

## Geração automática de código fonte para restrições de integridade topológicas utilizando o perfil UML GeoProfile

Vinícius Garcia Sperandio<sup>1,3</sup>, Sérgio Murilo Stempliuc<sup>1</sup>,  
Thiago Bicalho Ferreira<sup>2</sup>, Jugurta Lisboa-Filho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculdade Governador Ozanam Coelho (FAGOC) - Ubá, MG - Brasil

<sup>2</sup>Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) - Almenara, MG - Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Viçosa (UFV) - Viçosa, MG - Brasil

{vinisperandio13, smstempliuc, thiagao.ti}@gmail.com, jugurta@ufv.br

**Abstract.** *In the geographical database context, the UML profile called GeoProfile is used in the conceptual modeling of geographical data with well-defined metamodel topology constraints through the use of Object Constraint Language (OCL). This paper describes the process of automatic transformation of GeoProfile constructors and its spatial constraints along the different levels of the MDA architecture. The process was tested in the Enterprise Architect CASE tool. The proposal includes extending the OCLtoSQL plugin to automatically creates triggers that enforce the topology integrity constraints of geographical data in DBMS Oracle Spatial.*

**Resumo.** *O perfil UML GeoProfile foi proposto para auxiliar no projeto de bancos de dados geográficos. O GeoProfile é utilizado durante a modelagem conceitual de dados geográficos, tendo as restrições topológicas bem definidas em seu meta-modelo, especificadas em Object Constraint Language (OCL). Este artigo descreve o processo de transformação automática dos construtores do GeoProfile e suas restrições espaciais através dos diferentes níveis da arquitetura MDA. O processo foi testado na ferramenta CASE Enterprise Architect e inclui a extensão do plugin OCLtoSQL para geração automática de gatilhos (triggers) que garantam a integridade topológica dos dados geográficos no SGBD Oracle Spatial.*

### 1. Introdução

A modelagem de banco de dados geográficos enfrenta um desafio maior quando comparada com a modelagem de banco de dados convencionais. Isto ocorre pelo fato dos fenômenos geográficos não serem representados apenas por dados alfanuméricos, mas sim por existirem diferentes formas de representação de seu componente espacial.

Ainda que existam ferramentas comerciais para modelagem conceitual de banco de dados, apenas algumas permitem sua adaptação para banco de dados geográficos [Lizardo and Davis Junior 2014], pois os dados geoespaciais descrevem fenômenos geográficos e por isso possuem características como a sua localização espacial e também relacionamentos espaciais com outros dados. É necessário então estabelecer regras capazes de tratar as peculiaridades dos dados geoespaciais, como os relacionamentos topológicos que podem ocorrer entre dois fenômenos geográficos. Assim como afirmado por Elmasri and Navathe (2011) para bancos de dados convencionais, essas regras podem

ser estabelecidas através da imposição de restrições de integridade durante a entrada de dados, com objetivo de melhorar a qualidade dos dados armazenados.

Este artigo descreve o processo de geração automática de scripts SQL utilizando o plugin OCLtoSQL [Sobotka 2012] na ferramenta CASE Enterprise Architect (EA). As transformações seguem a abordagem *Model Driven Architect* (MDA), gerando script para o SGBD Oracle Spatial. O restante do artigo está estruturado como segue. A seção 2 apresenta um resumo do perfil UML GeoProfile, da arquitetura MDA e da *Object Constraint Language* (OCL). A seção 3 descreve as transformações MDA começando de um esquema conceitual, descrito no perfil UML GeoProfile, até a geração de códigos SQL e PL/SQL para o SGBD Oracle Spatial. A seção 4 apresenta as conclusões deste trabalho.

## 2. Perfil UML GeoProfile, MDA e OCL

O perfil UML GeoProfile [Lisboa-Filho et al. 2013], proposto para modelagem conceitual de banco de dados geográficos, reuni as características de maior destaque de diversos modelos conceituais específicos para modelagem de banco de dados geográficos, como o OMT-G, MADS, GeoOOA, UML-GeoFrame e o modelo da ferramenta Perceptory.

