

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

**Interoperabilidade em Sistemas de Informação Geográfica
Recurso à Norma OpenGIS**

José Fernando Madureira Martins

Graduado com o
Curso de Estudos Superiores Especializados em Engenharia Informática Industrial pelo
Instituto Superior de Engenharia do Porto do
Instituto Politécnico do Porto

Dissertação submetida para a satisfação parcial dos
requisitos do grau de mestre
em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização de Informática Industrial)

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor António Augusto de Sousa,

do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Setembro de 1999

Interoperabilidade em Sistemas de Informação Geográfica
Recurso à Norma OpenGIS

Resumo

A interoperabilidade é um factor competitivo de tremenda importância na área da informática em geral. Nos sistemas de informação geográfica, a interoperabilidade é um meio que poderá possibilitar a integração de um vasto conjunto de dados georeferenciados distribuídos por uma panóplia de plataformas de hardware e software podendo, adicionalmente, também tornar os sistemas de informação geográfica numa ferramenta acessível a um vasto leque de utilizadores.

No passado recente, o esforço centrou-se no desenvolvimento de mecanismos que possibilitassem a transferência de dados entre sistemas dissimilares. Casos notáveis desse esforço, foram as várias normas nacionais que surgiram em diversos países, como nos Estados Unidos da América, Reino Unido, França, etc. No entanto, este esforço não promoveu a interoperabilidade, visto que os dados eram transferidos e não partilhados.

O aparecimento, no início da década de 90, das tecnologias de objectos distribuídos, foi um poderoso incentivo ao desenvolvimento de soluções interoperáveis. Neste contexto, surgiu a norma OpenGIS, cuja a primeira especificação data de 1996. Esta norma tem como objectivos principais resolver os actuais problemas de partilha de dados georeferenciados e possibilitar a evolução dos sistemas de informação geográfica, de um antiquado sistema monolítico com base de dados hermética, para um mundo de *componentware* e tecnologias de objectos distribuídos.

A norma OpenGIS encontra-se, actualmente, em fase de desenvolvimento e muito trabalho terá ainda que ser realizado, até que os seus objectivos possam ser totalmente atingidos. No entanto, pode-se afirmar que esta norma é uma das tentativas mais ousadas na área dos sistemas de informação geográfica, pois poderá redefinir por completo a forma como são, encarados, desenvolvidas e utilizados os sistemas em causa.

A análise efectuada à norma OpenGIS permite concluir que esta é suficientemente flexível para se adaptar a uma vasta gama de situações. Pode ser utilizada, na sua máxima expressão, para conceber uma aplicação, ou, em contraste pode também ser utilizada como substituto dos velhos métodos de transferência de dados entre sistemas de informação geográfica monolíticos.

Summary

Interoperability is a competitive factor of tremendous importance in the information technology world. For the geographical information systems, interoperability will facilitate the integration of a vast volume of spatial data distributed in a wide range of hardware and software platforms, it will also transform the geographical information system in a accessible tool, that can be used by all sorts of users.

In the past, the main effort was centered in the development of solutions that would allow the transfer of spatial data among non-compatible systems. Notable cases of that effort, were the national standards developed by several countries, like the United States of America, the United Kingdom, France, and many others. However, this effort didn't promote interoperability, because the data was transferred and not shared.

The appearing, in the early 90's, of the distributed computing platforms, was a powerful incentive to the development of interoperable solutions. In this context, the OpenGIS standard appeared. This standard has the followings prime objectives: to solve the actual problems of spatial data sharing and to facilitate the evolution of the geographical information system, from an antiquated monolithic system with closed databases, to a world of componentware and distributed computing platforms.

In the present, the standard is being developed. A lot of work still have to be done, until its objectives can be totally accomplished. However, it can be affirmed that the OpenGIS standard is one of the most daring attempts in the area of the geographical information systems, because it can redefine completely the way they are precept and used.

The analysis to the OpenGIS standard produced the following conclusion, that the standard is sufficiently flexible to adapt to a vast range of situations. It can be used, in its maximum expression, to conceive an application, or, in contrast it can also be used as substitute of the old methods used for the transfer of data among monolithical geographical information systems.

Le résumé

La interoperabilité est un facteur compétitif de très grande importance dans le monde de la technologie de l'information. Pour les systèmes de l'information géographiques, les interoperabilités faciliteront l'intégration d'un volume vaste de données spatiales distribuées dans une grande gamme de plate-formes du software et hardware, il transformera aussi le système de l'information géographique dans un outil accessible qui peut être utilisé par toutes les sortes d'utilisateurs.

Dans le passé, l'effort principal a été centré dans le développement de solutions qui autoriseraient le transfert de données spatiales parmi systèmes non-compatibles. Cas notables de cet effort, étaient les normes nationales développées par plusieurs pays, comme les États-Unis d'Amérique, le Royaume-Uni, la France, et beaucoup d'autres. Cependant, cet effort n'a pas encouragé l'interoperabilité, parce que les données ont été transférées et pas partagées.

Le problème, dans les tout début des années 90, des technologies des objets distribués, était une motivation puissante au développement de solutions interoperables. Dans ce contexte, la norme OpenGIS a paru. Cette norme a les suivants objectifs principaux: résoudre les problèmes réels de partage des données spatiales et faciliter l'évolution du système de l'information géographique, d'un système monolithique vieillissant avec des bases de données fermées, à un monde de componentware et à des technologies des objets distribués.

À présent, la norme est développée. Beaucoup de travail doit encore être fait, jusqu'à ce que ses objectifs puissent être accomplis totalement. Cependant, il peut être affirmé que la norme OpenGIS est une des tentatives les plus audacieuses dans la région des systèmes de l'information géographique, parce qu'il peut redéfinir complètement le chemin qui est précepte et usage.

L'analyse de la norme OpenGIS a produit la conclusion suivante, que la norme est suffisamment flexible pour adapter à une gamme vaste de situations. Il peut être utilisé, dans son expression maximale, concevoir un programme, ou, par contraste il peut aussi être utilisé comme remplaçant des vieilles méthodes utilisées pour le transfert de données parmi systèmes de l'information géographiques monolithiques.

Prefácio

Os Sistemas de Informação Geográfica têm demonstrado a sua importância num número de áreas cada vez maior. Um domínio que começou de uma forma restrita e limitada, destinada a um grupo privilegiado de especialistas, evoluiu imenso ao longo de três décadas, tornou-se mais poderoso, abrangente e passou a envolver milhões de pessoas a nível mundial, muitas das quais pouco ou nada sabem do domínio em causa.

Esta evolução trouxe muitos benefícios e muitas mudanças na forma de trabalhar e encarar os problemas de natureza geográfica. No entanto, a progressiva diversidade de soluções, o número crescente de organizações e indivíduos que utilizam e desenvolvem sistemas e aplicações neste domínio vieram trazer um novo tipo de problema, de difícil resolução, que com o simples passar do tempo, se torna potencialmente mais complexo.

A impossibilidade de partilhar informação e funcionalidades entre sistemas distintos, eis o problema. Um problema muito comum, sem uma resolução simples, mas que terá de ser encontrada. A sua não resolução comporta custos inportáveis devido a redundância de esforço explícito à obtenção das entidades não partilhadas. Em contraste, a resolução do problema implica custos elevados, mas por mais elevados que sejam, serão sempre infinitamente mais reduzidos, quando comparados aos custos inerentes à não partilha de dados e de funcionalidades.

Existem duas aproximações possíveis para resolver este problema. Uma delas remedeia, a outra previne. A maioria das soluções surgem como consequência directa da existência do problema e dos respectivos custos em tempo e recursos por ele provocados. No entanto algumas soluções previnem o seu aparecimento, criando um conjunto de condições que garantem a partilha de informação e funcionalidades, tanto no presente como no futuro.

E como “Mais vale prevenir que remediar”, torna-se claro qual será a solução a seguir...

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às seguintes pessoas pelo apoio que recebi durante a realização desta dissertação:

aos meus pais, aos meus avós e ao meu irmão;

ao meu orientador, Prof. António Augusto de Sousa;

ao Eng.º Aurélio Pires, co-orientador;

ao Prof. Alexandre Sousa;

ao Eng.º Alexandre Carvalho, à Eng.ª Ana Cláudia e ao Eng.º António Machado;

e a todos os meus colegas da Unidade de Sistemas de Informação e Computação Gráfica do INESC Porto.

Índice

1	INTRODUÇÃO	11
2	ENQUADRAMENTO TECNOLÓGICO.....	13
2.1	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	14
2.1.1	Dados geo-referenciados ou Geo-dados	14
2.1.2	Geo-processamento ou Funcionalidade.....	16
2.2	INTEROPERABILIDADE NOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	17
2.2.1	Interoperabilidade.....	17
2.2.2	A Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica.....	18
2.2.3	Potenciais Benefícios da Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica.....	20
2.2.4	Antecedentes históricos do problema da Não-Interoperabilidade	21
2.2.5	Antecedentes históricos na obtenção da Interoperabilidade.....	24
2.2.6	Interoperabilidade por especificação.....	37
2.2.7	As Normas da Série ISO-9100 da TC 211.....	38
2.2.8	A Norma da CEN-TC 287	39
2.2.9	A Norma OpenGIS	39
2.3	TECNOLOGIAS DE OBJECTOS DISTRIBUÍDOS	41
2.3.1	Sistema Cliente – Servidor	41
2.3.2	Objectos Distribuídos.....	41
2.3.3	Distribuição de Objectos sobre a Rede.....	42
2.3.4	Modelo e Gestão dos Objectos.....	42
2.3.5	Áreas de Aplicação das Tecnologias de Objectos Distribuídos.....	43
2.3.6	Impacto das Tecnologias de Objectos Distribuídos na Interoperabilidade	46
3	A NORMA OPENGIS.....	47
3.1	O CONSÓRCIO E A ESPECIFICAÇÃO	48
3.1.1	O Consórcio OpenGIS	48
3.1.2	A Especificação OpenGIS.....	48
3.2	MODELO ABERTO DE GEO-DADOS.....	50
3.2.1	Introdução ao Conceito de Features e Coverages	50
3.2.2	Features.....	51
3.2.3	Feature Collection.....	52
3.2.4	Coverages.....	52
3.2.5	Geometria.....	53
3.2.6	Sistema de Referência Espacial	55
3.2.7	Meta-dados.....	55
3.3	MODELO DE SERVIÇOS OPENGIS	56
3.3.1	Serviços Partilhados do Domínio Geo-espacial	56
3.4	MODELO DE COMUNIDADES DE INFORMAÇÃO.....	58
3.5	POTENCIALIDADES DA NORMA OPENGIS.....	58
3.6	COOPERAÇÃO INTERNACIONAL	60
3.6.1	O White Paper.....	60
3.6.2	O Projecto GIPSIE.....	60
4	IMPLEMENTAÇÕES EM CONFORMIDADE COM A NORMA OPENGIS	62
4.1	O PARADIGMA ANTIGO	63
4.1.1	Descrição do problema	63
4.1.2	As Alternativas de Implementação.....	66
4.1.3	Considerações sobre a implementação em CORBA.....	69
4.1.4	OpenGIS Simple Features Specification for CORBA.....	70
4.1.5	CORBA na Configuração Cliente – Servidor.....	71
4.1.6	Container Feature Collection	72
4.1.7	Feature Types.....	73
4.1.8	Feature Collection.....	75
4.1.9	Feature.....	75
4.1.10	Sistema de Referência Espacial	77

4.1.11	<i>Geometria</i>	77
4.1.12	<i>Considerações Finais</i>	80
4.2	O PARADIGMA FUTURO.....	82
4.2.1	<i>Descrição do Problema</i>	82
4.2.2	<i>Solução - A norma OpenGIS</i>	82
4.2.3	<i>Partilha de Geo-dados</i>	83
4.2.4	<i>Partilha de Funcionalidades</i>	86
4.2.5	<i>Considerações Finais</i>	87
5	CONCLUSÕES.....	89
5.1	CONCLUSÕES DE CARACTER GERAL.....	90
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO.....	91
6	REFERÊNCIAS.....	92

Índice de Figuras

FIG. 1 – MAPA DIGITAL.....	15
FIG. 2 – VARIEDADES DE GEO-DADOS.....	16
FIG. 3 – GRÁFICO DO VOLUME DE GEO-DADOS CAPTURADOS [OGG 98].....	19
FIG. 4 – TRANSFERÊNCIA DE DADOS.....	25
FIG. 5 – CONVERSÃO ENTRE FORMATOS PROPRIETÁRIOS.....	26
FIG. 6 – IMPRATICABILIDADE DO CONVERSOR DE FORMATOS.....	27
FIG. 7 – CONVERSOR SWITCHYARD.....	28
FIG. 8 – FORMATO NEUTRO.....	29
FIG. 9 – PARTILHA DE GEO-DADOS NUM SISTEMA MULTI-UTILIZADOR.....	33
FIG. 10 – PARTILHA DE GEO-DADOS EM REDE.....	33
FIG. 11 – EVOLUÇÃO DE UMA APLICAÇÃO LOCAL PARA UMA APLICAÇÃO TOTALMENTE COMPOSTA POR COMPONENTES.....	36
FIG. 12 – INTEROPERABILIDADE – O PARADIGMA ANTIGO.....	40
FIG. 13 – INTEROPERABILIDADE – A NOVA TENDÊNCIA.....	40
FIG. 14 – INTERFACES DISTRIBUÍDAS.....	43
FIG. 15 – MÚLTIPLO ACESSO A UMA BASE DE DADOS.....	44
FIG. 16 – BASE DE DADOS DISTRIBUÍDA.....	44
FIG. 17 – MÚLTIPLO ACESSO A UMA BASE DE DADOS DISTRIBUÍDA.....	45
FIG. 18 – PROCESSAMENTO DISTRIBUÍDO.....	45
FIG. 19 – ESPECIFICAÇÃO ABSTRACTA E VÁRIAS ESPECIFICAÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO POSSÍVEIS [OGG 98].....	50
FIG. 20 – A <i>FEATURE</i> E O CONJUNTO DE PROPRIEDADES ASSOCIADAS.....	51
FIG. 21 – COVERAGE.....	52
FIG. 22 – REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS DOS ELEMENTOS DE GEOMETRIA.....	53
FIG. 23 – GEOMETRIA – MODELO DE OBJECTOS.....	54
FIG. 24 – MAPA BASE.....	63
FIG. 25 – MAPA BASE COM OS EIXOS DE VIA.....	63
FIG. 26 – MAPA DIGITAL DA APLICAÇÃO B COM OS EIXOS DE VIA.....	64
FIG. 27 – ARQUITECTURA DA SOLUÇÃO OPENGIS PARA O PROBLEMA DESCRITO.....	72
FIG. 28 – DIAGRAMA PARCIAL DO MODELO DA FEATURE (ÊNFASE NA <i>CONTAINERFEATURECOLLECTION</i>).....	73
FIG. 29 – DIAGRAMA PARCIAL DO MODELO DA FEATURE (ÊNFASE NA <i>FEATURETYPE</i>).....	74
FIG. 30 – CAIXA DE DIÁLOGO DO SOFTWARE DO SERVIDOR UTILIZADA PARA A CRIAÇÃO DAS <i>FEATURETYPE</i>	74
FIG. 31 – DIAGRAMA PARCIAL DO MODELO DA FEATURE (ÊNFASE NA FEATURE).....	76
FIG. 32 – VISUALIZAÇÃO DA GEOMETRIA DOS EIXOS DE VIA NO SOFTWARE DO SERVIDOR.....	78
FIG. 33 – GEOMETRIA DE UM EIXO DE VIA.....	78
FIG. 34 – ARRUAMENTOS CONSTITUÍDOS POR VÁRIAS LINESTRINGS.....	83
FIG. 35 – UTILIZAÇÃO DE VÁRIOS SERVIDORES DO MAPA BASE.....	85

Lista de Tabelas

TAB. 1 – TABELA DE ATRIBUTOS.....	15
TAB. 2 – FICHEIRO EM FORMATO ASCII.....	65
TAB. 3 – DEFINIÇÃO EM IDL DAS WKS_COORDINATE E WKS_LINESTRING.....	79
TAB. 4 – PROPRIEDADES SEMÂNTICAS DA <i>FEATURE</i> ARRUAMENTO.....	84

Lista de abreviaturas e símbolos

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CAD	Computer Assisted Design
CD-ROM	Compact Disk – Read Only Memory
CEN	Comissão Europeia de Normalização
COM	Component Object Model
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
DBF	Database Format
DoD	Department of Defense
DTM	Digital Terrain Model
EBNF	Extended Backus Naur Form
FD	Floppy Disk
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format
GIS	Geographical Information System
HTML	Hyper Text Modeling Language
IDL	Interface Description Language
ISO	International Standards Association
NTF	National Transfer Format
OGC	OpenGIS Consortium, Inc.
OLE	Object Linking and Embedding
OMG	Object Management Group
SDTS	Spatial Data Transfer Standard
SGBD	Sistema de Gestão de Base de dados
SO	Sistema Operativo
SQL	Structured Query Language
TIN	Triangulated Irregular Network
TSSDS	Tri Service Spatial Data Standard
WKB	Well Known Binary
WKS	Well Known Structures
WKT	Well Known Text
WWW	World Wide Web

1 Introdução

A obtenção da interoperabilidade é uma das tendências actuais no domínio dos sistemas de informação. A sua importância é de carácter estratégico, visto que poderá ditar o sucesso ou insucesso de soluções emergentes no domínio em causa.

