relacionamentos originados pelos quatro métodos resulta num conjunto de nove relacionamentos topológicos binários: *disjoint*, *touches*, *overlaps*, *equal*, *inside*, *contains*, *crosses*, *covers* e *coveredBy*.

Segundo Hadzilacos [HAD 92], a evolução das pesquisas na área de modelagem de topologia em SIG mostra claramente que não há necessidade de se criar novos modelos ou métodos formais para especificar relacionamentos topológicos com diferentes operadores básicos, mas necessita-se de uma teoria para garantir que os relacionamentos já definidos sejam completos, seguros e capazes de atender os mais variados casos da realidade, sustentando as necessidades da aplicação.

Com base nos estudos de caso e nos quatro métodos estudados, definiu-se um subconjunto de restrições topológicas. Cada restrição é formada por dois tipos de feição, o relacionamento topológico entre elas e o número mínimo e máximo de vezes que um tipo de feição pode estar relacionado a outro. Os números mínimo e máximo são denominados cardinalidade. Então, uma restrição topológica pode ser definida da seguinte forma:

Tipo de Feição 1 [card. mínima, card. máxima] *relação topológica* **Tipo de Feição 2** [card. mínima, card. máxima]

O segundo par de cardinalidades indica o número mínimo e máximo de vezes que o primeiro tipo de feição pode estar relacionado ao segundo. O primeiro par de cardinalidades expressa o número mínimo e máximo de vezes que o segundo tipo de feição pode estar relacionado ao primeiro.

A restrição espacial um estado contém um ou mais municípios, de acordo com a definição acima, pode ser expressa por: ESTADO [1,1] *contains* MUNICÍPIO [1,n]

3 – O MODELO ABSTRATO *OPENGIS*

O consórcio *Open GIS* (OGC) é uma organização internacional que está criando novas padronizações técnicas e comerciais para garantir a interoperabilidade em SIG. A especificação de software proposta pela OGC é uma arquitetura aberta para a criação de software de SIG, a qual apresenta um modelo comum e detalhado, denominado Modelo Abstrato, que permite implementar todas as funcionalidades que um SIG deve oferecer. Por essa razão, o *OpenGIS* é a base para o desenvolvimento de um banco de dados geográficos totalmente interoperável.

O Modelo Abstrato é composto por dezesseis sub-modelos, cada um dos quais é uma hierarquia de classes baseada na notação UML (*Unified Modeling Language*). Neste contexto, apenas o diagrama de classes de *Relacionamentos entre Feições* é detalhado, pois é a base para suportar a definição e a garantia de restrições espaciais. Ele é suficientemente abstrato para representar todos os tipos de relacionamento entre feições, sejam esses espaciais ou não. O diagrama de relacionamentos entre feições é ilustrado pela figura 1.