O perfil GeoProfile corresponde a um modelo conceitual de alto nível de abstração, que auxilia o projetista na concepção e especificação de bancos de dados geográficos. Segundo a abordagem MDA, esse nível de abstração é chamado de *Computation Independent Model* (CIM), onde são especificados os requisitos do sistema sem apresentar os detalhes de suas estruturas [Keppler, Warmer and Bast 2003]. Diagramas especificados nesse nível de abstração devem ser transformados em níveis mais baixos, os quais são enriquecidos com elementos de ordem mais técnica até atingir detalhes de implementação. Desta forma, o CIM é transformado em um *Platform Independent Model* (PIM), modelo que independe de qualquer tecnologia de implementação. Em seguida, um PIM é transformado em um *Platform Specific Model* (PSM), onde são especificados detalhes a respeito da plataforma de implementação e, por último, é feita a transformação do PSM em código fonte (no caso de banco de dados, um script de criação do esquema lógico).

Ainda que a modelagem seja feita com o perfil GeoProfile juntamente com a abordagem MDA, algumas características e comportamentos do sistema não podem ser descritos nesse nível (CIM), como unicidade, derivação e limites dos valores de um atributo e restrições durante a entrada ou modificação de dados. Para suprir essas necessidades, pode ser utilizada a *Object Constraint Language* (OCL) [OMG 2014].

A OCL possui três características que a tornam uma linguagem de sucesso: ela é sucinta, com elementos simples de serem compreendidos; é compacta, mas ainda assim poderosa, tornando possível escrever expressões curtas, precisas e capazes de expressar diversas ações; e assemelha-se ao uso de linguagens de programação orientadas a objetos [Warmer and Kleppe 2003]. Através de seu uso é possível especificar consultas, definir regras de derivação, valores iniciais, novos atributos e operações, suprimindo as necessidades da UML. Cada expressão escrita em OCL depende dos tipos definidos nos diagramas da UML [OMG 2014].

### 3. Processo de Transformação de Esquemas

Embora utilizando o GeoProfile o diagrama conceitual seja feito no nível de abstração CIM, este trabalho parte da especificação do PIM, já que a ferramenta EA utiliza detalhes desse nível durante a elaboração de diagramas. A Figura 1 ilustra um exemplo de esquema conceitual que será utilizado para apresentar o processo de transformação MDA. No exemplo existem três classes geográficas e uma convencional, sendo Cidade e Bairro do tipo geográfico «Polygon», Escola do tipo geográfico «Point» e Professor como uma classe convencional. Há um relacionamento semântico mostrando que cada Professor trabalha em uma Escola e os relacionamentos topológicos: Escola deve estar *dentro* («in») de um Bairro; e Bairro deve estar *dentro* («in») de uma Cidade.

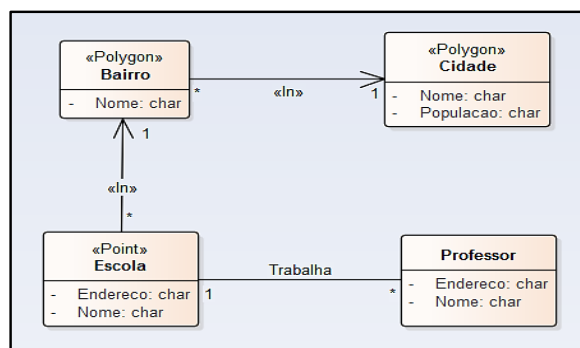


Figura 1. Exemplo de diagrama PIM na ferramenta EA

Utilizando a ferramenta EA e o esquema PIM da Figura 1 é possível obter seu respectivo PSM através do *template* (modelo) de transformação DDL (Data Definition Language) presente na opção Package → Model Transformation (MDA). No entanto, como o padrão inclui somente transformações genéricas específicas para dados convencionais, é necessário modificar esse modelo para atender a modelagem do perfil geográfico, o que pode ser feito através da opção Package → Model Transformation (MDA) → MDA Transformation Templates. Ferreira *et al.* (2016) descrevem essas alterações feitas nos *templates* para suportar o perfil GeoProfile e suas transformações.