Particularizando para a área dos sistemas de informação geográfica, pode-se facilmente concluir que a interoperabilidade é tanto ou mais importante do que em outras áreas do domínio dos sistemas de informação. Isto porque como todos nós partilhamos a mesma Terra, consequentemente, também partilhamos a mesma geografia.

Infelizmente, o caminho para a obtenção da interoperabilidade tem sido longo e árduo; dificuldades de diversas naturezas e origens têm contribuído para que tal aconteça. No entanto, os ganhos que poderão ser obtidos, garantem que inexoravelmente tal objectivo venha a ser atingido.

A popularização das tecnologias de objectos distribuídos ao longo da década de 90, demonstrou ser uma das maiores contribuições realizadas no sentido de possibilitar a interoperabilidade. Neste contexto, surgiu a norma OpenGIS, que tem o objectivo de possibilitar a interoperabilidade no seio das comunidades dos sistemas de informação geográfica.

Pretende-se assim, nesta dissertação, verificar até que ponto esta norma é uma opção viável para garantir a interoperabilidade na comunidade em causa. Nesse sentido, descreve-se em pormenor uma implementação em conformidade com a norma OpenGIS, como meio de conhecer as potencialidades e limitações inerentes à sua utilização.

É importante referir que a norma OpenGIS se encontra ainda em fase de desenvolvimento, o que em parte limita a variedade de trabalho a ser efectuado. No entanto, é possível desde já observar até que ponto a norma apresenta uma suficiente flexibilidade para servir de meio de ligação entre a realidade actual e outras que o futuro poderá trazer.

Tal observação passa pela utilização da norma na definição de uma interligação entre aplicações monolíticas existentes, bem como na construção de um novo e revolucionário tipo de software, o *componentware* para sistemas GIS.

O presente documento encontra-se estruturado da seguinte forma:

Numa primeira parte, é realizado um enquadramento tecnológico que visa descrever um conjunto de conceitos e aspectos, com o objectivo de estabelecer o contexto em que a norma OpenGIS se insere, a nível tecnológico, tanto na actualidade como num futuro próximo.

Em seguida, a norma OpenGIS é analisada, com o intuito de identificar as suas principais características e descrever os métodos utilizados na obtenção da interoperabilidade.

Por último, são descritas duas implementações em conformidade com a norma e baseadas numa tecnologia de objectos distribuídos. As duas implementações representam dois extremos opostos no processo evolutivo da interoperabilidade no sistemas de informação geográfica.

O documento termina com as principais conclusões do trabalho efectuado, englobando algumas pistas para os trabalhos futuros.

2 Enquadramento Tecnológico

Este capítulo tem como objectivo realizar uma descrição de conceitos e aspectos relacionados com a interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica.

São abordados os principais incentivos, benefícios e entraves associados à sua obtenção. É também realizada uma breve panorâmica histórica das soluções tecnológicas utilizadas, como o conversor de formatos, os formatos neutros e as tecnologias de objectos distribuídos. Finalmente, é avaliado o impacto da norma OpenGIS, quando enquadrada no contexto dos antecedentes históricos da obtenção da interoperabilidade entre os Sistemas de Informação Geográfica.

2.1 Sistemas de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica – *Geographical Information System* (GIS) têm vindo a ser utilizados há bastante tempo, pelo que existe, um bom entendimento, por parte das pessoas envolvidas, do que é um sistema GIS, para que serve e como funciona. Estes sistemas têm, como denominador comum, uma inequívoca relação com a geografia e a cartografia, onde vão buscar muitos princípios e conceitos.

Existe um grande número de definições de GIS que, apesar de terem sido idealizadas por diferentes pessoas, em diferentes lugares e em períodos diferentes, são na sua maioria semelhantes.

Nesse sentido, um GIS pode ser definido, de acordo com vários autores: como um sistema utilizado para capturar, armazenar, validar, integrar, manipular, analisar e visualizar dados geo-referenciados na Terra [Chorley 87]. Poderá também ser definido como sendo um sistema de hardware, software e pessoas concebido para suportar a captura, gestão, manipulação, análise, modelação e visualização de dados geo-referenciados e com a capacidade de resolver problemas complexos de planeamento e gestão [Cowen 89]. Ou como um sistema automático utilizado na captura, armazenamento, consulta, análise e visualização de dados geo-referenciados [Clarke 90].

Das três definições acima apresentadas, pode-se, facilmente, retirar algumas características comuns:

- Sistema Informático;
- Dados geo-referenciados, ou seja, relacionados com uma localização relativa à superfície da Terra;
- Conjunto de Funcionalidades.

Analiticamente, um Sistema de Informação Geográfica, pode ser definido como um sistema informático que mantém dados geo-referenciados e que adicionalmente disponibiliza um conjunto de funcionalidades, que poderão ser aplicadas a esses dados.

A partir da definição de Sistema de Informação Geográfica, pode-se avançar para uma definição mais precisa de dados geo-referenciados e das respectivas operações.

2.1.1 Dados geo-referenciados ou Geo-dados

Como foi visto, uma das características comuns a todos os sistemas GIS, consiste na existência de dados geo-referenciados, que podem ser definidos como sendo os dados utilizados na descrição de fenómenos directa ou indirectamente associados com uma localização (tempo e orientação) relativa à superfície terrestre [OGG 98].

Os geo-dados têm vindo a ser capturados há mais de três décadas. Durante este período muitas formas de representação foram adoptadas, devido fundamentalmente aos diferentes métodos de captura e de armazenamento utilizados, aos diversos tipos de manipulação e de análise pretendidas e pelas limitações de carácter tecnológico.

Infelizmente, isto produziu uma natureza muito diversificada de geo-dados. A maioria destes são independentes em relações aos demais, o que complica consideravelmente o processo de integração.

Os geo-dados podem ser mapas digitais ou atributos alfanuméricos das entidades existentes nesses mapas, podendo os mapas digitais ser de vários tipos: vectoriais, matriciais ou modelo digital de terreno (*Digital Terrain Model* - DTM), podem também ser uma combinação destes tipos. Os atributos poderão ser cadeias de caracteres, valores numéricos, datas, valores booleanos, etc.

Como exemplo, pode ver-se na Fig.1 um mapa digital vectorial, onde se encontram representados vários edifícios e um arruamento. Cada edifício é identificado por um índice, que permite realizar uma associação com um conjunto de atributos. Na Tab.1, pode observar-se o conjunto de atributos dos edifícios, composto por dois valores alfanuméricos (endereço e o nome do proprietário) e um valor numérico (preço de venda ao público - PVP).

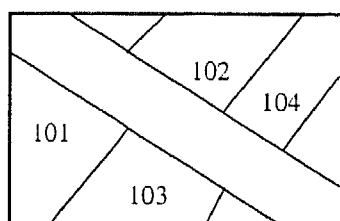


Fig. 1 - Mapa Digital.

ID #	Endereço	Proprietário	PVP
101	Rua de S. João, 81	José Silva	33000
102	Rua de S. João, 82	Rui Costa	15500
103	Rua de S. João, 83	Ana Pinto	20000
104	Rua de S. João, 84	Luís Martins	11000

Tab.1 - Tabela de Atributos.

Na Fig.2 encontra-se representado um diagrama das variedades de geo-dados existentes. Como já foi visto, anteriormente, os geo-dados dividem-se em dois grandes grupos: os mapas digitais e os atributos.

Um mapa digital do tipo DTM, consiste numa representação tridimensional do relevo da superfície terrestre. Num DTM baseado em células, o relevo é constituído pela agregação de faces quadrangulares regulares. Num DTM do tipo *Triangulated Irregular Network* (TIN), o relevo é constituído pela agregação de faces triangulares irregulares.

Um mapa digital do tipo vectorial, baseia-se nos mesmos princípios de uma imagem vectorial, ou seja, a imagem é constituída por um conjunto de elementos geométricos básicos, como pontos, linhas, arcos, polígonos. Estes mapas digitais são, normalmente, bidimensionais, podendo, no entanto, ser projectados sobre um DTM, adicionado, assim, mais uma coordenada ao mapa.

Um mapa digital do tipo matricial, consiste fundamentalmente numa imagem matricial (*raster*), que nada mais é que uma matriz de valores numéricos, que identificam uma determinada cor, cada um desses valores encontram-se, normalmente, associados a um ou mais *pixels* no ecrã. Os mapas do tipo matricial armazenam imagens orto-rectificadas de fotografias aéreas ou de satélite. Tal como, sucedia com os mapas vectoriais, os mapas matriciais são normalmente bidimensionais, no entanto, podem também ser projectados sobre um DTM.

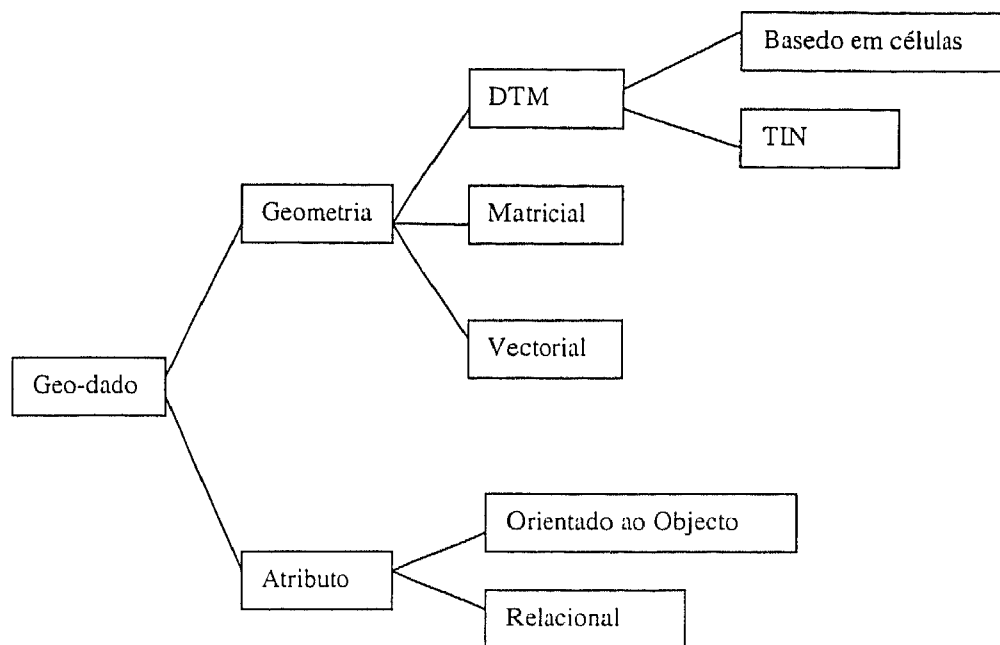


Fig. 2 – Variedades de Geo-dados.

Os atributos poderão ser armazenados em campos de tabelas pertencentes a uma base de dados relacional ou em objectos.

2.1.2 Geo-processamento ou Funcionalidade

O geo-processamento ou funcionalidade poderá ser qualquer aplicação, programa, rotina, função ou componente que processe geo-dados. É normalmente de natureza complexa e consideravelmente exigente a nível tecnológico. Em parte, tais características surgem devido ao grande volume e complexidade dos geo-dados a serem processados.

Uma funcionalidade pode ser formalmente definida como sendo todo o tipo de esforço computacional que utiliza dados geográficos digitais [OGG 98].

Existe uma grande variedade de funcionalidades; no entanto podem ser enquadrados dentro de grandes áreas funcionais de um GIS [MaD 91]:

- Captura, Transferência, Validação e Edição – funções utilizadas na obtenção de geo-dados precisos;
- Armazenamento – funções utilizadas na gestão de bases de dados geográficos;
- Restruturação, Generalização e Transformação – funções utilizadas na manipulação de geo-dados, com o intuito de facilitar a sua integração e aumentar o seu grau de adequação.
- Pesquisa e Análise – Consideradas as funções mais importantes de um GIS, possibilitam a obtenção de informação útil a partir do conjunto de geo-dados existente.
- Visualização – Apresentação de resultados: mapas temáticos, gráficos estatísticos, relatórios, etc.

Com estes conceitos definidos, pode-se partir para a Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica.

2.2 Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica

A interoperabilidade em sistemas informáticos é uma necessidade identificada e com alguns resultados visíveis. A sua utilização nos sistemas GIS tem no entanto algumas particularidades que interessa realçar.

2.2.1 *Interoperabilidade*

A interoperabilidade é um termo em voga, que tem sido muito utilizado durante a década que agora finda. Infelizmente, foi aplicado de uma forma tão irrestrita, que quase perdeu o seu significado e, apesar de nos encontrarmos no limiar do milénio, a interoperabilidade continua, ainda, a ser um termo vago e nebuloso para muita gente.

Tal situação advém, fundamentalmente, da tendência de associar o termo a toda uma panóplia de produtos e soluções informáticas comerciais, com um intuito puramente publicitário. Infelizmente, uma parte considerável destes produtos, pouco ou nada têm de “interoperabilidade”.

Apesar de tudo que foi referido, a interoperabilidade pode ser formalmente definida como sendo a capacidade que diferentes sistemas possuem para partilhar livremente dados e funcionalidades, em tempo real e de uma forma totalmente transparente para os utilizadores [Raper 99].

Sendo assim, a definição de interoperabilidade impõe um conjunto muito específico de condições, que deverão ser respeitadas na íntegra, para que um determinado sistema possa ser classificado como interoperável.

Um sistema que garanta a interoperabilidade, deverá:

- Garantir a interacção entre sistemas dissimilares, ao nível de hardware, software e comunidades de utilizadores.
- Possibilitar a partilha de dados e funcionalidades, sem redundância nem inconsistências.
- Possuir um desempenho suficiente que não comprometa o seu funcionamento geral durante o processo de partilha.
- Automatizar os mecanismos de partilha, ao ponto de nunca perturbar o fluxo regular de trabalho dos utilizadores.

Existem sistemas que reúnem algumas das características necessárias à obtenção da interoperabilidade, podendo dessa forma ser classificados como possuindo um menor ou maior grau de interoperabilidade.