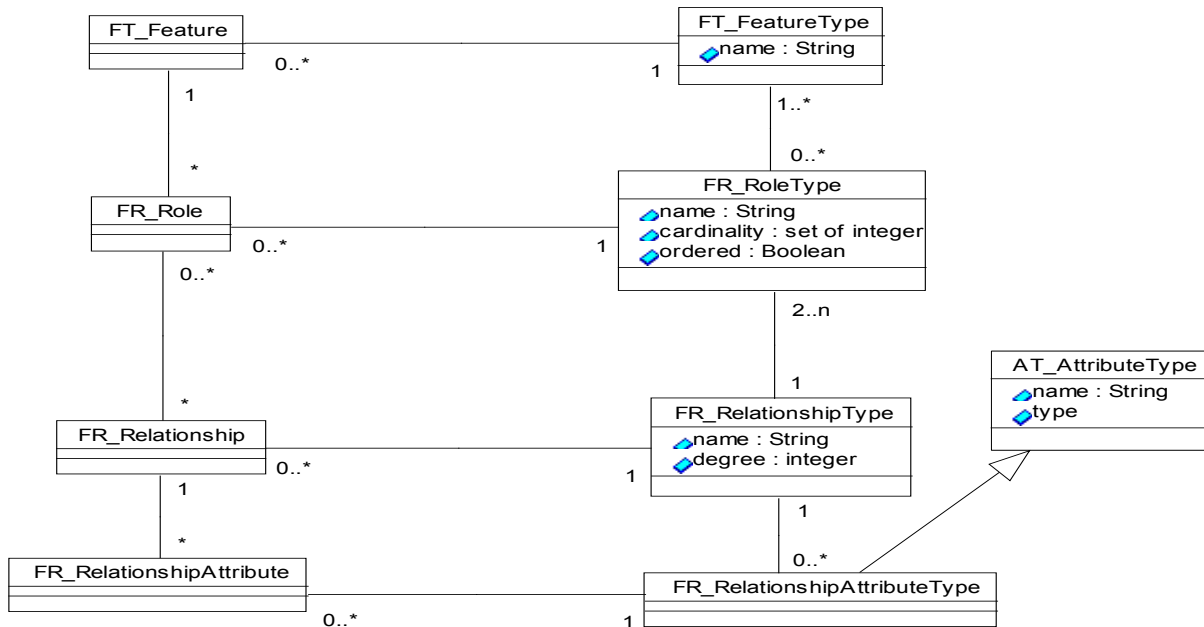


FIGURA 1 – Diagrama de classes de relacionamentos entre feições

3.1 - SEMÂNTICA DO DIAGRAMA DE RELACIONAMENTOS ENTRE FEIÇÕES

As entidades/feições do mundo real não existem isoladas. Elas estão relacionadas a outras entidades da realidade e de várias formas como, por exemplo, a vizinhança ou a distância entre duas feições. No modelo *OpenGIS*, todas as feições são representadas pela classe *FT_Feature*. Elas são diferenciadas entre si através da relação entre *FT_Feature* e *FT_FeatureType* que permite agrupá-las por tipo.

Todo relacionamento [OGC99d] envolve, ao menos, dois tipos de feição, e cada um deles desempenha um determinado tipo de papel no relacionamento. A classe *FR_RelationshipType* retrata todos os tipos de relacionamento existentes entre dois tipos de feição. Eles são caracterizados por, ao menos, dois atributos: *name*, que caracteriza, descritivamente, o tipo de relacionamento e *degree*, que especifica o número de tipos de papel de cada tipo de relacionamento, podendo ser igual a dois ou maior. Para relacionamentos que expressam restrições espaciais de caráter topológico, o valor do atributo *degree* será sempre igual a dois, uma vez que tais restrições são baseadas em relacionamentos topológicos binários, os quais apresentam somente dois papéis.

Por exemplo, o relacionamento entre o estado e seus municípios, envolve os tipos de feição *estado* e *município*, cada qual desempenhando um papel: *contem* – papel do estado, e *contido* – papel do município. Quando o relacionamento define dois tipos de papel ele é denominado binário. Os tipos de papel do

relacionamento são representados pela classe *FR_RoleType* e são caracterizados pelos seguintes atributos:

- *name*: caracteriza, descritivamente, o tipo de papel de um determinado tipo de relacionamento;
- *cardinality*: determina o número mínimo e máximo de vezes que o papel de um certo tipo de feição pode ser desempenhado em relação ao outro tipo de feição do relacionamento. Esse atributo tem um par de dois valores onde o primeiro corresponde ao número mínimo e o segundo ao máximo;
- *ordered*: determina a seqüência dos tipos de papel dentro do tipo de relacionamento. Por exemplo, trechos de rua estão relacionados uns aos outros, formando uma rota de ônibus. A ordem como esses trechos estão ligados é necessária para saber a seqüência das ruas que o ônibus deve percorrer.

Por exemplo, o tipo de relacionamento *país contém um ou muitos estados*, tem dois tipos de papel: o tipo de papel do *país*, que *contém* o estado e o tipo de papel do *estado*, que está *contido* no país. Todo estado precisa, obrigatoriamente, estar dentro de um e somente um país. Já o país precisa necessariamente conter um ou muitos estados. No caso do país, o papel contém é caracterizado pelas cardinalidades [1,n], onde o valor 1 indica que o país precisa conter, ao menos, um estado e o valor n indica que o mesmo pode ter muitos estados. Através das cardinalidades é possível definir a(s) restrição(es) espacial(s) de cada tipo de feição envolvida no relacionamento.

