

Tese apresentada à Divisão de Pós-graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência no Curso de Engenharia Eletrônica e Computação, Área de Informática.

Giovani Volnei Meinerz

**OMT-G TEMPORAL: UMA TÉCNICA DE
EXTENSÃO DO MODELO OMT-G PARA
REPRESENTAR OS ASPECTOS TEMPORAIS DE
DADOS GEOGRÁFICOS**

Tese aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:


Prof. Dr. Adilson Marques da Cunha *D.Sc.*
Orientador

Prof. Dr. Homero Santiago Maciel
Chefe da Divisão de Pós-graduação

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP - Brasil

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA

Meinerz, Giovani Volnei

OMT-G Temporal: Uma Técnica de Extensão do Modelo OMT-G para Representar os Aspectos Temporais de Dados Geográficos / Giovani Volnei Meinerz.

São José dos Campos, 2005.

129f.

Tese de Mestrado – Curso de Engenharia Eletrônica e Computação – Área de Informática, 2005.
Orientador: Prof. Dr. Adilson Marques da Cunha. .

1. Sistemas de Informação Geográficos, Modelos de Dados Geográficos, Bancos de Dados Geográficos, Técnicas de Modelagem Conceitual Temporal de Dados. I. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciência da Computação.
II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEINERZ, Giovani Volnei. ***OMT-G Temporal: Uma Técnica de Extensão do Modelo OMT-G para Representar os Aspectos Temporais de Dados Geográficos***. 2005. 129f. Tese de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Giovani Volnei Meinerz

TÍTULO DO TRABALHO: *OMT-G Temporal: Uma Técnica de Extensão do Modelo OMT-G para Representar os Aspectos Temporais de Dados Geográficos*.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Tese / 2005

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta tese e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Giovani Volnei Meinerz

Rua República de Israel, 70, Jd. Augusta

CEP 12.216-620 – São José dos Campos–SP

**OMT-G TEMPORAL: UMA TÉCNICA DE
EXTENSÃO DO MODELO OMT-G PARA
REPRESENTAR OS ASPECTOS TEMPORAIS DE
DADOS GEOGRÁFICOS**

Giovani Volnei Meinerz

Composição da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Henrique Costa Ribeiro	Presidente	-	ITA
Prof. Dr. Adilson Marques da Cunha	Orientador	-	ITA
Prof. Dr. Celso Massaki Hirata	Membro	-	ITA
Prof. Dr. Wilson Cabral de Sousa Jr.	Membro	-	ITA
Prof. Dr. Clodoveu Augusto Davis Jr.	Membro Externo	-	PUC/MG

Dedico este trabalho à minha
irmã Jociele, e aos meus pais,
Lori e Egon Nelson Meinerz.

Agradecimentos

Ao Criador, pela vida, saúde e pelas oportunidades que me concedeu até hoje.

À Adilson Marques da Cunha, professor, conselheiro e meu orientador, por ter conduzido este trabalho com competência, responsabilidade, astúcia e detalhismo, e também por sempre encontrar disponibilidade para contribuir com minha formação pessoal e profissional.

Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, por me receber e acolher para que aqui eu pudesse me enriquecer profissionalmente.

À Fundação Casimiro Montenegro Filho - FCMF, pelo infra-estrutura e suporte oferecidos, tão necessários para a conclusão deste trabalho de pesquisa.

À Empresa COMPSIS - Computadores e Sistemas Ltda, da cidade de São José dos Campos/SP, que em decorrência da parceria realizada com o ITA possibilitou a prática de boa parte das pesquisas realizadas nesse período.

À Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, pelo aporte de recursos que garantiram a subsistência.

Aos Professores Celso Renna e Souza (*in memoriam*), Ney Yoshiro Soma, Adilson Marques da Cunha e Gilberto Câmara, pelos conhecimentos e experiências passadas nas disciplinas com eles realizadas.

À Karla Albuquerque Vasconcelos Borges, que com suas sugestões e orientações, muito contribuiu com direcionamento deste trabalho.

À minha querida e valiosa família, pelo apoio, compreensão e amor incondicional.

À Leily Firoozmand, mulher de toda especial, que mesmo num curto período de convivência, me faz admirá-la.

À Sras Ósea Camargo de Matos e Heloisa Helena, pelo zelo, atenção, preocupação, e conselhos, que fazem do Laboratório de Desenvolvimento Tecnológico - LABTEC, uma segunda casa com duas mães.

À Osvandre Alves Martins, Claudiney Calixto da Silva, Fabiano Morelli e Alex Lopes Pereira, por terem proporcionado um ambiente de trabalho de pesquisa e desenvolvimento em grupo sem igual, gerador de valiosos conhecimentos e experiências.

À toda comunidade ITA \LaTeX *Users Society* - ITALUS, em especial à Fábio Fagundes Silveira e Benedicto C. O. Maciel, pela oportunidade de junto com eles desenvolver a classe \LaTeX para resolver os problemas de formatação dos documentos científicos produzidos no ITA.

Aos Professores Braulio Adriano de Mello, Luciano Lores Caimi, Maria Augusta Silveira Neto Nunes e Antonio Vanderlei dos Santos, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campi Santo Ângelo/RS, pelo apoio, incentivo, conselhos e amizade.

À todos os colegas de Pós-Graduação do ITA, pelo convívio e alegres momentos de recreação.

Aos colegas do LABTEC, em especial aos integrantes do módulo 1.

*“If I have seen farther than others,
it is because I stood on the shoulders of giants.”*

— SIR ISAAC NEWTON

Resumo

A utilização de modelos conceituais para o processo de desenvolvimento de aplicações em geral é de fundamental importância. Aplicações geográficas precisam gerenciar objetos espaciais, juntamente com não-espaciais, bem como objetos temporais. Este fator vem exigindo considerável esforço no desenvolvimento de aplicações geográficas. A complexidade na manipulação dessas informações temporais vem demandando esforços ainda maiores na modelagem conceitual, para que estas realmente permitam a representação dos fenômenos naturais e suas variações no tempo. Modelos de dados geográficos, incluindo o modelo de dados para aplicações geográficas *Object Modeling Technique for Geographic Applications* (OMT-G), propõem algumas primitivas para a criação de esquemas estáticos, dinâmicos e de apresentação utilizados para modelagem de aplicações geográficas. Apesar da sua expressividade, este modelo ainda não tem recursos para representação de aspectos temporais de dados geográficos. Este trabalho propõe e exemplifica um conjunto de primitivas temporais, projetadas para complementar e estender o OMT-G. O trabalho também inclui o desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem, chamada *Geo-Temporal*, que oferece suporte ao desenvolvimento de aplicações espaço-temporais usando a extensão temporal criada para o OMT-G.

Abstract

The utilization of conceptual models for the application development process in general is relevant. Geographic applications processes need to manage spatial objects, along with non-spatial as well as temporal objects. Representation and management require considerable efforts in the development of geographic applications. The complexity of manipulating temporal information demands even larger efforts in conceptual modeling, in order to really allow for the representation of natural phenomena and their variations on time. Geographic data models, including the Object Modeling Technique for Geographic Applications - OMT-G, propose some primitives for the creation of static, dynamic and presentation schemas, used for modeling geographic applications. Despite of its expressiveness, this model doesn't yet have resources to deal with temporal aspects of geographic data. This work proposes and exemplifies a set of temporal primitives, designed to complement and enhance OMT-G. The work also includes the development of a modeling tool, called Geotemporal, which supports the development of spatio-temporal application schemas using the temporally-enhanced OMT-G.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xviii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xix
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 Problema	24
1.2 Solução	24
1.3 Escopo da Pesquisa	24
1.4 Requisitos da Pesquisa	25
1.5 Organização do Trabalho	26
2 REVISÃO CONCEITUAL	27
2.1 Sistemas de Informação Geográficos	27
2.1.1 Gerações de SIG	29
2.1.2 Normas e Padrões Aplicáveis a SIG	31
2.1.3 Áreas de Aplicação de SIG	32
2.2 Dados Geográficos	35
2.2.1 Modelos de Referência para Representação de Fenômenos e Objetos Geográficos	36

2.2.2	Representação de Dados Geográficos	37
3	MODELAGEM CONCEITUAL ESPAÇO-TEMPORAL	44
3.1	Contexto Histórico	44
3.2	Estruturas Temporais	45
3.3	Aplicações Espaço-Temporais	46
3.3.1	Requisitos para um Modelo de Dados Geográfico	47
3.3.2	Requisitos de Modelagem Espaço-Temporal	48
3.4	Trabalhos Relacionados	50
3.4.1	Perceptory	50
3.4.2	GeoOOA	53
3.4.3	OO-TGIS	55
3.4.4	MADS	58
3.4.5	GeoFrame-T	61
3.5	Comparação entre os Modelos Conceituais Espaço-Temporais	66
4	O MODELO DE DADOS OMT-G	68
4.1	Diagrama de Classes	69
4.1.1	Estrutura da Classe	69
4.1.2	Relacionamentos	71
4.1.3	Generalização e Especialização	73
4.1.4	Agregação	74
4.1.5	Generalização Conceitual	74
4.1.6	Restrições de Integridade Espaciais	76
4.2	Diagrama de Transformação	77
4.3	Diagrama de Apresentação	77
4.4	Conclusão	78

5	O DESENVOLVIMENTO DA TÉCNICA <i>OMT-G Temporal</i>	79
5.1	Mecanismos de Extensão da UML	80
5.2	TUML	82
5.2.1	Semântica Temporal	82
5.2.2	Objetos Temporais	82
5.2.3	Estereótipos Temporais	83
5.3	Extensão Temporal para o Modelo OMT-G	83
5.3.1	Semântica Temporal da <i>OMT-G Temporal</i>	84
5.3.2	Estereótipos Temporais	85
5.3.3	Temporalidade em Objetos e Atributos	89
5.3.4	Relacionamentos Temporais	91
5.3.5	Generalização e Especialização Temporal	94
5.3.6	Generalização Cartográfica Temporal	95
5.3.7	Agregação Temporal	95
5.4	Modelagem Visual de Aplicações Geográficas	96
5.4.1	<i>Geo-Temporal</i> : Um Protótipo de Ferramenta de Modelagem para a <i>OMT-G Temporal</i>	99
6	ESTUDO DE CASO	104
6.1	Desmatamentos e Queimadas	104
6.2	Ocupação e Uso da Terra	106
6.3	Análise Comparativa entre os Modelos Conceituais Espaço-Temporais	108
6.3.1	<i>OMT-G Temporal</i> e <i>Perceptory</i>	108
6.3.2	<i>OMT-G Temporal</i> e <i>GeoOOA</i>	108
6.3.3	<i>OMT-G Temporal</i> e <i>OO-TGIS</i>	109

SUMÁRIO	xiii
6.3.4 OMT-G Temporal e MADS	110
6.3.5 OMT-G Temporal e GeoFrame-T	110
6.4 Tendências e Perspectivas	111
7 CONCLUSÃO	113
7.1 Contribuições	114
7.2 Recomendações	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICE A – PROTÓTIPO DA FERRAMENTA DE MODELAGEM	
<i>Geo-Temporal</i>	121
A.1 Informações Gerais	121
A.2 Objetivos do Desenvolvimento do Protótipo	121
A.3 Descrição das Tecnologias	121
A.4 Descrição do Protótipo <i>Geo-Temporal</i>	122
ANEXO A – DRAFT BUSINESS PLAN OF ISO/TC 211 - GEO-	
GRAPHIC INFORMATION/GEOMATICS	129

Lista de Figuras

Figura 2.1:	Estrutura geral de um SIG (CÂMARA et al., 1996)	28
Figura 2.2:	Representação matricial para um mapa (FOOTE; HUEBNER, 1996). . .	38
Figura 2.3:	Representação vetorial (correspondente a imagem raster mostrada na Figura 2.2) (FOOTE; HUEBNER, 1996).	39
Figura 2.4:	Exemplo de mapa temático (CASANOVA et al., 2005).	40
Figura 2.5:	Exemplo de mapa cadastral (CASANOVA et al., 2005).	40
Figura 2.6:	Informações gráficas de uma rede com topologia arco-nó (CASANOVA et al., 2005).	41
Figura 2.7:	Exemplo de modelo numérico de terreno (CASANOVA et al., 2005). . .	41
Figura 2.8:	Exemplo de uma imagem capturada via satélite (CASANOVA et al., 2005). .	42
Figura 3.1:	Estruturas temporais (WORBOYS; DUCKHAM, 2004).	46
Figura 3.2:	Estereótipos espaciais do <i>Perceptory</i> (BÉDARD, 2003).	51
Figura 3.3:	Representação de múltiplas geometrias de num objeto no <i>Perceptory</i> (BÉDARD, 2003).	52
Figura 3.4:	Estereótipos temporais do <i>Perceptory</i> (BÉDARD, 2003).	53
Figura 3.5:	Evolução temporal em objeto espacial no <i>Perceptory</i> (BÉDARD, 2003). .	53
Figura 3.6:	Representação gráfica da classe temporal para o GeoOOA (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996).	55
Figura 3.7:	Relacionamento ancestral entre objetos temporais (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996).	55

Figura 3.8:	Comportamento genérico de objetos temporais no OO-TGIS, usando a notação de diagrama de estados (RENOLEN, 2000).	56
Figura 3.9:	Sete tipos básicos de mudança (RENOLEN, 2000).	57
Figura 3.10:	Exemplo de modelagem conceitual temporal do OO-TGIS (RENOLEN, 2000).	58
Figura 3.11:	Hierarquia básica do SADT do <i>MADS</i> (PARENT et al., 1998).	60
Figura 3.12:	Atributos temporais no <i>MADS</i> (PARENT et al., 1998).	60
Figura 3.13:	Objetos temporais no <i>MADS</i> (PARENT et al., 1998).	61
Figura 3.14:	Generalização e objetos temporais no <i>MADS</i> (PARENT et al., 1998).	61
Figura 3.15:	Hierarquia das classes básicas do GeoFrame (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	63
Figura 3.16:	Estereótipos espaciais do GeoFrame (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	63
Figura 3.17:	Classe “ObjetoTemporal” do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	64
Figura 3.18:	Estereótipos temporais do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	65
Figura 3.19:	Exemplo de classe temporal do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	66
Figura 3.20:	Exemplo de relacionamento temporal no GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	66
Figura 3.21:	GeoFrame-T, solução final (ROCHA; EDELWEISS, 2001).	67
Figura 4.1:	Notação gráfica para classes básicas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	70
Figura 4.2:	Geo-Campos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	70
Figura 4.3:	Geo-Objetos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	71
Figura 4.4:	Relacionamentos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	72
Figura 4.5:	Cardinalidade (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	73
Figura 4.6:	Generalização e especialização (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	73
Figura 4.7:	Agregação (notação UML) (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	74

Figura 4.8:	Agregação entre classes convencionais e georreferenciadas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	74
Figura 4.9:	Agregação espacial do tipo todo-parte (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	74
Figura 4.10:	Generalização conceitual (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	75
Figura 4.11:	Operações de transformação (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	77
Figura 4.12:	Diagrama de apresentação para a classe <i>City Point</i> (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).	78
Figura 5.1:	Sintaxe dos mecanismos de extensão da UML(OMG, 2003).	81
Figura 5.2:	Estereótipos temporais da TUML(SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997).	83
Figura 5.3:	Objeto e atributos temporais para a <i>OMT-G Temporal</i>	90
Figura 5.4:	Esquema de representação de uma associação temporal simples.	93
Figura 5.5:	Esquema de representação de um relacionamento espaço-temporal.	94
Figura 5.6:	Generalização espaço-temporal.	95
Figura 5.7:	Generalização cartográfica temporal.	96
Figura 5.8:	Esquema de representação de temporalidade em agregação espacial.	97
Figura 5.9:	Template OMT-G com extensão temporal.	100
Figura 5.10:	Diagrama da plataforma do <i>MS-Visio</i> e seus componentes (VISIMAT- TION, 2001).	100
Figura 5.11:	Arquitetura de tratamento de eventos do <i>MS-Visio</i> (CORPORATION, 2001).	101
Figura 5.12:	Esquema de aplicação usando componente <i>ActiveX</i> (BUKOVEC, 2003).	102
Figura 5.13:	Protótipo da ferramenta de modelagem <i>Geo-Temporal</i>	103
Figura 6.1:	Modelagem espaço-temporal de desmatamentos e queimadas.	105
Figura 6.2:	Modelagem espaço-temporal de previsões e evoluções de elementos de uso da Terra.	107

Figura 6.3:	Comparativo entre a <i>OMT-G Temporal</i> e o <i>Perceptory</i>	108
Figura 6.4:	Comparativo entre a <i>OMT-G Temporal</i> e o <i>GeoOOA</i>	109
Figura 6.5:	Comparativo entre a <i>OMT-G Temporal</i> e o <i>OO-TGIS</i>	110
Figura 6.6:	Comparativo entre a <i>OMT-G Temporal</i> e o <i>MADS</i>	110
Figura 6.7:	Comparativo entre a <i>OMT-G Temporal</i> e o <i>GeoFrame-T</i>	111
Figura A.1:	<i>Interface</i> inicial do protótipo <i>Geo-Temporal</i>	123
Figura A.2:	Carregando o <i>template</i> OMT-G com extensão temporal.	123
Figura A.3:	<i>Interface</i> do protótipo com <i>template</i> carregado.	124
Figura A.4:	Legenda explicativa da <i>interface</i> do protótipo.	125
Figura A.5:	Menu de contexto do protótipo.	125
Figura A.6:	Interface para inserção das propriedades do objeto.	126
Figura A.7:	Funcionalidade de visualização da impressão do protótipo.	127
Figura A.8:	Informações sobre o protótipo desenvolvido.	128

Lista de Tabelas

Tabela 2.1:	Evolução das tecnologias e das aplicações de geoprocessamento.	31
Tabela 2.2:	Comparação entre estrutura matricial e estrutura vetorial.	43
Tabela 3.1:	Comparação de modelos conceituais espaço-temporais (ROCHA; EDEL-WEISS; IOCHPE, 2001)	67
Tabela 5.1:	Estereótipos Temporais da <i>OMT-G Temporal</i>	86
Tabela 5.2:	Definições temporais da <i>OMT-G Temporal</i>	89
Tabela 6.1:	Modelos conceituais espaço-temporais comparados a <i>OMT-G Temporal</i>	112

Lista de Abreviaturas e Siglas

ADT *Abstract Data Type*

AFNOR *Association Française de Normalisation*

ANSI *American National Standards Institute*

API *Application Programming Interface*

BIS *Bureau of Indian Standards*

CAD *Computer Aided-Design*

CASE *Computer Aided Software Engineering*

CEOS *Committee on Earth Observation Satellites*

COM *Component Object Model*

DIN *Deutsches Institut für Normung*

DGIWG *Digital Geographic Information Working Group*

E/R *Entity-Relationship*

EPFL *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*

FACC *Feature and Attribute Coding Catalogue*

GeoOOA *Object-Oriented Analysis for Geographic Information Systems*

GIS *Geographic Information System*

GISER *Geographic Information System Entity Relational Model*

GML *Geography Markup Language*

GSDI *Global Spatial Data Infrastructure*

IAG *International Association of Geodesy*

IBN *Institut Belge de Normalisation*

ICA *International Cartographic Association*

ICAO *International Civil Aviation Organization*

ICONTEC *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*

IDE *Integrated Development Environment*

IRAM *Instituto Argentino de Normalización y Certificación*

ISCGM *International Steering Committee for Global Mapping*

ISO *International Organization for Standardization*

ISPRS *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*

JBS *Bureau of Standards Jamaica*

JISC *Japanese Industrial Standards Committee*

LBD *Database Laboratory*

LBS *Location Based Services*

MADS *Modeling of Application Data with Spatio-Temporal Features*

MNT *Modelo Numérico de Terreno*

NC *Oficina Nacional de Normalización*

NFR *Norwegian Research Council*

NTNU *Norwegian University of Science and Technology*

ODMG *Object Database Management Group*

OGC *Open GIS Consortium*

-
- OLE** *Object Linking and Embedding*
- OMT** *Object Modeling Technique*
- OMT-G** *Object Modeling Technique for Geographic Applications*
- ON** *Austrian Standards Institute*
- OO** *Orientação a Objeto*
- OOA** *Object-Oriented Analysis*
- OQL** *Object Query Languages*
- OO-TGIS** *Object-Oriented Temporal GIS*
- PVL** *Plug-in for Visual Language*
- SADT** *Spatial Abstract Data Type*
- SGBD** *Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados*
- SGBDR** *Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Relacionais*
- SCC** *Standards Council of Canada*
- SIG** *Sistemas de Informação Geográficos*
- SQL** *Structured Query Language*
- STUML** *SpatioTemporal Unified Modeling Language*
- TADT** *Temporal Abstract Data Type*
- TOM** *Temporal Object Model*
- TP** *Transformation to Presentation*
- TUML** *Temporal Unified Modeling Language*
- UF** *Unidade Federativa*
- UFRGS** *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*
- UMIST** *University of Manchester Institute of Science and Technology*

UML *Unified Modeling Language*

UNIL *Université de Lausanne*

VAX *Virtual Address Extension*

VOM *Visio Object Model*

WG *Work Groups*

Capítulo 1

Introdução

A representação da evolução dos fenômenos geográficos, durante a modelagem de dados conceitual, implica no uso de diferentes técnicas. Formalizar a percepção do tempo, por meio de modelos de dados conceituais, que permitam aos projetistas e usuários de software utilizar a mesma linguagem, e assim desenvolver sistemas de informação, constitui-se num dos importantes desafios da atualidade para a construção de Sistemas de Informação Geográficos (SIG).

Nesses sistemas, normalmente, as informações referenciadas para espaço também são referenciadas para tempo (CASANOVA et al., 2005). Nos SIG, o aspecto temporal caracteriza a existência de um componente imprescindível para análise, previsão e conhecimento dos fenômenos geográficos. Um SIG pode ser definido sob diferentes visões. Segundo (CÂMARA, 1995), dentre as principais características desse domínio de sistemas, pode-se citar a integração de informações espaciais numa única base de dados, e a oferta de mecanismos para combinação dessas informações através de algoritmos para manipulação e análise.

As aplicações de SIG deveriam oferecer condições para lidar com os dados espaço-temporais, visando melhor refletir a natureza dos fenômenos geográficos. Nelas, as informações geográficas devem ser incluídas e alteradas ao longo do tempo. Considerando-se que os SIG atuais tratam as entidades geográficas como se o mundo existisse no presente, o histórico dessas informações não é mantido e nem permanece na base de dados (DAVIS; BORGES; LAENDER, 2005).

Considerando-se ainda que (BORGES, 1997) apresenta uma extensão da técnica de modelagem de objetos *Object Modeling Technique* (OMT), denominada Geo-OMT, fornecendo primitivas para modelar a geometria e a topologia de dados geográficos. Esta técnica foi aprimorada em (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), para possibilitar a modelagem de restrições de integridade espaciais, passando a ser denominada OMT-G.

Primitivas devem ser entendidas como um conjunto de notações gráficas associadas aos construtores de um modelo conceitual. Elas são usadas para representar, visualmente, o esquema conceitual do banco de dados, facilitando a comunicação entre projetistas, desenvolvedores e clientes.

Apesar de ser largamente utilizada por projetistas e usuários de software para a modelagem conceitual de aplicações geográficas, a OMT-G não oferece suporte para a modelagem dos aspectos temporais de dados geográficos.

1.1 Problema

O problema endereçado neste trabalho de pesquisa consiste em dotar a comunidade científica e tecnológica de uma forma de se modelar os aspectos temporais para o modelo de dados geográficos existente - OMT-G.

1.2 Solução

A solução escolhida consistiu em desenvolver uma extensão para o modelo de dados para aplicações geográficas OMT-G, visando melhorar a representação dos aspectos temporais dos dados geográficos, aumentar a eficiência e reduzir o desperdício dos recursos envolvidos.

1.3 Escopo da Pesquisa

Este trabalho de pesquisa enfoca a modelagem conceitual de dados e informações espaço-temporais, envolvendo diferentes técnicas para formalização do tempo em modelos geográficos. Ele apresenta a construção de um protótipo de ferramenta para modelagem

dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos e a sua verificação, num estudo de caso.

O trabalho aborda somente o desenvolvimento da extensão da técnica de modelagem de objetos para aplicações geográficas, OMT-G, propondo primitivas que ofereçam condições de representar graficamente os aspectos espaço-temporais dos dados geográficos, aumentando a capacidade de representação semântica do modelo.

Os demais enfoques que investigam assuntos correlatos não pertencem ao escopo desta pesquisa.

1.4 Requisitos da Pesquisa

Este trabalho de pesquisa inclui:

1. Um resumo dos principais conceitos existentes sobre a representação de aspectos espaço-temporais para a modelagem e o desenvolvimento de aplicações geográficas;
2. A identificação das principais características espaço-temporais que um modelo conceitual para aplicações geográficas deve suportar;
3. Um estudo e uma análise comparativa entre alguns dos modelos conceituais espaço-temporais existentes;
4. A investigação e a análise dos principais aspectos relevantes a serem considerados quanto ao tipo de solução a ser adotada para estender a OMT-G;
5. O desenvolvimento de uma técnica para estender a OMT-G para que ela passe a atender as necessidades de modelagem dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos;
6. A especificação dos principais requisitos para a construção de um protótipo de ferramenta de modelagem que ofereça suporte à técnica desenvolvida; e
7. A utilização da técnica desenvolvida, *OMT-G Temporal*, na modelagem de um estudo de caso, usando o protótipo de ferramenta de modelagem construído, para verificação dos resultados obtidos.

1.5 Organização do Trabalho

Este Capítulo 1, Introdução, descreve, em linhas gerais, o contexto e as principais motivações que serviram de base para enunciar o problema, escolher uma alternativa apropriada de solução, definir o escopo e os principais requisitos da pesquisa, e apresentar a organização deste relatório.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão conceitual sobre os SIG e os dados geográficos, considerando as normas e as áreas de aplicação, seguida de uma caracterização dos principais dados geográficos e aspectos temporais de SIG.

O Capítulo 3 aborda os principais conceitos e requisitos de uma modelagem conceitual espaço-temporal. Ele também apresenta os principais resultados comparativos entre alguns modelos conceituais de Orientação a Objeto (OO) correlatos.

O Capítulo 4 descreve o modelo de dados para aplicações geográficas OMT-G, um modelo OO que permite a definição de restrições de integridade em dados espaciais.

O Capítulo 5 apresenta algumas considerações relevantes para o desenvolvimento da extensão *OMT-G Temporal*, a metodologia empregada, bem como os requisitos temporais nela inseridos, a especificação dos principais requisitos para a construção de um protótipo de ferramenta de modelagem que atenda à técnica desenvolvida, e apresenta o protótipo de ferramenta de modelagem construído.

O Capítulo 6 apresenta dois estudos de caso para verificação e validação da técnica *OMT-G Temporal* usando o protótipo da ferramenta de modelagem construído, uma análise comparativa entre os modelos conceituais espaço-temporais relacionados, bem como tendências e perspectivas da pesquisa na área de modelagem de bancos de dados espaço-temporais.

O Capítulo 7 sumariza as principais conclusões, contribuições e recomendações deste trabalho de pesquisa.

O protótipo de ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*, desenvolvido com o objetivo de atender a modelagem visual da técnica *OMT-G Temporal*, é apresentado no Apêndice A.

Capítulo 2

Revisão Conceitual

2.1 Sistemas de Informação Geográficos

Existem diversos tipos de sistemas usados para manipular dados geográficos, como por exemplo, os sistemas de cartografia automatizada e os sistemas de projetos ajudados por computador, *Computer Aided-Design* (CAD). Segundo (LISBOA; IOCHPE, 1996), os SIG diferenciam-se destes sistemas por dois motivos:

1. Pela capacidade de representar os relacionamentos espaciais ou topológicos entre as entidades geográficas; e
2. Por permitir a realização de operações complexas de análise espacial com os dados geográficos.

Para defini-los de maneira bem abrangente, pode-se dizer que os SIG são softwares de aplicação desenvolvidos para tornar possível a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados geográficos (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA et al., 1996).

Conforme (LISBOA, 2001), um aplicativo de SIG é um sistema formado por quatro grandes componentes que possibilitam:

1. **A Captura de Dados** - aquisição ou coleta de dados ou informações (dados agregados) para serem armazenadas;

2. **O Armazenamento** - estruturação e armazenamento de dados e informação, de forma a possibilitar a realização das operações de análise envolvendo dados espaciais;
3. **A Análise** - mensuração de propriedades, relacionamentos e comparações, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita; e
4. **A Apresentação dos Dados** - observação, a partir de coleta e análise, e estudo, comparações e manipulações, dos relacionamentos geográficos envolvidos.

A Figura 2.1, extraída de (CÂMARA et al., 1996), mostra de forma mais detalhada, a estrutura geral de um SIG, envolvendo os componentes citados anteriormente. Nela, o elemento Interface foi adicionado, por se tratar de um dispositivo a partir do qual o usuário do sistema interage, permitindo a manutenção e a obtenção de informações.

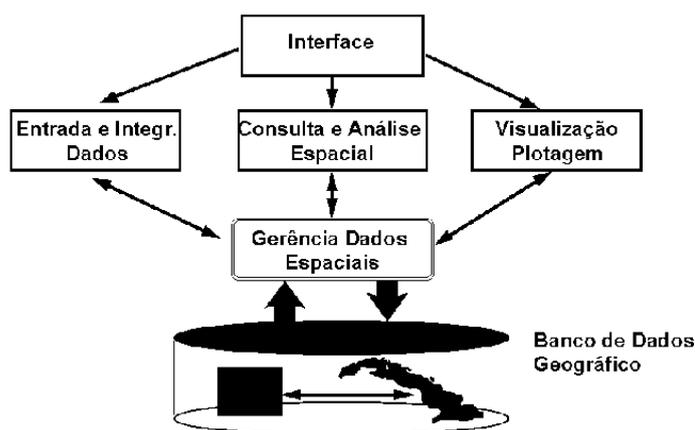


Figura 2.1: Estrutura geral de um SIG (CÂMARA et al., 1996)

Uma das principais características de um SIG é a sua capacidade de permitir a manipulação dos dados espaciais e convencionais, de forma integrada, provendo uma maneira consistente para análise e consulta de informações. Desta forma, tornou-se possível ter acesso às informações descritivas de um fenômeno geográfico, a partir de sua localização, e vice-versa. Além disso, pode-se realizar conexões entre diferentes fenômenos com base em relacionamentos espaciais (LISBOA; IOCHPE, 1996).

Quatro aspectos caracterizam um dado geográfico:

1. A descrição do fenômeno geográfico;
2. A sua posição (ou localização) geográfica;

3. Os relacionamentos espaciais com outros fenômenos geográficos; e
4. O instante ou intervalo de tempo em que a fenômeno existe ou é válido.

Esses aspectos podem ser classificados em duas categorias de dados:

1. **Convencionais** - atributos alfanuméricos usados para armazenar os dados descritivos e temporais; e
2. **Espaciais** - atributos usados para descrever a geometria, a localização geográfica e os relacionamentos espaciais (OOI, 1990).

Além disso, um SIG pode possuir também dados pictóricos, que armazenam imagens sobre regiões geográficas.

2.1.1 Gerações de SIG

A complexidade em representar e gerenciar aspectos espaço-temporais em aplicações geográficas não é recente. A forma mais antiga de processar e apresentar esse tipo de dado é através de mapas, que em geral armazenam de forma georreferenciada. A criação desses mapas exige levantamento de dados, medidas de seus valores e localização, padronização, armazenamento e apresentação (CÂMARA et al., 1996).

Nos anos 50, segundo (ANTENUCCI et al., 1991), ocorreu a primeira tentativa de automatizar o processamento de dados georreferenciados na Grã Bretanha e nos USA. Essa tentativa tinha o objetivo de diminuir os custos com a produção e atualização de mapas.

Na década de 60 surgiram os primeiros SIGs propriamente ditos. Seu desenvolvimento ocorreu no Canadá, e fez parte de um plano estratégico governamental para criar um inventário automatizado de recursos naturais. Estes tinham como objetivo planejar o uso dos recursos naturais e do solo.

Já na década de 70, desenvolveram-se os fundamentos matemáticos voltados para cartografia, surgindo a topologia aplicada que permite análises espaciais entre os elementos cartográficos (CÂMARA et al., 1996). Nessa época, no entanto, a maioria das aplicações encontrava-se voltada ao mapeamento digital com funções analíticas, e apenas grandes organizações utilizavam SIG em sistemas de grande porte (TOM, 1994).

Nos anos 80, o uso de SIG foi difundido com a incorporação de muitas funções de análise espacial, facilitada pela popularização e barateamento das estações de trabalho, computadores pessoais e de Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD). Isso facilitou o desenvolvimento de SIG, mas por outro lado, também houve uma evolução na área de captura dos dados georreferenciados, o que aumentou a complexidade de coleta, armazenamento, manipulação e visualização dos dados, em função do volume, variedade e heterogeneidade (CÂMARA et al., 1996).

Nos anos 90, as aplicações de SIG começaram a incorporar novas tecnologias, tais como sistemas especialistas e técnicas de OO (CÂMARA et al., 1996). Também foram percebidos avanços quanto captura de imagens de satélites, integração de bases de dados heterogêneas, bem como a possibilidade de disponibilizar dados geográficos na Web (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

Com essa evolução das tecnologias e aplicações de geoprocessamento, nota-se a existência de três principais gerações de SIG, cujas características são comentadas a seguir (CÂMARA et al., 1996):

1. **Primeira Geração (1985-1990)** - caracterizada pelos sistemas baseados em cartografia, tendo o mapa como paradigma de trabalho (“Cobertura” ou “Plano de Informação”), e possuindo limitações no suporte de banco de dados. Esses sistemas foram desenvolvidos, inicialmente, para ambientes computadorizados da classe *Virtual Address Extension* (VAX) na (década de 80) e ambientes PC/DOS (em 1985), e utilizados em projetos isolados, sem a necessidade de gerar informações em arquivos digitais. Esta geração também pode ser caracterizada como a dos sistemas orientados a projeto (“*Project-Oriented Geographic Information System*”);
2. **Segunda Geração (1990-2000)** - baseada na utilização de Ambientes Cliente-Servidor, Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Relacionais (SGBDR) e pacotes de processamento de imagens foram desenvolvidos em ambientes multiplataforma e com interfaces baseadas em janelas. Esta também pode ser caracterizada como a geração de sistemas para suporte a empresas (“*Enterprise-Oriented Geographic Information System* (GIS)”); e
3. **Terceira Geração (2000 em diante)** - caracterizada principalmente pelo cres-

cimento dos banco de dados espaciais e da necessidade de compartilhamento de informações entre instituições distintas, essa geração necessita de tecnologias de banco de dados distribuídos e federados. Esses sistemas devem atender a requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o compartilhamento das informações espaciais entre SIG distintos. Essa geração de SIG pode ser caracterizada pelo desenvolvimento de sistemas orientados a troca de informações entre diversas instituições e componentes da sociedade (“*Society-Oriented GIS*”).

A Tabela 2.1, retirada de (CÂMARA et al., 1996), apresenta a evolução das tecnologias e aplicações de geoprocessamento nas três gerações.

Tabela 2.1: Evolução das tecnologias e das aplicações de geoprocessamento.

	1ª Geração (1985-1990)	2ª Geração (1990-2000)	3ª Geração (2000 em diante)
Tecnologia	CAD, Cartografia	SGBDR, Imagens	Sist. Distribuídos
Uso Principal	Desenho de Mapas	Análise Espacial	Centro de Dados
Ambiente	Projetos Isolados	Cliente-Servidor	Multi-Servidores
Sistemas	Pacotes Separados	Sistema Integrado	Interoperabilidade

2.1.2 Normas e Padrões Aplicáveis a SIG

Nos últimos anos, vem sendo desenvolvido um trabalho relevante, que diz respeito a padrões relacionados a SIG, pela *International Organization for Standardization* (ISO), através de comitês técnicos. Um desses comitês compõe a denominada ISO/TC211 - *Geographic information/Geomatic*, apresentando como objetivo, conforme (ISO/TC211, 2005), o desenvolvimento de uma família de padrões internacionais visando:

1. Aumentar o entendimento e o uso de informações geográficas;
2. Aumentar a disponibilidade, acesso, integração e compartilhamento de informações geográficas;
3. Promover o uso eficiente, efetivo e econômico das informações geográficas digitais e associar sistemas de hardware e software; e
4. Contribuir para uma abordagem unificada de endereçamento de problemas ecológicos e humanitários.