Os sistemas interoperáveis poderão existir em todo um vasto conjunto de áreas e domínios de conhecimento. No entanto interessa-nos, neste documento, analisar a sua utilização na área relativa aos Sistemas de Informação Geográfica.

2.2.2 *A Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica*

De acordo com a [OGG 98], a interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica pode ser definida como sendo a capacidade que os sistemas de informação geográfica possuem para:

- Partilhar livremente todos os tipos de geo-dados.
- Executar, cooperativamente, e com recurso às redes de comunicação digitais, aplicações capazes de manipular todo o tipo de geo-dados partilhados

A interoperabilidade é bastante importante em qualquer ramo da informática. No entanto existe um conjunto de factores que a tornam particularmente vital para os sistemas GIS e que se descrevem seguidamente como sendo os “incentivos” à sua utilização.

O Denominador Comum ⇔ O Planeta Terra

A necessidade de interoperabilidade num sistema GIS prende-se com o denominador comum existente em parte dos dados por ele manipulados, que consiste no facto de que todos nós partilhamos o mesmo planeta e consequentemente a sua geografia [OGG 98].

Poderão existir diversas organizações com objectivos e funções distintas, com visões próprias do mundo que as rodeia, mas se todas estas organizações necessitarem de um mapa digital de uma mesma região, pode-se com toda a certeza afirmar que parte dos dados existentes nesse mapa poderão ser partilhados entre várias organizações, por muito diferentes que sejam.

Diferentes organizações podem identificar diferentes aspectos geográficos como sendo mais ou menos importantes. Certas organizações poderão achar muito importante identificar as vias de comunicação e os edifícios no mapa, outras poderão considerar mais importante identificar as distribuições espaço-temporais da flora e fauna, enquanto outras darão mais importância a fenómenos meteorológicos existentes na atmosfera terrestre.

Mesmo quando duas organizações consideram um mesmo aspecto geográfico como sendo relevante, a forma como esse aspecto é interpretado poderá variar consideravelmente. Por exemplo: uma estrada é interpretada de forma diferente por um engenheiro civil e por um ecologista. No primeiro caso a estrada é vista como uma estrutura pública com determinadas implicações legais e um conjunto de características técnicas, enquanto que no segundo, a estrada poderá ser vista como uma barreira que afecta as populações da fauna e flora vizinhas [OGG 98].

No entanto, existe sempre um mapa base comum a todas as aplicações GIS que partilhem uma mesma região e dessa forma a sua geografia. A quantidade de geo-dados partilháveis será tanto maior quanto mais aproximadas forem as áreas de conhecimento associadas às respectivas aplicações GIS.

A Criação de Mapas Digitais ⇔ Os Custos Associados

Um poderoso incentivo à interoperabilidade entre sistemas GIS consiste nos elevados custos associados com os processos de criação de mapas digitais que, em muitos casos, chegam a atingir 80 % do custo total do desenvolvimento dos sistemas [Korte 97].

A criação de mapas digitais poderá passar pela utilização de fotografia aérea, imagem satélite, levantamentos de campos e por lentos processos de vectorização manual de mapas em papel. Todos estes métodos são dispendiosos, pelo que se torna muito importante reduzir a sua utilização ao mínimo indispensável.

Idealmente, só deveriam ser digitalizados mapas que ainda não existissem em formato digital. Na prática, nem sempre é possível respeitar tal regra. Em certas situações, os detentores do mapa digital, poderão não estar interessados em partilhá-lo com terceiros. Por outro lado, o mapa digital existente, poderá não ter a qualidade ou precisão necessária, ou poderá estar irremediavelmente desactualizado.

Mesmo que se consiga encontrar uma mapa digital que satisfaça os requisitos da aplicação GIS. O mapa poderá existir num formato que não seja conhecido pelo sistema GIS, logrando dessa forma a sua utilização.

É claramente muito difícil, encontrar um mapa digital que se ajuste totalmente às necessidades de uma nova aplicação GIS. No entanto, deve aproveitar-se, dentro do possível, o material existente em formato digital, reduzindo, dessa forma, os custos associados à criação do mapa, ao mínimo indispensável.

O Grande Volume de Geo-dados Existente

Os geo-dados têm vindo a ser capturados em quantidades crescentes há pelo menos três décadas. O volume de dados acumulados é impressionante, e a tendência é continuar a crescer. Como se pode ver na Fig.3, entre o início da década de 70 e meados dos anos 80, o volume de geo-dados acumulados duplicou. No entanto, num mesmo período de tempo, entre o meio da década de 80 e o ano 2000, o volume quadruplicou.

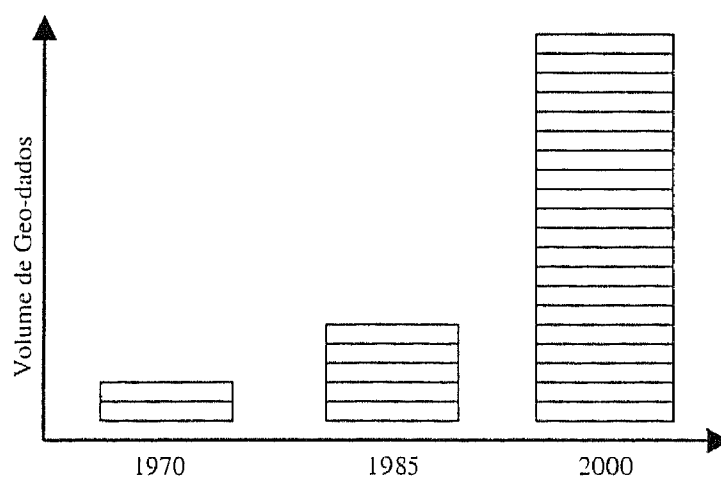


Fig. 3 – Gráfico do Volume de Geo-dados capturados [OGG 98].

Como é natural, todos estes dados se encontram distribuídos por uma infinidade de sistemas. Adicionalmente, existe também uma grande variedade de sistemas e uma ainda maior variedade de geo-dados [Flowerdew 91].

Integrar todo este vasto conjunto de geo-dados, é uma ideia demasiado tentadora, para ser ignorada. No entanto, a magnitude dos desafios e dificuldades que apresenta à sua concretização só encontra paralelo nos benefícios que poderá produzir.

2.2.3 Potenciais Benefícios da Interoperabilidade nos Sistemas de Informação Geográfica

A interoperabilidade pode ser encarada como um meio que potencia e facilita a integração de dados e funcionalidades. Sendo assim, só nesse sentido, poderá a interoperabilidade ser realmente benéfica.

Integração de Geo-dados

O principal objectivo em garantir a interoperabilidade nos sistemas GIS, consiste em obter a integração de todo o vasto conjunto de geo-dados que se encontram distribuídos pelos vários sistemas, de forma a permitir que todas as actividades de processamento desenvolvidas sobre o conjunto produzam resultados que sejam superiores à soma das partes envolvidas [Raper 99].

A integração de geo-dados desencadeia ainda todo um conjunto adicional de benefícios:

- Eliminação de geo-dados redundantes e dessa forma possíveis fontes de inconsistência.
- Uso mais racional dos recursos disponíveis, ao nível da capacidade de processamento e armazenamento.
- Redução de custos ao nível de equipamento e recursos humanos.
- Obtenção de informação mais relevante, que poderá possibilitar melhores tomadas de decisão, nomeadamente a nível estratégico.
- Democratização no acesso ao vasto conjunto global de geo-dados.

Integração de Funcionalidades

A interoperabilidade do geo-processamento, irá possibilitar a redefinição do conceito de aplicação, de entidade monolítica e estática existente em modo local, para uma agregação dinâmica e efémera de funcionalidades obtidas via rede.

A integração de funcionalidades desencadeia todo um conjunto adicional de benefícios:

- Aplicações Escaláveis, que se adaptem mais facilmente às necessidades do utilizador.
- Melhoria na qualidade geral das aplicações.
- Redução de custos de desenvolvimento e utilização das aplicações.
- Redução do período de desenvolvimento das aplicações.
- Democratização no acesso às capacidades de processamento globais.

2.2.4 Antecedentes históricos do problema da Não-Interoperabilidade

O problema da não-interoperabilidade é quase tão antigo como a própria informática. Surgiu, fundamentalmente, porque existiu sempre a liberdade a nível económico e tecnológico para desenvolver em espírito competitivo novas e diferentes soluções informáticas, tanto ao nível de hardware como ao nível de software.

O problema foi identificado quando surgiu a necessidade de transferir dados entre plataformas informáticas distintas. Tal tarefa era quase sempre de natureza bastante complexa e, em muitas situações, virtualmente impossível devido à inexistência de soluções no mercado que pudessem garantir tal transferência de dados.

Ambiente Competitivo

Um ambiente tecnologicamente competitivo e a existência de diversos produtores de hardware e software, com as suas ideias e filosofias próprias, produziu, naturalmente, resultados muito positivos, um dos quais é o nível de evolução fantástico e uma consequente redução geral nos custos do equipamento informático e do respectivo software. No entanto este ambiente gerou também graves problemas, em grande parte devido ao elevado grau de competição e ao nível geral de animosidade existente entre os diversos produtores. Muito do desenvolvimento foi efectuado “de costas para os outros” e, nesse sentido, os produtos desenvolvidos tanto ao nível de equipamento como de software eram notoriamente fechados. A transferência e a partilha de dados entre sistemas distintos, na grande maioria dos casos, era virtualmente impossível de realizar.

Nos primórdios, o desejo, por parte do cliente, de transferir ou partilhar dados entre plataformas incompatíveis, era visto pelos técnicos como um sinal de ingenuidade e de ignorância, e pelos mais pessimistas, como uma perigosa tendência para mudar de equipamento e consequentemente de fornecedor.

No entanto, este desejo era extremamente válido, se bem que aparentemente muito difícil de solucionar.

Sistemas Monolíticos

Os sistemas GIS eram fundamentalmente monolíticos, as diferentes camadas que os compunham eram indissociáveis, encontrando-se dessa forma intrinsecamente relacionadas entre si e muito dependentes da plataforma de hardware para a qual o sistema tinha sido especificamente desenvolvido.

Desenvolver um sistema desta natureza era um processo demorado e que exigia um vasto leque de especialistas. A empresa que desenvolvia o sistema GIS, além de se concentrar nas rotinas directamente associadas com a manipulação e processamento de geo-dados, teria que desviar recursos para áreas tão distintas como desenho de interfaces e sistemas de interacção com o utilizador, sistemas de gestão de base de dados e em certos casos até se tornava necessário desenvolver programas de baixo nível, como por exemplo *drivers* para interagirem com periféricos específicos tais como mesas digitalizadoras, *scanners*, etc.

O resultado deste esforço alargado, não era benéfico para a empresa responsável pelo desenvolvimento do sistema e muito menos para os respectivos utilizadores.

A empresa em causa poderia produzir melhor software se, em vez de dispersar os seus esforços por áreas tão distintas, os concentrasse no segmento principal, ou seja as rotinas de geo-processamento, deixando as restantes áreas para empresas especializadas, que conseguiriam produzir bases de dados ou sistemas de interacção mais eficientes e com custos mais reduzidos.

O utilizador teria muito a ganhar. O preço de aquisição do sistema seria mais reduzido; e haveria a opção de escolher um sistema de gestão de base de dados genérico, que além de servir o sistema GIS, poderia ter outras aplicações.

Estes sistemas GIS eram capazes de transferir e/ou partilhar dados com sistemas idênticos. No entanto, tentar realizar a mesma tarefa com outro sistema monolítico distinto poderia revelar-se um desafio difícil de superar.

A Grande Variedade de Geo-dados

A transferência e a partilha de dados entre dois sistemas dissimilares, é tanto mais complexa quanto maior for a variedade dos dados a transferir ou a partilhar.

Como foi visto na secção 2.1.1, os sistemas GIS, manipulam um vasto leque de dados, que poderá incluir diferentes tipos de geometria, utilizados na representação de mapas digitais, bem como valores alfanuméricos utilizados por exemplo, na representação da designação de um arruamento ou no nome do proprietário de um determinado edifício, e valores numéricos em diferentes formatos que podem ser usados para representar a temperatura ou o índice de pluviosidade num ponto ou numa área específica do mapa.

A forma como os geo-dados são organizados e estruturados, varia consideravelmente entre sistemas GIS. Os dados poderão ser mais ou menos rigorosos e, em certos casos, determinados dados poderão não serem sequer considerados.

Assim, a transferência e a partilha de dados poderão implicar perdas a vários níveis:

- Um sistema GIS que só suporta mapas vectoriais, se tentar utilizar um mapa digital que seja uma combinação de tipo vectorial com o matricial, irá, como é natural, perder a componente matricial do mapa.
- Um sistema GIS que armazena atributos numéricos até quatro casas decimais, se tentar armazenar valores numéricos com um número superior de casas decimais, terá de arredondar ou truncar o valor em causa.

Em certos cenários, as perdas podem ser tão graves, que invalidam por completo todo o esforço realizado na transferência ou partilha de geo-dados.

Inexistência de Estratégia de Integração

Muitas das organizações utilizadoras de sistemas GIS, são de médias a grandes dimensões, sendo constituídas por vários departamentos, muitos dos quais com um grau considerável de autonomia, no tocante a decisões a nível informático.

Em muitos casos, a iniciativa da utilização de um dado sistema GIS e o desenvolvimento de uma aplicação nesse sistema, é tomada a nível departamental com a posterior aprovação superior. Esta situação surge em parte devido à inexistência de uma política estratégica a esse nível por parte da direcção.

É assim possível que existam em certas organizações, sistemas e aplicações GIS não-interoperáveis, com um considerável volume de geo-dados comuns não-partilháveis e com o respectivo nível de inconsistência crescente ao longo do tempo.

Se o problema da não-interoperabilidade, pode existir no seio de uma organização, então entre duas organizações distintas, a probabilidade da sua existência é consideravelmente mais elevada. Cada organização tende a escolher o sistema GIS, que mais se ajuste às suas necessidades (por exemplo: um serviço municipalizado de água e electricidade irá, muito provavelmente, escolher um sistema GIS com boas funcionalidades ao nível de gestão de redes). Esta situação, agrava consideravelmente o problema da não-interoperabilidade.

Ignorância

O esforço associado à garantia de interoperabilidade entre dois sistemas poderá parecer tão desconcertante e complexo que, em determinados casos, certos utilizadores e organizações optem por criar, a partir do nada, os dados já existentes algures. Por disparatado que tal acto possa parecer, é, infelizmente, muito comum encontrarem-se situações em que tal opção foi tomada. Em grande parte, tal situação sucede por ignorância ou desconfiança em relação a novas soluções existentes no mercado, que poderiam ultrapassar eventuais problemas de não-interoperabilidade.

“É fácil, quando se sabe como.” – Charlie Chaplin

2.2.5 Antecedentes históricos na obtenção da Interoperabilidade

Se o problema da não-interoperabilidade é quase tão antigo como a própria informática, pode-se também dizer que tentativas para o solucionar são quase tão antigas como o próprio problema.

A partir do momento em que o problema foi identificado, começaram logo a surgir estratégias para o resolver. No entanto, algumas das soluções que foram surgindo, apesar de serem classificadas como promotoras de interoperabilidade, não o eram na realidade, pelo menos segundo os padrões actuais.

Essas soluções podem ser enquadradas em dois métodos distintos: a transferência de geo-dados entre sistemas GIS dissimilares e a partilha de geo-dados e de funcionalidades.

Passa-se, em seguida, a descrever o método da transferência de geo-dados, muito popular no passado e ainda com alguma importância no presente. Note-se, no entanto que, face à actual noção de interoperabilidade, já não é correcto classificá-lo desta forma.

Transferência de Geo-dados

A transferência de geo-dados é um método em que os dados a serem transferidos de um determinado GIS fonte, originam um novo conjunto de dados que poderá ser utilizado pelo GIS destino.