4 – PROPOSTA DE EXTENSÃO DO MODELO ABSTRATO

Duas extensões diferentes do Modelo Abstrato foram desenvolvidas. Ambas são baseadas no diagrama de classes de relacionamentos entre feições. Para destacar os novos elementos incorporados ao modelo, as novas classes estão sombreadas e os novos métodos e atributos são indicados em fonte itálica.

4.1 – PRIMEIRA EXTENSÃO DO MODELO ABSTRATO *OPENGIS*

A primeira extensão representa, em três classes diferentes, as feições consistentes, as feições que violaram algum tipo de restrição espacial e àquelas que são exceção a algum tipo de restrição topológica. A extensão do Modelo Abstrato *OpenGIS*, mais especificamente do esquema de relacionamentos, é ilustrada na figura 2.

A classe *FT_GlobalFeature* generaliza as feições consistentes e inconsistentes.

As feições geográficas que satisfazem todas as restrições topológicas ou cujo tipo não tenha restrição espacial são armazenadas no banco de dados quando terminar o processo de verificação e garantia da restrição. Essas feições são consistentes e instanciam a classe *FT_Feature*.

As feições que, de uma forma ou de outra, não atenderam algum tipo de restrição topológica são feições inconsistentes e são representadas pela classe *FT_FeatureforSpatialConstraints*, onde permanecem, temporariamente, até receberem o tratamento adequado. Essa classe tem as mesmas características de *FT_Feature*, porém suas instâncias permanecem armazenadas por um limitado período de tempo.

Após receber o tratamento adequado, as feições inconsistentes que então atendem todas as restrições topológicas são armazenadas, definitivamente, em *FT_Feature* e eliminadas da classe *FT_FeatureforSpatialConstraints*. As feições que continuam violando alguma restrição mas que de acordo com a declaração do usuário são uma exceção à regra, também são armazenadas, definitivamente, em *FT_Feature* e eliminadas da classe de apoio. Contudo, o identificador da feição e o identificador do tipo de restrição violada são armazenados na classe *FT_SpatialConstraintException*, a fim de controlar as feições que são uma exceção à regra.

O método *verifyConstraint()*, definido na classe *FT_GlobalFeature* verifica se o tipo da feição possui alguma restrição espacial. Todas as restrições identificadas são recuperadas e inseridas numa lista (coleção de objetos) que é retornada para o método *beforeInsert()* ou *beforeUpdate()* para serem validadas.

O método *beforeInsert()* executa todo processo de controle das restrições topológicas dos objetos submetidos à inserção no banco de dados geográficos. Ele é responsável por garantir a integridade espacial das feições.

O método *beforeUpdate()* executa todo processo de controle das restrições topológicas dos objetos espaciais submetidos a atualização no banco de dados geográficos. Ele verifica se todas as restrições foram satisfeitas antes da atualização ser efetivada no banco de dados. Ele só é executado se a atualização da feição referir-se a sua geometria.

O método *testIntersection()* verifica, através da função *brerate()*, se o tipo de relacionamento topológico imposto pela restrição é verdadeiro ou não. A função *brerate()* é definida pelo Modelo Abstrato e verifica a existência do relacionamento topológico com base no método 4-Intersection. Se o relacionamento existe, o método *testIntersection()* retorna verdadeiro (TRUE), caso contrário, retorna falso (FALSE).