Segundo Ostensen, em (ISO/TC211, 2005), os interessados na padronização SIG são todos aqueles que produzem, distribuem, ou utilizam informações espaciais, de forma isolada ou em conjunto com informações não espaciais.

O desenvolvimento da ISO/TC211 conta com a participação de organizações-membro da ISO, de diversos países. Existem algumas categorias que dividem essas organizações em:

1. Membros participantes;
2. Membros observadores;
3. Alianças externas à ISO;
4. Alianças internas à ISO; e
5. Outras relações.

Foram criados vários grupos de trabalho (*Work Groups* (WG)) voltados à produção efetiva dos documentos de padronização dos SIGs. Vários projetos são desenvolvidos pelos grupos de trabalho, a fim de se compor esses documentos. Maiores informações sobre o desenvolvimento desta norma encontram-se no Anexo A.

2.1.3 Áreas de Aplicação de SIG

A melhor forma de entender a aplicabilidade de SIG é através de um exemplo comum. Quem nunca viu um mapa fixado na parede demarcando áreas de venda, ou então, com clientes representados por alfinetes coloridos?

Empresas com esta prática podem melhorar o processo de análise de mercado, bem como utilizar um instrumento mais adequado na formação de zonas de vendas, sem considerar as inúmeras aplicações que podem ser executadas por SIG (NAZÁRIO, 2003).

Um fenômeno geográfico pode ser analisado de forma e precisão diferentes dependendo do objetivo da aplicação. Assim sendo, um mesmo conjunto de dados armazenados poderá ter tratamentos distintos (CÂMARA et al., 1996).

Por outro lado, cada aplicação requer a manipulação de fenômenos geográficos distintos, associados a diferentes características e propriedades que variam no espaço e no

tempo. Além disso, os usuários de SIG têm também uma grande variedade de perfis, como cientistas especialistas num determinado domínio do conhecimento (biólogos, geólogos, sociólogos), técnicos (engenheiros, arquitetos) ou especialistas em administração e planejamento urbano (CÂMARA et al., 1996).

Em função desta amplitude de perfis de usuários, tipos de dados e necessidades das aplicações, os SIG também precisam prover aos usuários e projetistas de aplicações, um conjunto adequado de funções de análise e manipulação dos dados geográficos (CÂMARA et al., 1996).

O número de aplicações onde os SIG são empregados aumenta a cada dia. Tradicionalmente, os SIG têm sido utilizados por instituições públicas, empresas de prestação de serviço de utilidade, na área de segurança militar e em diversos tipos de empresas privadas (RAMIREZ, 1994).

(GOODCHILD; MAGUIRE; RHIND, 1993) classificam as aplicações em sócio-econômicas, ambientais e de gerenciamento. Nas seções seguintes descreve-se maiores detalhes sobre as aplicações.

2.1.3.1 Aplicações Sócio-Econômicas

Aplicações sócio-econômicas podem ser usadas com o objetivo tanto para planejamento quanto para avaliação de mudanças. Segundo (RAMIREZ, 1994), os seguintes grupos de origem formam a classe de aplicações sócio-econômicas:

1. **Uso da Terra** - incluindo planejamento agropecuário, estocagem e escoamento da produção agrícola, classificação de solos, gerenciamento de bacias hidrográficas, planejamento de barragens, cadastramento de propriedades rurais, levantamento topográfico e planimétrico, mapeamento do uso da terra, entre outros;
2. **Ocupação Humana** - incluindo redes de infra-estrutura, planejamento e supervisão de limpeza urbana, cadastramento territorial urbano, mapeamento eleitoral, rede hospitalar, rede de ensino, controle epidemiológico, roteamento de veículos, sistema de informações turísticas, controle de tráfego aéreo, sistemas de cartografia náutica e serviços de atendimentos emergenciais;
3. **Atividades Econômicas** - incluindo planejamento de marketing, pesquisas sócio-

econômicas, distribuição de produtos e serviços, transporte de matéria-prima, entre outros.

2.1.3.2 Aplicações Ambientais

Segundo (GOODCHILD; PARKS; STEYAERT, 1993), algumas aplicações ambientais precedem o uso de computadores. Cita-se como exemplos, a modelagem espacial de fenômenos hidrológicos iniciada há mais de 100 anos, e o uso de técnicas analíticas em problemas biológicos e ecológicos, iniciadas na década de 20. O surgimento dos SIG vieram contribuir dando maior agilidade a esse processamento.

As áreas das aplicações ambientais variam consideravelmente. Conforme (RAMIREZ, 1994), elas se dividem em dois grupos distintos:

1. **Meio Ambiente** - incluindo controle de queimadas, estudos de modificações climáticas, acompanhamento de emissão e ação de poluentes, gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento; e
2. **Uso de Recursos Naturais** - incluindo controle do extrativismo vegetal e mineral, classificação de poços petrolíferos, planejamento de gasodutos e oleodutos, distribuição de energia elétrica, identificação de mananciais, gerenciamento costeiro e marítimo.

2.1.3.3 Aplicações de Gerenciamento

Cada vez mais percebe-se o uso de SIG como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões por administrações municipais, regionais e nacionais.

Segundo (CÂMARA et al., 1996), o foco principal das aplicações de gerenciamento dá origem a um grupo específico, Tomada de Decisão, que inclui planejamento de tráfego urbano, planejamento e controle de obras públicas, planejamento da defesa civil e planejamento ambiental ou urbano.

2.2 Dados Geográficos

Os dados geográficos ou georreferenciados são utilizados e manipulados pelos SIG. Conforme (CÂMARA et al., 1996), eles pertencem a uma classe particular de dados espaciais que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num determinado instante e período de tempo.

Comumente, os dados geográficos caracterizam-se por possuírem três componentes fundamentais básicos, segundo (CHRISMAN, 2002):

1. Componente **Não-Espacial** - componente atributo, também conhecido por atributo descritivo ou atributo não-espacial, descreve as características não espaciais de um fenômeno geográfico. Nome e tipo da variável são exemplos de atributos descritivos. Eles possuem aspecto não gráfico e podem ser tratados pelos SGBD convencionais;
2. Componente **Espacial** - o componente espacial descreve a localização geográfica e a forma geométrica de um fenômeno ou objeto do mundo real, além de relacionamentos com outros fenômenos geográficos. Como a principal função de um SIG é possibilitar a realização de operações de análise espacial, o componente espacial é o mais importante em seu contexto; e
3. Componente **Temporal** - todo fenômeno geográfico é eminentemente temporal, uma vez que se encontra associado a um instante ou intervalo de tempo em que ocorre ou em que é observado (ABRAHAM; RODDICK, 1999). O componente tempo pode ser crítico para a informação geográfica, dependendo do tipo de fenômeno e do tipo de aplicação em que este está sendo utilizado.

(CÂMARA et al., 1996) ressaltam o aspecto de que os fenômenos geográficos não existem sozinhos no espaço, e que tão importante quanto localizá-los, é descobrir e representar os seus relacionamentos. Vindo ao encontro dessa necessidade, além das características apresentadas anteriormente, (WORBOYS; DUCKHAM, 2004) apresenta um quarto componente:

4. Componente **Relacionamentos Topológicos** - representa os relacionamentos espaciais entre os objetos. Este aspecto requer a existência de modelos e métodos de acesso não-convencionais para sua representação nos SGBD.

Todos os componentes apresentados permitem a formulação de respostas para quatro perguntas: **o que?** **onde?** **quando?** e **como?**, respectivamente. **O que** refere-se às características não-espaciais, **onde** refere-se às características espaciais, **quando** refere-se a um conjunto de intervalos de tempo e **como** refere-se aos relacionamentos entre os objetos. Segundo (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), cada um desses componentes determina uma categoria de dimensão ao longo da qual os valores são medidos.

2.2.1 Modelos de Referência para Representação de Fenômenos e Objetos Geográficos

Segundo (GOODCHILD, 1992), a realidade geográfica pode ser modelada a partir de duas visões que permitem a representação de fenômenos e objetos geográficos. Essas visões são também conhecidas como modelo de campos e de objetos.

2.2.1.1 Modelo de Campos

O Modelo de Campos, conforme (CÂMARA et al., 1996), enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados conforme diferentes distribuições. Como um exemplo, observa-se um mapa de vegetação, onde este associa cada ponto do mapa a um tipo específico de cobertura vegetal. Outro exemplo é um mapa geoquímico, que associa o teor de um mineral a cada ponto.

2.2.1.2 Modelo de Objetos

O Modelo de Objetos, de acordo com (CÂMARA et al., 1996), representa o espaço geográfico como uma superfície ocupada por objetos bem definidos e identificáveis, com geometria e características próprias. Por exemplo, um cadastro espacial dos lotes de um município identifica cada lote como um dado individual, com atributos que o distinguem dos demais.

A identidade própria é fator fundamental para uma perfeita distinção entre campos e objetos, ou seja, um objeto é um elemento único que possui atributos não-espaciais que podem estar associados a múltiplas localizações geográficas.

2.2.2 Representação de Dados Geográficos

Durante vários anos, as pesquisas no campo dos modelos de dados para os SIG, centraram-se na busca por estruturas de dados para o armazenamento e a representação dos dados geográficos. Segundo (COUCLELIS, 1992), esta discussão ficou conhecida como debate *raster-vector*.

Os dados geográficos podem ser representados de formas variadas. No entanto, estas duas formas são amplamente utilizadas na estruturação dos componentes espaciais associados às informações geográficas:

1. Estrutura matricial (*raster*); e
2. Estrutura vetorial (*vector*).

2.2.2.1 Estrutura Matricial

A estrutura matricial (*raster* ou varredura) consiste numa grade regular ou matriz com células de formato normalmente retangular, como numa imagem de satélite (CÂMARA; MONTEIRO; DAVIS, 2001).

A posição da célula é definida pela linha e pela coluna onde está localizada na grade. Cada célula armazena um valor que corresponde ao tipo de entidade encontrada naquela posição. Também consta em (CHRISMAN, 2002) que uma área geográfica pode ser representada através de diversas camadas, onde as células de uma camada armazenam os valores associados a uma única variável, por exemplo, vegetação. As camadas ficam totalmente preenchidas, uma vez que cada célula corresponde a uma porção do espaço sendo representado.

Conforme (LISBOA, 2001), a resolução de uma imagem matricial corresponde à dimensão linear mínima da menor unidade do espaço geográfico (célula) considerada. Quanto menor a dimensão das células, maior a resolução da imagem matricial e, conseqüentemente, maior a quantidade de memória necessária para armazená-la.

A Figura 2.2, extraída de (FOOTE; HUEBNER, 1996), ilustra uma imagem *raster* representando um mapa de uma determinada região.

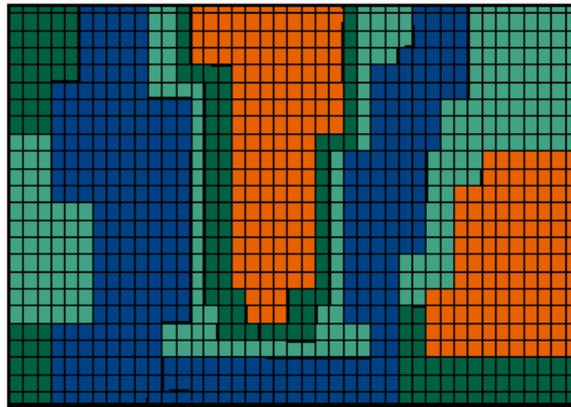


Figura 2.2: Representação matricial para um mapa (FOOTE; HUEBNER, 1996).

2.2.2.2 Estrutura Vetorial

Na estrutura vetorial, cada fenômeno geográfico é representado no banco de dados por um objeto com identificação própria, utilizando pontos, linhas e polígonos para representar as formas das entidades geométricas.

A posição de cada objeto é definida por sua localização no espaço, de acordo com um sistema de coordenadas (x,y) (CÂMARA; MONTEIRO; DAVIS, 2001). Para tanto deve haver uma transformação bem definida entre o sistema de coordenadas utilizado na descrição geométrica e o sistema de coordenadas geográficas adotado.

Objetos vetoriais não preenchem todo o espaço, ou seja, nem todas as posições do espaço necessitam estar referenciadas na base de dados. Segundo (LISBOA, 2001), quando um mapa de uma região que está sobre a superfície curva da Terra, é projetado sobre uma superfície plana (ex.: folha de papel), algumas propriedades são alteradas (ex.: ângulo e distância), enquanto outras permanecem inalteradas (ex.: adjacência e pertinência). As propriedades que não se alteram quando o mapa sofre uma transformação são conhecidas como propriedades topológicas.

Existem diversas técnicas para armazenamento de objetos espaciais baseadas na estrutura vetorial. Segundo (ARONOFF, 1989), essas estruturas dividem-se em dois grandes grupos:

1. **Estruturas de Dados *Spaghetti*** - também conhecidas como representações não estruturadas. Armazenam os polígonos/linhas como seqüências de coordenadas de pontos, ou seja, listas de coordenadas sem qualquer preocupação com a otimização

do processamento; e

2. **Estruturas de Dados Topológicos** - essa representação permite armazenar, associada à localização, informações sobre alguns tipos de relacionamentos espaciais, com ênfase principal nos relacionamentos de conectividade entre linhas de uma rede e nos relacionamentos de adjacência entre polígonos.

A Figura 2.3, extraída de (FOOTE; HUEBNER, 1996), ilustra uma imagem vetorizada que representa o mesmo mapa apresentado no exemplo da imagem raster.

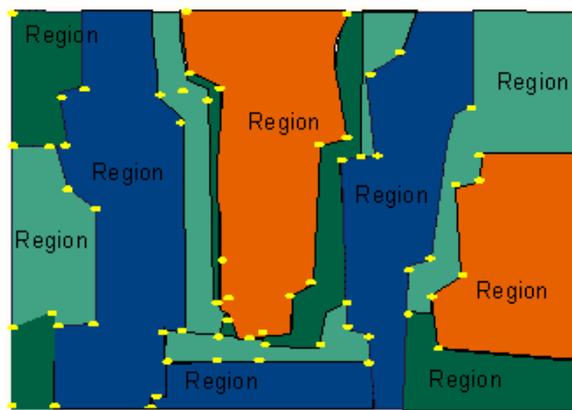


Figura 2.3: Representação vetorial (correspondente a imagem raster mostrada na Figura 2.2) (FOOTE; HUEBNER, 1996).

Segundo (CASANOVA et al., 2005), os tipos de dados em geoprocessamento representados por estruturas vetoriais são os seguintes:

1. **Mapas Temáticos** - mostram uma região geográfica particionada em polígonos, cartografados em mapas, como por exemplo, uso do solo, tipo de vegetação, informações censitárias ou geologia. Os dados são obtidos sobre um único tema, a partir de levantamentos de campo e posteriormente inseridos no sistema por digitalização, ou de forma mais automatizada, a partir da classificação automática de imagens. Os dados apresentados na Figura 2.4, sobre setores censitários da cidade de São José dos Campos, são exemplos de dados temáticos;
2. **Mapas Cadastrais** - apresentam objetos geográficos identificáveis que possuem atributos que podem estar associados a várias representações gráficas. Esses atributos normalmente ficam armazenados num SGBD. A Figura 2.5 mostra um exemplo de dado cadastral de um país da América do Sul (nome do país e população);

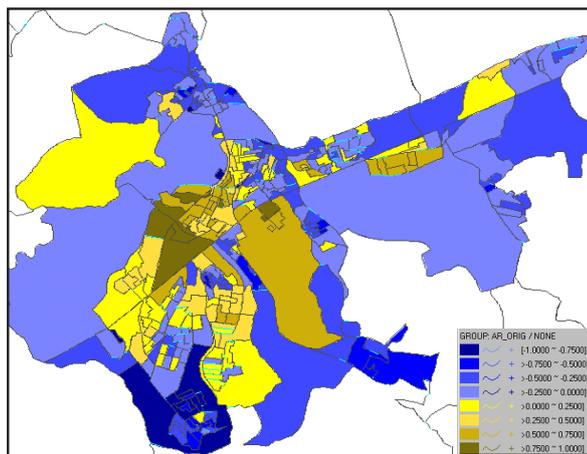


Figura 2.4: Exemplo de mapa temático (CASANOVA et al., 2005).

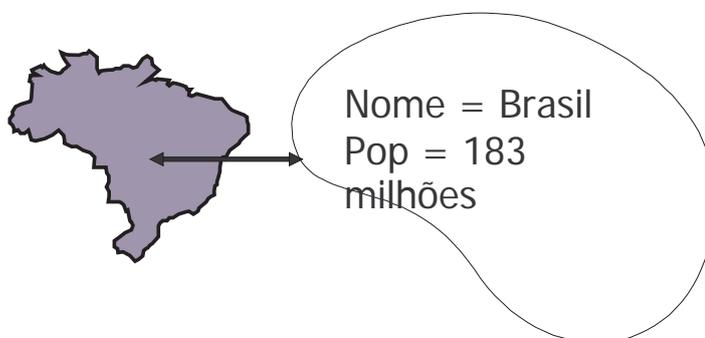


Figura 2.5: Exemplo de mapa cadastral (CASANOVA et al., 2005).

3. **Redes** - as informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó e denotam informações associadas a serviços de utilidade pública, bacias hidrográficas, rodovias. Cada objeto geográfico (por exemplo, cabo telefônico, transformador de energia elétrica, cano de água) possui localização geográfica exata e seus atributos descritivos estão presentes num SGBD. A Figura 2.6 ilustra os objetos de uma Rede.
4. **Modelos Numéricos de Terreno** - o Modelo Numérico de Terreno (MNT) é utilizado para representar quantitativamente uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associado à altimetria, o MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de dados obtidos através da seleção de pontos nos quais é feita a amostragem da grandeza (por exemplo, composição do solo de uma região). Dois grupos básicos são usados para representar os MNT:

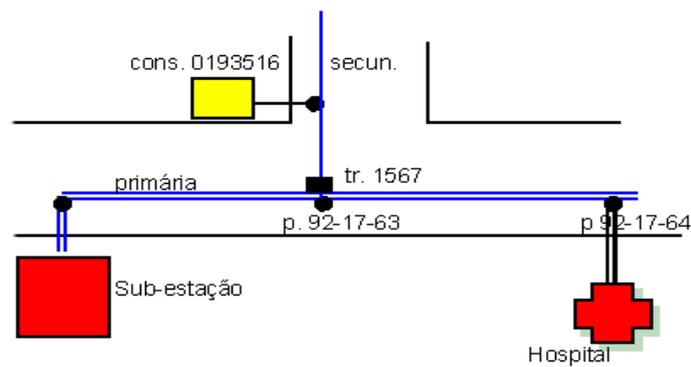


Figura 2.6: Informações gráficas de uma rede com topologia arco-nó (CASANOVA et al., 2005).

- Grade regular - matriz de elementos ou células retangulares de tamanho fixo, onde cada célula tem valor estimado da grandeza da posição geográfica coberta pela célula; e
- Grade triangular - estrutura topológica do tipo arco-nó, com arcos que se conectam entre si através de nós (ponto inicial e final) formando uma malha triangular.

A Figura 2.7 apresenta uma visão tridimensional de uma grade regular de relevo.

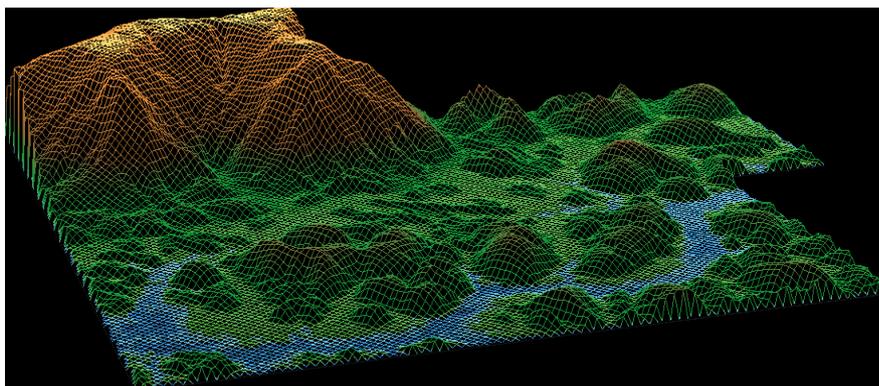


Figura 2.7: Exemplo de modelo numérico de terreno (CASANOVA et al., 2005).

5. **Imagens** - representam uma forma de captura indireta de informação espacial. Elas são obtidas por satélites, fotografias aéreas ou *scanners* aerotransportados. As imagens são armazenadas como matrizes, e cada elemento de imagem (*pixel*), contém valores relacionados à reflectância ou à emitância do solo da área da superfície

terrestre correspondente. Vide, na Figura 2.8, um exemplo de imagem capturada por satélite.



Figura 2.8: Exemplo de uma imagem capturada via satélite (CASANOVA et al., 2005).

2.2.2.3 Comparação entre Estruturas Matricial e Vetorial

A principal vantagem da estrutura matricial é o fácil manuseio pelos programas (cálculo de áreas e cruzamento de plano de informação, entre outros), porém ocupa maior espaço físico e memória de computador, pois toda a superfície do mapa é tomada por células (CÂMARA; MONTEIRO; DAVIS, 2001).

A estrutura vetorial, dependendo do volume, resolução e amostragem do dado, utiliza menos espaço de armazenamento, pois trabalha com arcos, isto é, linhas formadas pela ligação de dois eixos de coordenadas (x,y). No entanto, este modo requer uma grande quantidade de cálculos para se conhecer a área dos polígonos e também para o cruzamento dos planos de informação (CÂMARA; MONTEIRO; DAVIS, 2001).

A Tabela 2.2, apresentada a seguir, mostra um resumo das principais vantagens e desvantagens dessa estrutura de armazenamento.

Tabela 2.2: Comparação entre estrutura matricial e estrutura vetorial.

<i>Estrutura Matricial</i>	
Vantagens	<p>Estrutura de dados simples; Compatível com dados de sensoriamento remoto e "scaneados"; Procedimentos de análise espacial mais simples; Representa melhor os fenômenos com variação contínua no espaço; Simulação e modelagem são mais fáceis; Algoritmos possuem processamento mais rápido e eficiente;</p>
Desvantagens	<p>Requer maior espaço de armazenamento; Tamanho do pixel e o tipo da saída podem causar perdas; Dificuldade de representar relacionamentos topológicos; Não oferece suporte à relacionamentos espaciais; Associa atributos apenas a classes do mapa;</p>
<i>Estrutura Vetorial</i>	
Vantagens	<p>Requer menos espaço em disco; Provê suporte à relacionamentos topológicos; Saídas gráficas assemelham-se a mapas desenhados manualmente; Ideal para qualquer tipo de escala; Fácil associação de atributos a elementos gráficos; Armazenamento ocorre por coordenadas;</p>
Desvantagens	<p>Estrutura de dados mais complexa; Procedimentos de análise espacial mais difíceis; Consome mais tempo de processamento;</p>

Capítulo 3

Modelagem Conceitual

Espaço-Temporal

Este Capítulo apresenta conceitos inerentes aos aspectos temporais necessários para a análise de fenômenos geográficos com base na sua evolução no tempo. A caracterização desses conceitos é importante para a compreensão dos modelos conceituais espaço-temporais de SIG.

3.1 Contexto Histórico

A modelagem de aplicações espaço-temporais é uma tarefa que envolve questões complexas. Dentre elas, destacam-se as representações das posições dos objetos no tempo e dos atributos espaciais. Essas representações podem mudar de valor, dependendo de sua localização específica em determinados períodos de tempo (PFOSER; TRYFONA, 1998). Devido a sua complexidade, a análise dos requisitos de usuários, considerada como a primeira fase de uma metodologia de desenvolvimento de aplicações, costuma ser negligenciada, focando-se principalmente, nos aspectos de projeto físico.

Segundo (HADZILACOS; TRYFONA, 1996), a necessidade de dados geográficos qualificados com base no tempo não se deve ao fato deles serem frequentemente modificados, mas sim à necessidade de se registrar estados passados, de forma a possibilitar o estudo da evolução dos fenômenos geográficos. Para propiciar uma análise de dados com base na evolução dos fenômenos geográficos, faz-se necessário adicionar aos SIG as potencialidades

dos sistemas de banco de dados temporais. Isso refere-se ao aspecto temporal do mundo real capturado num banco de dados. A modelagem conceitual dos dados deve ser capaz de capturar este aspecto para posterior implementação.

3.2 Estruturas Temporais

Conceitualmente, conforme (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), o tempo pode ser representado por meio de diferentes estruturas, definidas principalmente, com base nos três seguintes aspectos de representação temporal.

1. **Variação Temporal** - considera duas possibilidades de tempo:

- **Contínua** - usada em processos que demandam medidas de tempo com níveis arbitrários de precisão, como por exemplo, a expansão de área de desmatamento de uma floresta, entre dois instantes de tempo; e
- **Discreta** - usada quando o tempo é medido em certos pontos ou intervalos, e a variação é descontínua entre estes pontos. Por exemplo, os lotes de um cadastro imobiliário podem ocupar uma posição num tempo t e outra num tempo t' .

2. **Ordem no Tempo** - refere-se a como o tempo flui, assumindo as formas:

- **Linear** - considera que os pontos da linha do tempo fluem sequencialmente, ou seja, há uma ordem de precedência entre eles;
- **Ramificado** - múltiplos pontos podem ser os sucessores ou antecessores imediatos de um mesmo ponto. Com isso, pode-se, por exemplo, elaborar cenários futuros sobre a expansão urbana e a investigação de acidentes ecológicos; e
- **Circular** - utilizada para modelar, por exemplo, eventos e processos recorrentes, como por exemplo, a mudança das quatro estações do ano.

3. **Granularidade** - associada ao conceito de variação temporal discreta, existe o conceito de *Chronon*, menor unidade de tempo suportada por um sistema. Os elementos primitivos de representação da granularidade temporal são:

- **Instante de Tempo** - representa um ponto particular no tempo;

- **Intervalo de Tempo** - é o tempo decorrido entre dois pontos; e
- **Período** ou **Elemento Temporal** - junção de intervalos de tempo.

O conjunto de conceitos que lida com os aspectos de representação temporal em nível abstrato, apresentados acima, são ilustrados na Figura 3.1.

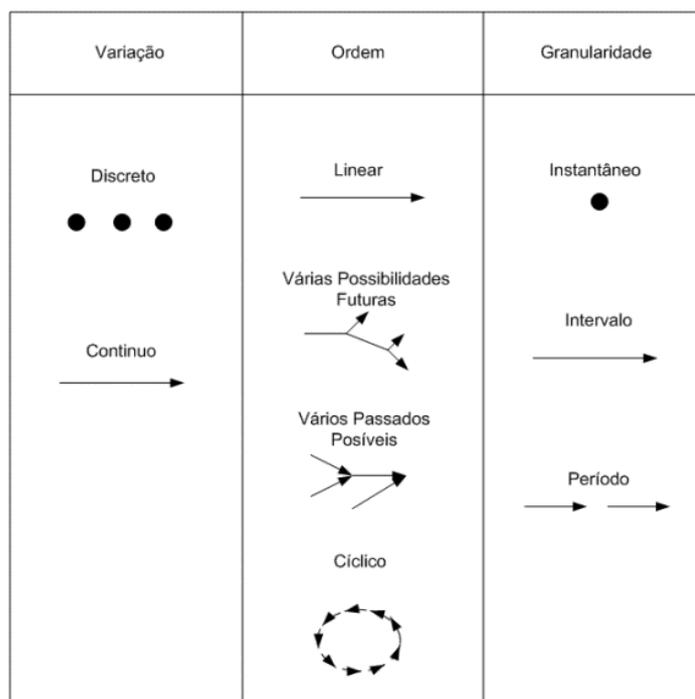


Figura 3.1: Estruturas temporais (WORBOYS; DUCKHAM, 2004).

3.3 Aplicações Espaço-Temporais

Segundo (PFOSER; TRYFONA, 1998), pode-se definir três tipos distintos de aplicações espaço-temporais, com base nos tipos de dados administrados:

1. **Aplicações que lidam com objetos móveis** - que mudam de posição no tempo, como por exemplo, carros numa rodovia;
2. **Aplicações que envolvem objetos localizados no espaço** - com características de sua posição, variando no tempo. Por exemplo, num sistema de informações cadastrais, os lotes urbanos podem mudar de posição dentro de uma quadra, no entanto, neste caso, eles não são considerados móveis; e

3. **Aplicações que manipulam objetos que se integram** - como por exemplo, em aplicações ambientais, onde a poluição é medida como um fenômeno móvel, que muda as propriedades e a forma, com o passar do tempo.

3.3.1 Requisitos para um Modelo de Dados Geográfico

Conforme (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), considerando-se as peculiaridades dos dados geográficos, e baseando-se em trabalhos já realizados (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996), (LISBOA, 2001) e (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), o seguinte conjunto de requisitos deve ser atendido durante a modelagem dos dados de um SIG:

1. Representação dos conceitos da visão de campos;
2. Representação dos conceitos da visão de objetos;
3. Representação de classes convencionais e georreferenciadas;
4. Diferenciação entre relacionamentos espaciais e associações simples;
5. Representação de relacionamentos topológicos;
6. Inclusão de restrições de integridade espacial;
7. Suporte à agregação;
8. Inclusão de primitivas oferecendo suporte à agregação espacial;
9. Representação de múltiplas visões das mesmas entidades;
10. Inclusão de primitivas para representação de múltiplas visões;
11. Modelagem dos aspectos temporais da informação geográfica;
12. Inclusão de primitivas para representação da modelagem em nível de transformação;
- e
13. Inclusão de primitivas para representação da modelagem em nível de apresentação.

Conforme consta em (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), o modelo OMT-G oferece suporte a todos os requisitos apresentados acima e exigidos num modelo de dados geográfico, com exceção do item 11. (FRIIS-CHRISTENSEN; TRYFONA; JENSEN, 2001) em sua pesquisa, chamaram a atenção para a necessidade de inclusão dos requisitos dos aspectos temporais, ausentes e ainda não atendidos pela OMT-G.

3.3.2 Requisitos de Modelagem Espaço-Temporal

O tempo num banco de dados refere-se ao aspecto temporal no mundo real. A modelagem auxilia na captura desse aspecto para, posteriormente, implementá-lo.

Os trabalhos de (PFOSER; TRYFONA, 1998) e de (ABRAHAM; RODDICK, 1999), apresentam um conjunto de requisitos espaço-temporais, que um modelo conceitual espaço-temporal deve ser capaz de atender:

1. A apresentação da dimensão temporal, pelo menos em **Atributos, Objetos e Relacionamentos**. Além disso, **Agregação e Especialização** também devem permitir a apresentação do aspecto temporal;
2. A especificação das **Restrições de Integridade Espaço-Temporais** impostas pelo usuário ou pelo projetista, para manter a integridade do banco de dados. Por exemplo, substituir todos os canos d'água, com mais de vinte anos de uso, localizados em áreas com erosão do solo acima de 60% (sessenta por cento);
3. A captura da mudança da forma e da posição do objeto no espaço, ao longo do tempo, ou seja, inserir a **Temporalidade na Forma e na Posição**. Dependendo do tipo de aplicação, considera-se dois diferentes tipos de mudança a serem capturados:
 - (a) Mudança de **Tempo Contínuo**, que resulta, por exemplo, num sistema de navegação capturar a mudança contínua da posição de um veículo em movimento. Apesar do tempo variar, de forma contínua, a representação deste, num banco de dados, torna-se difícil, e
 - (b) Mudança de **Tempo Discreto**, que resulta, por exemplo, na mudança da forma do objeto, ao longo do tempo, num lote que possui uma posição no

espaço, em algum ponto no tempo. Adicionando-se uma nova parte à forma inicial do objeto, a sua forma original mudará, e em consequência disso, a sua posição no espaço, também. Essa forma de tratar o tempo facilita a sua representação no banco de dados, pois considera o tempo como variando a intervalos regulares consecutivos e de mesma duração (*chronos*);

4. A consideração do **Tempo de Validade**, ou seja, o tempo em que determinada informação existir;
5. O registro do **Tempo de Transação**. Num processo de análise, este tipo de tempo torna-se importante para definir a ordem em que os eventos ocorreram. Por exemplo, na tributação fiscal sobre a propriedade de um lote de terra, pode-se ter dificuldades para identificar o valor do tributo de uma determinada época, caso haja mais de um valor de tributo válido para o período em evidência;
6. A representação dos **Instantes e Intervalos de Tempo**, ou seja, de um ponto no tempo, e o intervalo que ocorre entre dois instantes de tempo;
7. A consideração dos diferentes níveis de **Granularidade do Tempo** (dias, horas, minutos, segundos, etc.), permitindo maior flexibilidade na representação da realidade;
8. A representação do **Tempo Futuro**, ou seja, de informações válidas no futuro. Esse aspecto temporal caracteriza a existência de um componente imprescindível para análise, previsão e conhecimento dos fenômenos geográficos. Por exemplo, ao se prever a existência de uma tempestade, a partir de dados meteorológicos atuais;
9. A Definição do **Tempo Ramificado**. Este aspecto complementa a característica anterior de tempo futuro, permitindo que se tenha múltiplos tempos futuros possíveis, possibilitando a previsão de fenômenos geográficos;
10. A representação do **Tempo Circular**, registrando a existência de fenômenos com ocorrência cíclica na natureza;
11. A caracterização do **Tempo Impreciso** da informação, que não se sabe exatamente quando ocorreu. Por exemplo, “por volta das 15 h”, “entre o dia 15 e 20 do mês”, etc;

12. O registro do **Tempo Relativo** a outro tempo, considerando a ocorrência de um fenômeno e de outro. A solução desejável seria poder interrelacionar estes fenômenos, através do tempo;
13. O registro da **Coexistência dos Dados Temporais e Não-Temporais**, aspecto aplicado de forma adequada, apenas nos dados que necessitem a manutenção de seu histórico;
14. O registro da **Duração das Trocas de Estados**, que devem ser consideradas na modelagem da realidade, registrando-se o tempo de troca de uma entidade entre um estado e outro; e
15. A especificação das **Restrições Temporais**, que variam conforme o tipo de tempo atribuído a um determinado objeto.

3.4 Trabalhos Relacionados

Diversos modelos conceituais de dados apresentados nos últimos anos tentam oferecer suporte à modelagem dos aspectos temporais (CARON; BÉDARD, 1993; BÉDARD et al., 1996; BÉDARD, 1999b; BÉDARD, 2003), (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996), (RENOLEN, 1997; RENOLEN, 1998; RENOLEN, 2000), (PARENT et al., 1998; SPACCAPIETRA; PARENT; ZIMANYI, 1998; PARENT et al., 2004) e (ROCHA; EDELWEISS, 2001). A abordagem deste trabalho de pesquisa foca no conceito de OO, por entender-se que esta oferece melhores condições para expressar a semântica espaço-temporal da informação. Nas próximas seções serão apresentados alguns dos principais modelos existentes.

3.4.1 Perceptory

O *Perceptory* teve sua origem estendendo o *MODUL-R* criado por (CARON; BÉDARD, 1993). O *MODUL-R* é um formalismo desenvolvido pelo centro de pesquisa em geomática da *Laval University, Québec, Canadá*. O termo *MODUL* significa estrutura de modelagem modular enquanto “R” significa modelagem integrada da realidade. O *MODUL-R* é baseado no modelo de entidade-relacionamento, *Entity-Relationship* (E/R), isto é, entidades, relacionamentos e atributos. A sua principal característica propunha, numa forma

unificada, a modelagem dos aspectos espaciais e temporais representados nas entidades, usando módulos específicos para cada contexto.