O novo conjunto nada mais é do que uma instância dos dados originais, totalmente independente deste. A partir do instante em que se dá a transferência, estes dois conjuntos podem sofrer evoluções distintas ao longo do tempo, pois não têm qualquer vínculo entre si.

Adicionalmente, se os dois GIS envolvidos não possuírem um formato comum para a transferência dos geo-dados, torna-se necessário realizar uma operação de conversão, que irá traduzir os dados do formato original num formato que possa ser interpretado pelo GIS destino.

O meio utilizado para garantir a transferência de dados poderá ser a memória auxiliar, caso os dois GIS coabitem localmente no mesmo sistema. Se, no entanto, estiverem em sistemas diferentes, pode utilizar-se a rede ou então uma memória auxiliar amovível (FD, CD-ROM).

A transferência de geo-dados é um método simples e pouco exigente a nível tecnológico. No entanto, tem desvantagens muito graves: é redundante, porque o mesmo conjunto de dados encontra-se duplamente instanciado; é inconsistente, porque as alterações que um dos conjuntos possa sofrer, não são reflectidas no outro; e, finalmente, faz um mau aproveitamento dos recursos de hardware disponibilizados.

Como se pode observar na Fig.4, uma actualização dos dados no GIS A, implicaria um novo processo de transferência para garantir a actualização dos dados no GIS B. Em determinadas situações, os dados no GIS B poderiam também sofrer, por sua vez, as

suas próprias alterações, tornando-se, assim, bastante mais complexo o processo de actualização.

O dados actualizados no GIS B iriam ser o resultado da conjunção das alterações nos dados do GIS A com as suas próprias alterações.

Esta tarefa é complexa, demorada e propensa a erros e inconsistências.

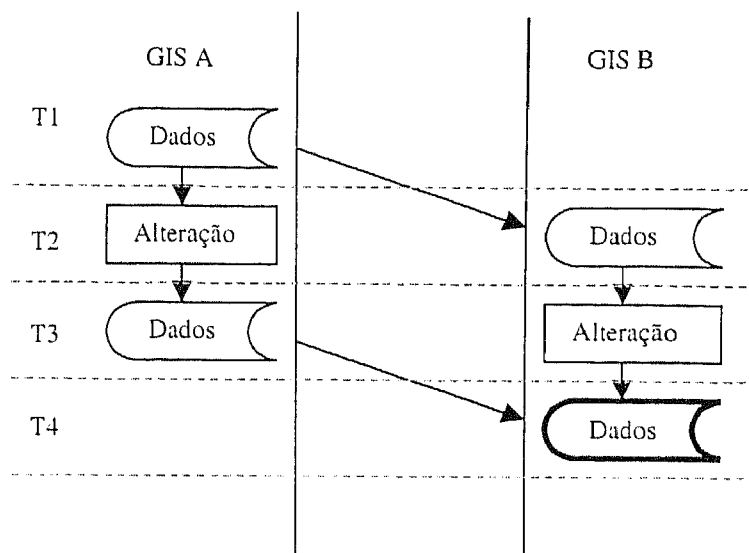


Fig. 4 – Transferência de dados.

Este método ainda é bastante utilizado e é muitas vezes rotulado como sendo “Interoperabilidade”. Tal designação é errada, pois a interoperabilidade implica partilha de dados [OGG 98], algo que não sucede neste método.

Em seguida, irão ser descritos alguns métodos baseados na transferência de geo-dados, como a conversão directa, a conversão do tipo switchyard, os formatos neutros e as normas [Gluptill 91].

Conversão Directa entre Formatos Proprietários

Para possibilitar o armazenamento em memória auxiliar dos dados mantidos por um GIS, torna-se necessário utilizar um ficheiro binário num determinado formato, que possa ser facilmente consultado ou alterado no futuro.

Formato Proprietário

Na maioria dos casos, o formato utilizado foi especialmente desenvolvido para ser utilizado pelo GIS em causa. Este tipo de formato é designado por formato proprietário, visto também ser propriedade da organização que desenvolveu o GIS.

Os formatos proprietários são bastante eficientes, uma vez que são definidos à medida para a aplicação a que dizem respeito. Por outro lado, todo o conjunto de dados criados

pelo utilizador, acaba por ficar irremediavelmente associado à aplicação em que foi criado. Se o utilizador necessitar de utilizar os dados num outro GIS, pode correr o risco, deste último não conhecer o formato utilizado.

Conversor de Formatos

Se o formato proprietário utilizado é muito popular, há boas probabilidades de outros sistemas GIS serem capazes de o interpretar. Caso contrário, terá de ser desenvolvido um programa utilitário que funciona como um conversor, convertendo o formato proprietário original no formato proprietário destino (ver Fig.5). Este utilitário é normalmente designado por conversor de formatos.

Desenvolver um utilitário desta natureza implica conhecer muito bem os dois formatos envolvidos. Nem todos os dados poderão ser convertidos e a maioria dos que serão terão que ser reorganizados e estruturados de forma distinta da original.

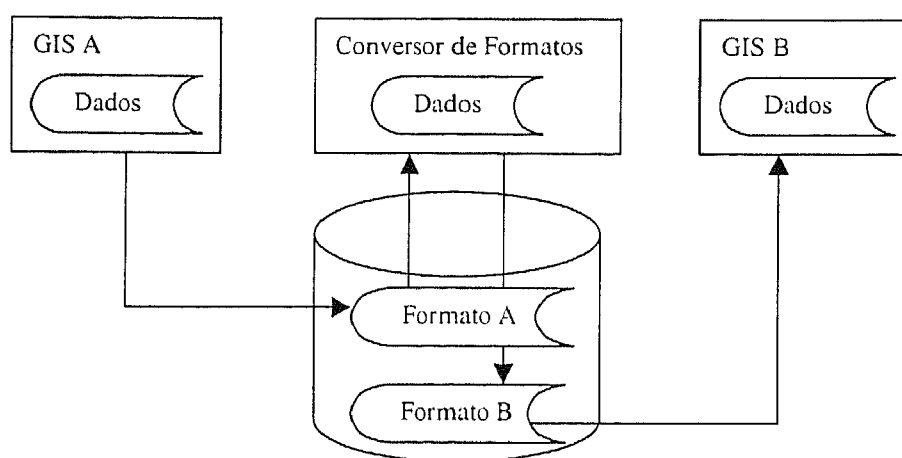


Fig. 5 – Conversão entre formatos proprietários.

Numa perspectiva muito limitada, o conversor de formatos é eficiente, visto ser totalmente especializado em converter o formato original no formato destino. Converter o mesmo formato original para um novo formato destino, implica no entanto o desenvolvimento de um novo utilitário totalmente especializado na nova conversão. Observando a Fig.6, torna-se claro, que numa perspectiva mais alargada, a necessidade de converter o formato original para um número crescente de formatos destino, tornaria inviável a conversão directa entre ficheiros proprietários. O número de utilitários necessários seria igual ao número de formatos multiplicado pelo mesmo valor decrementado numa unidade.

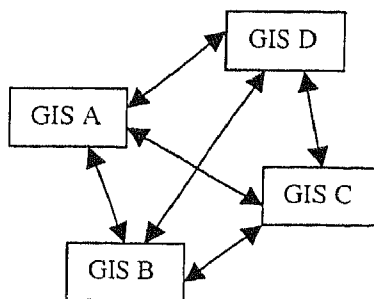


Fig. 6 – Impraticabilidade do conversor de formatos.

Apesar destas desvantagens, este método é muito popular, pois implica custos baixos e um período de desenvolvimento curto, além de existirem um sem número de conversores disponíveis gratuitamente na WWW. Convém frisar que esta solução é muita rígida e limitada, e que só deve ser contemplada num horizonte de curto a médio prazo.

Conversão Tipo Switchyard entre Formatos Proprietários

Na conversão tipo *switchyard*, ao contrário da conversão directa, o utilitário responsável pela conversão, conhece um conjunto alargado de formatos proprietários, não estando limitado a dois formatos, sendo assim capaz de realizar conversões múltiplas.

Existem dois conjuntos de formatos: os de entrada e os de saída. Como se poder ver na Fig.7, o utilitário é capaz de converter um ficheiro, cujo formato pertença ao conjunto de formatos de entrada, num outro ficheiro, cujo formato pertença ao conjunto de formatos de saída. Na maioria dos utilitários, estes conjuntos são iguais. No entanto, é possível encontrar alguns utilitários do tipo *switchyard*, que são capazes de ler um determinado formato, mas incapazes de escrever nesse mesmo formato. Esta situação ocorre porque, em certos casos, o utilitário poderá estar ainda em desenvolvimento, estando, assim, incompleto.

Um utilitário desta natureza, poderá possuir um formato interno, independente dos vários formatos proprietários conhecidos, e suficientemente genérico para suportar dados de qualquer um dos formatos de entrada.

Este formato interno é utilizado para armazenar temporariamente os dados, simplificando significativamente as rotinas de conversão e reduzindo o seu número. A simplificação das rotinas advém do facto de que em todas elas existe um elemento comum: o formato interno. Em relação ao número de rotinas de conversão necessárias, o número será igual ao total de formatos de entrada e de saída.

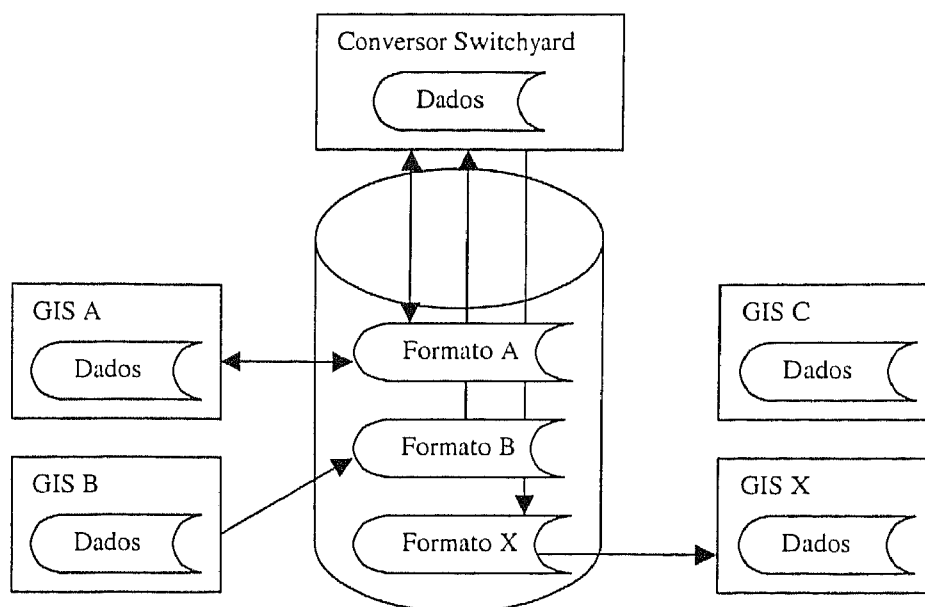


Fig. 7 – Conversor Switchyard
(Formatos de Entrada = A, B ; Formatos de Saída = A, X)

A partir do momento em que os dados se encontrem representados no formato interno, poderão então ser escritos no formato de saída.

Este método é muito mais flexível que a conversão directa, pois um só utilitário poderá realizar várias conversões, em vez de se especializar numa única conversão. Por outro lado, só os formatos proprietários mais populares são, normalmente conhecidos destes utilitários.

A evolução de utilitários de conversão tipo switchyard tem sido muito grande. Inicialmente não passavam de comandos de linha (no MS-DOS, UNIX ou VMS) totalmente dedicados a realizar a sua tarefa. Hoje em dia os seus descendentes funcionam como integradores de geo-dados de diversas origens, podendo o resultado final ser escrito num formato proprietário GIS, ou até exportados para aplicações de outros domínios (processamento de texto, ilustração, tratamento de imagem, CAD e *rendering* foto-realista). Epítomes deste género de utilitário, são o ArcView da ESRI e o GeoMedia da Intergraph.

Formatos Neutros

A utilização de formatos proprietários, normalmente, não é a solução mais adequada para garantir a transferência de geo-dados entre sistemas GIS dissimilares. Estes formatos foram desenvolvidos especificamente para um determinado GIS e dessa forma não possuem a flexibilidade necessária para se ajustarem a outras aplicações.

Para simplificar o processo de transferência de geo-dados, optou-se pelo desenvolvimento de formatos independentes, especialmente concebidos para suportarem dados de diversas origens (produzidos por diferentes sistemas GIS). Estes formatos são designados por neutros ou abertos.

Um formato neutro deve ser totalmente compartimentado, não dependendo de qualquer entidade externa. Deverá também ser o mais genérico possível, abrangendo todos os tipos conhecidos de geo-dados. Um aspecto bastante importante, é a possibilidade de suportar meta-dados, ou seja dados sobre os dados armazenados, como por exemplo, a precisão e qualidade; a identificação da organização e indivíduos responsáveis pela criação dos dados; os métodos utilizados na sua obtenção; etc. Os meta-dados disponibilizam aos potenciais utilizadores, critérios de avaliação, que poderão servir de fundamento à tomada de decisão relativa à validade da utilização dos geo-dados em causa para um determinado fim.

Pela observação da Fig.8, pode-se facilmente concluir que a utilização de formatos neutros simplifica consideravelmente a transferência de geo-dados [Oswald 93]. A grande maioria dos sistemas GIS são capazes de interpretar os formatos neutros mais vulgares. Adicionalmente, a documentação associada a estes formatos encontra-se disponível gratuitamente, sendo possível a qualquer organização desenvolver interpretadores do formato para as suas aplicações. No entanto, o desenvolvimento de rotinas para interpretar formatos neutros, é geralmente uma tarefa complexa, devido fundamentalmente à sua estrutura interna, concebida para ser o mais genérica possível.

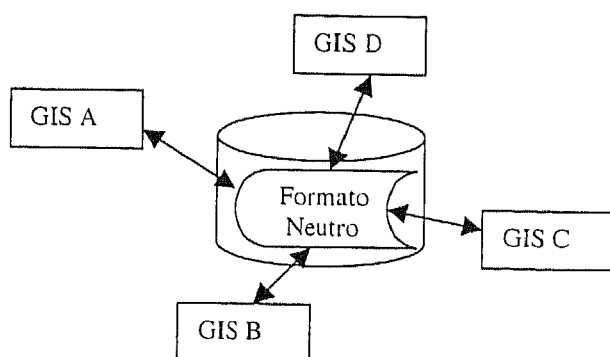


Fig. 8 – Formato Neutro

Infelizmente, os formatos neutros são utilizados mais por obrigação do que por opção. Não são propriamente muito populares entre os seus utilizadores, pois são desadequados em certos cenários, devido ao elevado *overhead* de informação adicionada aos dados originais, tornam-se pouco adequados para a transmissão em rede, sendo mais indicados para o armazenamento em memória auxiliar [Gluptill 91].

Normas para a Transferência de Geo-dados

Os formatos neutros são quase sempre normas que são impostas a nível nacional pelas respectivas agências governamentais responsáveis. Normalmente, o seu uso obrigatório restringe-se ao sector público, ou a organizações privadas com algum grau de associação à administração pública.

Várias nações já desenvolveram, ou encontram-se a desenvolver normas nacionais para a transferência de geo-dados. Cada uma destas normas ajusta-se em maior ou menor grau à realidade do país a que pertencem, mas algumas delas são flexíveis ao ponto de

poderem ser utilizadas noutros países. Outras, no entanto, são mais rígidas, usando conceitos ou métodos comuns ao país de origem.

As normas mais comuns são: a *Spatial Data Transfer Standard* (SDTS) dos Estados Unidos da América e a *National Transfer Format* (NTF) do Reino Unido. Outras nações como a África do Sul, Alemanha, Austrália, Canadá, China, Finlândia, França, Hungria, Japão, Noruega, Rússia, Nova Zelândia, Suécia e Suíça desenvolveram ou encontram-se a desenvolver normas nacionais para a transferência de geo-dados [Gluptill 91].