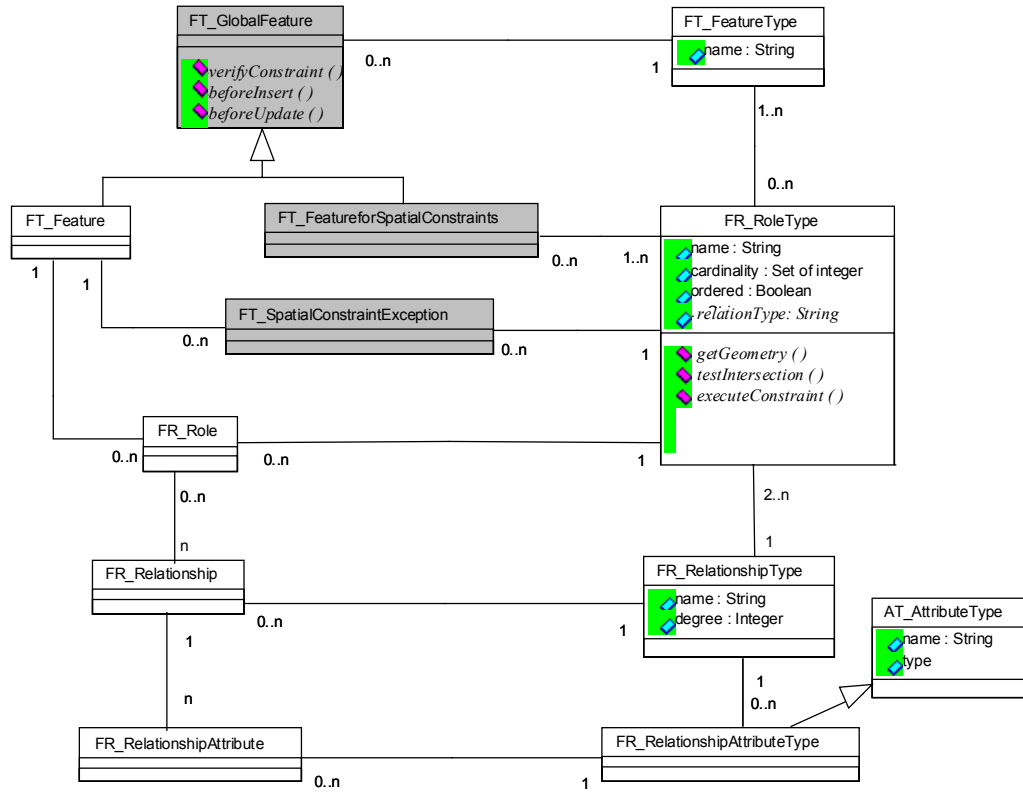


FIGURA 2 – Primeira extensão do Modelo Abstrato

A verificação da consistência da feição é feita pelo método *executeConstraint()*. Ele compara o valor retornado pelo método *testIntersection()* e as cardinalidades de cada restrição. Com base no resultado dessas combinações a restrição é satisfeita ou não.

O método *getGeometry()* recupera a geometria de cada uma das feições envolvidas na restrição.

O atributo *relationType*, definido na classe *FR_RoleType*, indica o tipo de papel de cada feição no relacionamento, determinando o tipo de interseção que precisa ser checado pelo método *testIntersection()*. Ele identifica a relação topológica existente entre duas feições. Nesta proposta, *relationType* pode assumir os seguintes valores para cada tipo de relacionamento topológico: D-Disjoint, T-Touch, I-Inside, S-croSs, V-coVer, B-coveredBy, O-Overlap, C-Contains, E-Equal.

As restrições topológicas são definidas na fase de projeto do banco de dados e verificadas e garantidas na fase de produção do SIG. Nessa fase são realizadas operações sobre os dados geográficos entre as quais destacam-se as operações de inserção, atualização e remoção de objetos do banco de dados. Tais operações são importantes porque podem modificar o estado de uma feição com relação a uma

ou mais restrições espaciais. Isso exige que, a cada operação realizada no banco de dados, as restrições de integridade topológica sejam checadas e garantidas.

Os procedimentos necessários para fazer uso adequado da extensão do Modelo Abstrato na fase de produção do SIG, variam de acordo com o tipo de operação executada pelo usuário. Para gerenciar esses procedimentos são utilizados os recursos de um modelo de transações. Nesse contexto, o modelo de transações SAGAS [ELM90, MOL87] é utilizado como exemplo. Inicialmente, quando o usuário abrir uma base de dados, ainda antes de iniciar qualquer operação de inclusão ou alteração de dados, uma transação longa (SAGA) é iniciada. Essa transação ficará aberta até que o usuário feche a base de dados que está sendo manipulada. Cada operação de inclusão e alteração será implementada, nos níveis mais baixos do SIG, como uma subtransação com todas as características de uma transação ACID.