A Figura 2 mostra o PSM resultante dessa transformação utilizando o *template* de transformação DDL de acordo com a proposta apresentada por Ferreira *et al.* (2016), onde relacionamentos entre objetos geográficos foram considerados relacionamentos semânticos que utilizam chaves estrangeiras.

Na transformação do PSM em códigos SQL e PL/SQL (última etapa da abordagem MDA) deve-se garantir que as restrições de integridade dos relacionamentos topológicos estabelecidos em alto nível de abstração sejam respeitadas. O script de criação de tabelas e relacionamentos (convencionais) em SQL pode ser feito através da ferramenta EA, selecionando seu pacote de classes, escolhendo a opção code engineering e então selecionando a opção generate DDL. E assim, como feito anteriormente na transformação do modelo PIM para PSM, é também possível se modificar a geração do script SQL através da opção Package → database engineering → edit DLL templates.

O Código 1 ilustra a transformação dos atributos geográficos, onde é verificada na lista de atributos de uma classe do diagrama se existe um atributo do tipo GM\_Line. Esse atributo é substituído por SDO\_GEOMETRY, uma vez que o SGBD alvo é o Oracle

Spatial. O mesmo é feito para os atributos GM\_Point e GM\_Polygon. Pode-se modificar essa etapa caso tenha-se como alvo outro SGBD com recursos geográficos.

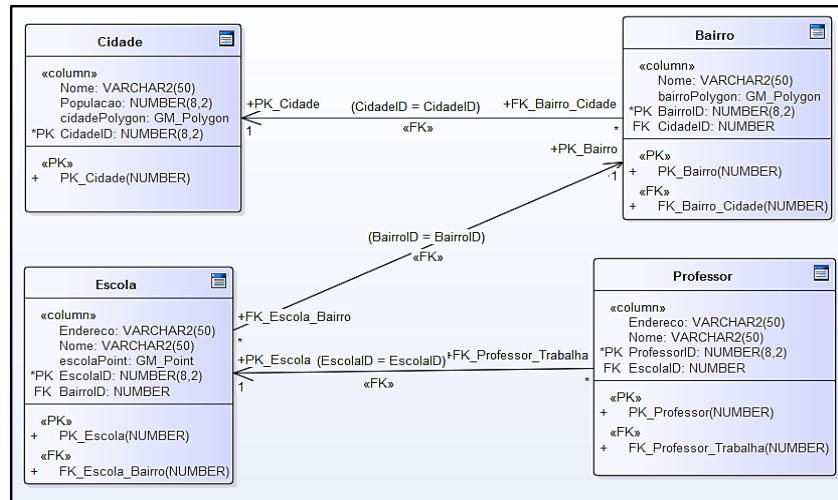


Figura 2. PSM gerado a partir do PIM através de transformações MDA.

```

$comment = "----- Creating Attrib Point -----"
$Point = %list="DDLColumnDefinition" @separator="n" @indent="t" columnProperty:"TYPE" == "GM_Point"%
%if $Point != ""%
$stableContent = %list="DDLColumnDefinition" @separator="n" @indent="t" columnProperty:"TYPE" != "GM_Point"%
$stableContent += "n"
$stableContent += "t"
$stableContent += "Locate SDO_GEOMETRY"
$stableContent += "n"
%endif%
    
```

Código 1. Conversão dos atributos geográficos.

O Quadro 1 apresenta o resultado na forma de um script SQL para o exemplo proposto. A coluna da esquerda apresenta os códigos SQL responsáveis pela criação das tabelas e a coluna da direita apresenta a criação das chaves primárias e estrangeiras.

Para garantir a integridade topológica dos dados inseridos no banco, foi desenvolvida uma extensão do plugin OCLtoSQL, a qual avalia por meio de gatilhos (triggers) se é possível o relacionamento entre o dado que está sendo inserido e o dado que já está armazenado no banco de dados. Trigger é um recurso já conhecido na implementação de SGBD relacionais e objeto-relacionais, principalmente para se garantir que regras de negócio complexas sejam respeitadas durante a persistência de dados. Restrições de integridade topológicas, assim como regras de negócio, são condições complexas que precisam então deste recurso para serem devidamente respeitadas.