Ao nível de organizações militares, a norma mais conhecida é o *Tri Service Spatial Data Standard* (TSSDS), desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – *Department of Defense* (DoD), sendo utilizado pelos três ramos das forças armadas americanas.

Em seguida, serão brevemente descritas as normas anteriormente enunciadas.

SDTS

A norma SDTS foi desenvolvida com o objectivo de garantir a transferência de geo-dados entre sistemas dissimilares. Todas as agências federais dos Estados Unidos da América são obrigadas a disponibilizar os seus geo-dados neste formato para o público em geral ou para outras organizações.

É considerada uma das normas mais complexas alguma vez realizados para a transferência de geo-dados, sendo também uma das mais completas. Tem vindo a ser aceite pelos sistemas GIS comerciais, mas muito lentamente. Realmente, o desenvolvimento de um interpretador universal de SDTS é uma tarefa complexa e onerosa, existindo, frequentemente, a grande tentação de utilizar um dos vários utilitários disponíveis que se encarregam de traduzir o formato neutro da norma SDTS para formatos mais comuns e fáceis de serem utilizados.

“Os utilizadores podem ler toda a documentação existente na WWW e mesmo assim não serem capazes de correctamente interpretar os primeiros vinte e quatro bytes de um ficheiro no formato neutro da norma SDTS.” [Thoen 98]

Apesar destas dificuldades, o formato neutro da norma SDTS é classificado como sendo um excelente formato para transferência “cega” de geo-dados, ou seja quando ambas as partes não se conhecem. Nesta situação, quem produz os dados deverá adicionalmente fornecer o máximo de informação sobre os dados em si, ou seja meta-dados. Neste ponto, este formato é, particularmente, rico em dados desse tipo.

A norma SDTS tem muitos críticos e, em geral, a grande parte dos seu utilizadores não a apreciam muito. No entanto, o facto de existir um grande volume de geo-dados neste formato, em parte gratuito, acaba por atrair muitos utilizadores, que caso contrário, provavelmente, não a usariam.

NTF

O NTF é um formato para transferência de geo-dados, desenvolvido no Reino Unido pela *Ordnance Survey* que é um dos principais produtores governamentais de geo-dados.

Este formato estabelece um conjunto de regras para a estruturação e organização dos dados em memória auxiliar, existindo também mecanismos que reorganizam os dados de forma a facilitar a sua transferência via rede.

O NTF disponibiliza um vasto conjunto de tipos de entidades geográficas predefinidas, adaptadas à realidade do país. Este conjunto é suficiente, para a maioria dos utilizadores. Adicionalmente, com o intuito de garantir uma maior flexibilidade, o utilizador poderá definir novos tipos, se o conjunto disponibilizado não satisfizer as suas necessidades específicas.

TSSDS

A norma TSSDS é adoptada pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América com a função de servir de suporte ao armazenamento de geo-dados utilizados pelos três ramos das forças armadas americanas (exército, marinha e força aérea). Também se encontra disponível para agências governamentais e para a indústria privada.

A norma encontra-se associada com quatro produtos comerciais: o AutoCAD, o Arc/Info, MicroStation e o MGE. Esta associação é perfeitamente aceitável no contexto dos militares, pois estes produtos são de utilização obrigatória dentro das forças armadas. Numa perspectiva civil, esta norma poderá ser considerada, por alguns, como sendo um pouco limitada, nomeadamente devido à sua pouca independência em relação às plataformas comerciais. Na sociedade civil, em contraste com a militar, o leque de produtos utilizados é muito vasto, bem como a respectiva liberdade para optar.

Como principal vantagem, aponta-se a simplicidade de utilização, quando comparado com a norma SDTS.

Normas *de Facto* para a transferência parcial de geo-dados

Alguns formatos proprietários atingiram um grau tão elevado de popularidade, que foram unanimemente adoptados como normas, sem na realidade o serem. Estes formatos são utilizados na transferência de tipos específicos de geo-dados, não tendo nenhum deles a capacidade de suportar a totalidade de geo-dados mantidos por um GIS.

Em seguida, passa-se a enunciar algumas normas “de facto”:

- O *Geographic Tagged Image File Format* (GeoTIFF) é um formato muito utilizado para a transferência de imagens matriciais (fotografia aérea e de satélite) orto-rectificadas.
- O *Drawing Exchange Format* (DXF) é um formato desenvolvido pela Autodesk para a transferência de imagens vectoriais. É muito utilizado na área do desenho assistido por computador – Computer Assisted Design (CAD), além

de ser também utilizado para a transferência de mapas digitais em formato vectorial na área do GIS.

- O *Data Base Format* (DBF) é um formato proprietário muito popular para armazenar base de dados relacionais, sendo conhecida pela maioria dos sistemas GIS.

Depois de se ter abordado a transferência de geo-dados, pode-se passar para a partilha de geo-dados e seguidamente de funcionalidades.

Partilha de Geo-dados

Na partilha de geo-dados, o volume de dados partilhados, é uno e comum a todos os sistemas que o partilham.

O processo de transmissão de dados, entre quem os possui e quem os quer consultar ou editar, não cria novas instâncias independentes dos dados originais. Adicionalmente, da totalidade de geo-dados partilhados, só uma parte necessita efectivamente de ser transmitida, ou seja, a parte que será efectivamente consultada. Qualquer alteração que seja realizada, independente de quem a realizou, tem repercussões no volume comum de dados partilhados, sendo essa alteração visível a todas as demais entidades envolvidas na partilha dos dados.

Ao contrário da transferência de geo-dados, este método reduz a redundância dos dados, garantindo dessa forma, um nível mais elevado de consistência. Por outro lado, é mais exigente a nível tecnológico, pois torna-se necessário desenvolver complexos mecanismos que garantam a partilha de dados entre várias entidades.

A partilha de dados é a base da interoperabilidade, pois sem ela, a interoperabilidade não é possível, uma vez que a definição de interoperabilidade passa pela partilha de geo-dados, como já foi visto na secção 2.2.1.

Sistemas Multi-Utilizador

A partilha de dados começou por ser utilizada em sistemas multi-utilizador. Nestes sistemas, um só computador poderia ser acedido por vários utilizadores em simultâneo. Cada utilizador usava um terminal, que pouco mais era que um par monitor-teclado, com pouca ou nenhuma capacidade de processamento e que era totalmente dependente do computador (Ver Fig. 9). Tudo no computador era partilhado, desde a capacidade de processamento até à memória auxiliar.

Se existisse, por exemplo, uma base de dados na memória auxiliar, todos os utilizadores, com permissão de acesso poderiam consultá-la. O que na prática não introduz qualquer problema. No entanto, se em vez de consulta, vários utilizadores alterassem, em simultâneo, um mesmo registo pertencente a uma tabela dessa base de dados, iriam surgir conflitos. Para garantir a consistência e a integridade dos dados, tornou-se necessário desenvolver mecanismos de transacção que regulamentassem o acesso e a manipulação dos recursos partilhados.

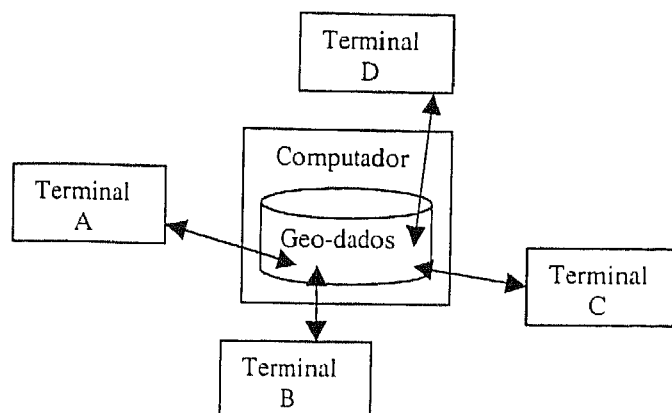


Fig. 9 – Partilha de Geo-dados num Sistema Multi-Utilizador

Redes Digitais de Comunicação

Com as redes de computadores, a partilha dos dados tornou-se mais complexa. Ao contrário de um sistema multi-utilizador, em que todos os recursos partilhados se encontravam concentrados num só computador, os recursos partilhados em rede, podem estar distribuídos por vários computadores, como se pode observar na Fig.10.

A rede interliga sistemas com capacidade própria de processamento e recursos próprios de armazenamento. Dessa forma, qualquer um deles é elegível para suportar os dados partilhados, nada obrigando que só um seja responsável pelo armazenamento dos mesmos. Em certos casos, torna-se mesmo obrigatória a distribuição dos dados partilhados por vários sistemas, pois cada um poderá não possuir recursos individuais suficientes para suportar a totalidade dos dados partilhados.

Apesar do volume de dados partilhados se encontrar distribuído por diversos computadores, deveria continuar a ser uno e comum a todos aqueles que o partilham. Tornou-se assim necessário desenvolver mecanismos que garantissem uma visão integrada e una de todo o volume de dados distribuído por diversos computadores.

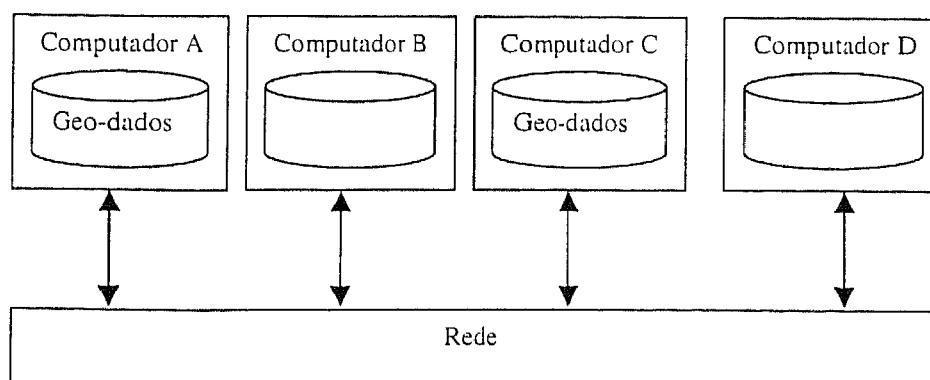


Fig. 10 – Partilha de Geo-dados em Rede

Tecnologias de Objectos Distribuídos

Desenvolver software com a capacidade de manipulação de dados distribuídos por diversos computadores, não é uma tarefa fácil, pois torna necessário o desenvolvimento de rotinas encarregadas da transmissão de dados, gestão de transacções e integração dos dados distribuídos, além de todo o resto de rotinas do próprio software. Para facilitar o processo de desenvolvimento de software que manipulasse dados distribuídos, surgiram as tecnologias de objectos distribuídos.

Com este tipo de tecnologias, o programador poderia concentrar-se no desenvolvimento das camadas de software de alto nível, visto que as camadas de software responsáveis pela manipulação de dados distribuídos, se encontravam já desenvolvidas, sendo o seu funcionamento totalmente transparente para o programador.

As tecnologias de objectos distribuídos são de vital importância para a obtenção da interoperabilidade e serão por isso abordadas com maior profundidade na secção 2.3.

Partilha de Funcionalidades

Em contraste com a partilha de dados, a partilha de funcionalidades teve uma evolução mais lenta, pois apresentava um nível muito superior de complexidade.

Linguagens de baixo nível

Uma das causas responsáveis pela aparente impossibilidade em partilhar funcionalidades entre sistemas dissimilares, prendia-se com o baixo nível de desempenho dos primitivos sistemas informáticos.

No passado, o software desenvolvido utilizando linguagens de alto nível tinha vulgarmente um desempenho inaceitável, isto porque as instruções que o compunham tinham de ser traduzidas para um conjunto de instruções de baixo nível que o processador poderia executar. Essa tradução não era eficiente, devido fundamentalmente aos compiladores antigos.

Tendencialmente, um software que adequadamente aproveitasse o desempenho oferecido pelo hardware, teria de ser desenvolvido numa linguagem de baixo nível, ou directamente em código de máquina.

A desvantagem desta tendência era que o programa assim desenvolvido ficaria intrinsecamente relacionado com o hardware para o qual foi propositadamente criado, sendo impossível a sua aplicação directa noutra plataforma de hardware dissimilar. Adicionalmente, programar neste tipo linguagens era uma tarefa bastante complexa e demorada. Com a necessidade de desenvolver software cada vez mais poderoso, a programação em linguagens de baixo nível deixou de ser uma solução viável.

Linguagens de alto nível

Com o desenvolvimento de hardware mais rápido e compiladores mais eficientes, as linguagens de alto nível, que nos primórdios eram mais utilizadas ao nível do ensino, passaram a ser consideradas como meios viáveis e competitivos para o desenvolvimento de software comercial. As linguagens de alto nível eram mais poderosas, além de serem mais fáceis de utilizar, tornando mais rápido o processo de desenvolvimento de aplicações. Por outro lado, estas linguagens ofereciam alguma independência em relação ao hardware, pelo que um mesmo programa poderia ser utilizado em diferentes plataformas, usando o respectivo compilador nativo. No entanto, em certas situações, ainda se tornava necessário realizar alguns ajustes ao código, nomeadamente em instruções que lidassem com pormenores específicos do hardware, como placas gráficas, impressoras e outros periféricos.

Na prática, o código não era totalmente partilhável visto ser necessário despendar algum esforço na sua adaptação ao hardware alvo. Em determinadas situações, este esforço poderia ser tão complexo, ou o programa traduzido ser tão ineficiente, que todo o processo era desconsiderado.

Aplicações desenvolvidas especificamente numa determinada plataforma eram sempre consideradas mais eficientes e fiáveis do que aplicações desenvolvidas a partir de código independente em relação ao hardware.

Redes Heterogéneas

A popularidade crescente das redes de comunicação digital heterogéneas, como a Internet, tornaram-se num forte incentivo a um maior nível de interoperabilidade. Numa fase inicial, apostou-se na interoperabilidade de código interpretável, utilizado principalmente por linguagens de definição de páginas com algum grau de interactividade com o utilizador. São exemplo disso o *Hyper Text Modeling Language* (HTML) ou o mais poderoso JavaScript, ambas independentes do hardware. Em relação ao software, exigiam um tipo específico de programas capaz de as interpretar, designados por *browsers*.

No entanto, por possuírem código interpretado e, consequentemente, com um desempenho inferior ao código compilado, estas linguagens eram bastante limitadas, sendo usualmente utilizadas como suporte de simples mecanismos de interacção com o utilizador.

Em termos de sistemas GIS, salienta-se o desenvolvimento de mapas interactivos, baseados em HTML e JavaScript, que disponibilizavam algumas funcionalidades bastante elementares de navegação, tais como o *Zoom* e o *Pan*.

Tecnologias de Objectos Distribuídos

Uma tecnologia de objectos distribuídos, como já foi visto, facilita consideravelmente o desenvolvimento de aplicações que manipulem recursos distribuídos por vários sistemas numa rede. Na prática, o que realmente é partilhado, são objectos. Podendo um objecto

ser encarado como uma fonte de dados ou como uma unidade de processamento. Sendo assim, uma tecnologia desta natureza, não só garante a partilha de dados, como também a partilha de funcionalidades.

Componentware

Componentes são programas ou rotinas que existem em módulos relativamente pequenos e compartimentados, com uma interface normalizada para o exterior. As componentes podem ser facilmente agregadas, de forma a constituírem uma aplicação e podem ser obtidas via rede, sendo normalmente desenvolvidas recorrendo a uma tecnologia de objectos distribuídos.

Em relação a uma aplicação monolítica, uma aplicação constituída por componentes, é consideravelmente mais flexível, pois é facilmente escalável, adaptando-se às necessidades actuais e futuras do utilizador.