Durante as operações de inserção, atualização ou remoção de feições do banco de dados, feições que violaram restrições topológicas são armazenadas na classe de apoio, denominada *FT_FeatureforSpatialConstraints*. O tratamento dessas feições é realizado quando o usuário fecha a base de dados em uso, mas antes que a transação SAGA seja concluída. O tratamento de cada feição em *FT_FeatureforSpatialConstraints* também é gerenciado por uma subtransação. Somente no final dessas subtransações, quando o usuário encerrar o tratamento, a SAGA será concluída. Caso ocorra alguma falha no sistema, durante a execução das subtransações, SAGA não será desfeita, podendo recomeçar do início da subtransação que falhou.

Maiores informações sobre a primeira extensão ao *Modelo Abstrato* estão em [BOG01].

4.2. – EVOLUÇÃO DA PRIMEIRA EXTENSÃO AO MODELO ABSTRATO

Na busca de simplificar a extensão do Modelo Abstrato, alterando o mínimo possível a estrutura original do esquema de relacionamentos do OpenGIS e buscando reduzir a complexidade de implementação, foi desenvolvido um segundo modelo, um pouco diferente do apresentado na Seção 4.1. Esse modelo apresenta, como principal vantagem, o processo de controle das feições que violam restrições, pois, nesta nova proposta, as mesmas são representadas pela mesma classe das feições que atendem todas as restrições espaciais.

Nesta extensão, o controle das restrições é feito através do papel que a feição desempenha no relacionamento. O controle do estado das feições no banco de dados é realizado através de um novo atributo, denominado *status*, criado na classe *FR_Role*, conforme ilustra a figura 3.

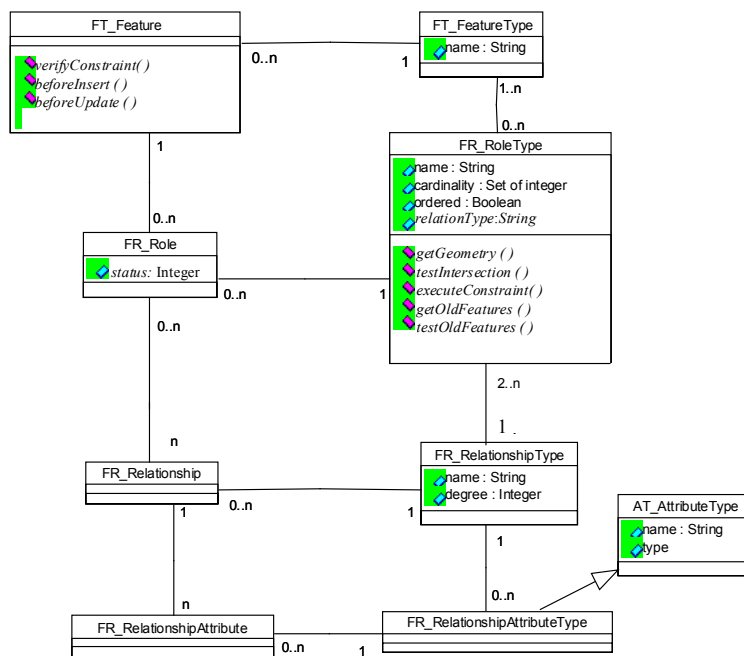


FIGURA 3 – Esquema de restrições topológicas no *OpenGIS*

A classe *FR_Role* representa os papéis de cada feição inserida no banco de dados, de acordo com o tipo de papel que ela desempenha no relacionamento do qual faz parte. Pelo atributo *status* é possível controlar a situação de cada um desses papéis, sendo possível conhecer o estado de uma feição no banco de dados. O atributo *status* possui um conjunto de valores pré-definidos e sua semântica é apresentada a seguir:

- 0 : indica que a feição desempenhou o papel, satisfazendo a restrição topológica definida pelo tipo de papel. Se todos os papéis da feição têm esse valor no atributo *status*, a feição é consistente;
- -1 : a feição encontra-se num estado de pendência, pois a feição não desempenhou o papel para o tipo de restrição associado. Nesse caso, a feição está inconsistente e deve ser tratada futuramente. Esse estado deve mudar para 1 ou 0 após o tratamento adequado da feição;
- 1 : a feição não desempenhou o papel porque excede alguma restrição espacial, ou seja, é um caso excepcional. Nesta situação a feição é consistente, pois é uma exceção à regra.

Uma feição pode ter vários papéis em *FR_Role*, alguns dos quais podem ter o valor do atributo *status* igual a 0 e outros igual a -1, indicando, respectivamente, que algumas restrições foram satisfeitas e outras não. Caso a feição tenha, ao menos, um papel com o valor do atributo *status* igual a -1, ela é uma feição inconsistente no banco de dados.

Os atributos e métodos comuns às duas extensões apresentadas têm a mesma semântica. Contudo, dois novos métodos foram adicionados a classe *FR_RoleType*: *getOldFeatures()* e *testOldFeatures()*. Estes métodos são necessários para gerenciar a integridade das feições durante a atualização de objetos no banco de dados, uma vez que, nesta proposta, as feições inconsistentes são identificadas pelos objetos de *FR_Role*, não havendo mais uma classe específica para representá-los.

O método *getOldFeatures()* recupera todas as feições que atendiam as restrições da feição antes de sua alteração. Ele procura em *FR_Role* apenas os papéis em que o valor do atributo *status* é igual a 0, pois só interessam as feições cujo papel foi satisfeito.

O método *testOldFeatures()* verifica se as restrições de todos os objetos recuperados pelo método *getOldFeatures()* continuam sendo atendidas pelo objeto modificado.

Para cada objeto recuperado por *getOldFeatures()*, o método *testOldFeatures()* recupera a geometria da feição e a compara com a nova geometria da feição modificada. As duas geometrias encontradas são comparadas através do método *testIntersection()*, que verifica se o relacionamento topológico imposto pela restrição existe, ou não, retornando verdadeiro ou falso, respectivamente.

O método *testOldFeatures()* garante que o papel das feições cuja(s) restrição(ões) era(m) satisfeita(s) pela feição antes da modificação, continue sendo atendido somente se a feição modificada ainda atender essas restrições. As feições que não mais tiverem suas restrições atendidas, terão o valor do atributo *status* do papel da restrição alterado para -1.

O tratamento das feições que por alguma razão não atenderam uma ou mais restrições espaciais é iniciado quando o usuário submeter uma ação de encerramento da base de dados. Nesse momento, o sistema verifica se existe alguma instância na classe *FR_Role* em que o valor do atributo *status* seja igual a -1. Se encontrar, deve apresentar, através de uma interface, o conjunto de feições que infringiram alguma restrição e qual a regra que foi violada. Assim, o usuário da aplicação pode tratar essas feições. Entretanto, a interface precisa atender alguns requisitos básicos para o tratamento dessas feições, entre os quais estão:

- possibilitar que a feição seja uma exceção à regra, não desempenhando seu papel em algum tipo de relacionamento. Nesse caso o valor do atributo *status* é mudado para 1;
- permitir a alteração da geometria de uma ou mais feições do banco de dados. Nesse caso, o mesmo processo de controle das restrições durante a atualização de uma feição deve ser executado;
- permitir que a feição seja eliminada do banco de dados, a fim de fazer um recadastramento da mesma, visando a correção da geometria de um ou mais objetos envolvidos na restrição. Ao eliminar a feição, sua geometria, seus papéis, seus atributos e demais aspectos referentes a ela também devem ser eliminados;
- permitir que o usuário encerre a base de dados, mantendo as feições inconsistentes para serem tratadas, posteriormente, em uma nova transação SAGA.