A extensão do *plugin* OCLtoSQL foi desenvolvida utilizando a IDE Visual Studio 2015, devido a possibilidade de inserir a biblioteca Interop.EA, que possui funções específicas para manipulação da ferramenta EA. Entretanto para realizar a geração dos *scripts* é necessário retornar ao modelo PIM, pois é ele quem possui os estereótipos geográficos modelados. A geração desses *scripts* é realizada através da opção *Extensions* → *OCLtoSQL* → *SQL Generation*. O Código 2 ilustra um trigger que antes da inserção de um novo Bairro verifica se o seu tipo de dado geográfico é o mesmo especificado durante a modelagem conceitual (Polígono). Ainda no Código 2 um segundo trigger verifica se esse Bairro se relaciona com uma Cidade e se o tipo de relacionamento entre os dois também é o mesmo especificado conceitualmente (Cidade contém Bairro).

**Quadro 1. Script SQL para criação de Tabelas, PKs e FKs**

|  |   |
|--|---|
| <pre>CREATE TABLE "Bairro" (   "Nome" VARCHAR2(50),   "BairroID" NUMBER(8,2) NOT NULL,   "CidadeID" NUMBER,   Shape SDO_GEOMETRY ); CREATE TABLE "Cidade" (   "Nome" VARCHAR2(50),   "Populacao" NUMBER(8,2),   "CidadeID" NUMBER(8,2) NOT NULL,   Shape SDO_GEOMETRY ); CREATE TABLE "Escola" (   "Endereco" VARCHAR2(50),   "Nome" VARCHAR2(50),   "EscolaID" NUMBER(8,2) NOT NULL,   "BairroID" NUMBER,   Shape SDO_GEOMETRY ); CREATE TABLE "Professor" (   "Endereco" VARCHAR2(50),   "Nome" VARCHAR2(50),   "ProfessorID" NUMBER(8,2) NOT NULL,   "EscolaID" NUMBER );</pre> | <pre>ALTER TABLE "Bairro" ADD CONSTRAINT "PK_Bairro" PRIMARY KEY ("BairroID");  ALTER TABLE "Cidade" ADD CONSTRAINT "PK_Cidade" PRIMARY KEY ("CidadeID");  ALTER TABLE "Escola" ADD CONSTRAINT "PK_Escola" PRIMARY KEY ("EscolaID");  ALTER TABLE "Professor" ADD CONSTRAINT "PK_Professor" PRIMARY KEY ("ProfessorID");  ALTER TABLE "Bairro" ADD CONSTRAINT "FK_Bairro_Cidade" FOREIGN KEY ("CidadeID") REFERENCES "Cidade" ("CidadeID");  ALTER TABLE "Escola" ADD CONSTRAINT "FK_Escola_Bairro" FOREIGN KEY ("BairroID") REFERENCES "Bairro" ("BairroID");  ALTER TABLE "Professor" ADD CONSTRAINT "FK_Professor_Trabalha" FOREIGN KEY ("EscolaID") REFERENCES "Escola" ("EscolaID");</pre> |
|--|---|

The screenshot shows a window titled "OCLtoSQL" with a text area containing the following SQL code:

```
CREATE OR REPLACE TRIGGER Bairro_Polygon
BEFORE INSERT OR UPDATE ON "Bairro"
FOR EACH ROW
DECLARE
  Gtype NUMBER :=0;
BEGIN
  SELECT :NEW.SHAPE.GET_GTYPE() INTO Gtype FROM DUAL;
  IF Gtype != 3 THEN
    RAISE_APPLICATION_ERROR(-20001, 'Invalid type');
  END IF;
END;

CREATE OR REPLACE TRIGGER Bairro_Cidade
BEFORE INSERT OR UPDATE ON "Bairro"
FOR EACH ROW
DECLARE
  Contador NUMBER := 0;
BEGIN
  SELECT COUNT(*) INTO Contador FROM "Cidade" S
  WHERE (S."CidadeID" = :NEW."CidadeID" AND SDO_RELATE(:NEW."SHAPE", S."SHAPE", 'MASK=inside')=TRUE);

  IF Contador < 1 THEN
    RAISE_APPLICATION_ERROR(-20001, 'Invalid relationship');
  END IF;
END;
```

At the bottom of the window, there are "Save As" and "Copy" buttons.