A aplicação do conceito de *componentware* ao GIS, envolve a prossecução de um processo gradual, em que a aplicação monolítica local irá, progressivamente, ser desagregada num conjunto crescente de componentes.

Numa primeira fase, é necessário identificar as funcionalidades mais comuns existentes nas aplicações GIS monolíticas. Em seguida, procede-se ao desenvolvimento de componentes, que suportem essas funcionalidades. Recorrendo a uma tecnologia de objectos distribuídos, estas componentes podem ser fornecidas por um servidor a qualquer aplicação GIS cliente que deseje utilizar as funcionalidades em causa. Sendo assim, o cliente não necessita de manter uma instalação local dessas funcionalidades, visto que pode obtê-las via rede quando necessário.

Aplicação em modo Local

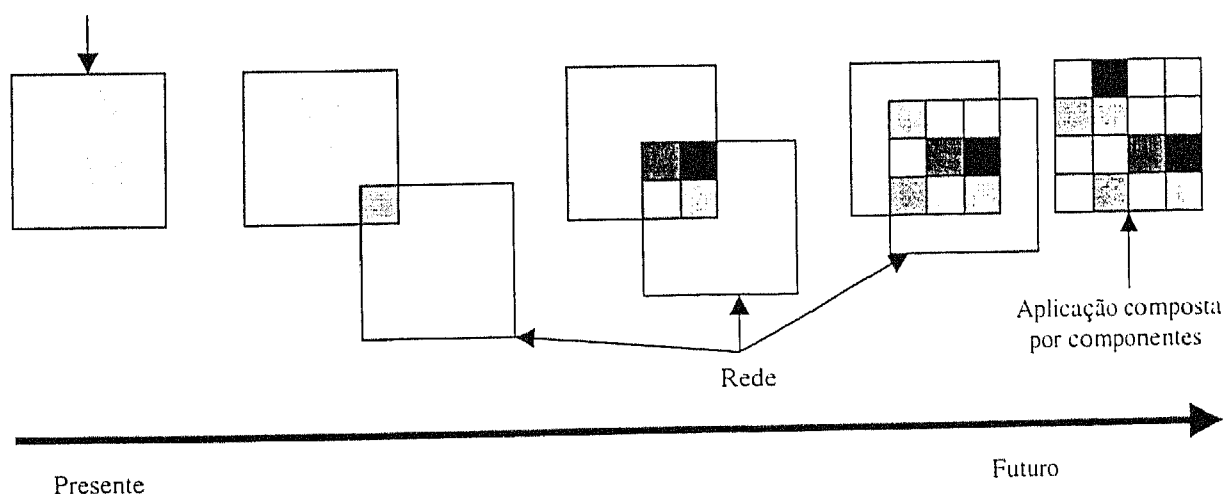


Fig. 11 – Evolução de uma aplicação local para uma aplicação totalmente composta por componentes.

No caso de uma aplicação bastante simples, como por exemplo um visualizador de geodados, que só necessitasse das funcionalidades mais comuns, nem seria necessário

manter uma instalação local da aplicação em causa, uma vez que passaria a ser unicamente constituída por componentes obtidas via rede.

Para aplicações GIS mais complexas, tais componentes não seriam suficientes para construir totalmente a aplicação, pois seriam necessárias funcionalidades demasiado específicas e incomuns que não estariam disponíveis em componentes.

Nesta situação, a aplicação iria ser composta por duas partes: um conjunto de componentes, com as funcionalidades mais comuns e usuais e; em modo local, um programa com as funcionalidades mais específicas. Estas duas partes iriam conjugar-se, de forma a constituir a aplicação GIS.

A tendência actual aponta para o aumento gradual do número de funcionalidades disponibilizadas via rede. A aplicação passa a ser progressivamente constituída por um conjunto cada vez maior de componentes, enquanto que a parte local da aplicação é cada vez menor e concentrada num domínio muito especializado, constituído pelo leque de funcionalidades ainda não encontradas nas componentes [OGG 98].

Na expressão máxima desta tendência, a aplicação deixaria virtualmente de existir em modo local, passando a ser uma agregação efémera e dinâmica de componentes partilhadas, disponibilizadas via rede, como se pode ver na Fig.11.

2.2.6 *Interoperabilidade por especificação*

A solução do futuro para o problema da não-interoperabilidade será a interoperabilidade por especificação, que consiste em “prevenir em vez de remediar”.

Para garantir a interoperabilidade, há que especificar um conjunto de regras e procedimentos que deverão ser respeitados por todos aqueles que desejem usufruir de tal capacidade. A solução não surge como resposta a um problema consumado, mas impõe-se de forma a garantir a inexistência do problema propriamente dito.

Interoperabilidade por especificação significa que os responsáveis pelo desenvolvimento de software atingem a interoperabilidade, desenvolvendo o seu software de forma a estar em conformidade com um conjunto de critérios pré-estabelecidos por comum acordo [OGG 98]. A garantia de interoperabilidade é obtida pelo respeito e conformidade com essa especificação. Dessa forma, a aplicação pode ser interoperável com qualquer outra que esteja em conformidade com a mesma especificação.

Pode-se também garantir a interoperabilidade com aplicações futuras, actualmente inexistentes, desde que estas venham a ser desenvolvidas em conformidade com a especificação.

Desenvolver uma especificação capaz de garantir a interoperabilidade, é um processo bastante complexo e muito demorado, além de poder ser tendencialmente conflituoso, pois é normalmente desenvolvido pelo esforço conjunto de diversas partes, algumas com visões muito próprias sob como atingir as metas estabelecidas.

Após a obtenção da especificação, surge o esforço adicional de garantir que algumas das aplicações anteriores à especificação passem a estar em conformidade e obter a mesma garantia em todas as novas aplicações a serem desenvolvidos no futuro.

Garantir a conformidade de aplicações antigas com a nova especificação é uma tarefa extremamente complexa e que em certos casos poderá ser virtualmente impossível de concretizar. A ideia de rescrever o software, se bem que possa resolver muitos

problemas e elevar o nível geral de eficiência é, em muitos cenários, totalmente inviável devido aos elevados custos que acarreta. É assim importante garantir a conformidade recorrendo a programas utilitários usados como interpretes entre a aplicação antiga e a especificação. Como é perceptível, tal solução desvirtua o próprio conceito inerente à especificação, além de ser uma solução propensa a erros e pouco eficiente. No entanto, a curto/médio prazo, poderá ser aceitável, fundamentalmente pelos baixos custos associados.

No presente, encontram-se a ser desenvolvidas várias normas que se enquadram no princípio de interoperabilidade por especificação. Dessas normas, salientam-se as desenvolvidas pelos comités CEN-TC 287 da Comissão Europeia de Normalização (CEN), o comité ISO-TC 211 da *International Standards Organization* (ISO) e a norma OpenGIS do *OpenGIS Consortium*.

Passa-se em seguida a realizar uma breve descrição das várias normas enunciadas.

2.2.7 As Normas da Série ISO-9100 da TC 211

O comité técnico TC 211 *Geographic Information/Geomatics* da ISO foi estabelecido em 1994, com o intuito de produzir uma série de normas (ISO-9100) no campo da informação geográfica digital. Este comité inclui 33 países participantes, entre os quais se encontra Portugal, representado pelo Instituto Português da Qualidade, e 16 países com o estatuto de observadores [TC211 99].

Estas normas especificam a informação geográfica, os métodos, as ferramentas e os serviços para a gestão de dados (incluindo a sua definição e descrição), aquisição, processamento e transferência entre diferentes utilizadores, sistemas e localizações. Espera-se que entrem em vigor, como normas internacionais, a partir de finais do ano 2000 até finais do ano 2002.

O comité encontra-se dividido em cinco grupos de trabalho [Østensen 95]:

- WG 1, *Frame work and reference model* – tem como objectivo cobrir os aspectos mais genéricos do trabalho desenvolvido pelo TC 211. O *reference model* é de extrema importância visto que identifica todos os componentes do trabalho do comité e a forma como esses mesmos componentes interagem entre si.
- WG 2, *Geospatial models and operators* – responsável pelos aspectos relacionados com a geometria do globo terrestre, como por exemplo: a geometria das entidades geográficas, topologia, etc.
- WG 3, *Geospatial data administration* – responsável pelos aspectos relativos à avaliação e descrição da qualidade dos geo-dados.
- WG 4, *Geospatial services* – responsável pela codificação dos geo-dados nos formatos de transferência, descrição da metodologia que rege a apresentação dos geo-dados.
- WG 5, *Profiles and functional standards* – responsável pela adaptação das normas a determinados domínios específicos de conhecimento ou comunidades de utilizadores.

2.2.8 A Norma da CEN-TC 287

O comité técnico TC 287, pertencente à Comissão Europeia de Normalização (CEN), tem vindo a desenvolver um esforço de normalização no domínio da informação geográfica.

Este comité encontra-se a trabalhar numa série de normas, designadas por *Geographic Information European Prestandards* (ENV). Fundamentalmente, estas normas baseiam-se em normas actuais para sistemas de informação e metodologias, especialmente, as que se relacionam com a interconecção de sistemas abertos [TC287 98].

O esforço de trabalho do TC 287 encontra-se dividido em quatro partes [TC287 98]:

- *Fundamentals* – É constituída pelo *Reference Model* que tem como objectivo identificar e definir um conjunto de conceitos estruturados e componentes que possibilitem a definição, descrição, pesquisa e transferência de geo-dados e informação relativa; e pela *Terminology* que contem todos os termos e definições utilizados em todas as normas desenvolvida pelo comité.
- *Data descripton* – Aborda vários temas como a modelação dos geo-dados, a sua geometria, qualidade, metadados e transferência.
- *Referencing* – Aborda os aspectos relativos ao posicionamento das entidades geográficas e aos sistemas de referência espacial.
- *Processing* – Define os requisitos para a pesquisa e alteração de geo-dados, bem como a identificação de outras funcionalidades.

Os comités CEN-TC 287 e ISO-TC 211, além de partilharem membros, estão também vinculados por um acordo de cooperação, denominado *Acordo de Viena*, visando evitar a duplicação de trabalho e garantir a harmonização das normas produzidas [Matos 97].

2.2.9 A Norma OpenGIS

No contexto do que foi abordado anteriormente, a norma OpenGIS é uma das tentativas mais ousadas na área da interoperabilidade dos Sistemas de Informação Geográfica. Faz uso de novas tendências na área da informática, baseia-se fundamentalmente no princípio da obtenção de interoperabilidade por especificação, assenta em tecnologias de objectos distribuídos e tem como meta derradeira, permitir o desenvolvimento de *componentware* para GIS.

Note-se no entanto que esta solução constitui uma ruptura com o passado. Realmente, as aplicações GIS eram vulgarmente vistas como “ilhas”, sem ligação possível entre si e as soluções antigas surgiam como “pontes” que interligavam as aplicações (Fig.12). A norma OpenGIS pode também ser usada neste contexto, ou seja, como mais uma “ponte”. No entanto, a sua real vocação passa pela redefinição da aplicação GIS em si mesma, de forma a tornar desnecessário e obsoleto o conceito de “ponte” (Fig.13).

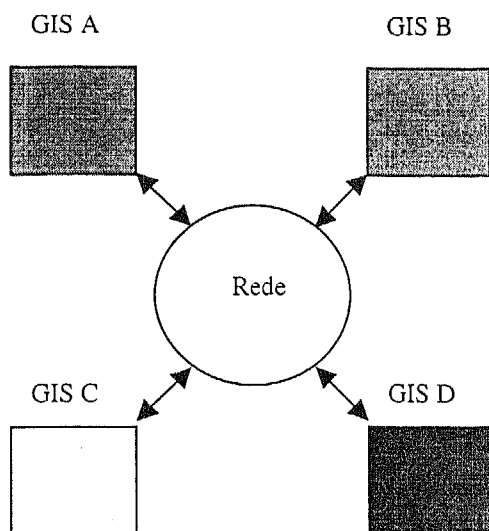


Fig. 12 – Interoperabilidade – O Paradigma Antigo.

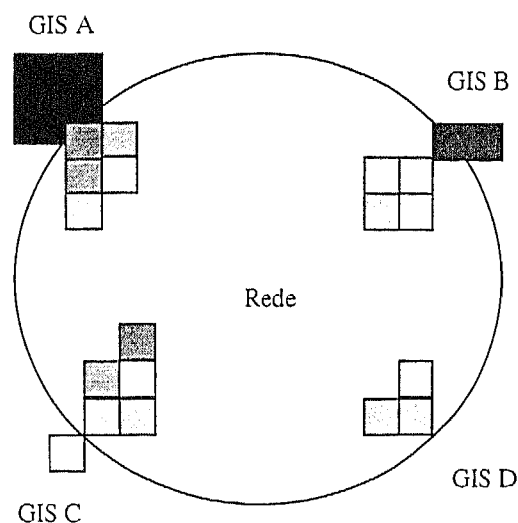


Fig. 13 – Interoperabilidade – A Nova Tendência.

Tal como as normas descritas anteriormente, a norma OpenGIS encontra-se em desenvolvimento, sendo nesse sentido, muito difícil estabelecer uma comparação rigorosa e minimamente justa, entre elas. No entanto, é possível afirmar que algum do esforço desenvolvido pelas várias organizações, responsáveis pelas normas, pode ser considerado paralelo. As principais diferenças situam-se no ênfase dado a determinados aspectos: a norma OpenGIS incide fundamentalmente na resolução do problema de interoperabilidade entre sistemas GIS, enquanto que as normas desenvolvidas pelos comités TC 211 da ISO e TC 287 do CEN, possuem um horizonte mais lato, abrangendo vários aspectos associados com a normalização dos sistemas GIS e dos respectivos geodados que são desconsiderados pela norma OpenGIS.

Levando em consideração a importância da norma OpenGIS no contexto desta dissertação, ela será descrita em maior profundidade no capítulo 3.

2.3 Tecnologias de Objectos Distribuídos

As tecnologias de objectos distribuídos surgiram como resposta a uma crescente necessidade de garantir a interoperabilidade entre um número cada vez superior de plataformas de hardware e software.

Em termos simples, uma aplicação que assente neste tipo de tecnologia poderá comunicar com outra aplicação, nas mesmas condições, independentemente da sua localização geográfica e de quem a desenvolveu. Isto permite ao programador desenvolver a aplicação, abstraindo-se das distâncias geográficas e dos meios utilizados para garantir a comunicação entre as diversas aplicações distribuídas, pois todas as camadas de software e hardware responsáveis por manter o ambiente distribuído são absolutamente transparentes para quem as utilize.

Em seguida serão abordados alguns dos conceitos, normalmente, associados às tecnologias de objectos distribuídos.

2.3.1 Sistema Cliente – Servidor

Nos ambientes distribuídos existem quatro tipos de processos distribuídos muito utilizados: cliente; servidor; *peer to peer* e filtro.

O cliente é uma entidade computacional que realiza pedidos de serviços ou acesso a recursos.

O servidor é usualmente uma entidade com recursos associados que responde a pedidos efectuados pelos clientes.

No *peer to peer*, existem duas entidades (*peer*), normalmente idênticas, com a capacidade de efectuar e responder a pedidos.

Os filtros são entidades intermediárias que modificam de alguma forma os pedidos ou as respostas que recebem, transmitindo-as em seguida para a próxima entidade (servidor ou cliente).

2.3.2 Objectos Distribuídos

Um objecto pode ser encarado como uma unidade básica de processamento que possui um determinado comportamento e atributos partilhados. Uma das grandes vantagens na utilização de objectos consiste no elevado grau de abstraccionismo que se pode obter. Tal característica, reduz consideravelmente o esforço de desenvolvimento da aplicação, além de ser particularmente adequado num ambiente distribuído.