Informações sobre o processo completo para gerenciar restrições topológicas nesta extensão podem ser obtidas em [BOG01].

5 – VALIDAÇÃO DO MODELO ABSTRATO *OPENGIS* ESTENDIDO

Conforme já mencionado, o *OpenGIS* é uma arquitetura para software de SIG. Para implementar e validar o esquema de restrições espaciais, existem duas possibilidades: construir um SIG baseado no *Modelo Abstrato OpenGIS Estendido*; ou, através de um SIG existente que seja baseado no padrão *OpenGIS*, incorporar restrições espaciais.

No primeiro caso, necessita-se de uma grande equipe de desenvolvimento e mesmo assim, um SIG não seria construído em dois anos, que é o prazo de conclusão do trabalho de pesquisa.

No segundo caso, a maioria dos fabricantes de SIG como a Oracle, por exemplo, que desenvolveu o Oracle 8i a partir do padrão *OpenGIS*, não disponibilizam a estrutura interna usada na implementação do SIG e normalmente nem oferecem acesso a esse tipo de informação.

Com base nessas dificuldades, buscou-se, então, uma outra forma de validar o modelo proposto nessa pesquisa, ou parte dele, a fim de testar algumas das restrições espaciais identificadas nos estudos de caso. A solução encontrada foi um SIG, denominado GOTHIC que através de seu banco de dados geográficos orientado a objetos, permite programar o comportamento dos objetos espaciais. A implementação foi realizada em convênio com a 1ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro (Porto Alegre/RS), que disponibilizou o SIG para que o trabalho pudesse ser implementado.

Na implementação, foi possível constatar que uma função genérica para cada tipo de relacionamento como continência, igualdade, sobreposição, etc, é suficiente para representar um grande conjunto de restrições espaciais do mundo real. Para cada nova classe criada no banco de dados, basta criar um método que faça uma chamada à função topológica desejada e a restrição espacial será garantida para todos os objetos daquela classe.

Outro aspecto importante, constatado durante a implementação das restrições espaciais no GOTHIC, foi o uso de transações para gerenciar o controle do banco de dados. O GOTHIC gerencia as operações realizadas pelo usuário, através de transações, da mesma forma como o *Modelo Abstrato OpenGIS Estendido*. Quando o usuário abre a base de dados, o sistema inicia uma transação longa, que fica aberta até que o mesmo solicite o fechamento da base de dados. Só então ela é concluída.

No contexto da transação longa, o usuário pode realizar operações de inclusão, alteração e exclusão, cada uma das quais é gerenciada por uma subtransação curta. A subtransação é concluída quando o usuário confirma o término da operação. Se alguma falha ocorrer no sistema durante a execução das subtransações, a transação longa não será desfeita, podendo recomeçar do início da subtransação que falhou.

A subtransação uma vez concluída, não pode mais ser desfeita. Existe porém, uma função que permite desfazer a transação longa que está aberta. Ela por sua vez pode desfazer todas as suas subtransações.

6 – CONCLUSÕES

O estudo de casos realizado no contexto do Programa Pró-Guaíba evidenciou que grande parte das restrições espaciais do mundo real são baseadas em relacionamentos topológicos. Estudou-se então alguns métodos que definem um conjunto significativo desses relacionamentos. A partir disso, definiu-se um subconjunto de restrições espaciais de caráter topológico para serem incorporadas ao *OpenGIS*.

Na primeira extensão do Modelo Abstrato *OpenGIS*, as feições consistentes e inconsistentes são representadas por duas classes diferentes. Ao tornarem-se consistentes através da modificação de sua geometria ou pela exclusão/inserção de outros elementos geográficos, as feições são removidas da classe de apoio e inseridas na classe das feições consistentes. Esse processo pode afetar o desempenho do sistema se implementado dessa forma e tornar complexo o controle das restrições.