Com o objetivo de inserir no *MODUL-R* características para modelar componentes dinâmicos, (BÉDARD et al., 1996) sugerem uma extensão do modelo integrando um formalismo com maior riqueza de expressão. A chegada da *Unified Modeling Language* (UML), (RUMBAUGH; JACOBSON; BOOCH, 1999), serviu de justificativa para que modelos E/R fossem migrados para o formalismo OO. Seguindo essas tendências, (BÉDARD, 1999b) apresenta o *Perceptory*, uma evolução OO do *MODUL-R*.

Além do modelo conceitual *Perceptory*, (BÉDARD, 1999b) também apresenta uma ferramenta de modelagem visual, dita de segunda geração, inovando um conceito chamado *Plug-in for Visual Language* (PVL). PVLs são extensões para linguagens de modelagem visual, incluindo construtores básicos com notação gráfica e gramática (regras de uso) definidas, usadas em ferramentas *Computer Aided Software Engineering* (CASE).

Os elementos explicitamente suportados pela ferramenta *Perceptory*, são os elementos básicos da UML (pacote, classe, atributo, operação, associação e generalização). O *Perceptory* também estende a UML fazendo uso de um construtor de modelagem chamado “estereótipos”, oferecendo formas gráficas específicas que auxiliaram na definição de dois tipos de PVL usados para representar os elementos espaciais e espaço-temporais de um modelo de classe (BÉDARD, 2003): *Spatial PVL*; e *Spatiotemporal PVL*.

Para explicitar a forma geométrica da entidade, foram criados os seguintes estereótipos para o *Spatial PVL*, mostrados na Figura 3.2.

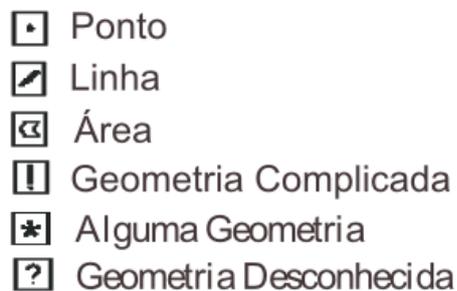


Figura 3.2: Estereótipos espaciais do *Perceptory* (BÉDARD, 2003).

As geometrias possíveis de serem representadas no *Spatial PVL* são:

- **Simples** - objeto representado por uma e somente uma primitiva geométrica (ponto

ou linha ou área);

- **Alternativa** - objeto representado por duas ou mais primitivas (ponto e área, por exemplo);
- **Complexa** - objeto representado por uma combinação de diferentes geometrias possíveis, ou seja, a combinação de duas geometrias alternativas, como por exemplo, uma linha e uma área com um ponto e uma linha; e
- **Múltipla** - objeto representado por uma combinação de todas as geometrias propostas (simples, alternativa e complexa).

Um exemplo de representação de múltiplas geometrias no *Perceptory* é mostrada na Figura 3.3.

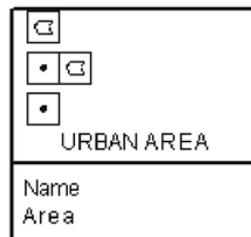


Figura 3.3: Representação de múltiplas geometrias de num objeto no *Perceptory* (BÉDARD, 2003).

O conceito temporal e suas notações gráficas seguem exatamente a mesma lógica do conceito espacial. Para definir a resolução temporal no *Perceptory*, dois conceitos temporais básicos são considerados (BÉDARD, 2003):

1. **Existência** - definida por duas fronteiras, isto é, o “nascimento” e a “morte” do objeto. Este conceito aplica-se somente para as classes do modelo; e
2. **Evolução** - aplica-se somente ao valor dos atributos ou a geometria dos objetos, cujo histórico da mudança de seus estados mantém-se no banco de dados durante sua existência. Existem dois tipos de evolução:
 - **Descritiva**, aplicada aos atributos do objeto considerando as trocas de valor destes quando ocorre mudança, e

- **Espacial**, usada para gerenciar e manter as mudanças na localização e forma do objeto.

O *Spatiotemporal* PVL limitou o número de pictogramas em dois, usados para definir a existência de um objeto e descrever a evolução de um atributo. A Figura 3.4 mostra os estereótipos temporais do *Perceptory*.



Figura 3.4: Estereótipos temporais do *Perceptory* (BÉDARD, 2003).

O uso dos estereótipos espaço-temporais é mostrado na Figura 3.5 onde a evolução espacial de um objeto é definida para a classe de um modelo.

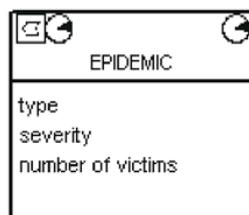


Figura 3.5: Evolução temporal em objeto espacial no *Perceptory* (BÉDARD, 2003).

Usando a ferramenta em projetos de grande porte, a combinação de vários estereótipos espaço-temporais para definir, por exemplo, a geometria complexa de um objeto, ou então a representação da existência e evolução espacial do objeto, torna a modelagem difícil de ser compreendida.

Sabe-se que o *MODUL-R* foi desenvolvido com o propósito de oferecer um melhor suporte à modelagem de aplicações geográficas urbanas. No *Perceptory*, não foi identificada uma forma explícita de modelar objetos e fenômenos que representam os Geo-Campos. Esse é um aspecto que limita o modelo.

3.4.2 GeoOOA

O método convencional de modelagem *Object-Oriented Analysis* (OOA), proposto por (COAD; YOURDON, 1990), não atende aos requisitos específicos para modelar uma

aplicação de SIG apropriadamente, e não oferece uma visibilidade adequada ao usuário. Para superar essas deficiências, (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996) propuseram uma extensão para esse modelo, criando o *Object-Oriented Analysis for Geographic Information Systems* (GeoOOA).

A idéia principal dos autores foi a de complementar o OOA com primitivas, por exemplo, classes geométricas, estruturas topológicas, estruturas de rede e conceitos para a modelagem da informação espaço-temporal.

As primitivas de estruturas topológicas inseridas no GeoOOA permitem distinção para modelar o todo e a parte específica de uma aplicação. Essas estruturas topológicas foram divididas em *coverage, containment, and partition structures*.

Outra primitiva, a de estrutura de rede, inserida no GeoOOA, pode ser considerada como um padrão genérico com semântica gráfica usual para três tipos, isto é, tipo de nó, *link* e rede. A estrutura de rede consiste de uma classe *NETWORK* e pelo menos uma, mas possivelmente mais classes do tipo *NODE*, conectadas a classes do tipo *LINK*, por meio de links conectores.

Para atender aos requisitos de versão de objetos e relacionamentos, foram inseridas algumas primitivas temporais no GeoOOA. O modelo GeoOOA permite distinção entre classes espaciais e não espaciais, e entre diferentes tipos de objetos espaciais, como por exemplo, pontos, linhas e polígonos. Para registrar o histórico de um objeto de uma classe temporal, um serviço, chamado *EVENTS*, cria uma nova versão do objeto. Os atributos afetados por um serviço *EVENTS*, são agrupados em *TEMPORAL RECORDS*. Um *TEMPORAL RECORDS* contém um atributo do tipo *timestamp* que armazena o momento da criação do objeto. Uma representação gráfica da classe temporal do GeoOOA é mostrada na Figura 3.6. O símbolo do relógio permite distinção entre classes temporais e não temporais.

Foi criado um conector de instância ancestral para determinar a qual classe um descendente de um objeto pode pertencer, bem como especificar as circunstâncias do seu nascimento. Quando o objeto é criado, ele herda particularidades do seu ancestral, como por exemplo, sua geometria ou alguns valores de atributos. Formalmente, o conector de instância ancestral determina o relacionamento ancestral entre objetos temporais, sempre do ancestral para o descendente, garantindo que o nascimento do descendente seja regis-

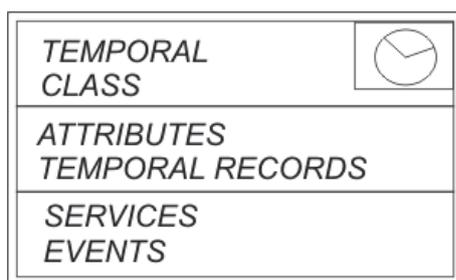


Figura 3.6: Representação gráfica da classe temporal para o GeoOOA (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996).

trado antes, depois, ou no instante da “morte” do seu ancestral. A Figura 3.7 mostra o símbolo do relacionamento ancestral para o GeoOOA.

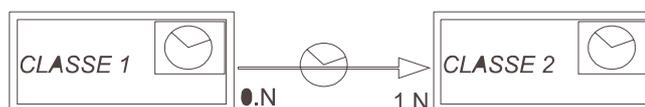


Figura 3.7: Relacionamento ancestral entre objetos temporais (KÖSTERS; PAGEL; SIX, 1996).

Foram constatadas algumas limitações no modelo analisado, como por exemplo, a necessidade de serem inseridas informações textuais adicionais sobre aspectos da modelagem, deixando o modelo graficamente pouco expressivo e comprometendo a sua semântica.

3.4.3 OO-TGIS

O modelo *Object-Oriented Temporal GIS* (OO-TGIS), de (RENOLEN, 1998), foi desenvolvido pelo *Norwegian Research Council* (NFR) em parceria com o *Department of Geography* da *Penn State University* e o *Department of Surveying and Mapping* da *Norwegian University of Science and Technology* (NTNU). Seus idealizadores aplicam as extensões temporal e espacial no modelo OMT, considerando que as informações geográficas podem ser conceitualizadas a partir de modelos OO, permitindo o encapsulamento de uma entidade e sua história num único objeto. O modelo também permite que objetos convencionais e geográficos sejam modelados de maneira uniforme com objetos temporais e atemporais.

Os objetos do mundo real possuem comportamento. As variações graduais que as propriedades dos objetos sofrem com o passar do tempo foram introduzidas no OO-TGIS.

Para caracterizar a mudança de estados destes objetos, segundo (RENOLEN, 2000), o modelo introduz estados distintos, utilizando a notação de diagrama de estados e obtendo o comportamento genérico dos objetos temporais.

A Figura 3.8 mostra que um objeto está “vivo” (*Alive*) ou “morto” (*Dead*). Um objeto “vivo” pode morrer (*Death*) e permanecer no estado “morto”, e depois voltar a “viver” novamente, passando por um evento de reencarnação (*reincarnation*). Se o objeto estiver vivo, ele pode estar num estado estático (*Static*), ou permanecer num estado de mudança contínua (*Changing*). Um objeto que se encontra num estado de mudança contínua, pode estabilizar (*stabilize*) e entrar num estado estático, e depois começar a mudar novamente. Um objeto encontrado num estado estático pode mudar instantaneamente, permanecendo no estado estático.

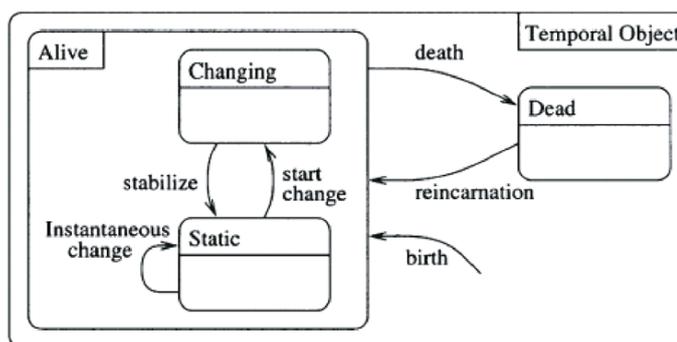


Figura 3.8: Comportamento genérico de objetos temporais no OO-TGIS, usando a notação de diagrama de estados (RENOLEN, 2000).

Os seguintes tipos de mudanças, pelas quais um objeto pode passar, foram identificados por (RENOLEN, 2000):

- **Creation** - quando um objeto é criado;
- **Alteration** - quando ele sofre mudança;
- **Destruction** - quando é destruído ou removido;
- **Reincarnation** - quando é previamente destruído ou removido, e reintroduzido, possivelmente num novo estado e localização;
- **Split/Deduction** - quando um objeto é subdividido em dois ou mais novos objetos, ou quando um ou mais objetos são deduzidos de um objeto existente;

- **Merge/Annexation** - quando dois ou mais são juntados para formar um novo objeto; e
- **Reallocation** - quando dois ou mais são “mergeados”, e dois ou mais resultam dessa mudança.

A Figura 3.9 mostra, usando a notação de histórico gráfico, os sete tipos de mudanças identificados pelo autor.

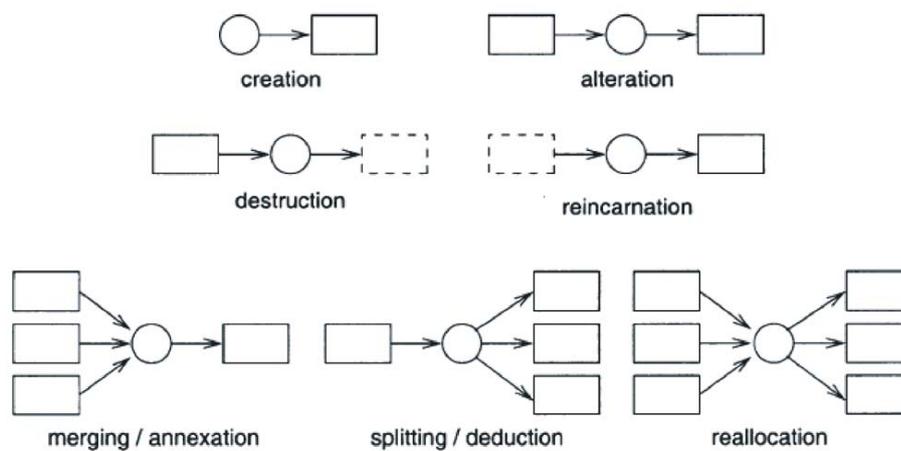


Figura 3.9: Sete tipos básicos de mudança (RENOLEN, 2000).

A notação gráfica apresentada na Figura 3.9 ajuda a entender melhor o histórico do comportamento temporal de casos particulares.

Algumas classes foram criadas e inseridas no modelo para definir as propriedades espaciais e temporais:

1. Classe Objeto **T-Marcada** - possibilita a definição das propriedades que variam durante o tempo;
2. Classe Objeto Espacial **S-Marcada** - permite a definição da localização de um objeto espacial; e
3. Classe Objeto **ST-Marcada** - permite a definição da localização e da variação de um objeto com o passar do tempo.

A Figura 3.10 mostra um exemplo de modelagem conceitual temporal usando o modelo OO-TGIS. Uma organização multinacional (*Multinational Organization*) tem vários países

membros, e com o passar do tempo pode receber membros novos e os membros existentes podem separar-se da organização. Um país (*Country*) também pode ser um membro de várias organizações. Os limites de um país podem alterar-se ao longo do tempo, alterando, com isso, as suas características geográficas. Conseqüentemente, cidades (*City*) podem trocar de país. O regime de governo pode ser república (*Republic*) ou monarquia (*Monarchy*), também podendo trocar com o passar dos anos.

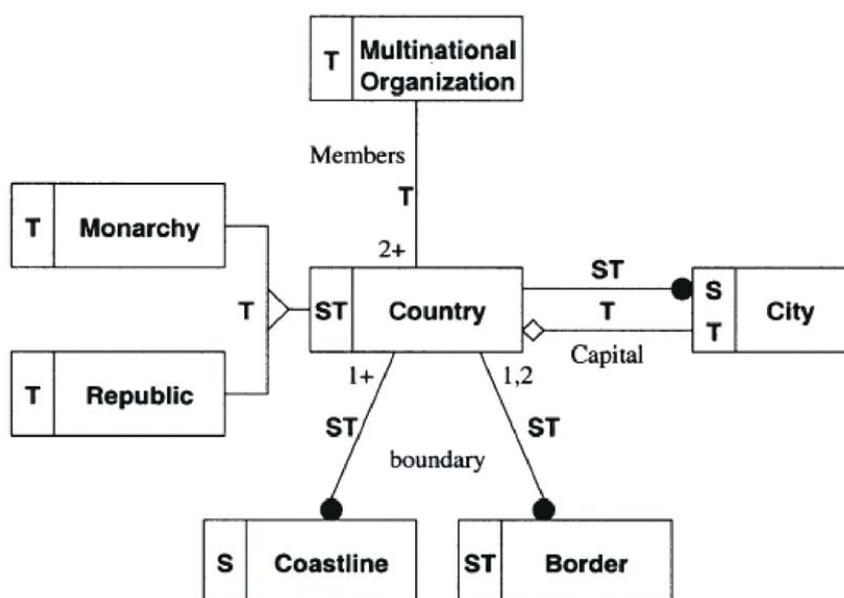


Figura 3.10: Exemplo de modelagem conceitual temporal do OO-TGIS (RENOLEN, 2000).

O modelo apresenta uma boa base semântica em função de operações que permitem realizar a análise dos dados, bem como retratar o comportamento dos objetos. Ele também apresenta uma hierarquia básica para as classes.

A classe *TObject* foi criada para nela serem definidos os objetos de tipo temporal. Apesar disso, esta não apresenta uma notação para caracterizar os atributos temporizados da classe.

3.4.4 MADS

O modelo conceitual *Modeling of Application Data with Spatio-Temporal Features* (MADS), (PARENT et al., 1998), em evolução e atualização pela *Université de Lausanne* (UNIL) e pelo *Database Laboratory* (LBD) da *Ecole Polytechnique Fédérale de Lau-*

sanne (EPFL), Suíça, (PARENT et al., 2004), adota o paradigma objeto-relacional, o qual inclui as características do *Object Database Management Group* (ODMG), modelo padrão para sistemas OO (CATTELL, 1997).

O trabalho iniciado por (PARENT et al., 1998) limitava o MADS à modelagem de objetos espaciais e seus atributos. O modelo também incluía características temporais não discutidas em seu trabalho original, entretanto, estas foram descritas posteriormente por (SPACCAPIETRA; PARENT; ZIMANYI, 1998).

A estrutura dimensional do MADS inclui características tais como, objetos, atributos (mono-/multivalorados, simples/complexos, derivados), métodos, restrições de integridade, relacionamentos enários, especialização e agregação. A sua solução oferece dois tipos de dados abstratos, **Abstract Data Type** (ADT), para modelar os fenômenos do mundo real: **Spatial Abstract Data Type** (SADT) e **Temporal Abstract Data Type** (TADT).

Os **SADT** oferecem condições para modelar a forma e a localização da informação espacial, incluindo representações para os tipos espaciais básicos simples: pontos, linhas, linhas orientadas e áreas simples (com cavidades mas sem ilhas). O MADS também inclui tipos espaciais para descrever conjuntos de objetos espaciais homogêneos: conjuntos de pontos, como por exemplo, para representação de casas de uma cidade, conjunto de linhas, para representação de uma rede de rodovias, conjunto de linhas orientadas e áreas complexas (conjunto de áreas simples). Cada tipo espacial tem associado a si um conjunto de métodos para definir e manipular as instâncias do objeto, por exemplo, a dimensão de uma área e o comprimento de uma linha. De acordo com a aplicabilidade dos métodos sobre os diferentes tipos espaciais, estes são organizados numa hierarquia de generalização, mostrada na Figura 3.11, onde os estereótipos associados a cada tipo espacial, também são mostrados.

Os **TADT** oferecem condições de representar os instantes, intervalos e elementos temporais. Segundo (SPACCAPIETRA; PARENT; ZIMANYI, 1998), no MADS, além dos atributos, o tempo pode ser também aplicado em objetos e relacionamentos. O tempo inserido nos atributos registra a evolução de seus valores. A Figura 3.12 mostra temporalidade em atributos simples (“*salary*” e “*depends*”) e em um atributo complexo multi-valorado “*project*”, composto de “*projName*” e “*hours*”. Nesse caso, permite-se manter a evolução

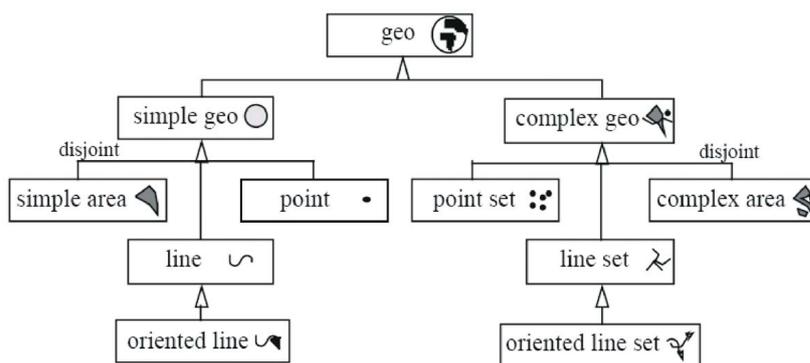


Figura 3.11: Hierarquia básica do SADT do *MADS* (PARENT et al., 1998).

de ambos, ou seja, “*projName*” e “*hours*” dentro de “*project*”.

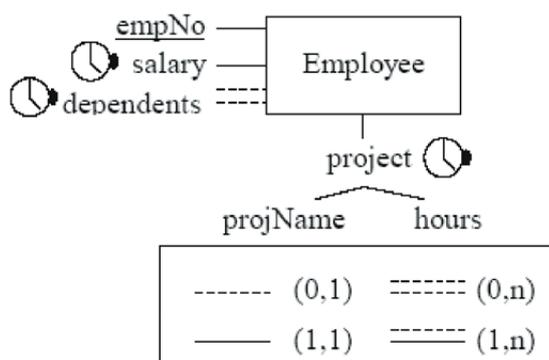


Figura 3.12: Atributos temporais no *MADS* (PARENT et al., 1998).

O tempo inserido em objetos permite manter o ciclo de vida de suas instâncias, ou seja, o momento em que eles são criados, suspensos, reativados ou deletados. No *MADS*, definir um objeto como temporal é independente de temporizar alguns de seus atributos, como mostra a Figura 3.13.

O *MADS* permite generalização de objetos, onde o refinamento e a redefinição é possível para as suas propriedades. Na hierarquia da generalização, os objetos classificam-se em dois tipos, onde um grupo de sub-tipos é **estático**, ou seja, quando um objeto não pode mudar seu sub-tipo, e do contrário, é **dinâmico**. Por exemplo, num grupo estático o ciclo de vida de um objeto num sub-tipo é o mesmo que o ciclo de vida num super-tipo. Na Figura 3.14a, as pessoas são classificadas de acordo com o sexo e não se espera que elas o mudem. Num grupo dinâmico, o caso é diferente. A Figura 3.14b mostra que o ciclo de vida de Maria, como estudante, é diferente de seu ciclo de vida como pessoa, ou como universitária. Já a Figura 3.14c mostra a decisão de projeto para manter ras-

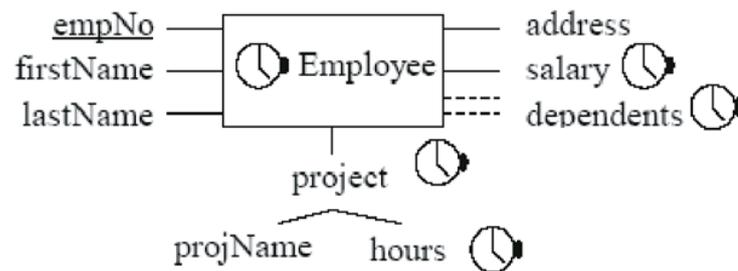


Figura 3.13: Objetos temporais no *MADS* (PARENT et al., 1998).

treáveis os gerentes passados, presentes e futuros, enquanto se estiver interessado somente em empregados atuais.

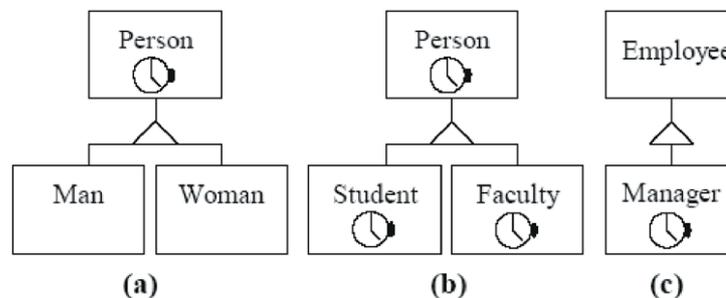


Figura 3.14: Generalização e objetos temporais no *MADS* (PARENT et al., 1998).

Os aspectos dinâmicos também podem ser modelados no MADS. Para tanto, quatro tipos de relacionamentos dinâmicos são oferecidos pelo modelo, permitindo descrever a dinâmica entre os objetos: relacionamento de transição, geração, coalisão e *timing*. Os tipos de relacionamentos podem ser nomeados, temporizados, ter atributos e métodos temporais ou não, e participar na derivação de fórmulas e restrições de integridade.

No MADS, os tipos de relacionamento temporal envolvem a manutenção das informações do ciclo de vida de suas instâncias. Da mesma forma como nos objetos, os relacionamentos temporais podem ter atributos temporais ou não.

3.4.5 GeoFrame-T

O *framework* conceitual GeoFrame-T, proposto por (ROCHA; EDELWEISS, 2001), foi desenvolvido no Instituto de Informática da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e apresenta uma extensão temporal do *framework* conceitual GeoFrame

(LISBOA; IOCHPE, 1999). A extensão baseia-se no formalismo OO, usa a UML como linguagem de modelagem e expande alguns conceitos da *Temporal Unified Modeling Language* (TUML) adaptando-o para a visão espaço-temporal e possibilitando a modelagem de fenômenos geográficos.

Antes de serem adicionados os aspectos temporais, o GeoFrame sofreu alterações na solução proposta em sua versão original. Após a realização das modificações, o GeoFrame apresenta o seguinte conjunto de classes básicas necessárias, mostradas na Figura 3.15. Para tratar os dados geográficos de uma aplicação de SIG, (ROCHA; EDELWEISS, 2001) definiu uma classe “Metadado”, onde informações sobre a qualidade do dado e informações de armazenamento são inseridas. Esta classe relaciona-se diretamente com “ObjetoNãoGeográfico” e a classe “Geometadado”. A classe “ObjetoNãoGeográfico” representa objetos convencionais. A classe “Geometadado” é uma especialização da classe “Metadado”, que possui informações sobre os dados geográficos, e que por sua vez está associada à classe “FenômenoGeográfico”.

A classe “FenômenoGeográfico” generaliza qualquer fenômeno cuja localização em relação à superfície da terra esteja sendo considerada, segundo a visão dicotômica de campo e de objeto (GOODCHILD, 1992). Esta classe possui as subclasses “CampoGeográfico” e “ObjetoGeográfico”. A subclasse “CampoGeográfico” generaliza os fenômenos da visão de campo, modelados por variáveis que possuem uma distribuição contínua no espaço. A subclasse “ObjetoGeográfico” representa fenômenos geográficos cujas características podem ser descritas através de atributos. Além disso, um mesmo campo geográfico ou objeto geográfico pode estar associado a várias instâncias de classe, “RepresentaçãoCampo” ou “ObjetoEspacial”, respectivamente. A classe “RepresentaçãoCampo” representa a espacialidade de campos geográficos, especializada nas subclasses “TIN”, “PolAdjacente”, “GradeCélula”, “GradePontos”, “PontosIrregulares” e “Isolinhas”. A classe “ObjetoEspacial” representa a espacialidade de objetos geográficos, especializada nas subclasses “Ponto”, “Linha”, “Polígono” e “ObjetoComplexo”.

O GeoFrame utiliza-se de estereótipos para indicar explicitamente a espacialidade do objeto modelado. O conjunto de estereótipos é apresentado na Figura 3.16.

Para o tratamento do aspecto temporal dos dados geográficos, foram incorporadas novas classes no GeoFrame, passando este a denominar-se GeoFrame-T. Foi criada a

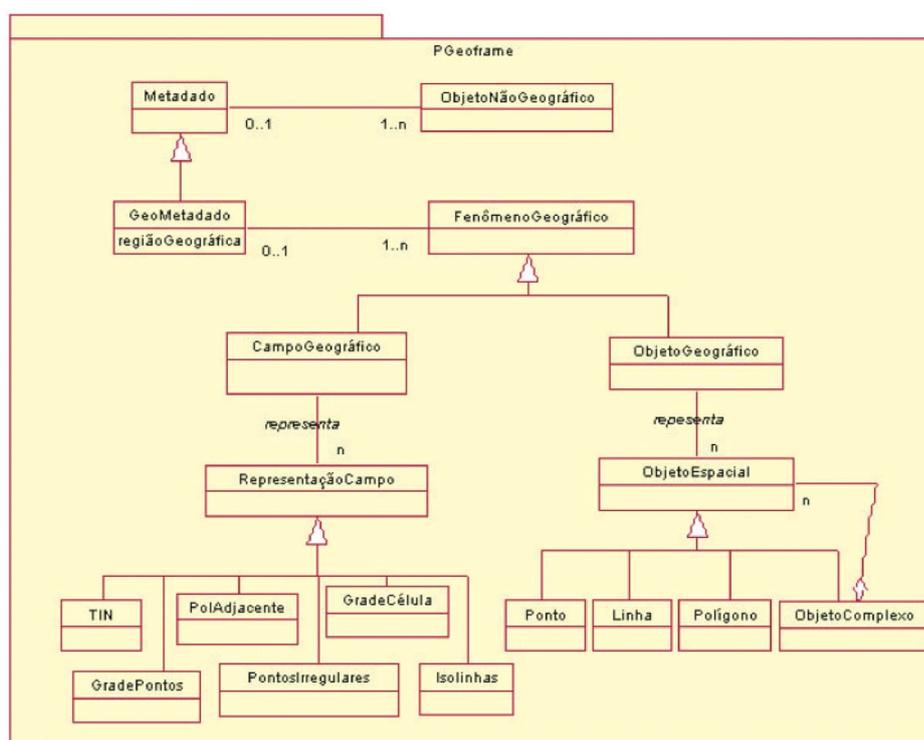


Figura 3.15: Hierarquia das classes básicas do GeoFrame (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

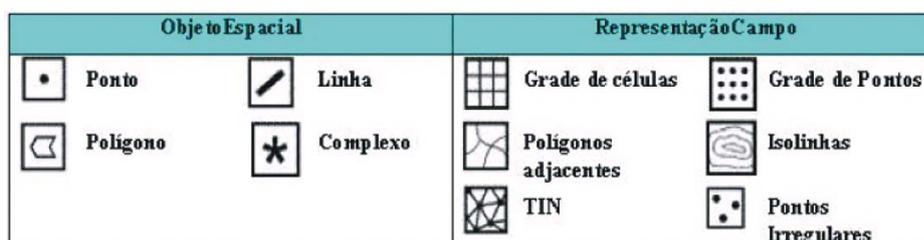


Figura 3.16: Estereótipos espaciais do GeoFrame (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

classe “ObjetoTemporal” apresentada na Figura 3.17.

A classe “ObjetoTemporal” é um agregado da classe “ObjetoTempo” que pode ter ou não uma instância da classe “MetadadosTemporais” associada a si. A classe “MetadadosTemporais” descreve os metadados da classe “ObjetoTempo”.

A classe “ObjetoTempo” é uma generalização das classes “Estático” e “TipoTemporal”, sendo que esta é especializada em:

- “**Estático**” - classe que não possui variação temporal associada;
- “**TempoValidade**” - considera o tempo em que a informação é válida na realidade modelada, onde a forma de variação do tempo pode ser do tipo linear ou ramificada;

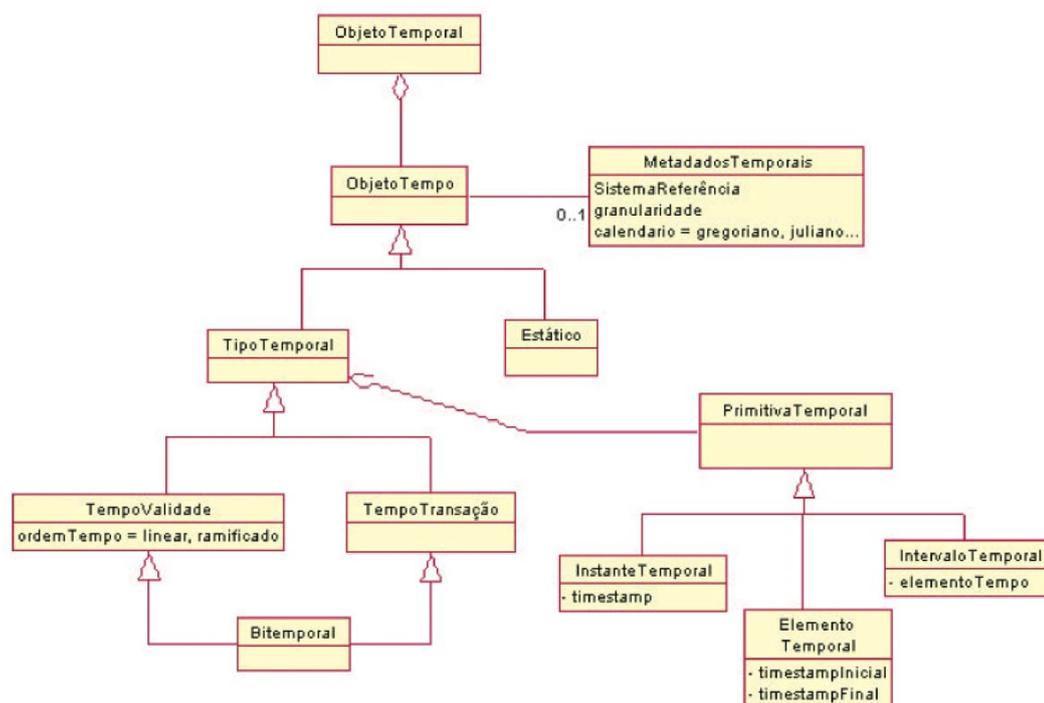


Figura 3.17: Classe “ObjetoTemporal” do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

- **“TempoTransação”** - considera o tempo em que foi feita a gravação da informação no banco de dados, onde a forma de variação do tempo é sempre linear e a evolução das informações mantém-se registrada no banco de dados; e
- **“Bitemporal”** - quando tanto o tempo de gravação (tempo de transação) quanto o tempo de validade são considerados.

Além desta representação, o GeoFrame-T possui as seguintes classes de primitivas temporais agregadas à classe “TipoTemporal”:

- **“InstanteTemporal”** - considera apenas um ponto no tempo;
- **“IntervaloTemporal”** - considera um valor para o início e outro para o fim do intervalo de tempo de validade ou de transação de um elemento; e
- **“ElementoTemporal”** - união de intervalos e instantes temporais de tempo de validade ou de tempo de transação.

O conjunto de estereótipos criados para o GeoFrame-T, mostrado na Figura 3.18, serve para indicar, nos elementos do modelo, qual o tipo de tempo, a ordem temporal (linear ou

ramificada), bem como a primitiva de tempo utilizada para o armazenamento temporal (instante, intervalo ou elemento temporal) aplicado ao mesmo.



Figura 3.18: Estereótipos temporais do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

No GeoFrame-T, o tempo é representado no nível de objetos, atributos e relacionamentos. A inclusão do tempo num objeto determina o seu ciclo de vida. Quando o tempo não for indicado, explicitamente, nos atributos que variam de acordo com o tempo, todos os atributos da classe serão considerados temporizados. Ao incluir tempo em algum atributo da classe, os demais não temporizados serão considerados estáticos. Caso a classe não possua estereótipo temporal e os atributos possuam, a classe é dita temporal, conforme o elemento temporal indicado no atributo. A Figura 3.19 mostra um exemplo de classe temporal no GeoFrame-T.

No GeoFrame-T os relacionamentos permitem temporização para os seguintes tipos possíveis: estático, por tempo de transação, por tempo de validade e bitemporal. A Figura 3.20 exemplifica a relação temporal existente entre a classe “LoteTerra” e a classe “Proprietário”. Este relacionamento permite a manutenção do histórico de todos os proprietários do lote de terra e o intervalo em que esta relação de propriedade ocorreu.