Os objectos distribuídos são normalmente encontrados em configurações de cliente-servidor. Nestas configurações, fala-se de objectos que existem do lado do servidor ou do lado do cliente.

Os objectos do lado do servidor oferecem serviços e recursos enquanto que os objectos do lado do cliente requerem serviços e recursos. Ambos os tipos interagem como qualquer objecto existente num ambiente orientado para o objecto não-distribuído, com

a diferença de quem requer e quem responde, poderá estar localizado em sistemas distintos unidos por uma ou várias redes.

A combinação de sistemas orientados ao objecto com sistemas cliente-servidor conjuga o melhor destes dois mundos:

- A utilização da abstracção com o intuito de reduzir a complexidade e simplificar o processo de desenvolvimento.
- Melhor utilização dos recursos de hardware.
- Consolidação dos dados partilhados (ou código comum) numa localização singular, facilitando, consideravelmente, o processo de manutenção de dados ou código.

2.3.3 *Distribuição de Objectos sobre a Rede*

A distribuição de objectos sobre a rede é realizada recorrendo a uma análise de afinidade das mensagens entre os objectos. A análise de afinidade leva em consideração factores como a frequência e o tamanho das mensagens transmitidas. Outros aspectos importantes são a qualidade do serviço, a fiabilidade e a granularidade dos objectos.

A granularidade de um objecto afecta o seu nível geral de afinidade, sendo que, quanto mais fina for a granularidade de um objecto maior será o seu nível de afinidade. Tornar um inteiro um objecto partilhado não seria recomendável, pois a sua granularidade demasiado fina levaria a um grau muito elevado de afinidade com quase todos os clientes.

A interface, ou protocolo de mensagem, é muito importante para um objecto distribuído, visto que determina o tipo de pedidos que o objecto poderá receber.

2.3.4 *Modelo e Gestão dos Objectos*

Como qualquer objecto convencional, o objecto distribuído deverá suportar o encapsulamento, herança e polimorfismo.

Nesse sentido, a gestão de objectos em ambiente distribuído possui necessidades semelhantes à gestão de objectos convencionais:

- A definição de protocolos e interfaces que descrevam as mensagens aceites pelos objectos.
- Um construtor que disponibilize um meio para criar novos objectos.
- Um meio que garanta a gestão do ciclo de vida do objecto.

2.3.5 Áreas de Aplicação das Tecnologias de Objectos Distribuídos

Em seguida serão descritas algumas das áreas de aplicação, mais comuns, das tecnologias de objectos distribuídos.

Interfaces com o Utilizador

Um dos cenários comuns em ambientes distribuídos consiste em possibilitar distintas interfaces para diferentes utilizadores distribuídos pela rede, para uma só aplicação. No servidor está a aplicação e os recursos por ela manipulados enquanto que nos clientes estão as respectivas interfaces com o utilizador (Fig.14).

Em vez da aplicação ser utilizada exclusivamente por um só utilizador num dado instante, torna-se possível utilizá-la em simultâneo por diversos utilizadores. Adicionalmente podem-se desenvolver interfaces específicas, para comunidades ou grupos de utilizadores, que disponibilizem diferentes conjuntos de funcionalidades e apresentem os dados e informação num formato aceitável pelo grupo. A interface passaria a funcionar como uma máscara sobre a aplicação.

A desagregação da interface em relação à aplicação simplifica o desenvolvimento e a manutenção da mesma, possibilitando a existência de programadores especializados e, conseqüentemente, melhorando a qualidade geral das interfaces.

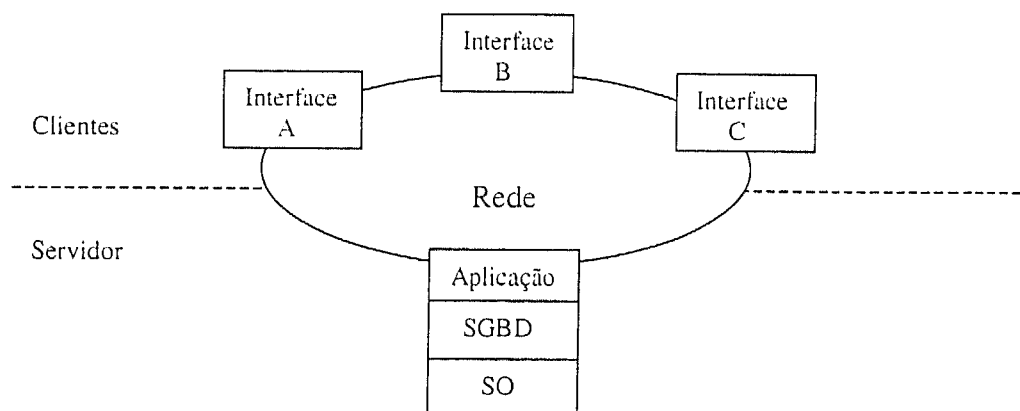


Fig. 14 – Interfaces Distribuídas

Bases de Dados

No tocante às base de dados, podem surgir dois cenários principais: um deles consiste em disponibilizar o acesso múltiplo a um sistema de gestão de base de dados para várias aplicações (Fig.15). O segundo cenário consiste em possibilitar a uma aplicação o acesso a vários sistemas de gestão de base de dados (Fig.16), garantindo uma visão integrada da base de dados distribuída. Adicionalmente, estes dois cenários poderão combinar-se entre si (Fig.17).

Em ambos os casos, o sistema de gestão de base de dados está localizado num servidor e a aplicação que utiliza a base de dados está no lado do cliente.

A aplicação das tecnologias de objectos distribuídos ao mundo das bases de dados traduz-se assim em benefícios importantes:

- Facilita a utilização e manutenção de bases de dados muito volumosas.
- Possibilita a integração de bases de dados implementadas em sistema heterogéneos.
- Possibilita o acesso múltiplo à bases de dados, facilitando o processo de actualização da mesma.

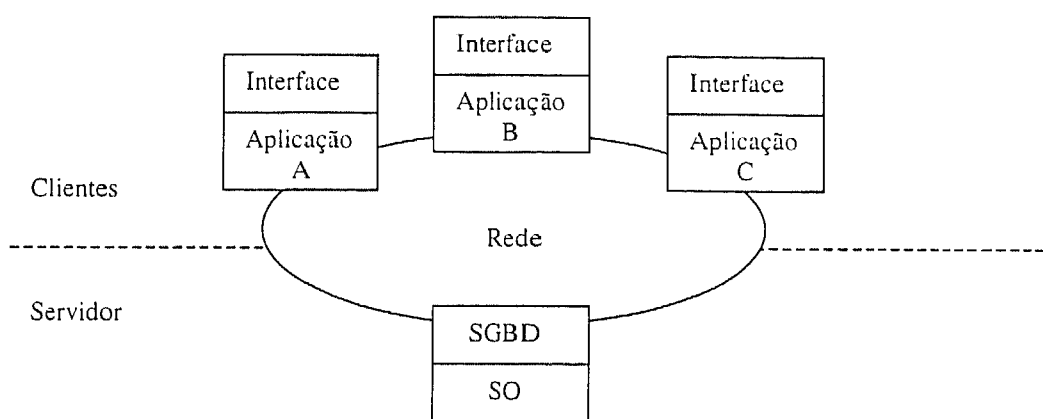


Fig. 15 – Múltiplo Acesso a uma Base de Dados.

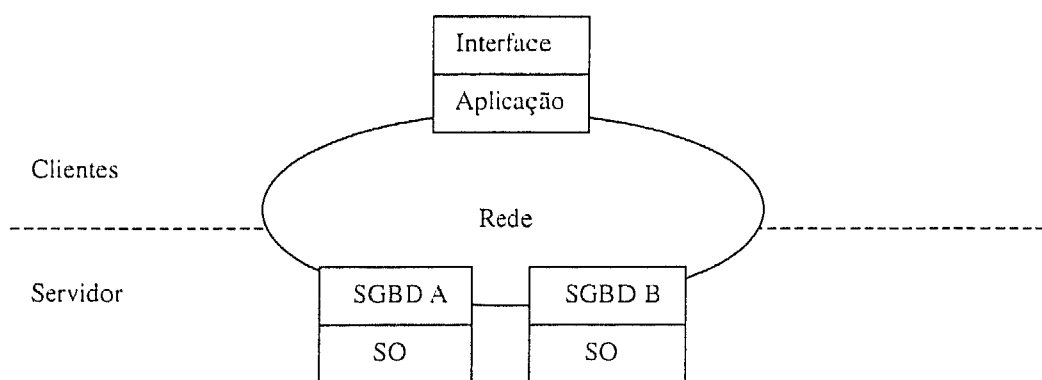


Fig. 16 – Base de Dados Distribuída.

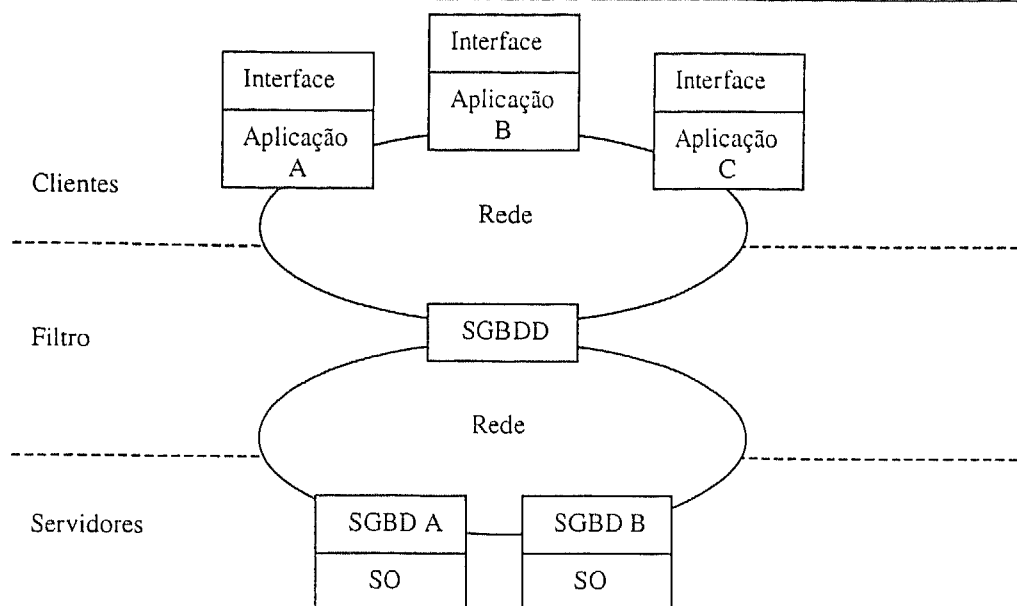


Fig. 17 – Múltiplo Acesso a uma Base de Dados Distribuída.

Processamento

Determinados processamentos poderão exigir um esforço computacional extremamente elevado, tanto pela sua própria complexidade, como pelo volume de dados a processar. Estas situações poderão ser solucionadas recorrendo a um sistema local com uma arquitectura paralela ou, opcionalmente, a um sistema distribuído. Dependendo da natureza e características inerentes à tarefa, poderá ser mais adequado utilizar uma ou outra solução.

Um sistema distribuído permite que a tarefa seja decomposta em tarefas menores que são distribuídas pelos vários servidores (ver Fig.18). Desta forma, a tarefa será concluída mais rapidamente do que num sistema convencional local.

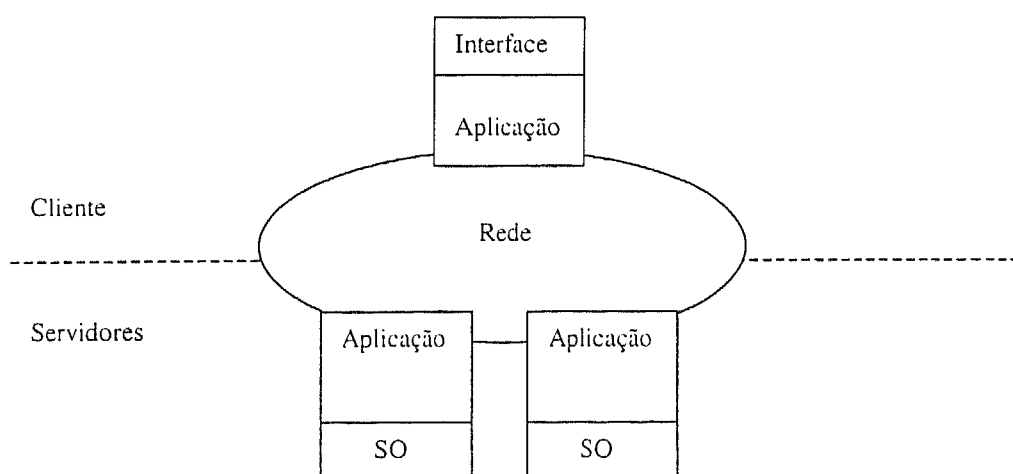


Fig. 18 – Processamento Distribuído.

2.3.6 Impacto das Tecnologias de Objectos Distribuídos na Interoperabilidade

As tecnologias de objectos distribuídos começaram a ser desenvolvidas no início da década de 90, devido, principalmente, à necessidade de garantir um maior grau de interoperabilidade entre uma diversidade crescente de software e de plataformas de hardware.

Nesse sentido, é facilmente perceptível o tremendo impacto que a utilização deste tipo de tecnologias causa no nível de interoperabilidade entre os sistemas que as utilizam. Pode-se afirmar que um investimento neste tipo de tecnologias é uma acção com uma elevada importância estratégica, visto que, no futuro, a grande parte do software será, provavelmente desenvolvida recorrendo a tecnologias de objectos distribuídos.

3 A Norma OpenGIS

Neste capítulo é realizada uma análise da norma OpenGIS, das suas principais metas e objectivos, dos componentes e características mais relevantes.

3.1 O Consórcio e a Especificação

A norma OpenGIS consiste, fundamentalmente, numa especificação de software, e é o produto do esforço de um conjunto de pessoas e organizações associadas num consórcio.

3.1.1 O Consórcio OpenGIS

A OpenGIS é uma norma desenvolvida pelo OpenGIS Consortium, Inc. (OGC). Este consórcio, fundado em 1994, é uma associação baseada no consenso colectivo, de organizações públicas e privadas e inclui produtores de software, utilizadores e produtores de geo-dados e instituições de ensino e de investigação e desenvolvimento.

Actualmente, o OGC é constituído por 184 organizações, das quais 40% são dos Estados Unidos da América. A única organização portuguesa pertencente ao consórcio é a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Com a elaboração da especificação OpenGIS o OGC pretende [OGG 98]:

- Resolver os actuais problemas de partilha de geo-dados.
- Possibilitar a evolução do GIS, de um antiquado sistema monolítico com bases de dados herméticas, para um mundo de *componentware* e tecnologias de objectos distribuídos.

A meta final é a obtenção de uma infra-estrutura global e nacional de informação, na qual os geo-dados e funcionalidades possam mover-se livremente e totalmente integrados, que assente nas tecnologias mais avançadas de objectos distribuídos.

3.1.2 A Especificação OpenGIS

A OpenGIS consiste em uma especificação de software, que tem como objectivo possibilitar o acesso distribuído a geo-dados e funcionalidades e assim garantir um nível mais elevado interoperabilidade na comunidade dos sistemas GIS.

É definida de forma flexível que possibilite a sua implementação, quer em linguagens orientadas aos objectos, quer em linguagens convencionais, em ambientes distribuídos ou locais.

Actualmente a especificação encontra-se em fase de desenvolvimento, nesse sentido determinadas partes encontram-se incompletas, num menor ou maior grau.

A especificação OpenGIS disponibiliza [OGG 98]:

- Um esqueleto para o desenvolvimento de software interoperável tanto a nível comercial como académico.
- A possibilidade dos utilizadores de geo-dados acederem a bases de dados e funcionalidades remotas.