Com base nas dificuldades mencionadas, foi desenvolvida uma nova proposta de extensão ao *Modelo Abstrato OpenGIS*. Ela altera, ao mínimo, a estrutura original do *Modelo Abstrato*, aumentando a possibilidade da extensão ser aceita pela OGC e ser incorporada, formalmente, ao Modelo Abstrato do consórcio *Open GIS*. Além disso, o controle das restrições na segunda proposta é menos trabalhoso, pois não há necessidade de pesquisar objetos em duas classes diferentes e nem transportar objetos de uma classe para outra durante a atualização de feições.

A validação do *Modelo Abstrato OpenGIS Estendido*, através da implementação de comportamentos equivalentes em um banco de dados geográficos, orientado a objetos, contribuiu para a produção cartográfica digital da 1ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro, de forma que os projetistas da base cartográfica identificam quais restrições topológicas devem ser obedecidas em cada classe de objetos geográficos e o sistema valida e garante as mesmas automaticamente.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [BOG99] BOGORNY, V. Um estudo sobre o OpenGIS: a proposta da OGC para interoperabilidade e distribuição em Sistemas de Informação Geográfica. Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 1999. (TI-865).
- [BOG99a] BOGORNY, V. Exercício de representação do framework conceitual GeoFrame no modelo proposto pelo consórcio OpenGIS. Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 1999. (TI-898).
- [BOG00] BOGORNY, V. Incorporando suporte a restrições espaciais no modelo OpenGIS. In: SEMANA ACADÊMICA DO PPGC, 5., 2000. Anais... Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2000. p.127-130.
- [BOG01] BOGORNY, V. Incorporando Suporte a Restrições Espaciais de Caráter Topológico no modelo abstrato do padrão OpenGIS. Porto Alegre, PGCC da UFRGS, 2001. Dissertação de mestrado.
- [BOR97] BORGES, K. A. de V.. Modelagem de Dados Geográficos: Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas. Belo Horizonte, MG: DCC – ICEX – UFMG, 1997. Dissertação de Mestrado.
- [BUE98] BUEHLER, K.; MCKEE, L. The OpenGIS guide. Massachusetts, USA. Disponível em: <<http://www.OpenGIS.org/techno/guide.html>>. Acesso em: jun. 1998.
- [CLE93] CLEMENTINI, E.; DI FELICE, P.; Van Oosterom, P. A small set of formal topological relationships for end-user interaction. In: ABEL, D.; OOI, B.C. (Eds.). Advances in Spatial Databases. [S.l.]: Springer-Verlag, 1993. p. 277-295. (Lecture Notes in Computer Science, v. 692).
- [CLE94] CLEMENTINI, E.; DI FELICE, P. A comparison of methods for representing topological relationships. Italy: University of L'Aquila, 1994.
- [EGE91] EGENHOFER, M.; HERRING, J.; SMITH, T.; PARK, K. K. A framework for the definition of topological relationships and na Algebraic Approach to Spatial Reasoning Within this Framework. [S.l.]: NCGIA, 1991. (Technical Report 91-7).
- [EGE94] EGENHOFER, M. Pre-Processing queries with spatial constraints. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, [S.l.], v.60, n.6, p.783-790, 1994.

- [ELM 90] ELMAGARMID, A. K. Database transaction models. San Mateo, California: Morgan Kaufmann, 1990.
- [HAD92] HADZILACOS, T.; TRYFONA, T. A model for expressing topological integrity constraints in geographic databases. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GIS, 1995. Proceedings... Pisa, Italy: [s.n.], 1992. (Lecture Notes in Computer Science v.639).
- [LIS 96] LISBOA, J.; IOCHPE, C. Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com ênfase em banco de dados. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1996.
- [MOL87] MOLINA, H. G.; SALEN, K. SAGAS. In: ACM SIGMOD, 1987. Proceedings... [S.l.:s.n.], 1987.
- [OGC99] OPEN GIS CONSORTIUM. Topic 8, the OpenGIS abstract specification – relationships between features – Version 4. Disponível em: <<http://www.OpenGIS.org/techno/specs.htm>>. Acesso em jul. 1999.
- [THO98] THOMÉ, R. Interoperabilidade em geoprocessamento: conversão entre modelos conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e comparação com o padrão OpenGIS. São José dos Campos, SP: [s.n.], 1998. Dissertação de Mestrado.