(ROCHA; EDELWEISS, 2001) apresenta na Figura 3.21, a representação do tempo no GeoFrame, transformando-o no GeoFrame-T. Assim, o autor apresenta o “PgeoFrame-T” onde as classes “ObjNãoGeográfico”, “FenômenoGeográfico”, “RepresentaçãoCampo”, “ObjetoEspacial” e “Relacionamento” são especializações da classe “ObjetoTemporal”, her-

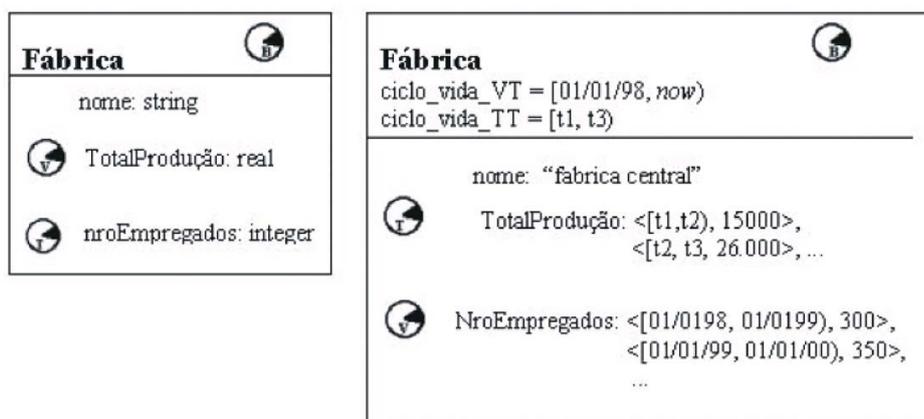


Figura 3.19: Exemplo de classe temporal do GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

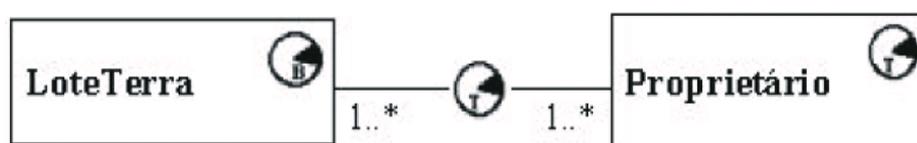


Figura 3.20: Exemplo de relacionamento temporal no GeoFrame-T (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

dando suas características temporais.

Os relacionamentos espaciais não foram definidos no GeoFrame. Quanto aos relacionamentos temporais, estes ainda não foram totalmente descritos e no GeoFrame-T apenas são considerados os relacionamentos de tempo de validade, tempo de transação e a bitemporalidade. Os relacionamentos espaço-temporais ainda não foram definidos e, segundo (ROCHA; EDELWEISS, 2001), deverão ser descritos quando forem apresentados os relacionamentos espaciais.

3.5 Comparação entre os Modelos Conceituais Espaço-Temporais

Com base no trabalho realizado por (ROCHA; EDELWEISS, 2001), a Tabela 3.1 resume e apresenta uma comparação entre os modelos conceituais espaço-temporais analisados, quanto as suas capacidades de atendimento aos requisitos apresentados na Seção 3.3.2.

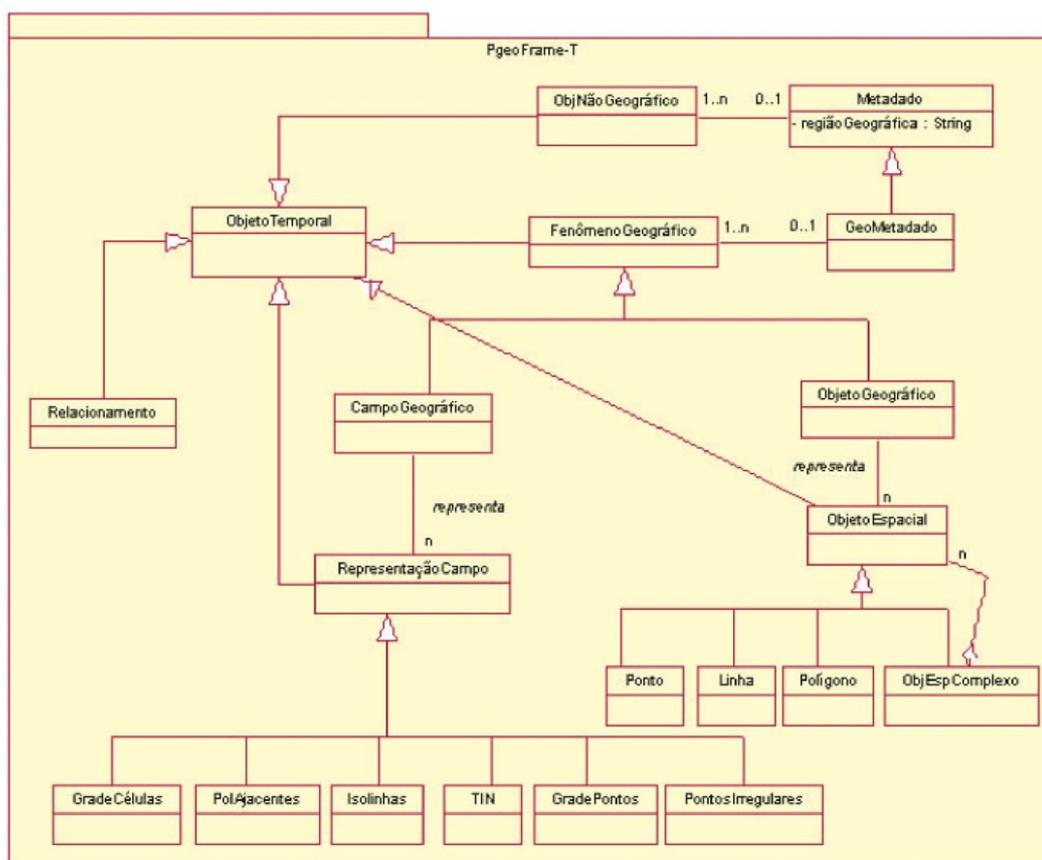


Figura 3.21: GeoFrame-T, solução final (ROCHA; EDELWEISS, 2001).

Tabela 3.1: Comparação de modelos conceituais espaço-temporais (ROCHA; EDELWEISS; IOCHPE, 2001)

<i>Requisitos</i>	<i>Perceptory</i>	<i>GeoOOA</i>	<i>OO-TGIS</i>	<i>MADS</i>	<i>GeoFrame-T</i>
1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
3	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
3a	Não	Não	Não	Não	Não
3b	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
4	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Não	Não	Não	Não	Sim
6	Sim	Não	Não	Não	Sim
7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Não	Não	Não	Não	Não
9	Não	Não	Não	Não	Sim
10	Não	Não	Não	Não	Não
11	Não	Não	Não	Não	Não
12	Não	Não	Não	Não	Não
13	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
14	Não	Não	Não	Não	Não
15	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Capítulo 4

O Modelo de Dados OMT-G

O OMT-G proposto por (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001) é um modelo de dados para aplicações geográficas. Ele oferece um conjunto de primitivas para modelagem da geometria e da topologia dos dados espaciais, suportando diferentes estruturas topológicas, visões múltiplas de objetos e relacionamentos espaciais. A partir dessas estruturas torna-se possível produzir um conjunto de restrições de integridade espacial que precisam ser implementadas pela aplicação ou pelo banco de dados geográfico utilizado. O OMT-G é baseado no formalismo OO, e também inclui ferramentas para especificar a transformação de processos e alternativas de apresentação, permitindo modelagem de múltiplas representações e apresentações.

Inicialmente baseado na notação dos diagramas de classe da técnica de modelagem de objetos, OMT, o OMT-G passou a adaptar-se aos conceitos e a notação da linguagem de modelagem unificada, UML (RUMBAUGH; JACOBSON; BOOCH, 1999), introduzindo novas primitivas geográficas, aumentando a sua capacidade de representação semântica, e reduzindo a distância entre o modelo mental do espaço a ser modelado e o modelo de representação usual.

O modelo OMT-G baseia-se em três conceitos principais: *classes*, *relacionamentos* e *restrições de integridade espaciais*. *Classes* e *relacionamentos* definem as primitivas básicas usadas para criar esquemas estáticos de aplicação. Com este objetivo o OMT-G propõe o uso de três diagramas distintos no processo de projeto da aplicação geográfica: *diagrama de classes*, *diagrama de transformação* e o *diagrama de apresentação*. O mais usual é o *diagrama de classes*, no qual todas as classes são especificadas, junto com suas

representações e relacionamentos. Desse diagrama, é possível derivar um conjunto de restrições de integridade espacial que devem ser observadas na implementação. Quando o diagrama de classes indica a necessidade de múltiplas representações numa classe, ou quando a aplicação envolve a derivação de alguma classe de outra, o *diagrama de transformação* deve ser gerado. Finalmente, o *diagrama de apresentação* deve ser construído para prover diretrizes para os aspectos visuais dos objetos na implementação. *Restrições de integridade espacial* definem uma atividade importante no projeto de uma aplicação, consistindo na identificação de condições que precisam ser garantidas para que o banco de dados permaneça íntegro (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2002).

4.1 Diagrama de Classes

Segundo (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), na OMT-G o *diagrama de classes* é usado para descrever a estrutura e o conteúdo do banco de dados geográfico. Ele contém elementos específicos nas classes espaciais de objetos e nos seus relacionamentos. Nele, processos dinâmicos e outras transformações não são consideradas. O *diagrama de classes* somente contém regras e descrições que definem, conceitualmente, como os dados devem ser estruturados, inclusive a informação sobre a representação a ser adotada para cada classe.

As primitivas usadas pelo OMT-G, para criar um diagrama de classe para as aplicações geográficas, encontram-se descritas nas seções seguintes.

4.1.1 Estrutura da Classe

As classes básicas definidas pelo modelo OMT-G podem ser *georreferenciadas* ou *convencionais*, conforme mostrado na Figura 4.1.

Uma *classe georreferenciada* descreve um conjunto de objetos com representação espacial associada a elementos do mundo real (CASANOVA et al., 2005), assumindo a visão de campos e objetos proposta por (GOODCHILD, 1992). Sendo assim, este tipo de classe especializa-se em *geo-campos* e *geo-objetos*, apresentando um conjunto fixo de alternativas de representação geométrica, usando uma simbologia para distinguir *geo-objetos* e

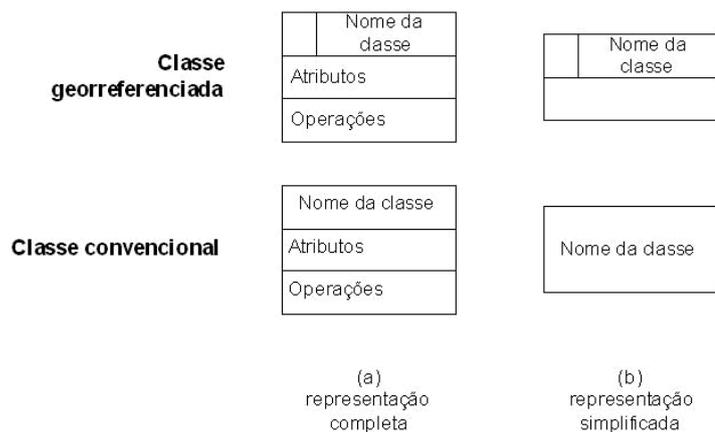


Figura 4.1: Notação gráfica para classes básicas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

geo-campos.

As classes georreferenciadas são simbolizadas como no modelo OMT-G, incluindo no canto superior esquerdo, um retângulo utilizado para indicar a geometria da representação.

Geo-campos representam os objetos e fenômenos distribuídos continuamente no espaço, correspondendo a variáveis como tipo de solo, relevo e geologia (CASANOVA et al., 2005). As cinco classes abaixo descendentes para geo-campo são definidas (*rede triangular irregular, isolinhas, subdivisão planar, tesselação e amostragem*), conforme mostrado na Figura 4.2.

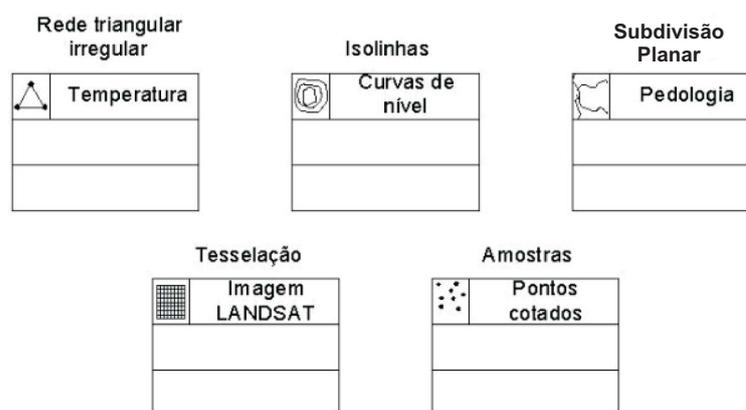


Figura 4.2: Geo-Campos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

Geo-objetos representam os objetos geográficos particulares, individualizáveis e associados a elementos do mundo real, como edificações, rios e árvores. Duas classes descendem de geo-objeto (*geo-objeto com geometria e geo-objeto com geometria e topologia*), sendo que da primeira, descendem três classes (*ponto, linha e polígono*), e da segunda, descendem mais três classes (*arco unidirecional, arco bidirecional e nó de rede*), conforme mostrado

na Figura 4.3. Maiores detalhes encontram-se em (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

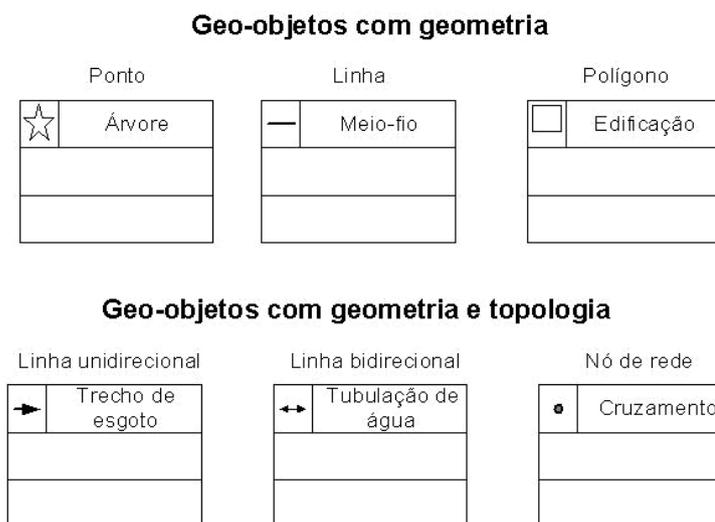


Figura 4.3: Geo-Objetos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

Uma *classe convencional* descreve um conjunto de objetos com propriedades, comportamentos, relacionamentos e semânticas semelhantes, podendo ter algum tipo de relacionamento com objetos espaciais, não possuindo propriedades geométricas ou geográficas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001). As classes convencionais utilizam símbolos, como na UML.

4.1.2 Relacionamentos

Na maioria dos modelos de dados, encontra-se a dificuldade de modelagem dos relacionamentos entre os fenômenos do mundo real, freqüentemente negligenciados, conforme (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2002).

Considerando a importância das relações espaciais e não espaciais para a compreensão do espaço modelado, o modelo OMT-G representa os seguintes tipos de relacionamentos entre suas classes: *associações simples*, *relações espaciais* e *relações topológicas de rede*.

4.1.2.1 Associações Simples, Relacionamentos Espaciais e Topológicos de Rede

As *associações simples* representam relacionamentos estruturais entre os objetos de diferentes classes, tanto convencionais quanto georreferenciadas. Essas associações são

representadas por uma linha contígua, ligando as duas classes com uma seta, e mostrando qual o sentido da relação, conforme mostrado na Figura 4.4a.

As *relações espaciais* representam as relações topológicas, métricas, ordinais e *fuzzy*. Algumas relações podem ser calculadas a partir das coordenadas de cada objeto, durante a execução das operações de análise espacial. Todas as relações espaciais são representadas por linhas pontilhadas, como pode ser observado na Figura 4.4b e Figura 4.4c.

As *relações topológicas de rede* são relacionamentos entre objetos conectados uns com os outros, podendo ser mantidos através de estruturas de dados dos SIG, representadas por nós e arcos conectados. Eles são indicados por duas linhas pontilhadas paralelas entre as quais o nome do relacionamento é anotado. As linhas fazem a ligação entre as classes do tipo *Nó* e as do tipo *Linha Uni* ou *Bi-direcionada*. Estruturas de rede sem nó apresentarão um relacionamento recursivo na classe que representa os segmentos do grafo, conforme mostrado na Figura 4.4d.

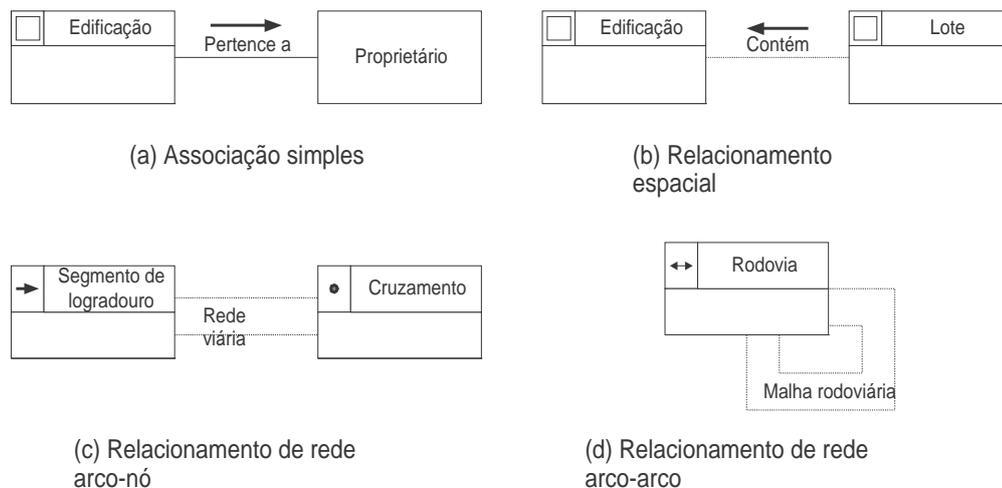


Figura 4.4: Relacionamentos (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.1.2.2 Cardinalidade

Relacionamentos são caracterizados por suas cardinalidades. A notação adotada pelo OMT-G é a mesma da UML, como mostrado na Figura 4.5. A cardinalidade do relacionamento constitui uma forma de restrição de integridade, comumente chamada de restrição estrutural.

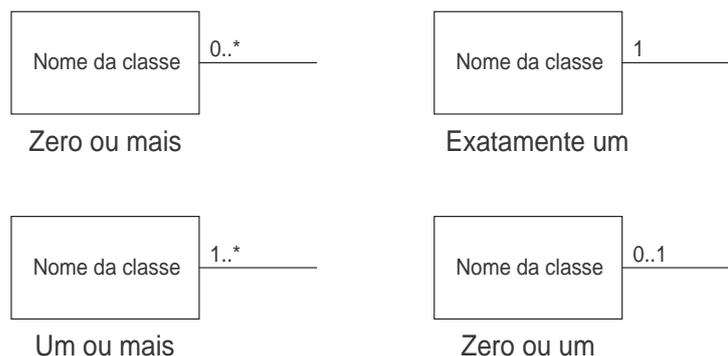


Figura 4.5: Cardinalidade (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.1.3 Generalização e Especialização

A generalização define classes mais genéricas (superclasses) a partir de classes com características semelhantes (subclasses). Já a especialização é o processo inverso, ou seja, classes mais específicas são detalhadas a partir de classes genéricas, adicionando-se novas propriedades na forma de atributos (LISBOA, 2001). Cada subclasse herda atributos, operações e associações da superclasse.

No modelo OMT-G, as abstrações de generalização e especialização se aplicam tanto a classes georreferenciadas quanto a classes convencionais, seguindo a definição e a notação do diagrama de classe da UML, onde um triângulo interliga uma superclasse as suas subclasses, conforme mostrado na Figura 4.6.

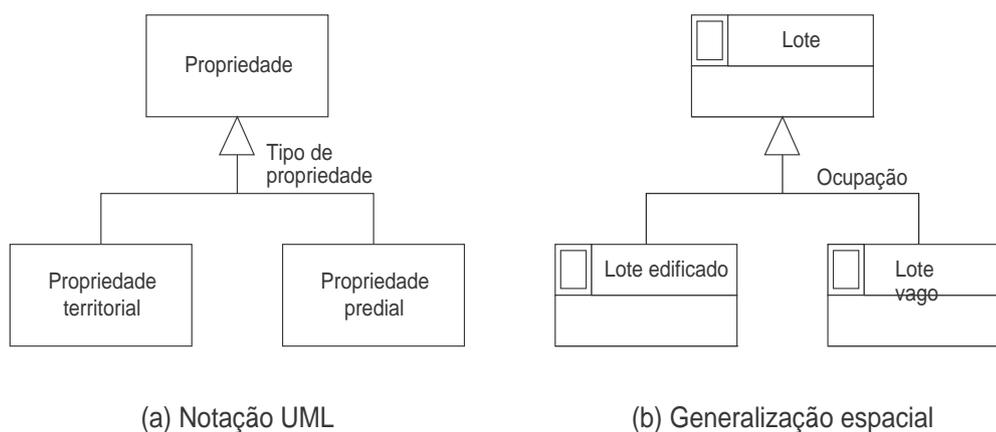


Figura 4.6: Generalização e especialização (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.1.4 Agregação

Agregação é uma forma especial de associação entre objetos, onde um deles é formado por outro (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001). A notação gráfica adotada no OMT-G segue a da UML, conforme mostrado na Figura 4.7.

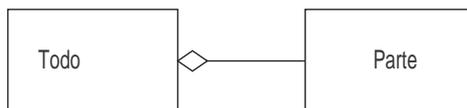


Figura 4.7: Agregação (notação UML) (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

Uma agregação pode ocorrer entre classes convencionais, entre classes georreferenciadas e também entre classes convencionais e georreferenciadas, como mostrado na Figura 4.8.



Figura 4.8: Agregação entre classes convencionais e georreferenciadas (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

A agregação espacial é um caso especial de agregação que explicita relacionamentos topológicos do tipo “todo-parte”, conforme mostrado na Figura 4.9, impondo restrições de integridade espacial, referente a existência do objeto agregado e dos sub-objetos. Dessa forma, tem-se um modelo mais claro e expressivo, contribuindo também para a manutenção da integridade semântica do banco de dados geográfico.

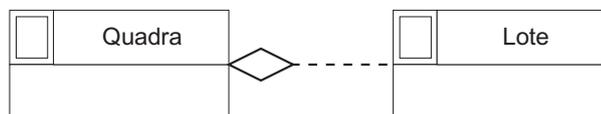


Figura 4.9: Agregação espacial do tipo todo-parte (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

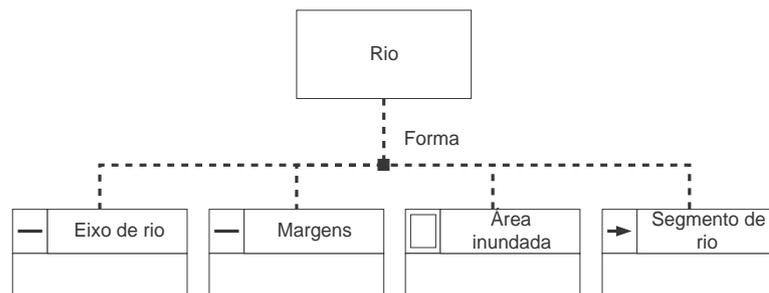
4.1.5 Generalização Conceitual

A generalização, no sentido cartográfico, pode ser definida como uma série de transformações realizadas sobre a representação da informação espacial, cuja finalidade é melhorar

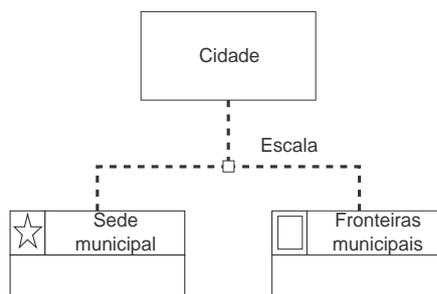
a legibilidade e aumentar a facilidade de compreensão dos dados por parte do usuário do mapa (CASANOVA et al., 2005).

A generalização conceitual pode ser de dois tipos: *variação pela forma* e *variação por escala*. A *variação pela forma* é utilizada na representação da convivência simultânea das múltiplas formas geométricas de uma mesma classe, dentro de uma mesma escala. A descrição geométrica da superclasse é deduzida a partir do uso das subclasses. Por exemplo, um rio pode ser percebido como um espaço entre suas margens, como um polígono de água ou como um fluxo (linha direcionada), formando a rede hidrográfica, como apresentado na Figura 4.10a.

A *variação por escala* é utilizada na representação das diferentes formas geométricas de representação de uma mesma classe decorrente da mudança de escala. Uma cidade, por exemplo, pode ser representada por uma área (polígono), numa escala maior, e por um símbolo (ponto), numa escala menor, conforme mostrado na Figura 4.10b.



(a) Variação de acordo com a forma (sobreposto)



(b) Variação de acordo com a escala (disjunto)

Figura 4.10: Generalização conceitual (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.1.6 Restrições de Integridade Espaciais

Aplicações geográficas manipulam dados que dependem de relacionamentos topológicos e precisam ser representados no banco de dados (BORGES; LAENDER; DAVIS, 1999). Isso implica numa manutenção da integridade semântica do banco de dados. Para tanto, cuidados especiais devem ser tomados, para que a consistência espacial seja mantida.

O controle das restrições de integridade deve ser considerado como uma das principais atividades de implementação. Nesta seção, serão consideradas somente as restrições dos relacionamentos espaciais.

A partir da criação das primitivas espaciais “todo-parte”, como em alguns relacionamentos espaciais padronizados, são deduzidas algumas regras de integridade espacial (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2002). Essas regras formam um conjunto de restrições que devem ser observadas nas operações de atualização do banco de dados geográfico.

Conforme (DAVIS; BORGES; LAENDER, 2005), as restrições espaciais consideradas no modelo OMT-G são as seguintes:

1. **Regras de Dependência Espacial** - restrições impostas pela existência de objetos agregados, onde a existência gráfica do objeto agregado depende da existência gráfica dos sub-objetos, e vice-versa. Essas regras são derivadas da primitiva “*Agregação espacial*”;
2. **Regras de Continência** - restrições impostas pela existência de objetos contidos dentro da estrutura geométrica de outro, derivadas da primitiva espacial “*contém*”;
3. **Regra de Disjunção** - restrição aplicada às classes que não podem, de forma alguma, ter algum tipo de relacionamento espacial;
4. **Regras de Conectividade** - restrições impostas para garantir a existência de conectividade entre os objetos; e
5. **Regras de Geo-Campo** - restrições impostas a existência de classes do tipo Geo-Campo.

4.2 Diagrama de Transformação

O diagrama de transformação proposto pelo OMT-G segue a notação da UML para os diagramas de estado e de atividade, utilizados para especificar transformações entre as classes. No entanto, segundo (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001), embora os diagramas sejam usados para especificar operações de transformação, os mesmos ainda operam em nível de representação apenas conceitual. Isso porque a procedência dos resultados da transformação é representada, considerando os conceitos de representação abordados na Seção 4.1.5.

Os diagramas de transformação baseiam-se nas primitivas de classes, como definido nos diagramas de classe. As classes envolvidas com algum tipo de transformação conectam-se com linhas contínuas e flechas, indicando procedência, e com o resultado da transformação. As operações de transformação envolvidas e seus parâmetros são indicados como texto sobre a linha de conexão, como mostrado na Figura 4.11.

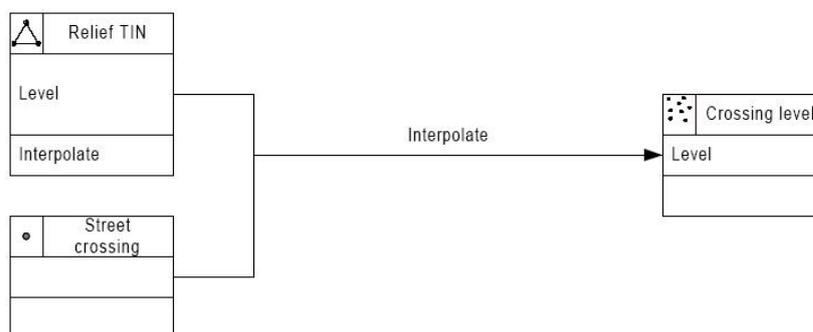


Figura 4.11: Operações de transformação (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.3 Diagrama de Apresentação

O diagrama de apresentação do OMT-G agrupa todos os requisitos do usuário, em termos de alternativas de saída para cada objeto geográfico. Estas alternativas podem incluir apresentações definidas para visualização numa tela de impressão como mapas, fluxogramas, ou ambos.

Apresentações são definidas a partir de representações no nível conceitual. De transformação para apresentação, *Transformation to Presentation* (TP), as operações são es-

pecificadas, de modo a alcançar o aspecto visual desejado, da forma geométrica definida no diagrama de representação.

A Figura 4.12 apresenta a definição do diagrama de apresentação para a classe *City Point*. Primeiramente, uma tela de um fluxograma para os objetos simbólicos é definida. Em seguida, uma apresentação é especificada, na qual diferentes símbolos são nomeados para a instância de *city*, dependendo do atributo *population* a ser usado no mapa de rodovia.

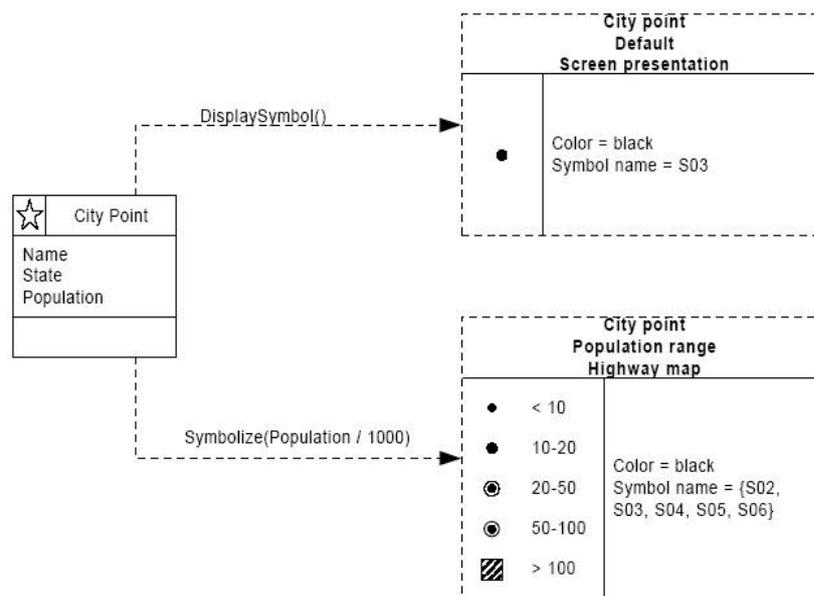


Figura 4.12: Diagrama de apresentação para a classe *City Point* (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

4.4 Conclusão

Como apresentado no Capítulo anterior, o OMT-G suporta quase que a totalidade do conjunto de requisitos a serem considerados durante a modelagem dos dados de um SIG, com exceção dos aspectos temporais, conforme abordado por (FRIIS-CHRISTENSEN; TRYFONA; JENSEN, 2001).

A completude dos resultados que podem ser recuperados e oferecidos pela funcionalidade de análise de um SIG, que manipula inclusive dados temporais, faz com que este justifique a plenitude de sua existência. Assim sendo, justifica-se, uma vez mais, a criação de uma extensão temporal para o modelo OMT-G.

Capítulo 5

O Desenvolvimento da Técnica *OMT-G Temporal*

Este Capítulo apresenta a *OMT-G Temporal*, uma técnica para modelagem conceitual dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos, estendendo o modelo OMT-G.

A necessidade do uso de um modelo, capaz de atender a representação das propriedades espaço-temporais de dados geográficos, facilita o processo de modelagem conceitual dos dados de fenômenos geográficos envolvidos numa aplicação.

A Seção 5.1 deste Capítulo descreve os mecanismos de extensão disponíveis na UML, que podem ser utilizados para complementá-la com elementos peculiares de uma aplicação de SIG. A semântica temporal inserida no OMT-G faz uso desses mecanismos, que são posteriormente apresentados na Seção 5.3.

A Seção 5.2 aborda a TUML (SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997), como uma proposta que estende a UML, permitindo sua complementação. Existe também uma extensão espaço-temporal para a UML, chamada *SpatioTemporal Unified Modeling Language* (STUML) (PRICE; SRINIVASAN; RAMAMOHANARAO, 1999), no entanto esta extensão não foi considerada neste trabalho, por apresentar definições ainda consideradas como incompletas e inadequadas, carecendo de evolução. Alguns conceitos apresentados pela TUML serviram de base para a criação da extensão temporal do modelo OMT-G, que neste trabalho de pesquisa passou a ser chamado de *OMT-G Temporal*.

A Seção 5.3 deste Capítulo também descreve uma metodologia adotada para o desen-

volvimento da extensão *OMT-G Temporal*, bem como os requisitos temporais nela inseridos.

Ao final deste Capítulo, na Seção 5.4, são apresentados alguns conceitos básicos para o desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem, visando atender esta técnica de modelagem conceitual espaço-temporal, e tornar a fase de modelagem de aplicações geográficas mais produtiva. Esta Seção descreve ainda o protótipo de uma ferramenta de modelagem, denominada *Geo-Temporal*, especificamente construída para propiciar a verificação e validação da semântica temporal anteriormente definida.

5.1 Mecanismos de Extensão da UML

Conforme consta em (OMG, 2003), a UML é uma linguagem de modelagem que não oferece todos os tipos de elementos de modelagem para todos os modelos utilizados em diferentes domínios de desenvolvimento de aplicações. Por esse motivo surgiu a necessidade de estendê-la para possibilitar a definição de elementos específicos para um determinado modelo.

Os mecanismos de extensão da UML descrevem como os elementos específicos de um modelo podem ser estendidos com uma nova semântica. Isso é possível por meio da utilização dos seguintes mecanismos (OMG, 2003): *Stereotypes*, *Constraints*, *Tag definitions* e *Tagged values*.

Segundo (OMG, 2003), *Stereotypes* é o principal mecanismo de extensão da UML. Ele provê uma forma de definir subclasses virtuais a partir da metaclassa UML com novos meta-atributos e semântica adicional. Este mecanismo é um elemento do modelo que define novos valores (baseado em *Tag definitions*), restrições, e representações gráficas adicionais. Todos os elementos “marcados” por um ou mais estereótipos particulares, recebem, além dos valores e restrições, também os atributos, associações, e superclasses que os elementos possuem no padrão UML. *Stereotypes* são utilizados para aumentar o mecanismo de classificação baseado na definição da hierarquia de classes do meta modelo da UML. Desta forma, os nomes dos novos estereótipos não devem coincidir com os nomes dos elementos já definidos no meta modelo da UML ou elementos padrão.

As *Constraints* podem ser adicionadas a um elemento do modelo para refinar sua

semântica. Adicionada a um estereótipo, uma restrição deve ter sua regra respeitada por todos os demais elementos do modelo que também tenham alguma restrição definida. O mecanismo *Tag definitions*, especifica novos tipos de propriedades que podem ser adicionadas, ajudando a modelar os elementos de uma aplicação. Essas propriedades dos elementos individuais do modelo são especificadas usando *Tagged values*. Estes podem ser simples tipos de dados, ou então referências para outros elementos do modelo. Os *Tag definitions* podem ser comparados com definições de meta-atributos, quando os *Tagged values* correspondem a valores anexados aos elementos do modelo. Eles podem ser usados para representar propriedades tais como informações gerenciais (autor, data de pagamento, estado atual), informações sobre a geração de código (nome de alguma classe), bem como a representação de primitivas de armazenamento temporal (instante, intervalo ou elemento temporal).