**Código 2. Gatilhos gerados pelo plugin OCLtoSQL estendido.**

Se o contador for menor que um, significa que a restrição de integridade foi violada por não ter uma determinada Cidade associada ao Bairro ou pelo relacionamento topológico não ser aquele especificado durante a modelagem conceitual. Nesse caso o comando *insert* deve ser abortado antes da inserção do novo Bairro através do uso da função `RAISE_APPLICATION_ERROR`.

#### 4. Conclusão

Este trabalho tem dois objetivos principais: o primeiro é permitir um ganho de produtividade através da automatização da transformação entre os diversos esquemas da MDA a partir da modelagem realizada em alto nível utilizando o perfil UML GeoProfile; o segundo é garantir que todas as restrições de integridade especificadas em alto nível

através da OCL sejam respeitadas no baixo nível através de mecanismos próprios de SGBDs conhecidos como *triggers*, evitando-se erros ou esquecimentos que podem ocorrer durante o processo de transcrição manual tradicional.

As expressões OCL utilizadas nesse trabalho são aquelas já fornecidas pelo perfil GeoProfile para os seus relacionamentos topológicos. Para essas restrições já conhecidas, são gerados os *triggers* com as classes envolvidas no diagrama. No entanto, a OCL permite também que os projetistas escrevam suas próprias restrições de integridade nos diagramas, e a garantia dessas restrições no baixo nível é algo em estudo para trabalhos futuros.

Outra oportunidade a partir deste trabalho é aprimorar o *plugin* de transformação OCLtoSQL para outras ferramentas CASE além da Enterprise Architect. Desse modo, os projetistas de banco de dados que utilizem o perfil GeoProfile terão uma maior liberdade no processo de escolha da ferramenta a ser utilizada na modelagem conceitual. De modo similar, outra extensão possível desse trabalho é aprimorar o *plugin* de transformação OCLtoSQL para também gerar código SQL e PL/SQL (ou similar) para outros SGBDs que também suportem dados geográficos e relacionamentos topológicos.

## Agradecimentos

Projeto parcialmente financiado pela Fagoc e pelas agências FAPEMIG e CAPES.

## Referências

- Elmasri, R. and Navathe, S. B. (2011) “Sistemas de Banco de Dados”. 6<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson.
- Ferreira, T. B., Lisboa-Filho, J., Stempliuć, S. M. (2016). “Using CASE tools in MDA transformation of geographical database schemas”. *International Journal on Advances in Software*, v.9, n.3&4, p. 347-358.
- Kleppe, A., Warmer, J. and Bast, W. (2003). “MDA explained: the model driven architecture: practice and promise”, Addison Wesley, 1th edition.
- Lisboa-Filho, J., Sampaio, G. B., Nalon, F. R., and Borges, K. A. D. V. (2010) “A UML profile for conceptual modeling in GIS domain”. In proceedings of the International Workshop on Domain Engineering at CAiSE, Hammamet, Tunisia, pp. 18-31.
- Lisboa-Filho, J., Nalon, F. R., Peixoto, D. A., Sampaio, G. B., and Borges, K. A. V. (2013). “Domain & Model Driven Geographic Database Design”. In Reinhartz-Berger *et al.* (Eds.). *Domain Engineering: Product Lines, Languages, and Conceptual Models*. New York: Springer, p.375-399.
- Lizardo, L. E. O.; Davis Junior, C. A. (2014) “OMT-G Designer: A Web tool for geographic database modeling”. In proceedings of the 8th International Workshop on Semantic and Conceptual Issues in GIS (SeCoGIS), Atlanta, Georgia, USA. *Lecture Notes in Computer Science*, v. 8823. p. 228-233.
- Object Management Group. (2014). *Object Constraint Language*, v.2.4. OMG, Needham, MA, USA.
- Sobotka, Petr. (2012) “Transformation from OCL into SQL”, República Checa.
- Warmer, J. B. and Kleppe, A. G. (2003). “The Object Constraint Language: Getting Your Models Ready for MDA”. Addison-Wesley Professional.