A sintaxe para o pacote dos mecanismos de extensão da UML encontra-se expressa na notação gráfica da Figura 5.1

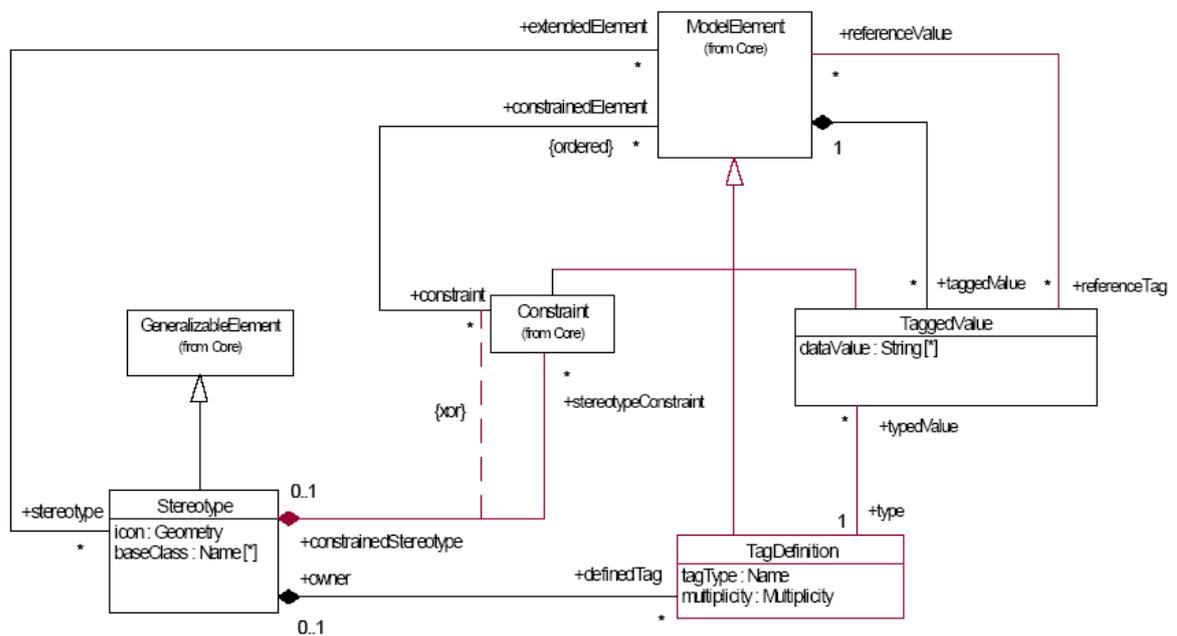


Figura 5.1: Sintaxe dos mecanismos de extensão da UML (OMG, 2003).

5.2 TUML

A TUML (SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997), desenvolvida pelo laboratório TIME-LAB do *Department of Computation*, da *University of Manchester Institute of Science and Technology* (UMIST), utiliza os mecanismos de extensão providos pela UML, para estendê-la com semântica e notação temporal.

A semântica temporal da TUML foi derivada do modelo TAU *Temporal Object Model* (TOM) (KAKOUDAKIS; THEODOULIDIS, 1996), também desenvolvido pelo laboratório TIME-LAB do *Department of Computation* da UMIST. Este modelo estende o modelo de objetos do ODMG (CATTELL, 1997) para inserir semântica temporal.

5.2.1 Semântica Temporal

A TUML considera o eixo do tempo como sendo discreto, linear, totalmente ordenado e limitado em ambas as extremidades (SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997). O método adota o calendário gregoriano, suporta tempo absoluto e múltiplas granularidades. As granularidades suportadas são: ano, mês, dia, hora, minuto e segundo.

O método suporta tempo definido pelo usuário, tempo de validade e tempo de transação, ou seja, bitemporalidade. O suporte temporal é opcional, isto é, o projetista pode escolher o suporte temporal para o elemento do modelo TUML, de acordo com a sua necessidade. Informações podem ser associadas com tempo de transação, tempo de validade, ambos ou nenhum deles. Adicionalmente, TUML também suporta propriedades de *timestamping*.

5.2.2 Objetos Temporais

A TUML define instâncias de tipos de objetos atômicos, denominados objetos temporais, para descrever a sua semântica temporal (SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997). Tipos de objetos atômicos são tipos definidos pelo usuário. Esses objetos são decompostos nos seguintes tipos:

- **Static** - sem nenhuma semântica temporal. Instâncias deste tipo são objetos suportados pela ODMG;

- *Transaction time* - estas instâncias suportam semânticas de tempo de transação;
- *Valid time* - estas instâncias suportam semânticas de tempo de validade; e
- *Bitemporal time* - estas instâncias suportam semânticas de tempo de transação e de tempo de validade.

5.2.3 Estereótipos Temporais

Um conjunto de estereótipos é definido para permitir a modelagem de classes temporais na TUML. Estes estereótipos são mostrados na Figura 5.2, chamados de classes temporais, aplicados nos elementos das classes TUML.

Temporal class stereotypes
<<transaction time class>>
<<valid time class>>
<<bitemporal time class>>

Figura 5.2: Estereótipos temporais da TUML (SVINTERIKOU; THEODOULIDIS, 1997).

5.3 Extensão Temporal para o Modelo OMT-G

A *OMT-G Temporal*, extensão temporal para o modelo OMT-G, é uma proposta capaz de suprir a deficiência do OMT-G, que não oferece mecanismos para a representação dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos. Ela baseia-se no formalismo OO e utiliza-se da UML como linguagem de modelagem. Segundo (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), a principal vantagem do uso do formalismo OO encontra-se no fato dos objetos envolvidos no processo de modelagem serem os próprios objetos que se visualizamos no mundo real.

Alguns conceitos definidos na TUML foram considerados durante o desenvolvimento da *OMT-G Temporal*. A sua semântica encontra-se definida e descrita nas próximas Seções.

5.3.1 Semântica Temporal da *OMT-G Temporal*

Conceitualmente, conforme (WORBOYS; DUCKHAM, 2004), e já apresentado na Seção 3.2, o tempo pode ser representado através de diferentes estruturas, definidas principalmente, com base em três aspectos de representação temporal, a saber: *variação*, *ordem do tempo* e *granularidade*. A *OMT-G Temporal* considera o tempo uma *variação* discreta. Quanto a *ordem no tempo*, ela pode assumir uma das duas seguintes formas: *linear* ou *ramificada*.

Quando o tempo flui de forma *linear*, ela considera que os pontos da linha do tempo fluem seqüencialmente, ou seja, que existe uma ordem de precedência entre eles. Por exemplo, os lotes de um cadastro imobiliário podem ocupar uma posição num tempo t , e outra, num tempo t' . Quando o tempo varia de forma *ramificada*, múltiplos pontos podem ser os sucessores ou antecessores imediatos de um mesmo ponto. Com isso, por exemplo, fica mais fácil a elaboração de cenários futuros sobre a expansão urbana e a investigação de acidentes ecológicos. A *OMT-G Temporal* adota o calendário gregoriano e suporta múltiplas granularidades de tempo absoluto, dentre elas: dia, mês, ano, hora, minuto e segundo.

Dois conceitos de referência temporal são importantes para os sistemas de informação temporais (WORBOYS; DUCKHAM, 2004): **Tempo de Transação** e **Tempo de Validade**.

O **Tempo de Transação** é o instante de tempo em que o objeto é criado no SGBD. Este mantém a história das atividades de objetos de sistema, oferecendo condições de realizar consultas retrocedendo a estados passados. Cada estado é chamado de versão.

O **Tempo de Validade** é o intervalo de tempo desde a captura de um elemento do mundo real até a sua alteração ocorrida em diversos momentos durante o período do tempo. Ele permite consultar estados atuais, passados e possíveis estados futuros de objetos e/ou elementos do mundo real tratados e armazenados num SGBD.

A representação dessas duas dimensões temporais depende do domínio da aplicação. Se a informação a ser tratada é a situação de um objeto do mundo real dentro de intervalo de tempo, então, o **Tempo de Validade** é requerido. Se o importante é quando o objeto foi criado no sistema, então, o **Tempo de Transação** é requerido. Quando ambos os tempos se fazem necessários, diz-se que a informação é **Bitemporal**.

5.3.2 Estereótipos Temporais

A definição dos estereótipos temporais é de fundamental importância no processo de modelagem, pois eles servem para indicar explicitamente qual o tipo de tempo aplicado nos elementos do modelo.

Na TUML, os estereótipos indicam o tipo do tempo e especificam restrições para cada um dos tipos. No *Perceptory*, (BÉDARD, 2003) utiliza os estereótipos definidos para o seu modelo, apenas para diferenciar objetos que possuem eventos temporais pontuais dos que possuem duração. (ROCHA; EDELWEISS; IOCHPE, 2001), na criação do GeoFrame-T, utiliza os estereótipos para identificar o tipo de tempo, a forma da ordem temporal e qual a primitiva de tempo utilizada para identificar o armazenamento temporal. A criação de um estereótipo para identificar cada primitiva de armazenamento temporal para cada tipo de tempo e forma de ordem temporal, resultou na criação de inúmeros estereótipos para esse modelo, podendo tornar difícil o seu uso.

(OMG, 2003) sugere a definição de primitivas específicas para modelos de um determinado domínio de aplicação, e que estas sejam descritas com nova semântica, baseada nos mecanismos de extensão da UML. Essa estratégia foi adotada para a inclusão do tempo na *OMT-G*. Os mecanismos de extensão descritos na UML foram adaptados para a criação da *OMT-G Temporal*, e são os seguintes:

- Estereótipos (*Stereotypes*);
- Restrições (*Constraints*);
- Primitivas de Definição (*Tag Definitions*); e
- Primitivas de Valor (*Tagged Values*).

Primou-se pelo uso do menor número possível de estereótipos nas classes do modelo para que este não ficasse visualmente poluído, mantendo-o simples e fácil de ser utilizado.

Os mecanismos de extensão da UML foram usados para complementar a *OMT-G*, contendo a semântica temporal definida para a *OMT-G Temporal*. Desta forma, os estereótipos adicionados ao modelo identificam o tipo temporal do elemento modelado, as formas de ordem temporal (linear ou ramificada), bem como a primitiva de armazenamento temporal (instante, intervalo ou elemento temporal).

A primitiva de armazenamento temporal não é representada graficamente nos elementos do modelo da *OMT-G Temporal*, conforme ocorreu no GeoFrame-T, por entender-se que, neste, um número excessivo de estereótipos foi usado para representar tal propriedade.

A solução implementada na *OMT-G Temporal*, uma vez mais fez uso de outro mecanismo de extensão da UML. Trata-se do mecanismo **Primitivas de Valor**, instâncias da metaclassa *DataType*, da UML, usado para definir novas propriedades para os elementos individuais do modelo, especificadas e adicionadas nas **Primitivas de Definição**, ajudando a obter uma melhor modelagem da aplicação. Trata-se das primitivas de armazenamento temporal, **Primitivas de Valor** que variam conforme o tipo temporal informado para um elemento. As seguintes primitivas de armazenamento temporal são definidas:

- **Instante Temporal** - define um tipo de tempo único, ou seja, um instante de tempo;
- **Intervalo Temporal** - representa a duração do tempo, ou seja, o intervalo de tempo que ocorre entre dois instantes de tempo; e
- **Bitemporalidade** - representa a união de intervalos temporais.

Os estereótipos temporais da *OMT-G Temporal* são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Estereótipos Temporais da *OMT-G Temporal*.

<i>Estereótipos</i>	<i>Tipo Temporal</i>
	<i>Tempo de Transação</i>
	<i>Tempo de Validade</i>
	<i>Tempo Bitemporal</i>
	<i>Tempo Ramificado</i>
	<i>Tempo Indefnido</i>

O estereótipo de *Tempo de Transação* () define as seguintes **Primitivas de Valor** e **Restrições** aplicadas a um elemento estereotipado do modelo:

1. Primitivas de Valor

O ciclo de vida de tempo de transação (**tt**) possui dois valores de tempo: **t1** e **now**. **t1** é o instante de tempo da criação do elemento no banco de dados. Este pode variar dos estados **t1** à **tn**. O outro valor de tempo é **now**, marcando o final do tempo de vida do elemento modelado. Uma melhor compreensão para a representação dessa primitiva de valor é a seguinte: ($\{tt=(ct, now)^1\}$).

Para este tipo temporal, além dos valores de tempo, é definida a seguinte primitiva de armazenamento temporal: **Instante Temporal**.

2. Restrições

- O período de tempo de existência do elemento de sistema modelado deve ser definido com os seguintes valores de tempo especiais: **t1** e **now**.
- Os elementos do modelo só poderão ter propriedades estáticas e/ou de tempo de transação.
- Os valores das propriedades estáticas e de tempo de transação do elemento existem na realidade modelada somente durante o período (**t1**, **now**).
- Os valores das propriedades estáticas do elemento do modelo existem no banco de dados durante o ciclo de vida de tempo de transação.

O estereótipo de **Tempo de Validade** () define as seguintes **Primitivas de Valor** e **Restrições** aplicadas a um elemento estereotipado do modelo.

1. Primitivas de Valor

O ciclo de vida de tempo de validade (**tv**) requer que os valores de tempo sejam informados pelo usuário, que definirá sua granularidade, podendo ser: **date**, **datetime** ou **timestamp**. Caso a granularidade definida pelo usuário, por exemplo, seja **date**, a representação dessa primitiva de valor será a seguinte: ($\{tv=(dd/mm/aaaa, dd/mm/aaaa)\}$). Além dos valores de tempo definidos pelo usuário, é definida a seguinte primitiva de armazenamento temporal: **Intervalo Temporal**.

2. Restrições

¹(*ct, now*)=(*database creation time, now*)

- O período de tempo de existência do elemento no banco de dados é definido pelo valor de tempo inicial e final definido pelo usuário.
- O elemento do modelo pode somente conter propriedades estáticas e/ou de tempo de validade.
- Os valores das propriedades estáticas e de tempo de validade do elemento modelado existem no banco de dados apenas durante o seu intervalo (período) de tempo de vida.
- Os valores das propriedades estáticas do elemento modelado existem na realidade modelada durante o ciclo de vida de tempo de validade.

O estereótipo de *Tempo Bitemporal* () define as seguintes **Primitivas de Valor** e **Restrições** aplicadas a um elemento estereotipado do modelo.

1. Primitivas de Valor

O ciclo de vida de tempo bitemporal (**tb**) indica o período de tempo de existência do elemento no banco de dados (**tt**) e o período de tempo de existência do elemento da realidade modelada (**tv**). A representação dessa primitiva de valor será a seguinte: **tt**=(*ct*, *now*) e ({**tv**=(*dd/mm/aaaa*, *dd/mm/aaaa*)}), representando tempo de transação e tempo de validade, respectivamente. Este tipo temporal define duas primitivas de armazenamento temporal: **Instante Temporal** e **Intervalo Temporal**.

Quanto ao tempo de validade, a granularidade deve ser informada pelo usuário.

2. Restrições

- O elemento do modelo pode ter propriedades estática, de tempo de transação, tempo de validade e/ou tempo bitemporal.
- Os valores das propriedades de tempo de transação do elemento existem na realidade modelada somente durante o ciclo de vida de tempo de validade.
- Os valores das propriedades de tempo de validade do elemento existem no banco de dados somente durante o ciclo de vida de tempo de transação.

- Os valores das propriedades estáticas do elemento existem no banco de dados durante o ciclo de vida de tempo de transação e existem na realidade modelada durante o ciclo de vida de tempo de validade.

O estereótipo de **Tempo Ramificado** () , aplicado a um elemento estereotipado do modelo, define as mesmas **Primitivas de Valor** e **Restrições** do tempo de validade. Segundo (ROCHA; EDELWEISS, 2001), somente a representação do tempo de validade permite tempo ramificado, tendo o tempo de transação uma ordem temporal do tipo linear.

O estereótipo de **Tempo Indefinido** () , foi criado para temporizar um elemento do modelo, sem no entanto, definir o seu tipo. Isto é comum em projetos de grande porte onde nem sempre o projetista tem a certeza da temporalidade do elemento.

A Tabela 5.2 apresenta um resumo das definições temporais da *OMT-G Temporal*.

Tabela 5.2: Definições temporais da *OMT-G Temporal*.

Tipo	Ordem	Propriedade	Granularidade
	Linear	Instante	<i>ct</i>
	Linear	Intervalo	definida pelo usuário
	Linear	Instante/Intervalo	<i>ct</i> e definida pelo usuário
	Ramificada	Intervalo	definida pelo usuário
	Indefinida	Indefinida	Indefinida

A seguir é apresentada uma descrição da semântica temporal em nível de objetos, atributos e relacionamentos atendidos pela *OMT-G Temporal*.

5.3.3 Temporalidade em Objetos e Atributos

Inserir o tempo em classes de objetos do diagrama significa definir o seu período de existência. Na *OMT-G Temporal*, quando o tipo **Tempo de Transação** é atribuído ao objeto, considera-se o tempo em que foi realizada a gravação do objeto no SGBD. Quando o tipo **Tempo de Validade** é atribuído ao objeto, considera-se o tempo em que a informação é válida na realidade modelada, podendo esta variar linearmente ou de

forma ramificada, e assim, mantendo-se o histórico das informações. Quando o **Tempo Bitemporal** é atribuído, tanto o tempo de transação, quanto o tempo de validade são considerados, representando, desta forma, os **Instantes e Intervalos de Tempo**.

Na *OMT-G Temporal*, um objeto do modelo estereotipado com um determinado tipo de tempo, não requer que todos os atributos deste também sejam temporizados. Isso deixa o projetista livre para temporizar somente os atributos que realmente pertençam a tal domínio. Com isso, pode-se ter atributos temporais e estáticos no mesmo objeto.

A Figura 5.3 mostra um esquema de representação gráfica de um objeto espaço-temporal para a *OMT-G Temporal*.

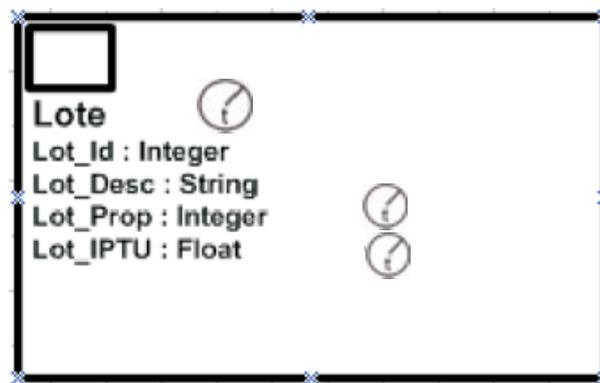


Figura 5.3: Objeto e atributos temporais para a *OMT-G Temporal*.

Pode-se observar que o objeto “Lote” modelado possui propriedades espaço-temporais. O retângulo da parte superior esquerda do objeto, representa um Geo-Objeto do tipo polígono. “Lote” possui propriedade temporal do tipo **Tempo de Transação**, conforme o estereótipo que acompanha a sua descrição. O objeto possui quatro variáveis das quais duas estáticas e duas temporais do tipo **Tempo de Transação**. Para entender melhor o significado da representação temporal dos dois últimos atributos do objeto, considere-se a seguinte situação.

- Conforme define a *OMT-G Temporal*, a **Primitiva de Valor** usada para representar **Tempo de Transação** é $tt=(ct, now)$;
- ct pode assumir estados de $t1$ à tn . Nesse exemplo assume-se o total de cinco estados ($t1..t5$);
- Um proprietário **P1**, no período de $t1$ à $t3$ pagou R\$1.000,00 de IPTU, enquanto o proprietário **P2**, no período de $t3$ à $t5$ pagou R\$1.250,00. A estrutura de represen-

tação da modelagem dessas variáveis temporais num banco de dados temporal apresenta-se da seguinte forma:

- “Lot_Prop”: $\{t1, t3, ('P1')\}, \{t3, now, ('P2')\}$; e
- “Lot_IPTU”: $\{t1, t3, (1.000,00)\}, \{t3, now, (1.250,00)\}$.

5.3.4 Relacionamentos Temporais

Para analisar a trajetória num espaço de tempo, faz-se necessária a combinação da representação dos relacionamentos espaciais e temporais (CLARAMUNT; JIANG, 2000). A região num espaço temporal é definida como uma região do espaço válido para um intervalo temporal.

A *OMT-G Temporal* introduziu o conceito de espaço temporal que combina as dimensões temporal e espacial. Inserir o tempo nos relacionamentos significa manter as diversas instâncias do relacionamento entre os objetos, ao longo do tempo. O modelo representa as combinações mínimas de relacionamento espaço-temporal entre duas regiões num intervalo de tempo.

Os tipos temporais definidos para a *OMT-G Temporal*, apresentados na Tabela 5.1 da Seção 5.3.2, capazes de serem inseridos em objetos e atributos, podem também ser representados nos relacionamentos.

Conforme apresentado na Seção 4.1.2 do Capítulo 4, o modelo OMT-G representa três tipos de relacionamentos: *associações simples*, *relações espaciais* e *relações topológicas de rede*. Estes são caracterizados por suas cardinalidades constituindo uma forma de restrição de integridade.

A *OMT-G Temporal* permite inserir temporalidade em dois dos relacionamentos representados pelo OMT-G: *associações simples* e *relações espaciais*.

5.3.4.1 Temporalidade em Associações Simples

Conforme apresentado na Seção 4.1.2.1 do Capítulo 4, associações simples permitem relacionamentos estruturais entre objetos convencionais, espaciais e entre ambos.

Para cada um dos quatro primeiros tipos temporais da *OMT-G Temporal*, **Tempo**

de *Transação*, *Tempo de Validade*, *Tempo Bitemporal* e *Tempo Ramificado*, existem restrições quanto a sua inserção numa associação simples.

Quanto a associação de *Tempo de Transação*, observam-se as seguintes restrições:

- Ela poderá ser estabelecida entre objetos de qualquer um dos tipos temporais definidos, exceto o de *Tempo Ramificado*;
- Se um objeto participar de uma associação de *Tempo de Transação* com uma multiplicidade “1” ou “0..1”, as suas instâncias poderão participar, não simultaneamente, de mais de uma relação de diferentes tempos de transação; e
- Se um dos objetos for do tipo *Tempo Bitemporal*, então, a associação existirá na realidade modelada, durante o ciclo de vida de *Tempo de Validade* do objeto de *Tempo Bitemporal*.

Quanto a associação de *Tempo de Validade*, observam-se as seguintes restrições:

- Ela poderá ser definida entre objetos de qualquer um dos tipos temporais definidos para a *OMT-G Temporal*;
- Se um objeto participar de uma associação de *Tempo de Transação* com uma multiplicidade “1” ou “0..1”, as suas instâncias poderão participar, não simultaneamente, de mais de uma relação de diferentes tempos de validade; e
- Se um dos objetos for do tipo *Tempo Bitemporal*, então, a associação persistirá no banco de dados e poderá ser recuperada durante o ciclo de vida de *Tempo de Transação* do objeto de *Tempo Bitemporal*.

Quanto a associação de *Tempo Bitemporal*, observam-se as seguintes restrições:

- Ela poderá ser definida somente entre objetos temporais do tipo *Tempo Bitemporal*; e
- Se um objeto participar de uma associação de *Tempo Bitemporal* com uma multiplicidade “1” ou “0..1”, as suas instâncias poderão participar de mais de uma relação de diferentes tempos de validade, durante um determinado *Tempo de Transação* t , mas não no mesmo *Tempo de Validade*.

Quanto a associação de *Tempo Ramificado*, observam-se as seguintes restrições:

- Ela poderá ser definida somente entre objetos temporais do tipo *Tempo Ramificado*; e
- Se um objeto participar de uma associação de *Tempo Ramificado* com uma multiplicidade “1” ou “0..1”, as suas instâncias poderão participar, não simultaneamente, de mais de uma relação de diferentes tempos ramificados.

Para cada instância da classe de objetos que participa de um relacionamento com instâncias de outros objetos, o conjunto de instâncias das classes subseqüentes e o tempo das relações entre estes, representa o histórico do tempo do relacionamento.

Os estereótipos temporais, de *Tempo de Transação* () , *Tempo de Validade* () , *Tempo Bitemporal* () ou de *Tempo Ramificado* () , são inseridos sobre a representação da associação.

A Figura 5.4 apresenta um esquema de representação de relacionamento temporal, do tipo associação simples de *Tempo de Transação*, entre um objeto espacial “Hospital”, do tipo ponto, com propriedade temporal do tipo de *Tempo de Transação* e um objeto convencional “Categoria_Hosp” sem propriedade espacial e nem temporal.

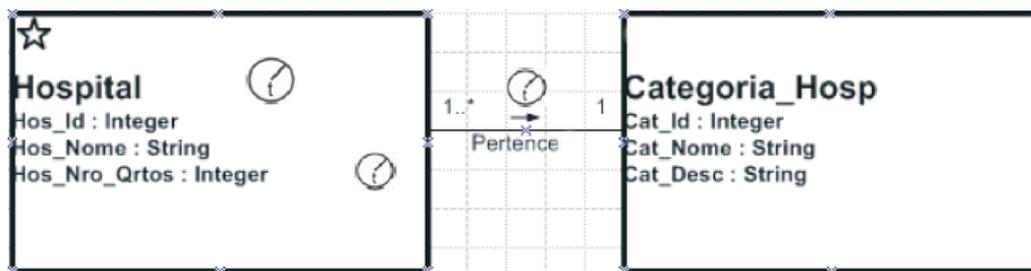


Figura 5.4: Esquema de representação de uma associação temporal simples.

5.3.4.2 Temporalidade em Relacionamentos Espaciais

Conforme apresentado na Seção 4.1.2.1 do Capítulo 4, relacionamentos espaciais podem ser representados somente entre objetos espaciais.

A inserção da temporalidade num relacionamento espacial, obedece as mesmas restrições definidas e descritas para as associações simples.

A Figura 5.5 apresenta um esquema de relacionamento espacial temporal, ou então, espaço-temporal, bem como a representação da cardinalidade entre dois objetos espaciais, “Pais” e “Estados”.

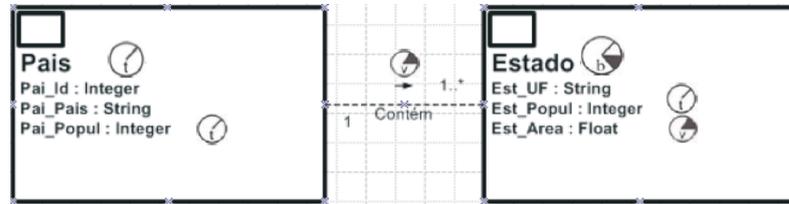


Figura 5.5: Esquema de representação de um relacionamento espaço-temporal.

5.3.5 Generalização e Especialização Temporal

Conforme apresentado na Seção 4.1.3 do Capítulo 4, a generalização e especialização permitem, respectivamente, a definição de superclasses a partir de subclasses e vice-versa.

Na *OMT-G Temporal*, a temporalidade pode ser inserida nas generalizações e especializações, tanto em classes convencionais quanto espaciais. Para tanto, as seguintes definições e restrições devem ser observadas:

- Uma subclasse pode especializar o tipo temporal da sua superclasse;
- Uma superclasse estática pode ter como subclasse, classes de tipo *Tempo de Transação*, *Tempo de Validade*, *Tempo Bitemporal* ou *Tempo Ramificado*;
- Superclasses dos tipos *Tempo de Transação* ou *Tempo de Validade* podem ser refinadas em subclasses do tipo temporal *Tempo Bitemporal*;
- Uma superclasse do tipo *Tempo de Validade* pode ser refinada numa subclasse do tipo temporal *Tempo Ramificado*;
- Uma subclasse pode especializar o tipo temporal das propriedades herdadas;
- Uma propriedade estática pode ser refinada para o tipo *Tempo de Transação*, *Tempo de Validade*, *Tempo Bitemporal* ou *Tempo Ramificado*;
- Propriedades dos tipos *Tempo de Transação* ou *Tempo de Validade* podem ser refinadas em propriedade de tipo *Tempo Bitemporal*; e

- Uma propriedade do tipo *Tempo de Validade* pode ser refinada numa propriedade de tipo *Tempo Ramificado*.

A Figura 5.6 apresenta uma generalização espaço-temporal.

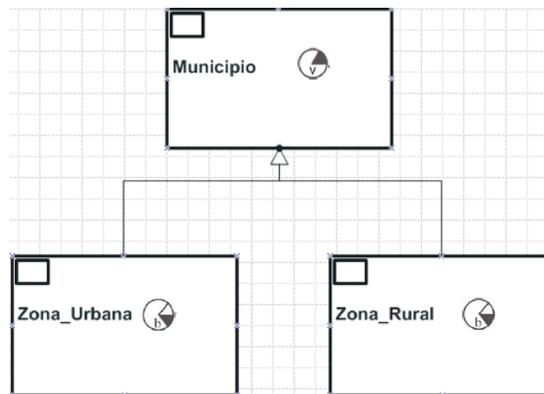


Figura 5.6: Generalização espaço-temporal.

5.3.6 Generalização Cartográfica Temporal

Conforme apresentado na Seção 4.1.5 do Capítulo 4, a primitiva de generalização cartográfica foi inserida no OMT-G para registrar a necessidade de representações distintas para um mesmo objeto (CASANOVA et al., 2005).

Numa generalização cartográfica, a superclasse não possui representação específica, podendo ser percebida de várias maneiras, e melhor detalhada nas subclasses.

A *OMT-G Temporal* permite inserir a temporalidade nas subclasses (objetos), bem como nos seus atributos. Para tanto, devem ser observadas as definições de inserção da temporalidade em objetos e atributos apresentada na Seção 5.3.3 deste Capítulo.

A Figura 5.7 mostra um esquema de representação temporal numa generalização cartográfica.

5.3.7 Agregação Temporal

Conforme apresentado na Seção 4.1.4, a agregação é uma forma especial de associação entre objetos.

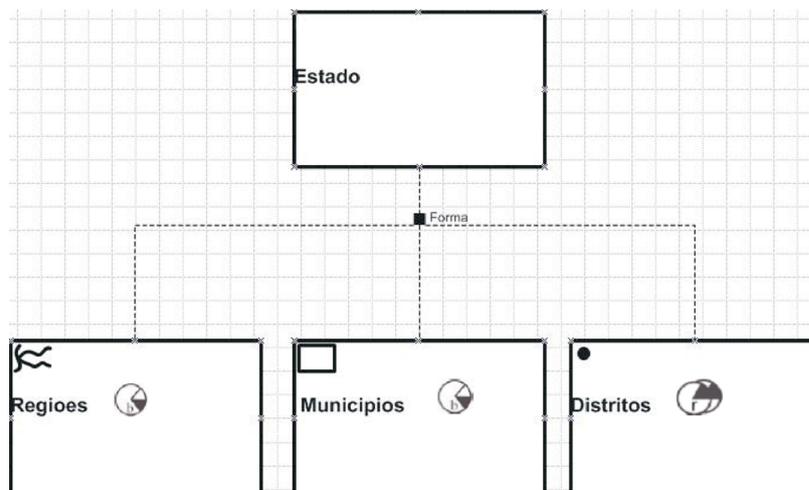


Figura 5.7: Generalização cartográfica temporal.

Na *OMT-G Temporal*, a temporalidade inserida na agregação pode ocorrer entre objetos convencionais, espaciais e a combinação entre ambos. As semânticas e as restrições para a inserção temporal nessas agregações, apresentadas na Seção 5.3.4 deste Capítulo, são as mesmas definidas e descritas para os relacionamentos temporais.

Assim sendo, a temporalidade na *OMT-G Temporal* pode ser representada nos dois tipos de agregação: convencional e espacial.

A Figura 5.8 mostra uma agregação espaço-temporal entre “Quadra” e “Lote”. “Quadra” é um objeto de classe espacial *Tempo de Validade* e “Lote” é um objeto de classe espacial *Tempo Bitemporal*. A agregação entre os objetos é de *Tempo de Validade* e denota que “Quadra” pode consistir de muitos “Lote” e “Lote” pode ser parte de muitas “Quadra”.

O estereótipo referente ao tipo temporal aparece ao lado da ligação que representa a agregação entre os objetos.

5.4 Modelagem Visual de Aplicações Geográficas

A modelagem de bancos de dados espaciais para aplicações geográficas vem representando, nos últimos anos, um desafio para analistas de sistemas, projetistas e desenvolvedores. Para melhorar seus relacionamentos com clientes, diversas técnicas de modelagem de dados para o desenvolvimento de aplicações geográficas têm sido apresentadas na

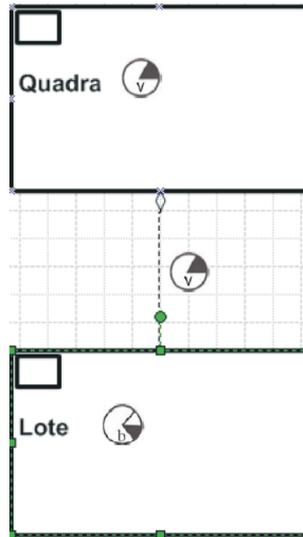


Figura 5.8: Esquema de representação de temporalidade em agregação espacial.

literatura, como por exemplo: *Geographic Information System Entity Relational Model* (GISER) (SHEKHAR et al., 1997); GMOD (OLIVEIRA; PIRES; MEDEIROS, 1997); GeoFrame (LISBOA; IOCHPE, 1999); e OMT-G (BORGES; DAVIS; LAENDER, 2001).

Com a evolução tecnológica, vários componentes de software vêm sendo introduzidos para a criação de bancos de dados espaciais, incluindo: componentes espaciais acessados por interfaces de programas de aplicação, *Application Programming Interface* (API); servidores *Web* disponibilizando mapas; servidores com módulos espaciais; entre outros. A diversidade dessas soluções, integrada com a tecnologia da informação e a crescente complexidade das arquiteturas dos sistemas computadorizados vêm forçando os desenvolvedores a se utilizarem de linguagens de modelagem visual para a criação de seus bancos de dados espaciais.

A modelagem visual vem ajudando os desenvolvedores a entender e descrever melhor e com maior precisão, os requisitos de sistema inicialmente especificados pelos clientes. Ela também vem ajudando a minimizar a complexidade das soluções dos problemas, facilitando a troca, a verificação e a validação das idéias, melhorando o processo de desenvolvimento, e facilitando a manutenção dos sistemas.

(BÉDARD, 1999a) definiu princípios e conceitos básicos para as fases de análise e projeto de bancos de dados espaço-temporais, como um conjunto de métodos para capturar a semântica da realidade e criar um banco de dados que ofereça o devido suporte. Essas duas fases são consideradas críticas no desenvolvimento de SIG.

A modelagem torna-se uma maneira fundamental, coerente e consistente para se documentar e fazer refletir os elementos no modelo. Para que isso ocorra, é necessário um conjunto de construtores que, com regras e notações, constituam a regra formal ou o formalismo do modelo. Este formalismo pode conter notações textuais, notações gráficas, ou um misto das duas.

Os construtores básicos utilizados na OO, conforme (BÉDARD, 1999a), baseiam-se em:

- **Objetos**, contendo propriedades ou atributos, com operações, também chamadas de métodos ou procedimentos;
- **Relacionamentos** entre objetos;
- **Agregação** de objetos em objetos mais complexos; e
- **Generalização** ou especialização de tipos de objetos para tipos mais genéricos ou mais específicos.

O paradigma de OO também se utiliza de estados, eventos e mensagens para mostrar o comportamento dos objetos. Novos construtores foram inseridos nos mecanismos de abstração, nos últimos anos, para facilitar a fase de análise: primitivas geométricas, propriedades geográficas e temporais, sistemas de referência espacial, relacionamentos topológicos e operadores espaciais.

Alguns dos modelos conceituais espaço-temporais citados anteriormente são suportados por suas próprias ferramentas de modelagem, como por exemplo: GeoOOA (KÖSTERS; PAGEL, 1996); *Perceptory* (BÉDARD, 1999b); e MADS (MINOUT; PARENT; ZIMÁNYI, 2004).

A ênfase de vários livros sobre a UML, como por exemplo (RUMBAUGH; JACOBSON; BOOCH, 1999), em sintaxe e gramática, conduz para o avanço incremental de um melhor entendimento e análise de tecnologias independentes de bancos de dados para o desenvolvimento de tecnologias específicas.

Segundo (BÉDARD et al., 2004), as tendências da pesquisa na área de modelagem de banco de dados espaço-temporais, encontram-se direcionadas para o desenvolvimento de ferramentas de modelagem, que ofereçam suporte ao conjunto de construtores com as regras e notações mencionadas acima, chegando-se a uma regra formal perto da completeza.

Com base nessas tendências, este trabalho de pesquisa descreve, na próxima Seção, um protótipo de ferramenta de modelagem visual, construído especificamente para atender a técnica *OMT-G Temporal*.

5.4.1 *Geo-Temporal*: Um Protótipo de Ferramenta de Modelagem para a *OMT-G Temporal*

O desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem que atendesse e apoiasse a semântica temporal definida e descrita na Seção 5.3, fez-se necessário para facilitar e melhorar o processo de modelagem de SIG espaço-temporais.

O modelo OMT-G, quando do seu desenvolvimento, apresentou um *template* para o *MS-Visio* com um *stencil*, oferecendo um conjunto de construtores usados em OO, como objetos e relacionamentos, baseados no diagrama de classes da UML. Os *shapes* do *stencil*, representando os objetos do mundo real, contém primitivas geométricas e propriedades geográficas.

No desenvolvimento do protótipo da ferramenta de modelagem para a *OMT-G Temporal*, foi necessário realizar uma modificação e adaptação no que diz respeito a estrutura dos *shapes*, para que estes permitissem a modelagem das propriedades temporais. O *layout* dos *shapes* não precisou ser alterado. O *template* OMT-G com Extensão Temporal é mostrado na Figura 5.9.

5.4.1.1 Primeira Tentativa de Implementação da *Geo-Temporal*

O primeiro experimento para a implementação da *Geo-Temporal* considerou a hipótese de desenvolver uma aplicação customizada, externa ao *MS-Visio*, que controlasse e manipulasse os *shapes* e a área de modelagem dentro do *MS-Visio*.

A arquitetura para o desenvolvimento mostrada na Figura 5.10, apresenta a forma de integração do *MS-Visio* com aplicações externas.

A plataforma *MS-Visio* possui objetos (*Application*, *Document*, *Page*, *Shapes*, *Cells*), propriedades, métodos e eventos. Através dos eventos gerados pelos objetos, ocorre a comunicação e o tratamento das informações entre o *template* do *MS-Visio* e a aplicação

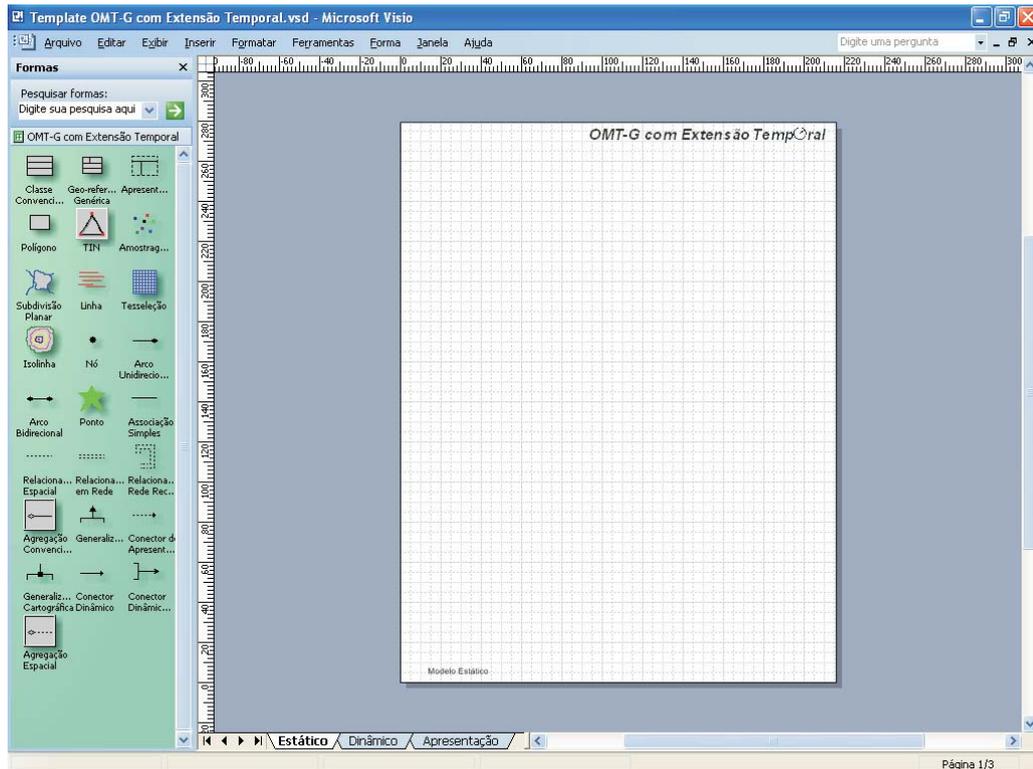


Figura 5.9: Template OMT-G com extensão temporal.

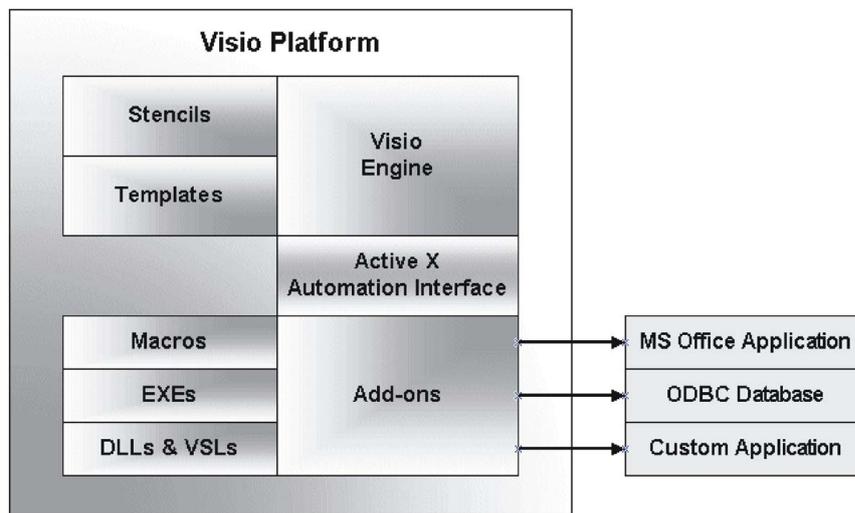


Figura 5.10: Diagrama da plataforma do *MS-Visio* e seus componentes (VISIMATION, 2001).

externa, como pode ser visto na Figura 5.11.

Essa arquitetura, onde um *template* do *MS-Visio* executa uma aplicação externa, torna difícil a captura dos eventos gerados pelo *MS-Visio*, necessária para o intercâmbio de informações entre as duas aplicações. Com essa desvantagem, a primeira tentativa

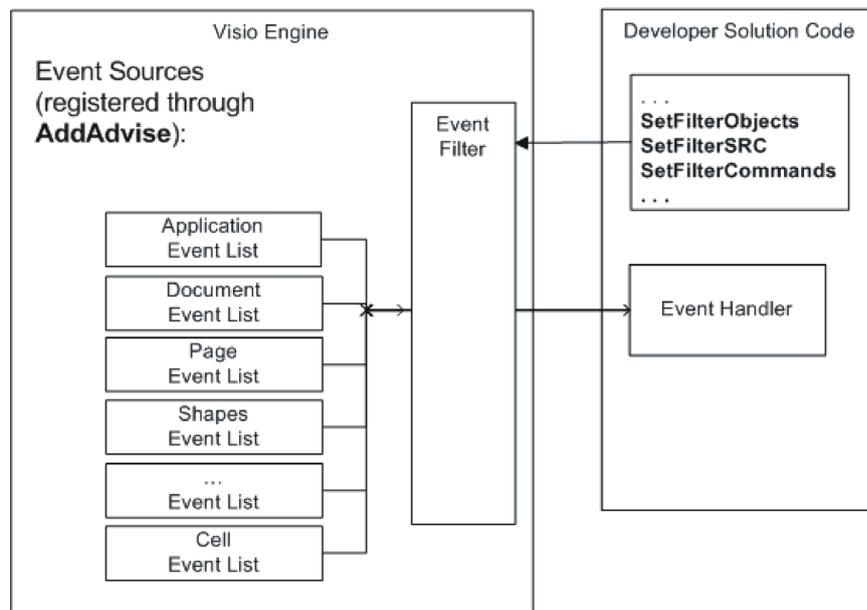


Figura 5.11: Arquitetura de tratamento de eventos do *MS-Visio* (CORPORATION, 2001).

de implementação da *Geo-Temporal* foi abortada mostrando-se inadequada e com poucas chances de obter sucesso e alcançar o objetivo.

5.4.1.2 Segunda Tentativa de Implementação da *Geo-Temporal*

O segundo experimento para a implementação da *Geo-Temporal* foi realizado com sucesso, ao se considerar a hipótese de desenvolver uma aplicação customizada, usando o componente *Microsoft ActiveX*. Este componente, chamado *Visio Drawing Control*, permite embutir e/ou carregar o ambiente de modelagem do *MS-Visio* (*template* e *stencil*) para dentro da aplicação.

O *Visio Drawing Control* oferece todas as funcionalidades do modelo de objeto do *MS-Visio* (*Visio Object Model (VOM)*), embutidas no componente. Desta forma, os eventos gerados pelos objetos do *MS-Visio* podem ser controlados e tratados dentro da aplicação.

A Figura 5.12 mostra o esquema de aplicação que utilizou com sucesso o componente *ActiveX*, *Visio Drawing Control*.

O *ActiveX* possui uma biblioteca que provê a interoperabilidade para ambientes de desenvolvimento, como por exemplo, o *Microsoft Visual .NET*, integrando-se com várias linguagens de programação, dentre elas, *C++*, *C#* e *Visual Basic*.

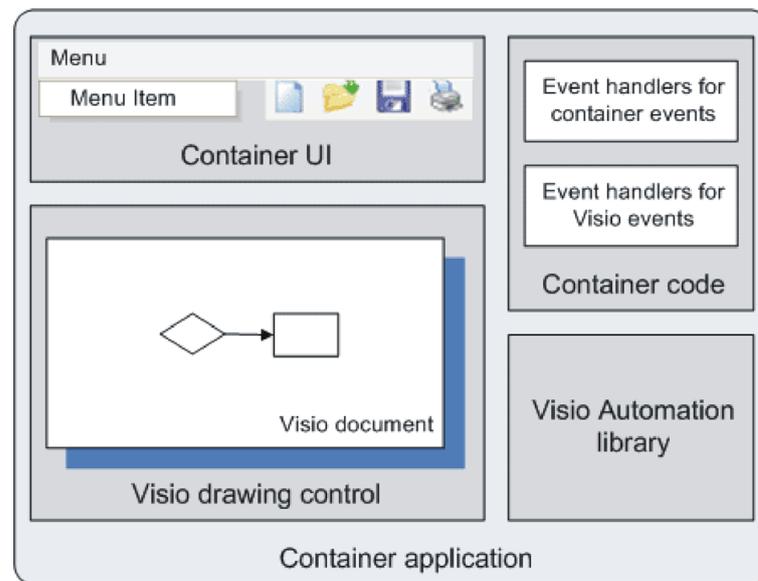


Figura 5.12: Esquema de aplicação usando componente *ActiveX* (BUKOVEC, 2003).

O ambiente e a linguagem de programação utilizados para o desenvolvimento da aplicação foi o *Microsoft Visual C# .NET*. A Figura 5.13 mostra a interface inicial do protótipo da *Geo-Temporal*, já com o *template* OMT-G com Extensão Temporal carregado.

Como principais vantagens desta segunda tentativa de implementação da *Geo-Temporal*, pode-se citar:

- O *Visio Drawing Control* “roda” dentro da aplicação, não necessitando de uma instância adicional do *MS-Visio* para executar uma aplicação;
- Uma única instância é necessária para controlar, por exemplo, um documento ou uma interface da aplicação;
- Os eventos gerados pelos objetos do *MS-Visio* são expostos pelo *Visio Drawing Control* diretamente na aplicação; e
- O *Visio Drawing Control* permite a integração das interfaces de usuário, que podem ser geradas, por exemplo, pelo *Microsoft Visual Studio .NET*, com a aplicação em desenvolvimento.

Uma documentação mais detalhada sobre o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal* desenvolvido, encontra-se no Apêndice A.

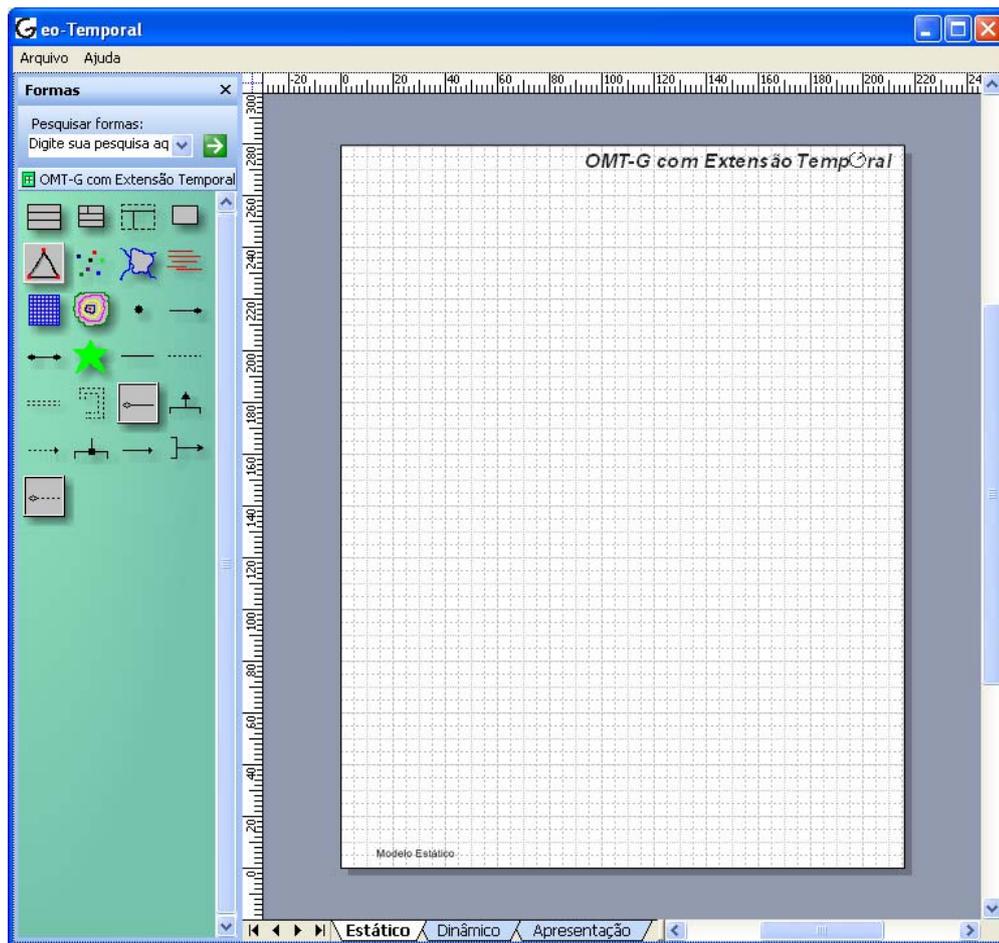


Figura 5.13: Protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*.

Após a fundamentação teórica apresentada no Capítulo anterior, este Capítulo descreveu os mecanismos de extensão disponíveis na UML, alguns conceitos de extensão temporal definidos para a TUML, a metodologia adotada para o desenvolvimento da extensão *OMT-G Temporal*, bem como os requisitos temporais nela inseridos, conceitos básicos para o desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem, e um protótipo de uma ferramenta de modelagem, denominada *Geo-Temporal*.

O próximo Capítulo apresentará o estudo de caso utilizando o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal* para propiciar a verificação e a validação da técnica *OMT-G Temporal*.

Capítulo 6

Estudo de Caso

Este Capítulo apresenta um estudo de caso para verificação e validação da técnica *OMT-G Temporal* usando o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*.

Para facilitar uma demonstração de aplicação prática da nova técnica e da nova ferramenta de modelagem desenvolvidas especificamente como produtos deste trabalho de pesquisa, foram escolhidos dois domínios de conhecimento: desmatamentos e queimadas, e ocupação e uso da Terra pela sua importância e pelos seus impactos positivos na preservação de recursos naturais.

Ao se aplicar a técnica *OMT-G Temporal* e o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal* nestes domínios de conhecimento constatou-se suas grandes utilidades, eficiência e facilidade de uso e representação do aspecto temporal.

Assumiu-se que os resultados deste estudo de caso devem ser considerados apenas para a verificação e validação deste trabalho de pesquisa, pela própria incompletude inerente ao processo inicial dos testes do protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*, construída especialmente para verificar a aplicabilidade da nova técnica proposta, a *OMT-G Temporal*.

6.1 Desmatamentos e Queimadas

Para este estudo de caso considerou-se a elaboração de uma modelagem envolvendo alguns dos elementos pertinentes a desmatamentos e queimadas, contemplando seu aspecto

espacial e temporal.

A modelagem de um banco de dados geográfico, que contemple o aspecto espacial e temporal de desmatamentos e queimadas, traz a possibilidade de ações de acompanhamento e repressão destes eventos em largas extensões geográficas, facilitando e otimizando os processos de fiscalização por parte dos órgãos competentes.

A Figura 6.1 apresenta uma modelagem com alguns elementos pertinentes a desmatamentos e queimadas, como por exemplo, Unidade Federativa (UF), municípios, imóveis, áreas de desmatamento e de queimadas e legislação.

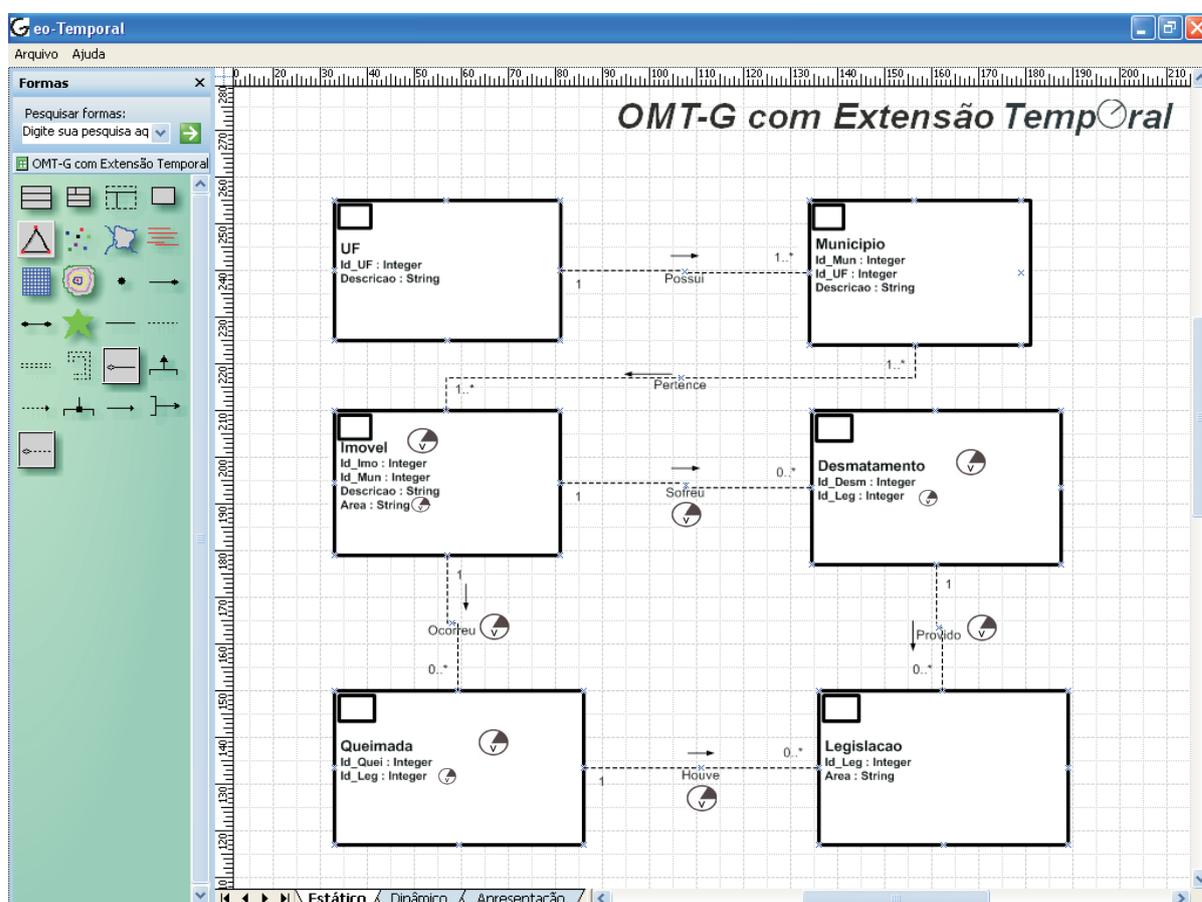


Figura 6.1: Modelagem espaço-temporal de desmatamentos e queimadas.

Os objetos “UF” e “Município” caracterizam-se como uma categoria de base cartográfica. Ambos possuem propriedade geográfica do tipo polígono, no entanto, não possuem propriedade temporal. Um relacionamento espacial também existe entre os dois objetos.

O objeto “Imóvel” possui propriedade geográfica do tipo polígono e a cardinalidade do seu relacionamento espacial com “Município” é de “n:n”. O objeto possui propriedade temporal de tempo de validade, mantendo registrado em seus estados a sua variação ao

longo do tempo.

Os objetos “Desmatamento” e “Queimada” possuem propriedades geográficas do tipo polígono e temporal do tipo tempo de validade. Os seus relacionamentos temporais do tipo tempo de validade com “Legislacao”, permitirão manter o histórico de suas instâncias para, por exemplo, poder confrontar as áreas de desmatamento e de queimadas com as áreas protegidas pela legislação.

6.2 Ocupação e Uso da Terra

Este estudo de caso levou em consideração as áreas da Terra ocupadas por rios e outros tipos de solo, e seus estados de conservação.

Inicialmente, considerou-se a modelagem de alguns elementos de áreas da Terra adequadamente representados e armazenados num SGBD, e disponibilizados por meio de um SIG. Em seguida, considerou-se que esta constitui-se numa importante aplicação para análises, previsões e evoluções desses elementos, ao longo do tempo.

A Figura 6.2 apresenta uma modelagem representando algumas áreas da Terra como rios e tipos de solo de uma determinada região, permitindo posteriormente a análise da evolução desses elementos, e a realização de previsões sobre seus comportamentos ao longo do tempo.

Esta Figura descreve um cenário no qual a natureza e a ação do homem vem interferindo sobre o solo de uma determinada região. O objeto “TipoSolo” não possui propriedades geográficas nem temporais, e os seus atributos servem apenas para identificar os tipos de solos possíveis.

O objeto “TipoSolo” possui uma associação com “Solo”, que é um objeto espacial do tipo tesselação. Este objeto possui uma propriedade temporal do tipo bitemporal, para poder manter registrado em seus estados a variação do solo, ao longo do tempo. A relação de cardinalidade temporal do tipo bitemporal, identificada por meio de seu estereótipo () , apresentado na Tabela 5.1, da Seção 5.3.2, do Capítulo 5, existente entre “Solo” e “Regiao”, mantém o histórico dessas instâncias, podendo-se recuperar a informação dos tipos de solo pertencentes a uma determinada região, num determinado tempo.

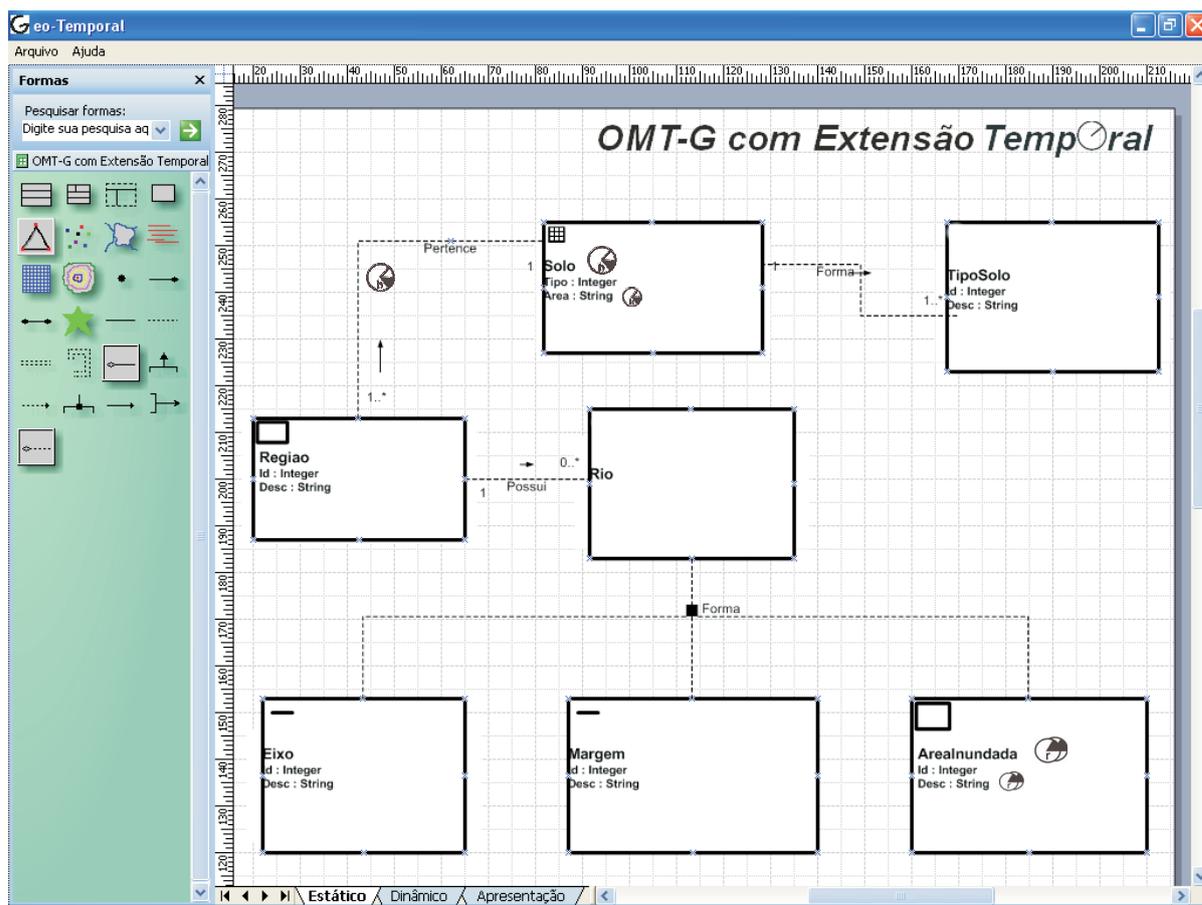


Figura 6.2: Modelagem espaço-temporal de previsões e evoluções de elementos de uso da Terra.

Ainda na mesma Figura 6.2, a classe de objetos “Rio” possui três objetos que armazenam basicamente características de suas formas geométricas, “Eixo”, “Margem” e “Area inundada”, caracterizando uma generalização cartográfica do tipo variação pela forma. A classe de objetos “Rio” possui uma propriedade ou atributo temporal do tipo tempo ramificado, identificado por meio de seu estereótipo (🕒), também apresentado na Tabela 5.1, da Seção 5.3.2, do Capítulo 5, da mesma forma que a sua instância “Area inundada”. Isso permite que, com base no histórico dessas informações, previsões possam ser realizadas, por exemplo, sobre as épocas do ano mais prováveis de enchentes.

A realização deste estudo de caso tornou possível a verificação de aplicação tanto da técnica *OMT-G Temporal*, usando o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*, quanto da semântica temporal elaborada para utilização na técnica, com suas funcionalidades sendo implementadas em nível de protótipo, em conformidade com os requisitos previamente definidos.

6.3 Análise Comparativa entre os Modelos Conceituais Espaço-Temporais

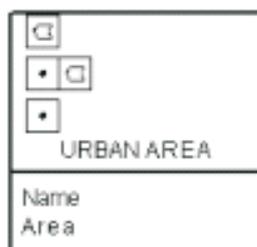
Após aplicar a técnica *OMT-G Temporal* e o protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal* nos dois estudos de caso, percebeu-se algumas diferenças entre a *OMT-G Temporal* e os demais modelos conceituais espaço-temporais relacionados, apresentadas nas seções seguintes.

6.3.1 *OMT-G Temporal* e *Perceptory*

A comparação do *Perceptory* com a *OMT-G Temporal* apresentou as seguintes diferenças:

- Usando o *Perceptory* em grandes projetos, a compreensão da modelagem poderá se tornar difícil, pela necessidade de vários estereótipos para representar a geometria e a evolução espacial do objeto; e
- Não foi identificada no *Perceptory* uma forma explícita de modelar objetos e fenômenos que representam geo-campos.

A Figura 6.3 ilustra as diferenças quanto a representação de múltiplas geometrias de um objeto, existentes entre a *OMT-G Temporal* e o *Perceptory*.



Representação de múltiplas geometrias de um objeto usando o *Perceptory* (BÉDARD, 2003)



Representação equivalente ao *Perceptory*, usando *Geo-Temporal*

Figura 6.3: Comparativo entre a *OMT-G Temporal* e o *Perceptory*.

6.3.2 *OMT-G Temporal* e *GeoOOA*

A comparação do *GeoOOA* apresentou as seguintes diferenças em relação a *OMT-G Temporal*:

- O modelo *GeoOOA* é graficamente pouco expressivo;
- A distinção entre classes temporais e não temporais no *GeoOOA* é feita apenas pelo símbolo do relógio; e
- O *GeoOOA* não permite representar a variação e a ordem temporal da classe.

A Figura 6.4 ilustra as diferenças quanto a representação espaço-temporal para objetos e atributos, existentes entre a *OMT-G Temporal* e o *GeoOOA*.

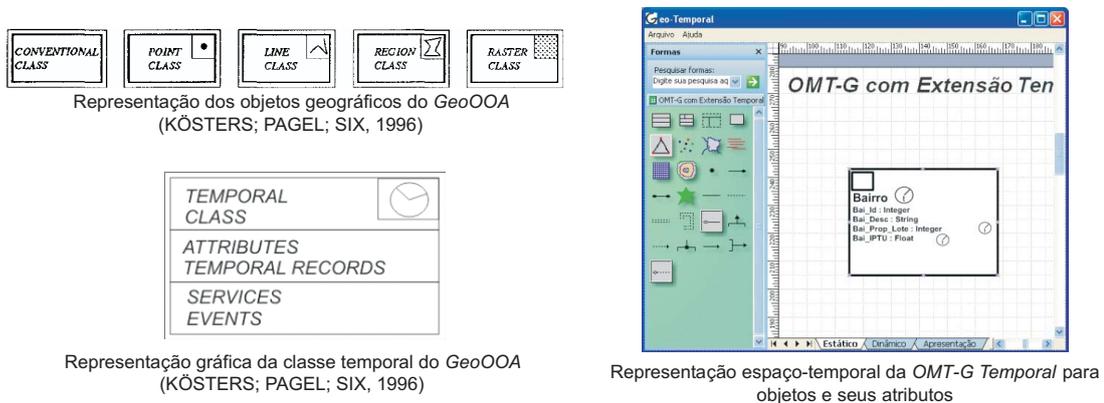


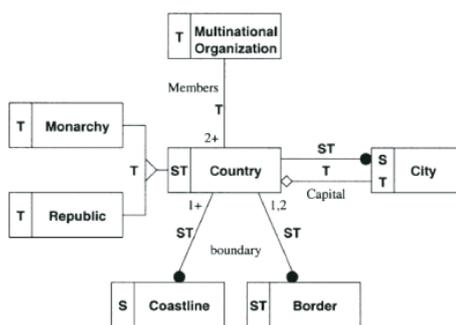
Figura 6.4: Comparativo entre a *OMT-G Temporal* e o *GeoOOA*.

6.3.3 *OMT-G Temporal* e *OO-TGIS*

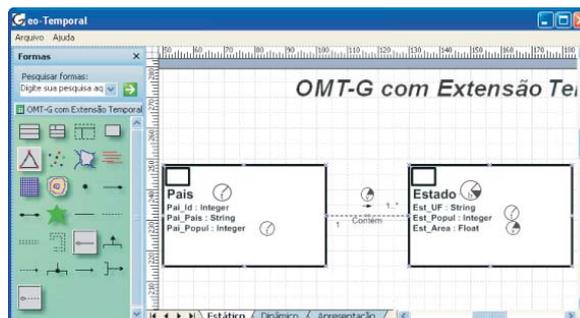
Embora apresente uma base semântica boa permitindo operações de análise dos dados, as seguintes diferenças foram percebidas na comparação do *OO-TGIS* com a *OMT-G Temporal*:

- O *OO-TGIS* não apresenta notação para caracterizar atributos temporizados;
- O *OO-TGIS* não permite representar a variação e a ordem temporal da classe; e
- No *OO-TGIS* os objetos espaciais não permitem ser distinguidos entre geo-campos e geo-objetos.

A Figura 6.5 ilustra as diferenças quanto a representação temporal de objetos, atributos e relacionamentos, existentes entre a *OMT-G Temporal* e o *OO-TGIS*.



Modelagem conceitual temporal do OO-TGIS
(RENOLEN, 1998)



Representação temporal de objetos, atributos e relacionamentos na OMT-G Temporal

Figura 6.5: Comparativo entre a *OMT-G Temporal* e o *OO-TGIS*.

6.3.4 *OMT-G Temporal* e *MADS*

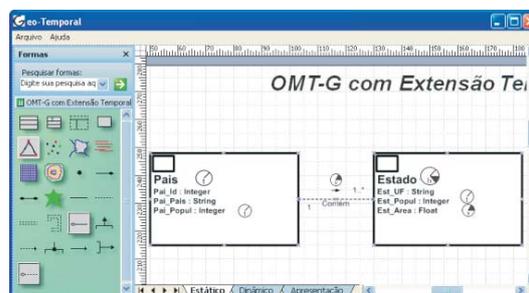
Na comparação do *MADS* com a *OMT-G Temporal*, a seguinte diferença foi percebida:

- O único estereótipo temporal usado pelo *MADS* não permite diferenciar a variação e a ordem temporal, bem como a primitiva de armazenamento temporal.

A Figura 6.6 ilustra as diferenças quanto a representação temporal de objetos, atributos e relacionamentos, existentes entre a *OMT-G Temporal* e o *MADS*.



Representação temporal de objetos, atributos e relacionamentos no MADS (PARENT et. Al., 1998)



Representação temporal de objetos, atributos e relacionamentos na OMT-G Temporal

Figura 6.6: Comparativo entre a *OMT-G Temporal* e o *MADS*.

6.3.5 *OMT-G Temporal* e *GeoFrame-T*

As principais diferenças percebidas na comparação do *GeoFrame-T* com a *OMT-G Temporal* são:

- Os relacionamentos espaciais não foram definidos no *GeoFrame-T*;

- Embora os relacionamentos temporais sejam graficamente possíveis de serem representados no GeoFrame-T, estes não foram totalmente descritos; e
- Os relacionamentos espaço-temporais também não foram definidos no GeoFrame-T.

A Figura 6.7 ilustra as diferenças quanto a representação temporal de objetos e relacionamentos, existentes entre a *OMT-G Temporal* e o GeoFrame-T.

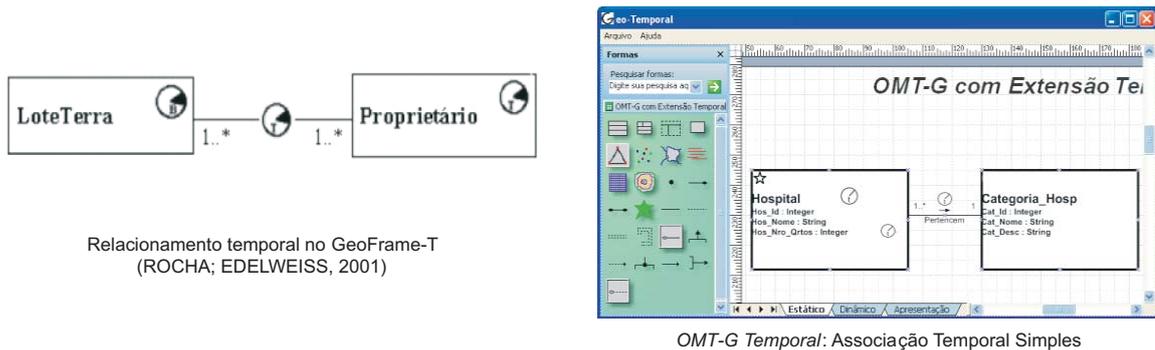


Figura 6.7: Comparativo entre a *OMT-G Temporal* e o GeoFrame-T.

A Tabela 6.1 apresenta uma complementação da comparação entre os modelos conceituais espaço-temporais analisados, incluindo na sua última coluna, a *OMT-G Temporal* e suas capacidades de atendimento aos requisitos apresentados na Seção 3.3.2.

6.4 Tendências e Perspectivas

As principais tendências atuais da modelagem visual utilizando o modelo OMT-G com extensão temporal residem na construção e incorporação de ferramentas CASE específicas para a modelagem temporal para serem incorporadas nos atuais ambientes integrados de ferramentas CASE existentes para o desenvolvimento de aplicações de SIG.

Dentre as principais perspectivas de curto, médio e longo prazo, pode-se prever que, no curto prazo, isto é, em até dois anos, deverá ocorrer uma evolução significativa na criação e disponibilização para a comunidade científica e tecnológica de construtores geradores de código envolvendo *Structured Query Language* (SQL), *Object Query Languages* (OQL), ou similares, para serem inseridos nas ferramentas de modelagem visual e nos ambientes integrados de ferramentas CASE.

Tabela 6.1: Modelos conceituais espaço-temporais comparados a *OMT-G Temporal*

<i>Requisitos</i>	<i>Perceptory</i>	<i>GeoOOA</i>	<i>OO-TGIS</i>	<i>MADS</i>	<i>Geo-Frame-T</i>	<i>OMT-G Temporal</i>
1	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
2	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim
3	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
3a	Não	Não	Não	Não	Não	Não
3b	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
4	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
5	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
6	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
7	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
8	Não	Não	Não	Não	Não	Não
9	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim
10	Não	Não	Não	Não	Não	Não
11	Não	Não	Não	Não	Não	Não
12	Não	Não	Não	Não	Não	Não
13	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
14	Não	Não	Não	Não	Não	Não
15	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

A médio prazo, isto é, de dois a cinco anos, tudo indica que pesquisas sobre linguagens de consulta espaço-temporal serão intensificadas, chegando-se à definição de padrões análogos aos utilizados nas SQL e OQL existentes.

A longo prazo, isto é, após cinco anos, é provável que ambientes integrados de ferramentas CASE sejam capazes de suportar aplicações georreferenciadas implementadas em dispositivos móveis e miniaturizados, interações homem-máquina mais avançadas e capazes de explorar melhor o tempo em atividades espaciais terrestres e até mesmo extra-terrestres.

Para apoiar a modelagem visual dessas futuras aplicações espaço-temporais, faz-se necessário não só a complementação, como também o desenvolvimento de novas técnicas e extensões notacionais das técnicas e padrões existentes.

A integração dessas novas técnicas com novos modelos e tecnologias em ambientes de engenharia de software ajudada por computador, permitindo a realização de trabalhos de forma remota e simultânea, parece ser a direção correta para se conseguir soluções novas para os problemas antigos da área de sistemas de informações georreferenciadas e temporais.

Capítulo 7

Conclusão

Este Capítulo apresenta as principais conclusões, contribuições e recomendações deste trabalho de pesquisa.

Ele teve como objetivo principal desenvolver uma técnica para modelagem conceitual dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos.

A partir de uma pesquisa bibliográfica específica sobre as técnicas existentes, foi desenvolvida uma notação nova e uma técnica nova denominada *OMT-G Temporal*, estendendo o OMT-G existente, um modelo de dados para aplicações geográficas.

Um dos sub-produtos deste trabalho de pesquisa foi a construção com sucesso do protótipo de uma ferramenta de modelagem, capaz de atender e apoiar a técnica *OMT-G Temporal* desenvolvida.

Para alcançar o objetivo da pesquisa, uma revisão da bibliografia, inicialmente realizada, serviu para identificar as principais características espaço-temporais que uma técnica de modelagem conceitual dos aspectos espaço-temporais deve atender.

Ainda sob o aspecto de revisão bibliográfica, realizou-se uma investigação dos conceitos para a construção de um protótipo de ferramenta de modelagem para verificar a utilização da técnica *OMT-G Temporal*.

Para suprir a carência do OMT-G existente, no que se refere a ausência de mecanismos para a representação dos aspectos espaço-temporais de dados geográficos, foi desenvolvida a técnica *OMT-G Temporal* como uma extensão temporal para o OMT-G. Nela, foi definida e descrita uma semântica temporal capaz de atender a representação dos

principais aspectos espaço-temporais de dados geográficos.

Como o desenvolvimento da técnica *OMT-G Temporal* necessitava de uma ferramenta de modelagem que atendesse e apoiasse a semântica temporal definida e descrita, baseando-se nos conceitos investigados, foi construído então um protótipo de ferramenta de modelagem denominado *Geo-Temporal*.

Após o desenvolvimento da técnica *OMT-G Temporal* e do protótipo *Geo-Temporal*, ambos foram aplicados a dois estudos de caso em domínios de conhecimento onde a necessidade da representação temporal é intensa.

A realização com sucesso do estudo de caso sobre “Desmatamentos e Queimadas” e “Ocupação e Uso da Terra”, colocou a prova a semântica temporal definida para a técnica *OMT-G Temporal*, bem como as funcionalidades implementadas no protótipo *Geo-Temporal*, tornando possível a verificação e a validação da solução desenvolvida em conformidade com os requisitos previamente especificados.

7.1 Contribuições

Como principais contribuições deste trabalho de pesquisa, pode-se citar:

- **Inovação Tecnológica** - na medida em que se estendeu o modelo OMT-G adaptando-o para representar também os aspectos temporais de dados geográficos, tão necessários nas aplicações espaço-temporais do mundo moderno;
- **Modelagem** - elaborando-se e implementando-se abstrações para facilitar a representação gráfica da temporalidade inerente aos elementos que constituem um *template* OMT-G com extensão temporal; e
- **Prototipação** - construindo-se um protótipo de ferramenta de modelagem denominado *Geo-Temporal* que foi capaz de atender e implementar a semântica temporal descrita e definida para a técnica *OMT-G Temporal*.

7.2 Recomendações

Para a continuidade deste trabalho de pesquisa, destaca-se abaixo as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- **Desenvolvimento de uma representação de tempo contínuo para a técnica *OMT-G Temporal*** - Este trabalho requer a realização de uma pesquisa mais aprofundada com o objetivo de capturar as mudanças contínuas de posição de objetos em movimento;
- **Desenvolvimento de uma representação de tempo circular para a técnica *OMT-G Temporal*** - Este trabalho requer a investigação de técnicas que permitam registrar a existência de fenômenos de natureza cíclica;
- **Construção de uma base de informações para o protótipo *Geo-Temporal*** - A criação dessa base de informações é desejável para se armazenar informações sobre, por exemplo, a tradução das descrições dos menus para línguas estrangeiras como o inglês. Desta forma, ao executar o *Geo-Temporal*, a primeira ação do usuário poderá ser a de escolher o idioma no qual quer trabalhar com a ferramenta;
- **Desenvolvimento das funcionalidades de armazenamento, modificação e recuperação do conteúdo dos *shapes*** - Atualmente o conteúdo dos shapes não pode ser editado, sendo desejável que o mesmo possa ser armazenado numa base de informações para posteriores edições, alterações e/ou exclusões ou modificações; e
- **Desenvolvimento da funcionalidade de geração de código SQL** - É desejável o desenvolvimento de extensões para construtores, geradores automáticos de código SQL baseados no modelo da aplicação, visando facilitar a criação do banco de dados espaço-temporal.

O autor deste trabalho acredita que o futuro desta importante área de pesquisa repousará fundamentalmente sobre a continuidade do desenvolvimento de extensões ou de novas notações, modelos, técnicas, métodos, ferramentas e ambientes integrados de engenharia de software ajudada por computador, que sejam capazes de tornar cada vez mais robustos os desenvolvimentos de aplicações georreferenciadas e temporais.

Referências Bibliográficas

ABRAHAM, T.; RODDICK, J. F. Survey of spatio-temporal databases. **Geoinformatica**, v. 3, n. 1, p. 61–99, 1999. ISSN 1384-6175.

ANTENUCCI, J. C. et al. **Geographic Information Systems: A Guide to the Technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa, Canada: WDL Publications, 1989.

BÉDARD, Y. Principles of spatial database analysis and design. In: LONGLEY, P. A. et al. (Ed.). **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Application and Managements**. 2. ed. New York: Wiley, 1999, (Geoprocessamento). cap. 29, p. 413–424.

BÉDARD, Y. Visual modelling of spatial databases: Towards spatial pvl and uml. **Geomatica**, v. 53, n. 2, p. 169–186, 1999.

BÉDARD, Y. **A Conceptual Modeling Tool for Geospatial Databases: Perceptory 2003**. 2003. Disponível em: <<http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory/english/enewindex2.asp>>. Acesso em: 10 Fev 2005.

BÉDARD, Y. et al. Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. In: **Computer, Environment and Urban Systems**. Great Britain: Elsevier Science Ltd, 1996. v. 20, n. 1, p. 19–41.

BÉDARD, Y. et al. Modeling geospatial databases with plug-ins for visual languages: A pragmatic approach and the impacts of 16 years of research and experimentations on perceptory. In: **ER'2004: Proceedings of 23rd International Conference on Conceptual Modeling**. Shanghai, China: Springer-Verlag GmbH, 2004.

BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos: Uma extensão do Modelo OMT para aplicações Geográficas**. 139 p. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) — Escola do Governo de Minas Gerais, Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 1997.

BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. Omt-g: An object-oriented data model for geographic applications. **Geoinformatica**, v. 5, n. 3, p. 221–260, 2001. ISSN 1384-6175.

- BORGES, K. A. V.; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. Integrity constraints in spatial databases. In: DOORN, J. H.; RIVERO, L. C. (Ed.). **Database Integrity: Challenges and Solutions**. Hershey, PA, USA: Idea Group Publishing, 2002. p. 144–171. ISBN 1-59140-024-4.
- BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F.; DAVIS, C. A. Spatial data integrity constraints in object oriented geographic data modeling. In: **GIS '99: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems**. United States: ACM Press, 1999. p. 1–6. ISBN 1-58113-235-2.
- BUKOVEC, M. **Programming with the Microsoft Office Visio 2003 ActiveX Control**: Msdn. 2003. Disponível em: <http://msdn.microsoft.com/library/default%2Fdefault.aspx?url=/library/en-us/odc_vis2003_ta/html/odc_vsprogrammingwithvisioactivexcontrol.asp>. Acesso em: 03 Jun 2005.
- CARON, C.; BÉDARD, Y. Extending the individual formalism for a more complete modeling of urban spatially referenced data. In: **Computer, Environment and Urban Systems**. New York: Pergamon Press, 1993. v. 17, p. 337–346.
- CASANOVA, M. A. et al. (Ed.). **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: MundoGEO, 2005.
- CATTELL, R. G. G. **The Object Database Standard: Odmg 2.0**. San Mateo, California: Morgan Kaufmann Publishers, 1997.
- CHRISMAN, N. **Exploring Geographical Information Systems**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 2002.
- CLARAMUNT, C.; JIANG, B. A representation of relationships in temporal spaces. In: ATKINSON, P.; MARTIN, D. (Ed.). **Innovations in GIS VII: GeoComputation**. London: Taylor and Francis, 2000. cap. 4, p. 41–53.
- CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. Tese (Doutorado em Computação) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1995.
- CÂMARA, G. et al. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Rio de Janeiro: X Escola de Computação, SBC, 1996.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DAVIS, C. A. Introdução a ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DAVIS, C. A. (Ed.). **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos: Divisão de Processamento de Imagens - DPI, 2001, (Geoprocessamento, I).
- COAD, P.; YOURDON, E. **Object-Oriented Analysis**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- CORPORATION, M. **Creating Visio 2002 Event Filters**: Msdn. 2001. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/office/understanding/visio/codesamples/default.aspx?pull=/library/en-us/dnvisio02/html/evntfilters.asp>>. Acesso em: 25 Mai 2005.

- COUCLELIS, H. People manipulate objects (but cultivate fields): Beyond the raster-vector debate in gis. In: **Proceedings of the International Conference GIS - From Space to Territory: Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning on Theories and Methods of Spatio-Temporal Reasoning in Geographic Space**. New York: Springer-Verlag, 1992. p. 65–77. ISBN 3-540-55966-3.
- DAVIS, C. A.; BORGES, K. A. V.; LAENDER, A. H. F. Deriving spatial integrity constraints from geographic application schemas. In: RIVERO, L. C.; DOORN, J. H.; FERRAGGINE, V. E. (Ed.). **Database Technologies and Applications**. Buenos Aires: Idea Group Inc., 2005.
- FOOTE, K. E.; HUEBNER, D. J. **Database Concepts: The geographer's craft**. 1996. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datacon/datacon_f.html>. Acesso em: 08 Fev 2005.
- FRIIS-CHRISTENSEN, A.; TRYFONA, N.; JENSEN, C. S. Requirements and research issues in geographic data modeling. In: **GIS '01: Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems**. Georgia, USA: ACM Press, 2001. p. 2–8. ISBN 1-58113-443-6.
- GOODCHILD, M. F. Geographical data modeling. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 4, p. 401–408, 1992. ISSN 0098-3004.
- GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems**. 2nd. ed. New York: John Wiley and Sons, 1993.
- GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. **Environmental Modeling with GIS**. 5rd. ed. New York: Oxford University Press, 1993.
- HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. Logical data modelling for geographical applications. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 10, n. 2, p. 179–203, 1996.
- ISO/TC211. **International Organization for Standardization - Geographic Information/Geomatics**. 2005. Disponível em: <<http://www.isotc211.org/>>. Acesso em: 15 jan. 2005.
- KAKOUDAKIS, I.; THEODOULIDIS, B. **The TAU Temporal Object Model**. TimeLab, October 1996. Disponível em: <<http://citeseer.ist.psu.edu/kakoudakis96tau.html>>. Acesso em: 12 Abr 2005.
- KÖSTERS, G.; PAGEL, B.-U. The geoooa-tool and its interface to open software development environments for gis. In: **GIS '96: Proceedings of the 4th ACM international workshop on Advances in geographic information systems**. Maryland, United States: ACM Press, 1996. p. 163–171. ISBN 0-89791-874-6.
- KÖSTERS, G.; PAGEL, B.-U.; SIX, H.-W. Geoooa: Object-oriented analysis for geographic information systems. In: **ICRE '96: 2nd International Conference on Requirements Engineering**. Colorado Springs, Colorado: IEEE Computer Society Press, 1996.

- LISBOA, J. Projeto de banco de dados para sistemas de informação geográfica. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica - REIC/SBC**, v. 1, n. 2, Novembro 2001. ISSN 1519-8219.
- LISBOA, J.; IOCHPE, C. Introdução a sistemas de informações geográficas com Ênfase em banco de dados. **XV JAI - Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC**, p. 50, 1996.
- LISBOA, J.; IOCHPE, C. Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework. In: **GIS '99: Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems**. Kansas City, Missouri, United States: ACM Press, 1999. p. 7–13. ISBN 1-58113-235-2.
- MINOUT, M.; PARENT, C.; ZIMÁNYI, E. A tool for transforming conceptual schemas of spatio-temporal databases with multiple representation. In: **DBA'2004: Proceedings of IASTED International Conference on Database Applications**. Austria: IASTED/ACTA Press, 2004.
- NAZÁRIO, P. R. da S. Gis : Definições e aplicações na logística. **Centro de Estudos e Logística - CEL**, 2003.
- OLIVEIRA, J. L. D.; PIRES, F.; MEDEIROS, C. B. An environment for modeling and design of geographic applications. **Geoinformatica**, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, v. 1, n. 1, p. 29–58, 1997. ISSN 1384-6175.
- OMG. **OMG Unified Modeling Language Specification**. March 2003. Complete Specification, Version 1.5. Disponível em: <<http://www.omg.org/docs/formal/03-03-01%-.pdf>>. Acesso em: 29 Set 2004.
- OOI, B. C. **Efficient Query Processing in Geographic Information Systems**. New York: Springer-Verlag Inc., 1990.
- PARENT, C. et al. **MADS: Modeling of Application Data with Spatio-temporal Features**. 2004. Disponível em: <<http://lbd.epfl.ch/e/research/mads/>>. Acesso em: 08 Dez 2004.
- PARENT, C. et al. Modeling spatial data in the mads conceptual model. In: **SDH 98: International Symposium on Spatial Data Handling**. Canada: ACM Press, 1998. p. 11–15.
- PFOSER, D.; TRYFONA, N. Requirements, definitions, and notations for spatiotemporal application environments. In: **GIS '98: Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems**. United States: ACM Press, 1998. p. 124–130. ISBN 1-58113-115-1.
- PRICE, R.; SRINIVASAN, B.; RAMAMOHANARAO, K. Spatiotemporal extensions to unified modeling language. In: **DEXA '99: Proceedings of the 10th International Workshop on Database & Expert Systems Applications**. DC, USA: IEEE Computer Society, 1999. p. 460. ISBN 0-7695-0281-4.
- RAMIREZ, M. R. **Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados para Geoprocessamento**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.

- RENOLEN, A. Conceptual modelling and spatiotemporal information systems: How to model the real world. In: **Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems**. Stockholm: ACM Press, 1997.
- RENOLEN, A. **On the Design of an Object-Oriented Temporal GIS**. Chicago: Norwegian University of Science and Technology, 1998.
- RENOLEN, A. Modelling the real world: Conceptual modelling in spatiotemporal information system design. **Transactions in GIS**, v. 4, n. 1, p. 23–42, 2000.
- ROCHA, L. V. da; EDELWEISS, N. **GeoFrame-T: um Framework Conceitual Temporal para Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica**. 139 p. Dissertação (Mestrado em Computação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- ROCHA, L. V. da; EDELWEISS, N.; IOCHPE, C. Geoframe-t: a temporal conceptual framework for data modeling. In: **GIS '01: Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems**. Georgia, USA: ACM Press, 2001. p. 124–129. ISBN 1-58113-443-6.
- RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. **The Unified Modeling Language Reference Manual**. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- SHEKHAR, S. et al. Data model in geographic information systems. **Communications of the ACM**, v. 40, n. 4, p. 103–111, 1997.
- SPACCAPIETRA, S.; PARENT, C.; ZIMANYI, E. Modeling time from a conceptual perspective. In: **CIKM '98: Proceedings of the seventh international conference on Information and knowledge management**. New York, USA: ACM Press, 1998. p. 432–440. ISBN 1-58113-061-9.
- SVINTERIKOU, M.; THEODOULIDIS, B. **The Temporal Unified Modeling Language (TUML)**. TimeLab, October 1997.
- TOM, H. The geographic information systems (gis) standards infrastructure. **StandardView**, v. 2, n. 3, p. 133–142, 1994. ISSN 1067-9936.
- VISIMATION. **Automating Visio to Solve Business Problems: Visio as a Solutions Platform**: Msdn. 2001. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/library/default%20-%20url=/library/en-us/dnvisio02/html/vissolut.asp>>. Acesso em: 19 Mai 2005.
- WORBOYS, M. F.; DUCKHAM, M. **GIS: A Computing Perspective**. 2. ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004.

Apêndice A

Protótipo da Ferramenta de Modelagem *Geo-Temporal*

A.1 Informações Gerais

Este apêndice contém a descrição do processo de desenvolvimento do protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal*.

A.2 Objetivos do Desenvolvimento do Protótipo

O protótipo da ferramenta de modelagem *Geo-Temporal* foi construído com o objetivo de atender a modelagem visual da técnica *OMT-G Temporal* desenvolvida, visando melhorar o processo de modelagem de SIG espaço-temporais.

A.3 Descrição das Tecnologias

As tecnologias usadas no desenvolvimento deste protótipo foram as seguintes:

- **Linguagem de Programação C#** - Utilizada para o desenvolvimento da aplicação de forma integrada com o ambiente de desenvolvimento *Microsoft Visual Studio .NET* 2003. Esta linguagem permite o acesso ao modelo de objetos do *Visio*, (VOM);

- **Microsoft Visual Studio .NET 2003** - Ambiente de desenvolvimento integrado, *Integrated Development Environment* (IDE), que provê funcionalidades para projetar e desenvolver aplicações *Web* e aplicações cliente tradicionais;
- **Microsoft Office Visio 2003** - Utilizado para a realizar a modificação e adaptação da estrutura dos *shapes* do *stencil* que compõe o *template* OMT-G com extensão temporal, permitindo a inserção das propriedades temporais;
- **Microsoft ActiveX Control** - Permite a criação de funcionalidades do *Microsoft Office Visio 2003* dentro da aplicação em desenvolvimento; e
- **VOM** - Interface de programação de aplicações, API, que representa os objetos, as propriedades, os métodos e os eventos do *Visio*, integrada na aplicação em desenvolvimento.

A.4 Descrição do Protótipo *Geo-Temporal*

O protótipo foi desenvolvido para verificar e validar a semântica temporal definida e descrita para a *OMT-G Temporal*. Nele foram implementadas as funcionalidades básicas facilitando a atividade de modelagem visual.

Logo que executado, o protótipo exibe dois menus principais: “Arquivo” e “Ajuda”. A Figura A.1 mostra a *interface* inicial do protótipo, ainda sem o *template* carregado.

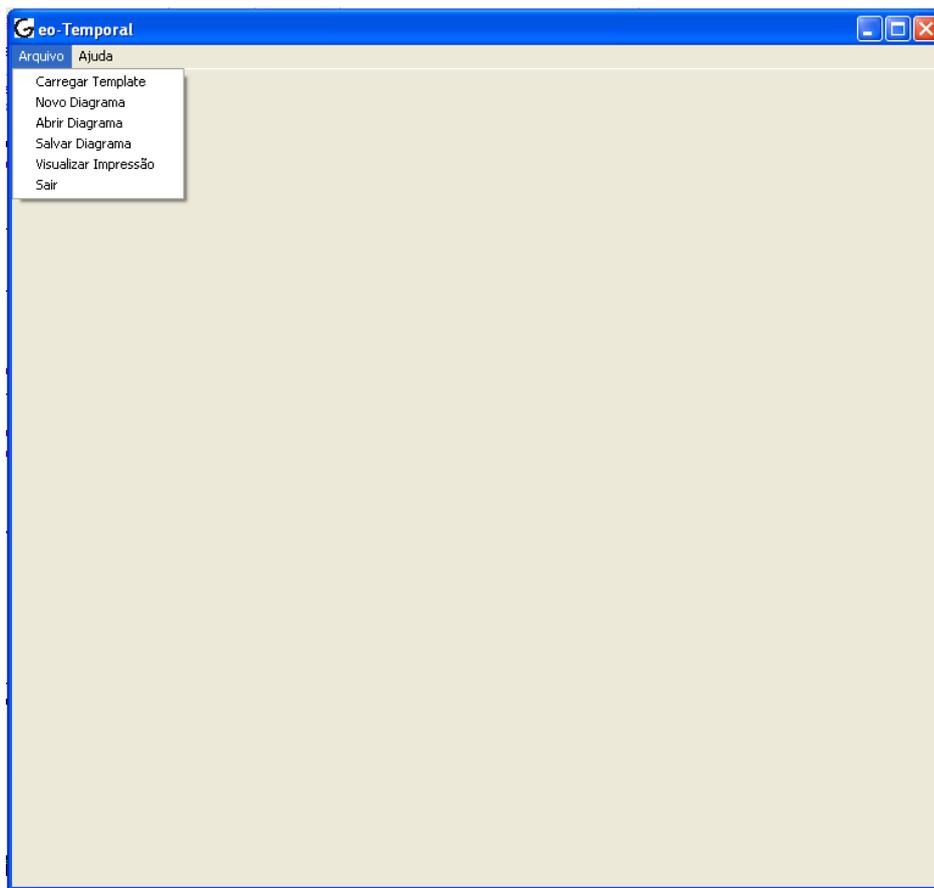


Figura A.1: Interface inicial do protótipo *Geo-Temporal*.

Para carregar o *template* da OMT-G com extensão temporal, clique no item “Carregar Template” do menu “Arquivo”. Como mostrado na Figura A.2, um menu de diálogo é aberto para que o usuário possa selecionar o *template*.

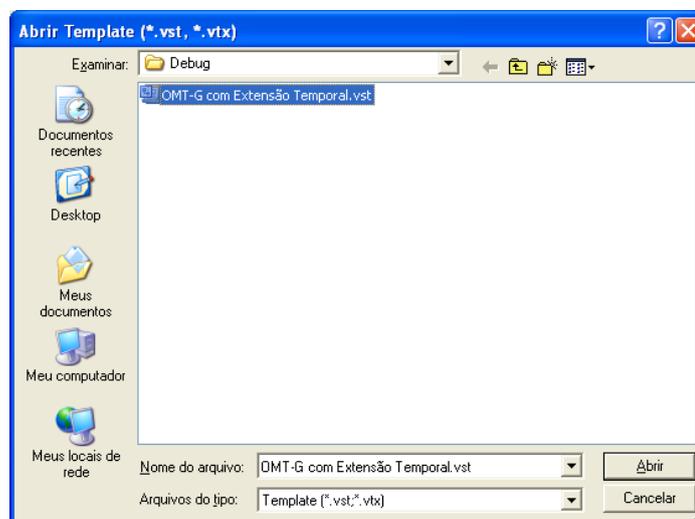


Figura A.2: Carregando o *template* OMT-G com extensão temporal.

A Figura A.3 mostra a *interface* do protótipo agora já com o *template* carregado.

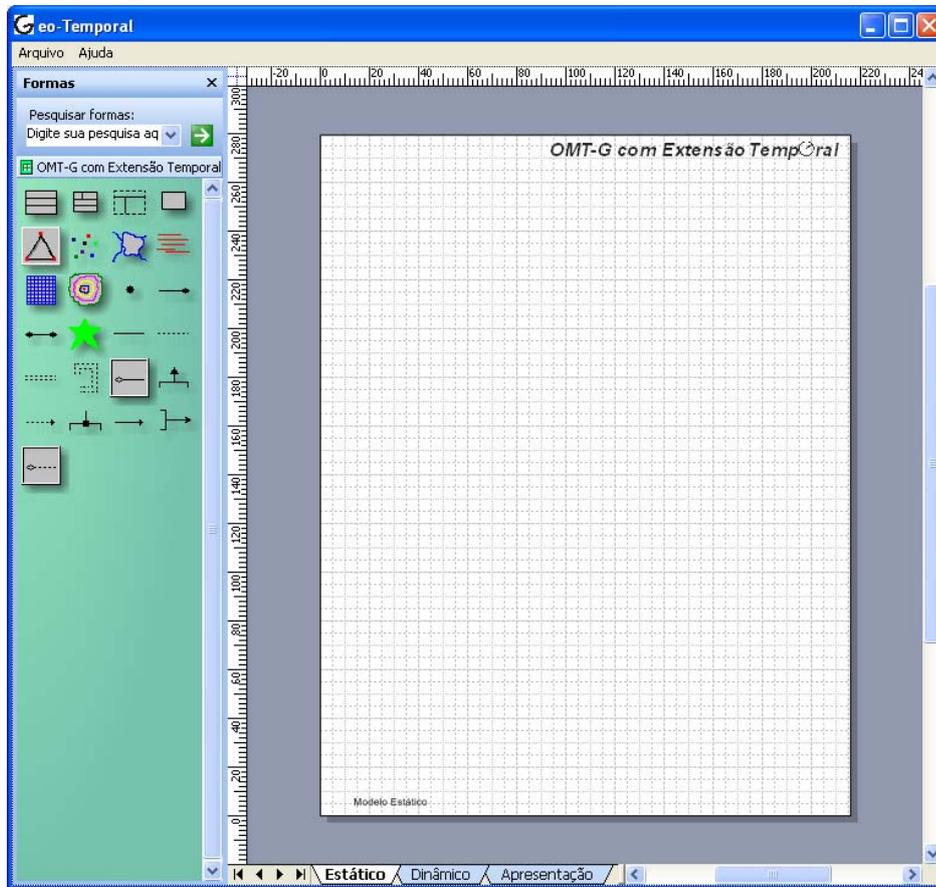


Figura A.3: *Interface* do protótipo com *template* carregado.

Para familiarizar-se mais rapidamente, observe a descrição dos itens abaixo. Estes contém legenda explicativa associada aos números que aparecem na Figura A.4.

1. Área de diagramação do *template*;
2. *Stencil* do *template*; e
3. *Shapes* do *stencil* do *template* representando os objetos do mundo real.

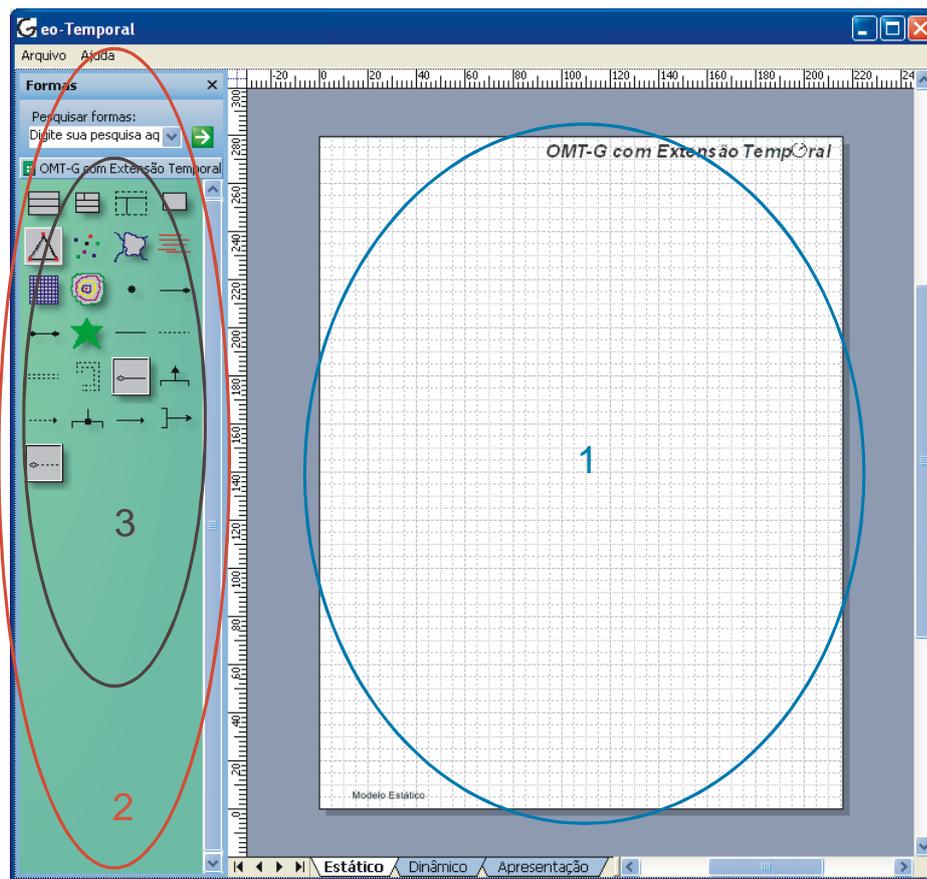


Figura A.4: Legenda explicativa da *interface* do protótipo.

Simulando a modelagem de uma aplicação, clique no *shape* do *stencil* que representa o objeto do mundo real a ser modelado e arraste-o até a área de diagramação. Solte-o e clique no objeto com o botão direito do *mouse*. Um menu de contexto é criado em tempo de execução, conforme mostra a Figura A.5. O *shape* selecionado foi um geo-objeto do tipo ponto.

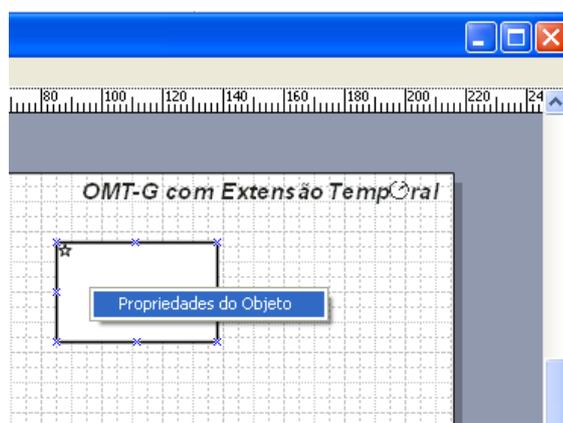


Figura A.5: Menu de contexto do protótipo.

Para inserir a temporalidade no objeto, clique no menu de contexto “Propriedades do Objeto” criado e exibido sobre o objeto. Uma *interface* é exibida, conforme mostrado na Figura A.6.

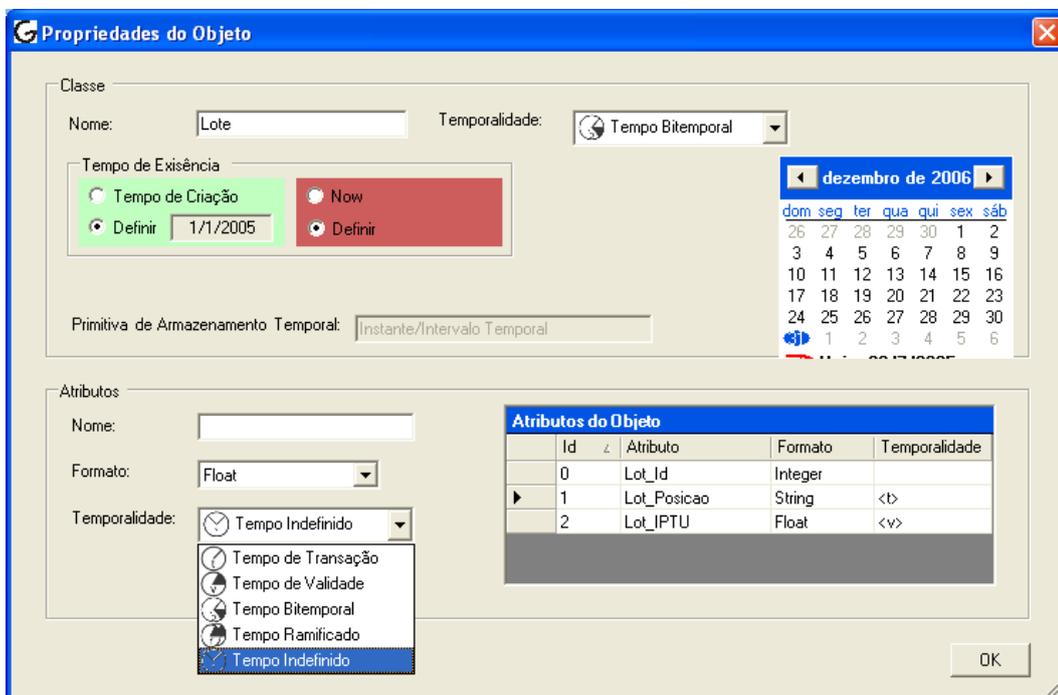


Figura A.6: Interface para inserção das propriedades do objeto.

A *interface* permite que o projetista informe as propriedades da classe do objeto e também de seus atributos. Inicialmente, é possível informar o nome da classe e a sua temporalidade selecionada de uma lista de itens de um menu seletor. Esse menu exibe o estereótipo temporal e a sua descrição.

Para informar o tempo de existência do objeto, bem como a sua granularidade, o campo seguinte habilita as possíveis opções conforme o tipo temporal selecionado no campo anterior. A primitiva de armazenamento temporal é informada pelo protótipo, também com base no tipo temporal informado para o objeto. Para um melhor entendimento das regras dessa semântica temporal, recorra à Seção 5.3.2 do Capítulo 5.

Ainda mesma interface, conforme mostra a Figura A.6, as propriedades nome, formato e temporalidade do atributo podem ser informadas.

O Protótipo também permite salvar o diagrama que contém a modelagem de uma determinada aplicação, para ser editado e continuado posteriormente. Para tanto, clique no item “Salvar Diagrama” do menu principal “Arquivo”, conforme mostra a Figura A.1.

Para abrir um diagrama contendo a modelagem de uma aplicação, iniciada anteriormente, clique no item “Abrir Diagrama” do menu principal “Arquivo” e selecione o diagrama existente desejado. Caso uma nova modelagem queira ser iniciada, sem no entanto salvá-la, clique no item “Novo Diagrama” do menu principal “Arquivo”.

A funcionalidade de visualização da impressão da modelagem de uma aplicação, conforme mostra a Figura A.7, pode ser executada clicando no item “Visualizar Impressão” do menu principal “Arquivo”.

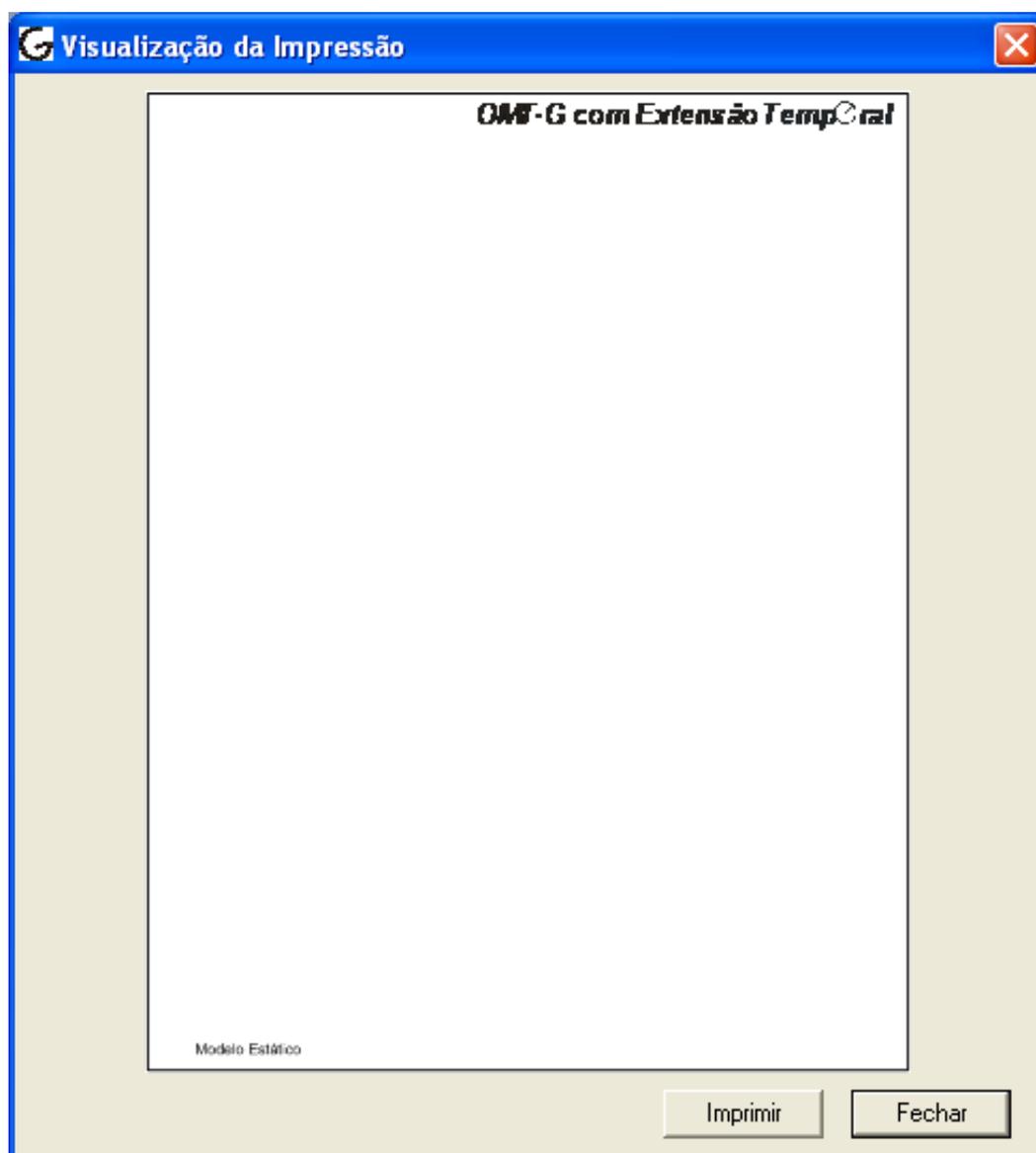


Figura A.7: Funcionalidade de visualização da impressão do protótipo.

Uma última funcionalidade, item “Sair”, é apresentada no menu principal “Arquivo”.

A outra opção do menu principal, menu “Ajuda”, oferece o informações sobre o pro-

tótipo desenvolvido, conforme mostra a Figura A.8.

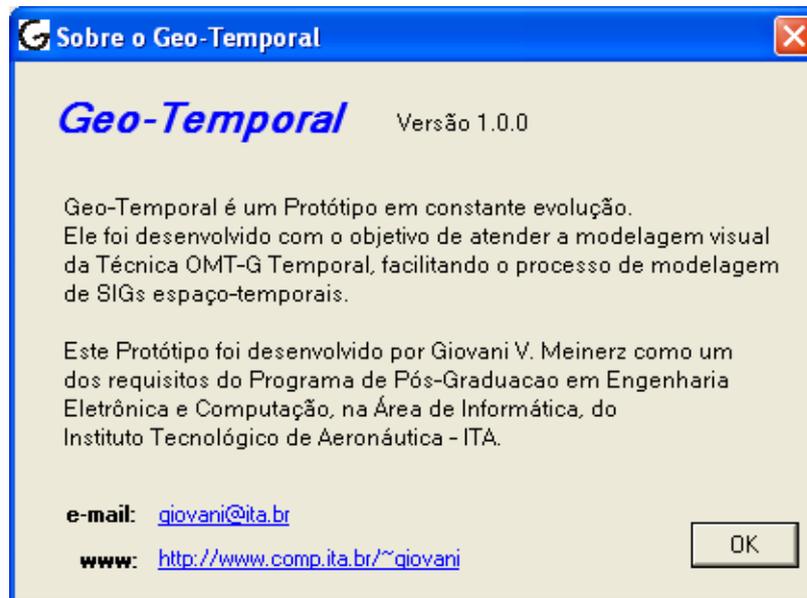


Figura A.8: Informações sobre o protótipo desenvolvido.

Anexo A

Draft Business Plan of ISO/TC 211 - Geographic information/Geomatics



Draft Business Plan of ISO/TC 211 - Geographic information/Geomatics

Introduction

ISO Technical Committees and Business Planning

The extension of formal business planning to ISO Technical Committees (ISO/TCs) is an important measure which forms part of a major review of business. The aim is to align the ISO work programme with expressed market needs and to allow ISO/TCs to prioritize between different projects, to identify the benefits expected from the availability of International Standards and to ensure the adequate resourcing of projects through their development stages in the ISO/TCs. Your role in the implementation of the Business Planning concept will contribute significantly to the overall effectiveness of international standardization.

We express our sincere appreciation and thanks for your time in reviewing this Business Plan.

International standardization and the role of ISO

The foremost aim of international standardization is to facilitate the exchange of goods and services through the elimination of technical barriers to trade.

Three bodies are responsible for the planning, development and adoption of International Standards: ISO (International Organization for Standardization) is responsible for all sectors excluding electrotechnical, which is the responsibility of IEC (International Electrotechnical Committee), and most of the Telecommunications Technologies, which are largely the responsibility of ITU (International Telecommunication Union).

ISO is a legal association, the members of which are the National Standards Bodies (NSBs) of some 130 countries (organizations representing social and economic interests at international level), supported by a Central Secretariat based in Geneva, Switzerland.

The principal deliverable of ISO is the International Standard.

An International Standard embodies the essential principles of global openness and transparency, consensus and technical coherence. These are safeguarded through its development in an ISO Technical Committee (ISO/TC), representative of all interested parties, supported by a public comment phase (the ISO Technical Enquiry). ISO and its Technical Committees are also able to offer the ISO Technical Specification (ISO/TS), the ISO Public Available Specification (ISO/PAS) and the ISO Technical Report (ISO/TR) as solutions to market needs. These ISO products represent lower levels of consensus and have therefore not the same status as an International Standard.

ISO offers also the Industry Technical Agreement (ITA) as a deliverable which aims to bridge the gap between the activities of consortia and the formal process of standardization represented by ISO and its national members. An important distinction is that the ITA is developed by ISO workshops and fora, comprising only participants with direct interest, and so it is not accorded the status of an International Standard.

Scope of ISO/TC 211

Standardization in the field of digital geographic information. This work aims to establish a structured set of standards for information concerning objects or phenomena that are directly or indirectly associated with a location relative to the Earth. These standards may specify, for geographic information, methods, tools and services for data management (including definition and description), acquiring, processing, analyzing, accessing, presenting and transferring such data in digital/electronic form between different users, systems and locations. The work shall link to appropriate standards for information technology and data where possible, and provide a framework for the development of sector-specific applications using geographic data.

Comments:

The overall objectives of ISO/TC 211 are:

- increase the understanding and usage of geographic information
- increase the availability, access, integration, and sharing of geographic information
- promote the efficient, effective, and economic use of digital geographic information and associated hardware and software systems
- contribute to a unified approach to addressing global ecological and humanitarian problems

Market Environment and Objectives of ISO/TC 211

This section establishes a sequential development of thoughts regarding the market for which the ISO/TC aims to fulfil the needs. Details in relation to the market analysis are given in the Guidance document on ISO Business Planning. The sequence of thoughts starts from a description of the current market situation relevant to the product or product grouping under consideration by the ISO/TC, continues on to an analysis of the different factors motivating/influencing the activities of the ISO/TC, to come to clear description of objectives and expected benefits resulting from the work of the ISO/TC, together with an accompanying strategy how to reach those objectives. Finally, a general 'risk analysis' is included highlighting issues that may delay or stop the ISO/TC achieving its set objectives.

Background

The disciplines of cartography and geography, in response to technological innovations, have individually and collectively undergone significant changes during the past half-century. The 1950's witnessed the quantification of geography followed by the introduction of computers and modelling during the 1960's. The application of computer technology to cartography during the 1970's gave rise to automated/computer-assisted cartography, along with the adaptation of the mathematics of topology to computer cartography/geography around 1975 that lead to the emergence of geographic information systems (GIS). From 1985 to 1995 saw the widespread development, use, and acceptance of GIS technology. During the period from 1995 to 2000, spatially enabled enterprise databases and the deployment of geographic information on the Internet rapidly positioned a new location-based technology as part of generic information technology. Leveraging wireless and mobile applications, location-based products, services, and solutions are now initiating the new millennium with the promise of an increasing need for locational functionality and geographic information via the Internet by not just the geographic community, but the world at large.

The era of modern of geographic standardization spanned the decade from the early 1980's to the early 1990's. Internationally, initial standardization efforts within cartography and geography were slow and arduous. National and international organizations were busy developing standards for

the transfer/exchange of geographic data between computers systems. The technical development of such standards were limited to few national and regional user communities. There were no standards that had broad international support. By 1995, ISO/TC 211 and the Open GIS Consortium (OGC) emerged with GIS standards becoming a highly visible and prominent part of the international geographic agenda. The value of these initial international standardization efforts was to gain the international recognition and acceptance by the cartographic and geographic communities of the need and value of geographic standardization.

In general, OGC is concerned with software specifications, while ISO/TC 211 concentrates more on data standards. Unlike previous ISO technical committees, ISO/TC 211 has the unique distinction of beginning a programme of work that includes the concurrent development of an integrated set of twenty standards for geographic information. While the development of singular or stand-alone ISO standards occurs at a faster rate, the carefully developed ISO/TC 211 set of integrated standards advances the interoperability of its family of standards. Recently, the OGC & ISO/TC 211 formed a coordination group to leverage mutual development. The OGC is submitting their specifications for ISO approval via ISO/TC 211. The OGC, an industry consortium, has a conformance and testing program for the specifications they develop. There is also an OGC interoperability program for developing specifications by rapid-prototyping software in their Web Mapping Testbed (WMT). This practical bottom up approach by industry and its vendors develops specifications as a result of implementation and interoperability scenarios. De jure standardization efforts are a top down exercise that hopes that the industry will implement many of the resulting paper specifications. Mature ISO/TC 211 draft standards such as metadata and portrayal have been offered to the OGC WMT initiatives for testing and refinement before and as part of the process for final ISO approval. The OGC WMT initiative provides for multiple vendor implementations of a standard and tests the interoperability of these implementations.

Currently, the OGC Web Map server interface has been commercially implemented by over 130 of the GIS industry's 200 software vendors. Under the cooperative agreement between the OGC and ISO, the Web Map server interface (ISO 19128) is now being progressed as an International Standard within ISO/TC 211. A highly visible OGC specification recently submitted to ISO/TC 211 for ISO standardization is the Geography Markup Language (GML). A number of other successful OGC open neutral software interfaces may be forthcoming as new work item proposals from the OGC.

The increasing recognition for the value of spatial data and geographic information has spawned the entry of new players into the spatial standardization arena, both from within ISO and externally. This has resulted in the formation of a Joint Steering Group on Spatial Standardization and Related Interoperability, chaired by the ISO/TC 211 Chairman. Consequently, a new agenda is emerging for international spatial standardization that includes traditional and new innovative applications across a spectrum of disciplines. For ISO/TC 211, these developments are resulting in new strategic directions.

Achieving more interoperability requires a proactive coordination of spatial standards at both the abstract and implementation levels. Proactive cooperation among spatial standards activities should also help to use available resources more efficiently by minimizing technical overlap, wherever this occurs. Such coordination and cooperation should lead to more market-relevant spatial standards, and could serve as a useful roadmap for all interested parties.

Market Environment

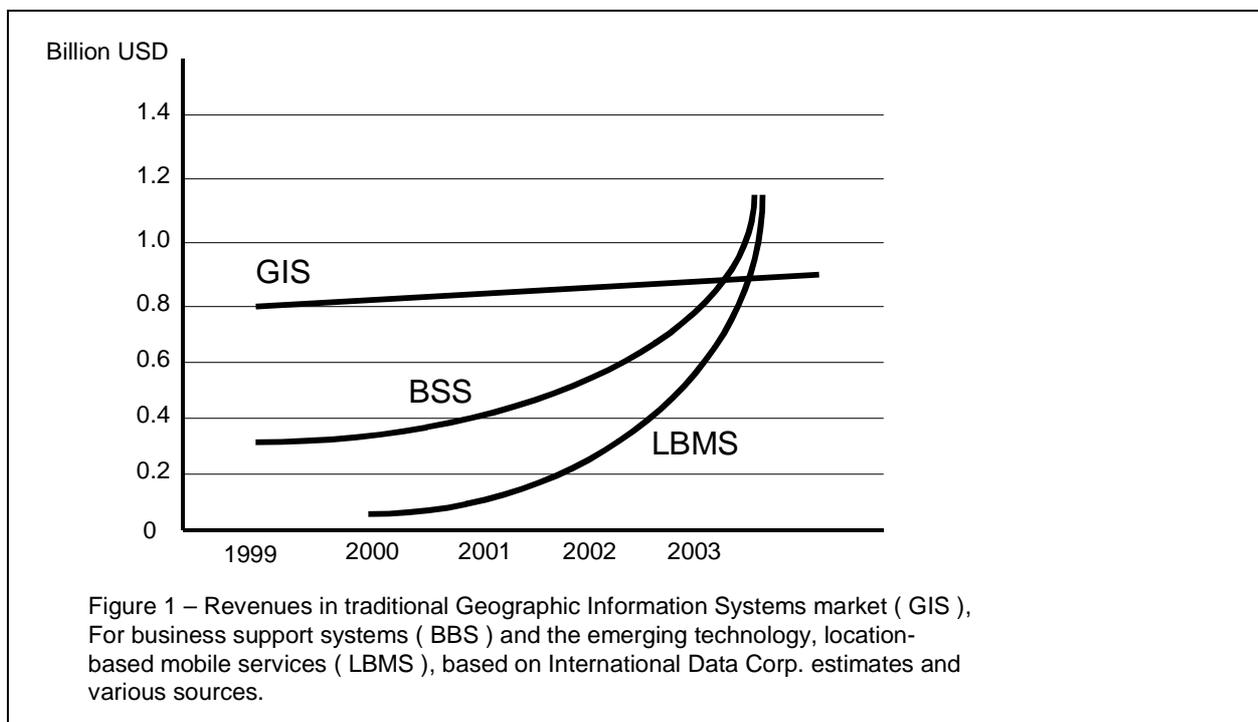
Political, economical, social, technical, legal and international factors that either directly require some or all of the standardization activities proposed by the ISO/TC, or significantly influence the way these activities are carried out are the following:

1. General description of the market (*descriptive*)

A common way to describe the market is by dividing it into three segments: the traditional geographic information systems (GIS) market, business support systems (BSS), and personal productivity (PP). A description can be given as:

- GIS:
 - Spatial information contributes the most value
 - Traditional market for spatial technology
- BSS:
 - Spatial information does **not** contribute the most value
 - Spatial technology embedded in business applications
- LBMS:
 - Location – based mobile services (LBMS)

2. Description of the total market (*descriptive and quantitative*)



A new emerging market is location-based mobile services (LBMS). Many industry sectors within the market-place will benefit significantly from interoperable access to spatial information and services, including such areas as the travel and tourist industries, the mapping and routing industries, communications, utilities, transportation, national defense, agriculture, disaster management and public safety, inventory management, real and synthetic environmental modelling and gaming, and the emerging needs of electronic commerce for spatial information.

Location-based services, or location-based mobile services (LBMS), are perhaps the most “high profile” of the emerging technologies to utilize geographic information. Many analysts foresee an enormous market in this field, one of them predicting, for example, that the market for tracking, route-finding and guiding, notification and alert services in North America and Western Europe will reach USD 15 billion by 2005. A whole string of partners is involved in a complex value –chain providing such services. The need for standards is such that we could say that our ability to

provide rules for the game through standards is a prerequisite to trigger off development of the market. Thus, we do, indeed, face a huge challenge!

“Location-based services” are services (through a combination of hardware devices, communication networks – often wireless – and software applications) that access, provide or otherwise act upon location information. We distinguish between *mobile position determination systems* that determine the location of a mobile terminal and *application-oriented location services*, which exploit device location in some application service sought by a client. Examples of this include:

- Traffic Information, e.g. “You are about to join a ten-kilometer traffic queue, turn right on the A3 ahead”
- Emergency Services, e.g. “Help, I’m having a heart attack!”
- Roadside Emergency, e.g. “Help, my car has broken down!”

A special advisory group on location-based services has been set up to define requirements for new work in this field, and the new tasks ahead have already been identified:

- ISO 19132 Geographic information – Location based services possible standards
- ISO 19133 Geographic information – Location based services tracking and navigation
- ISO 19134 Geographic information – Multimodal location based services for routing and navigation

Global Spatial Data Infrastructure (GSDI)

The Global Spatial Data Infrastructure (GSDI) was defined at the 5th GSDI Conference in May 2001 as: “The Global Spatial Data Infrastructure is coordinated actions of nations and organizations that promotes awareness and implementation of complementary policies, common standards and effective mechanisms for the development and availability of interoperable digital geographic data and technologies to support decision making at all scales for multiple purposes.” Put more simply, the purpose of the GSDI is to encourage the growth of compatible Spatial Data Infrastructures capable of supporting collaboration on regional and global issues of importance.

Starting from an initiative of a few far-sighted individuals, the GSDI has blossomed into a major and important organization in developing a global consciousness as concerns geospatial policies. In addition, it provides practical guidelines on how to establish spatial infrastructures. Currently, there are more than 50 nations developing national spatial data infrastructures. These guidelines highlight the importance of global standards, and point to the work of ISO as the basis upon which to build. The GSDI is now recognized as a Class A Liaison of ISO/TC 211.

GSDI is also working closely with the United Nations. The UN interest in geographic information is broad, and obviously runs the gamut of UN sectors. The UN recently formed a UN Geographic Information Working Group (UNGIWG), that was established for the needs of peacekeeping actions, sustainable development and the eradication of poverty. This working group wants to collaborate with ISO/TC 211 and use standards it has developed and has become a Class A Liaison of ISO/TC 211. Even more recently, both the GSDI and UNGIWG have indicated a willingness to work even closer with ISO/TC 211 under cooperative agreements that would enable capacity building in standards through education, training and technology transfer.

Recently, the European Commission has established an initiative known as Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE). The INSPIRE initiative aims to make harmonised and high quality geographic data and information readily available for formulating, implementing, monitoring and evaluating Community policy and for the citizen to access information about the

environment, whether local, regional, national or international. INSPIRE recognizes ISO standards as a foundation for its work.

These and other global geographic organizations constitute the traditional user community for ISO/TC 211 standards. Currently, work items are reaching publication as International Standards; ISO/TC 211 has initiated an outreach activity to user communities to enable them to take advantage of the considerable international investment in the development of these standards.

Awareness of ISO/TC 211 standards is known within many but not all global geographic communities, however, awareness is absent among most potential user communities. The full realization of the benefits of ISO/TC 211 standards will only occur when they are adopted for all forms of human endeavor when using geographic information.

As a strategic investment to ensure the long-term viability of ISO/TC 211 standards, there is a need for advocacy – to establish agreements between ISO/TC 211 and global organizations that will recognize ISO/TC 211 standards as the foundation for the standardization of their geographic information.

Consequently, the ISO/TC 211 Advisory Group on Outreach seeks to promote the awareness, adoption, and advocacy of ISO/TC 211 standards.

Objectives of ISO/TC 211 and strategies for their achievement

Based on the considerations above, ISO/TC 211 proposes the following objectives and strategic directions for its future work:

The ultimate benefits of standardization are based on the use of widely recognized and accepted international voluntary standards developed to the highest technical level by an open consensus process that includes all those affected. Beyond standardization of traditional geographic functionality: innovative, new, and unknown technology and application domains present challenges transcending the established process of geographic standardization. Previously, standardization was a process for recognizing and codifying the status quo of technology. Standardization is now beginning to define the requirements and implementation of new technology.

The implied mandate for ISO/TC 211 is to develop an integrated set of standards for geographic information. Equally important, if not more so, is the unstated strategic direction for the international deployment of such standards. Accordingly, the strategic directions for ISO/TC 211 can be viewed in terms of development, deployment, and the underlying coordination/consensus process that integrates both these phases for successful standardization.

For development, the major issues include: standards technical development, organizations developing geographic or related standards, priorities of standards, standards and interoperability testing, and speed of developing technical specifications. For deployment, the key issues are: implementation of standards, standards education / training, and user communities supporting ISO/TC 211 standards.

Inherent and pervasive through standards development, deployment, and their coordination/consensus process are considerations for the implementors and users of geographic standards. Such as data transfer standards that are implemented by vendors or data cataloguing standards implemented by data producers, or metadata standards implemented by vendors, data producers, and general users of geographic information. Implementors and user requirements need to be considered in conjunction with the standards development, deployment, the process of integrating such requirements.

Traditionally, geographic information was produced and used by the geographic community. Increasingly, geographic information is being created and used by everyone else, especially, in the business community. Hence, the once all important technical issues for experts are now being subordinated to the business issues confronting government and commercial organizations. Previously, the cost of standardization was minimal because of the number of users and requirements. Because geographic information has transitioned, in many countries, from being the essence of national mapping organizations to being the common commodity of consumers in the electronic/Internet/wireless communities – the diverse requirements, costs, and complexity for geographic standardization has increased dramatically.

Risk analysis

The greatest challenges for geographic standardization are internal and external. Internally, the geographic community must overcome the prevailing perception, by both the geographic and non-geographic communities, of the usual applications of geographic information. When in reality, geographic information has outgrown its traditional uses and has assumed an integral part of the latest and forthcoming technological innovations. Externally, modern businesses and companies are recognizing the value of incorporating location-based information as part of their products, services, and solutions to differentiate themselves within existing and new markets. The location-based market is expected to be a multi-billion dollar industry in just a few years. The strategic directions for geographic standardization need to be responsive to these challenges in a timely manner, else, the geographic community will again be guilty of relinquishing its mandate to outsiders that have only a superficial knowledge of the value and extent of geographic information.

Critical success factors for the industry in general:

- Increase the velocity of information
- Dynamic support of business processes
- Move right information close to the point of work
- Treat spatial data as any other data type
- Appropriate spatial data quality

Barriers and constraints to the development

- The rate of change in spatial technology is too slow
- Spatially-enabled data and applications are highly specific to each vertical industry and business process.
- Spatial solutions are not a well-known part of mainstream information systems.
- Departmental business units are responsible for most spatial applications.
- Spatial data quality is a significant constraining factor

The market will be fundamentally different by 2002. Velocity of change is a critical gating factor for spatial technology. The standards community will have to adapt to new customer requirements, risks and rate of change. This will strongly challenge our approach to developing standards in term of rules and directives. It will be necessary to strengthen the liaison with industry and industry representing organization, rapidly approving industry accepted specifications, potentially using new types of ISO deliverables. The formal standardization process will only survive when demonstrating ability to deliver timely and in response to the new requirements.

ISO/TC 211 has a Class A Liaison with the Open GIS Consortium (OGC) and a Cooperative Agreement in place. It also has a joint technical working group to complement and eliminate technical overlap. This relationship is resulting in the market acceptance of ISO/TC 211 standards as well as the processing of OGC specifications as International Standards.

**Draft Business Plan of
ISO/TC 211**

Date: 2003-11-27
Version: Draft
Page: 8

The most formidable threats that may negatively impact the standards of ISO/TC 211 are within the rapidly emerging location-based mobile services (LBMS) industry. Specifically within the telecommunications industry, which recently has not fared as well as expected. The LBMS industry is in large part predicated on the widespread and low cost usage of mobile phones and devices. Until LBMS are offered en mass by wireless telecommunications companies, the LBMS industry will remain a “designer” option. Fortunately, however, the delayed take off is providing the necessary time to develop many of the standards that will be needed when it does take off.

Initial position determination was computed through cellular triangulation, most telephone companies assumed that they could control the basic location positioning technology. But, since this type of positioning determination varied, depending on related techniques – there are many incompatible protocols which now the Location Interoperability Forum (LIF) is trying to interface – because users are mobile and bring their phones into areas servicing different protocols.

Another solution is the embedded GPS chip in the handset or mobile device – which makes the determination of location totally independent of cellular triangulation and such applications just use the mobile phones as infrastructure for the transmission of content.

For geographic information standards, the current value is in the interoperability of geographic databases and applications. This is the current programme of work for ISO/TC 211. Its future work will be to enable access to these databases and applications from a multitude of mobile devices – and to a large extent, independent of much of the impacts from the telecommunications industry.

Currently and for the foreseeable future, geographic information is rapidly being recognized as being important beyond the traditional domain of geography.

**Draft Business Plan of
ISO/TC 211**

Date: 2003-11-27

Version: Draft

Page: 9

Work Programme

This part is no longer included in the Business Plan. Please see the ISO Central Secretariat home page at <http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage> (follow the link to "List of technical committees" and find TC 211, or go to the ISO/TC 211 home page for the programme of work: <http://www.isotc211.org/pow.htm>).

**Draft Business Plan of
ISO/TC 211**

Date: 2003-11-27

Version: Draft

Page: 10

Annex: Glossary of terms and abbreviations for the ISO/TC Business Plan

NB: This glossary gives the full name and status of terms used, in abbreviated form or in full, in the above "Business Plan for ISO/TCs". The glossary also gives the source of the information provided. Glossary intends to help with the understanding of the terms used. Whenever any of these terms are used by contributors to this Business Plan, they are requested to use them coherently as foreseen in the glossary.

Term	Abbrev.	Definition
standardization	---	<p>Activity of establishing, with regard to actual or potential problems, provisions for common and repeated use, aimed at the achievement of the optimum degree of order in a given context.</p> <p>NOTES 1 In particular, the activity consists of the processes of formulating, issuing and implementing standards. 2 Important benefits of standardization are improvement of the suitability of products, processes and services for their intended purposes, prevention of barriers to trade and facilitation of technological cooperation.</p>
standard	---	<p>Document, established by consensus and approved by a recognized body, that provides, for common and repeated use, rules guidelines or characteristics for activities or their results, aimed at the achievement of the optimum degree of order in a given context.</p> <p>NOTE Standards should be based on the consolidated results of science, technology and experience, and aimed at the promotion of optimum community benefits.</p>
package of standards	---	<p>A group, as small as possible, of inter-related standards in the scope of one or more ISO/TCs which are usually developed simultaneously to one another as parts of one standard, or standards that must be developed simultaneously.</p>
consensus	---	<p>General agreement, characterized by the absence of sustained opposition to substantial issues by any important part of the concerned interests and by a process that involves seeking to take into account the views of all parties concerned and to reconcile any conflicting arguments.</p> <p>NOTE - Consensus need not imply unanimity</p>
ISO/TC International Standardization Deliverables:		
International Standard	IS	<p>A normative document, developed according to consensus procedures, which has been approved by the ISO membership and P-members of the responsible committee in accordance with Part 1 of the ISO/IEC Directives as a draft International Standard and/or as a final draft International Standard and which has been published by the ISO Central Secretariat.</p>

**Draft Business Plan of
ISO/TC 211**

Date: 2003-11-27

Version: Draft

Page: 12

Term	Abbrev.	Definition
ISO Technical Specification	ISO/TS	A normative document representing the technical consensus within an ISO committee, approved by 2/3 of the P-members of the ISO/TC or SC.
ISO Public Available Specification	ISO/PAS	A normative document representing the consensus within a working group, approved by a simple majority of the P-members of the TC/SC under which the working group operates.
ISO Technical Report	ISO/TR	An informative document containing information of a different form from that of normally published in a normative document.
Amendment	Amd	An amendment alters and/or adds to previously agreed technical provisions in an existing standard.
Technical Committee	ISO/TC	A technical body responsible for the programming and planning of technical work and the monitoring and execution of this technical work. The ISO/TC is also responsible for the consensus building process among its members for individual work items.
Subcommittee	SC	A technical body reporting to an ISO/TC which, within its scope which is covered by the scope of its parent ISO/TC, is responsible for the monitoring and execution of the technical work. The SC is also responsible for the approval and consensus building process among its members for individual work items.
ISO/TC Working group and ISO/SC Working group	WG	A technical body, appointed by the ISO/TC or ISO/SC and composed of experts, responsible for the drafting of standards, in accordance to the ISO rules and the clear specifications set by the ISO/TC or ISO/SC.
Editing Committee	---	A committee set up by a technical body (ISO/TC or SC) at the beginning of its work, which represents the three official languages of ISO. It is responsible for the correct formulation and presentation of the standard(s) prepared by the technical body (ISO/TC or SC) and the equivalence of the texts in the three official languages.
Participating member	P-member	A member body participating actively in the work of a TC or SC, with an obligation to vote on all questions formally submitted for voting within the TC or SC on enquiry drafts and final draft international standards and, wherever possible, to participate in meetings.
Work Item number	WI	The identification number given to a standards project in a standards work programme. It is intended that the standards project leads to the issue of a new, amended or revised standard, an ISO/PAS, ISO/TS or other ISO product.
Vienna Agreement	VA	Agreement on technical cooperation between ISO and CEN.
VA ISO lead (5.1)	---	Technical cooperation between ISO and CEN under the VA, where the work is done by the ISO/TC, where a formal notification of interest was received by ISO from CEN, and where parallel synchronized procedures are applied in ISO and CEN for the approval processes.
VA CEN lead (5.2)	---	Technical cooperation between ISO and CEN under the VA, where the work is done by the CEN/TC or SC, where

**Draft Business Plan of
ISO/TC 211**

Date: 2003-11-27

Version: Draft

Page: 13

Term	Abbrev.	Definition
		a formal notification of interest was received by CEN from ISO, and where parallel synchronized procedures are applied in ISO and CEN for the approval processes.
ISO stakeholders	---	Individuals, institutions, organizations or enterprises who have a direct or indirect interest in the ISO System, its activities and products and who have a specific interest in the effective programming of ISO work items and their adequate resourcing.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

^{1.} CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TM</p>	^{2.} DATA <p style="text-align: center;">14 de dezembro de 2005</p>	^{3.} DOCUMENTO N° <p style="text-align: center;">CTA/ITA-IEC/TM-005/2005</p>	^{4.} N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">129</p>			
^{5.} TÍTULO E SUBTÍTULO: OMT-G Temporal: Uma Técnica de Extensão do Modelo OMT-G para Representar os Aspectos Temporais de Dados Geográficos						
^{6.} AUTOR(ES): Giovani Volnei Meinerz						
^{7.} INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciência da Computação – ITA/IEC						
^{8.} PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Sistemas de Informação Geográficos, Modelos de Dados Geográficos, Bancos de Dados Geográficos, Técnicas de Modelagem Conceitual Temporal de Dados						
^{9.} PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Desenvolvimento de software; Sistema de Informação Geográfica; Banco de dados; Programas de aplicação (computadores); Reconhecimento de padrões; Engenharia de software						
^{10.} APRESENTAÇÃO: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="text-align: center;">X Nacional</td> <td style="text-align: center;">Internacional</td> </tr> </table> ITA, São José dos Campos, 2005 _129_ páginas					X Nacional	Internacional
	X Nacional	Internacional				
^{11.} RESUMO: A utilização de modelos conceituais para o processo de desenvolvimento de aplicações em geral é de fundamental importância. Aplicações geográficas precisam gerenciar objetos espaciais, juntamente com não-espaciais, bem como objetos temporais. Este fator vem exigindo considerável esforço no desenvolvimento de aplicações geográficas. A complexidade na manipulação dessas informações temporais vem demandando esforços ainda maiores na modelagem conceitual, para que estas realmente permitam a representação dos fenômenos naturais e suas variações no tempo. Modelos de dados geográficos, incluindo o modelo de dados para aplicações geográficas OMT-G, propõem algumas primitivas para a criação de esquemas estáticos, dinâmicos e de apresentação utilizados para modelagem de aplicações geográficas. Apesar da sua expressividade, este modelo ainda não tem recursos para representação de aspectos temporais de dados geográficos. Este trabalho propõe e exemplifica um conjunto de primitivas temporais, projetadas para complementar e estender o OMT-G. O trabalho também inclui o desenvolvimento de uma ferramenta de modelagem, chamada <i>Geo-Temporal</i> , que oferece suporte ao desenvolvimento de aplicações espaço-temporais usando a extensão temporal criada para o OMT-G.						
^{12.} GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO						

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)