- A capacidade dos utilizadores acederem a geo-dados, independentemente do tipo, dos métodos utilizados na sua obtenção e da forma como se encontram armazenados (bases de dados relacionais ou orientadas a objectos).
- Um conjunto comum de interfaces genéricas, que garantam uma comunicação fiável entre diversas aplicações.
- A possibilidade de funcionalidades, tipicamente existentes em GIS monolíticos, serem utilizadas por aplicações de outros domínios.

A especificação OpenGIS é composta por [OGG 98]:

- Um meio conceptual, matemático e comum para a representação, em formato digital, da Terra e dos respectivos fenómenos a ela associados, designado por Modelo Aberto de Geo-dados.
- Um modelo comum para a implementação de serviços de acesso, gestão, manipulação, representação e partilha de geo-dados entre comunidades de informação, designado por Modelo de Serviços OpenGIS.
- Um espaço de trabalho, que utilize os dois modelos acima enunciados, para a resolução, não só de problemas técnicos de não-interoperabilidade, mas também de problemas de não-interoperabilidade a nível institucional, designado por Modelo de Comunidades de Informação.

Sobre um ponto de vista conceptual, a especificação OpenGIS divide-se em três níveis [OGG 98]:

- O Modelo Essencial – é um modelo dos “factos” que consistem em objectos do mundo real (entidades, atributos e relações) e eventos instantâneos. São as estruturas do mundo real passíveis de serem codificadas pelos autores do modelo de especificação.
- O Modelo de Especificação – um modelo genérico de software constituído por um conjunto ideal de objectos de software e eventos. O modelo é descrito em *Interface Description Language* (IDL), lógica formal e língua inglesa.
- Os Modelos de Implementação – Implementação do modelo de especificação numa tecnologia específica, capaz de gerar software executável. Actualmente, existem implementações em: *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA), *Object Linking and Embedding/Component Object Model* (OLE/COM) e em *Structured Query Language* (SQL).

Como se poder observar na Fig.19, os dois modelos de mais alto nível correspondem à parte abstracta da especificação OpenGIS, sendo o nível mais baixo correspondente à parte de implementação da especificação OpenGIS em várias tecnologias comerciais.

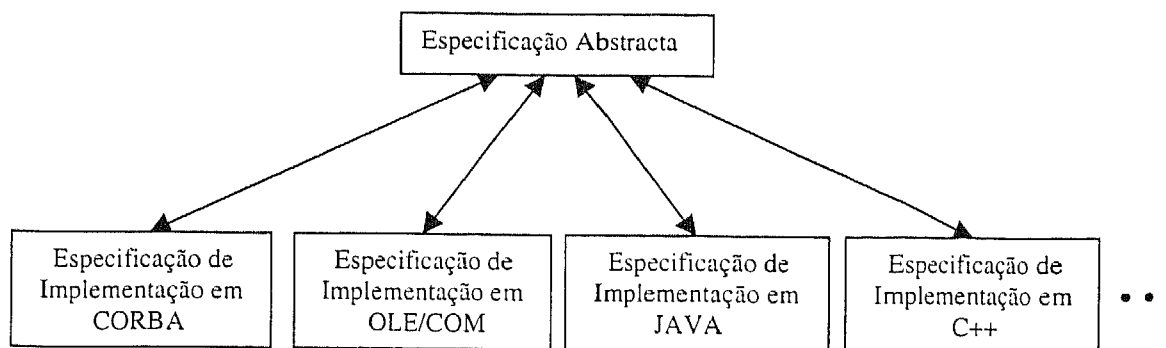


Fig. 19 – Especificação abstracta e várias especificações de implementação possíveis [OGG 98].

3.2 Modelo Aberto de Geo-dados

O modelo aberto de geo-dados pode ser descrito como um conjunto universal de tipos genéricos de geo-dados, que podem ser utilizados para modelar os geo-dados de nível mais elevado, específicos do domínio de conhecimento da aplicação. O modelo é independente de qualquer linguagem de programação, plataforma de hardware ou rede.

Em seguida irão ser abordados os principais tipos de geo-dados existentes neste modelo.

3.2.1 Introdução ao Conceito de Features e Coverages

Os elementos geográficos podem ser geralmente classificados como pertencentes a duas grandes categorias: as entidades e os fenómenos.

As entidades são fundamentalmente objectos discretos ou abstracções reconhecidas pelo ser humano. Possuem uma forma geométrica, normalmente bem definida, que poderá ser estática ou evoluir ao longo do tempo. Uma entidade possui uma localização relativa à superfície terrestre, podendo também ser fixa ou variável ao longo do tempo. Exemplos de entidades são: veículos; edifícios; rios; lagos; árvores; animais; estradas; regiões; etc.

Os fenómenos são variáveis no espaço, não possuindo dimensões específicas. O valor ou descrição associada ao fenómeno só tem significado para uma dado ponto no espaço e no tempo. Exemplo de fenómenos são: temperatura; humidade; pressão atmosférica; composição do solo; topografia; etc.

Estas duas categorias não são mutuamente exclusivas. Determinados elementos possuem uma classificação ambígua, podendo ser enquadrados em ambas as categorias, dependendo da forma como são interpretados por quem o classifique.

Na especificação OpenGIS existem dois tipos geográficos básicos: a *Feature* e a *Coverage*. O primeiro tipo pode ser utilizado para a representação das entidades, o segundo tipo é utilizado na representação de fenómenos.

3.2.2 Features

As *Features* são representações digitais de entidades existentes no mundo real ou abstrações do mundo real. Poderão possuir uma representação geométrica associada a uma existência espaço-temporal e um conjunto variável de propriedades semânticas e meta-dados. Uma *Feature* pode ser constituída por outras *Features* ou por *Coverages*.

Exemplo de *Features* poderão ser: um troço de uma estrada entre duas intercepções consecutivas, uma auto-estrada composta por vários troços de estrada, uma imagem de satélite orto-rectificada, uma camada de temperatura pertencente a um mapa meteorológico, um modelo tridimensional de relevo, uma rede de saneamento público ou um contorno de um evento sísmico.

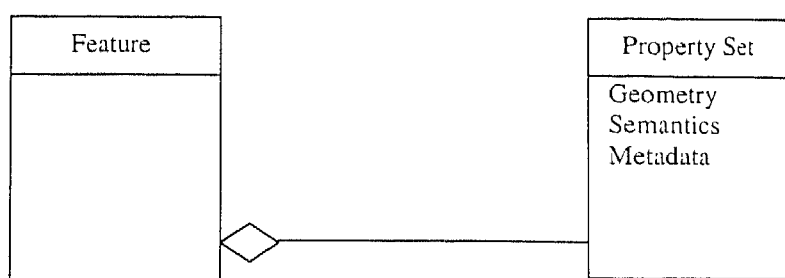


Fig. 20 – A *Feature* e o conjunto de propriedades associadas.

Propriedades de uma Feature

As propriedades de uma *Feature*, definem: a sua aparência visual, a sua localização espaço-temporal num dado sistema de referência, um conjunto de atributos associados com informação importante e, finalmente, meta-dados.

Como não existam quaisquer tipos de requisitos rigorosos no processo de definição da *Feature*, esta pode possuir um conjunto variável de propriedades, podendo este conjunto ser vazio (ver Fig.20).

- Geometria – Utilização de um conjunto de elementos geométricos, de forma a criar uma representação visual da *Feature*. Esta representação deverá estar associada a uma localização no espaço e no tempo, expressa num determinado sistema de referência espaço-temporal. Adicionalmente, poderá existir uma indicação do nível de resolução e de precisão do modelo geométrico.
- Propriedades Semânticas – Definição da entidade ou fenómeno do mundo real representado pela *Feature*, recorrendo a um conjunto de atributos. Estas propriedades são de crucial importância para o intercâmbio de geo-dados entre distintas comunidades de informação.
- Meta-Dados – Informação que permite, ao potencial utilizador da *Feature*, conhecer a sua origem, os métodos e recursos utilizados na sua criação, assim como indicadores de conformidade com determinadas normas de qualidade.

3.2.3 Feature Collection

Uma *Feature Collection* é simplesmente um conjunto de uma ou mais *Features*. A *Feature Collection* é também a unidade básica, na partilha de geo-dados. Portanto, só se poderá partilhar uma *Feature* individualmente, se ela for a única *Feature* existente numa dada *Feature Collection*.

3.2.4 Coverages

Uma *Coverage* é usualmente utilizada para a representação de fenómenos existentes no mundo real. Pode ser formalmente definida como sendo uma associação de pontos, num dado domínio espaço-temporal, com um valor de um determinado tipo [OGG 98].

Como se pode ver na Fig.21, uma *Coverage* é essencialmente uma função que retorna

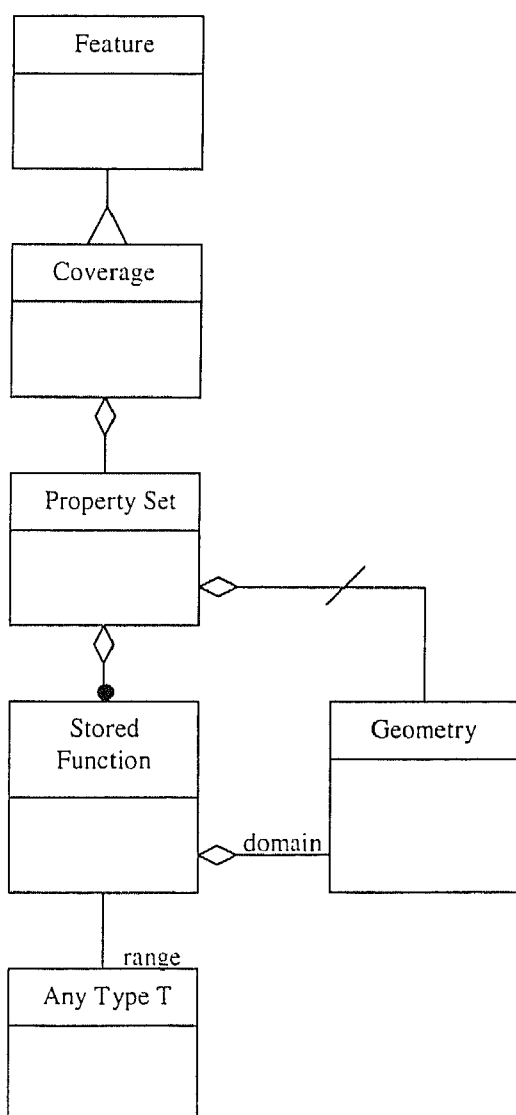


Fig. 21 – Coverage.

um determinado valor para uma dada localização geográfica. O valor retornado não necessita de ser forçosamente um valor numérico, poderá ser uma composição complexa, como por exemplo uma cadeia de caracteres alfanuméricos ou um conjunto de valores.

Exemplos de *Coverages* são: campos escalares; modelos de terrenos; distribuição populacional; imagens matriciais; mapas de solos.

Uma *Coverage* tem todas as propriedades de uma *Feature*, sendo dessa forma considerada um sub-tipo desta última. Nesse sentido, uma *Coverage* poderá possuir geometria, propriedades semânticas e meta-dados. Adicionalmente, uma coverage possui uma função, que para uma dada localização no espaço delimitado pela sua geometria, irá retornar um valor de um determinado tipo.

Ambiguidades na utilização de *Features* e *Coverages*

A decisão de representar um determinado elemento geográfico como uma *Feature* ou como uma *Coverage* poderá, em certos casos, ser difícil.

Tomem-se os seguintes exemplos: num jardim e num parque florestal, nos quais se pretende conhecer a distribuição espacial de pinheiros. Como deverá ser representado um pinheiro, como uma *Feature* ou como uma *Coverage*?

Sendo o pinheiro uma entidade discreta do mundo real, a resposta óbvia seria a *Feature*. Representar todos os pinheiros existentes num jardim seria aceitável, mas realizar a mesma tarefa em relação ao parque florestal seria totalmente impraticável, devido ao elevado número de pinheiros existente. Neste último caso, seria mais prático utilizar uma *Coverage* que, para uma dada localização, retornaria o número de pinheiros existentes num determinado raio.

O índice relativo de saturação de uma entidade, poderá determinar se essa entidade deverá ser representada como uma *Feature*, ou como uma *Coverage* [OGG 98].

Mesmo quando não exista a menor dúvida em relação à forma de representação de um determinado elemento geográfico, poderá existir a possibilidade de utilizar uma representação que desvirtue o conceito inerente à forma de representação. Por exemplo, um terreno agrícola com um determinado proprietário associado.

Nesta situação, o terreno deveria ser representado como uma *Feature*, sendo o nome do proprietário uma das propriedades semânticas. Em contraste com esta opção, o terreno poderia ser representado por uma *coverage* na qual, para uma dada localização seria retornado o nome do proprietário. Apesar de ambas as opções serem válidas, a primeira solução seria consideravelmente mais adequada do que a segunda.

Com o intuito de facilitar o processo de classificação de um elemento geográfico, o Consórcio OpenGIS mantém um registo de consensos em relação à utilização de *Features* e *Coverages* para a representação dos elementos geográficos mais usuais.

3.2.5 Geometria

É uma propriedade comum a *Features* e a *Coverages* e constitui-se de um conjunto de elementos geométricos. Estes elementos poderão ser *Points*, *Curves*, *Surfaces* (Fig.22) ou colecções dos mesmos. Com a excepção do *Point*, todos os demais elementos geométricos são compostos por elementos de nível inferior.

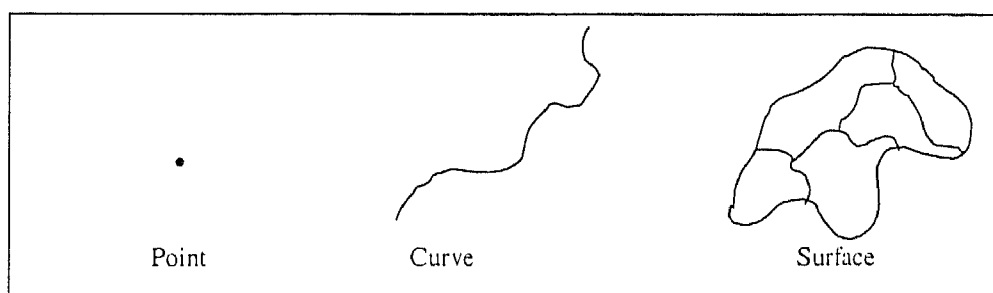


Fig. 22 – Representações gráficas dos elementos de geometria.

O *Point* é o elemento base no qual todos os demais assentam, e é definido por um sistema de quatro coordenadas, três espaciais e uma temporal.

A *Curve* consiste num elemento de nível inferior, designado por *LineString*, que é uma sequência de elementos *Point*. Se for uma sequência fechada (primeiro e o último ponto

são o mesmo), pode-se recorrer a uma especialização do elemento *LineString*, designada por *LineRing*. Neste elemento não é necessário indicar o último ponto da sequência, uma vez que já é conhecido.

A *Surface* consiste num elemento de nível inferior, designado por *Polygon*, que é uma sequência de *LineRings*.

Finalmente, podem reunir-se em colecções, os elementos geométricos acima enunciados. Um exemplo de uma colecção é o elemento *MultiPoint*, que consiste numa colecção de elementos *Point*.

É importante salientar a diferença existente entre sequência e colecção: uma sequência é um conjunto de elementos identificados por um índice, encontrando-se armazenado por uma determinada ordem; enquanto que na colecção não é possível identificar os elementos de forma sequencial, encontrando-se armazenados sem nenhuma ordem em particular.

Os elementos e as suas relações, podem ser observados na Fig.23. A norma OpenGIS contém um conjunto adicional de elementos geométricos mais avançados, embora, no presente momento, ainda não façam parte da especificação de implementação.

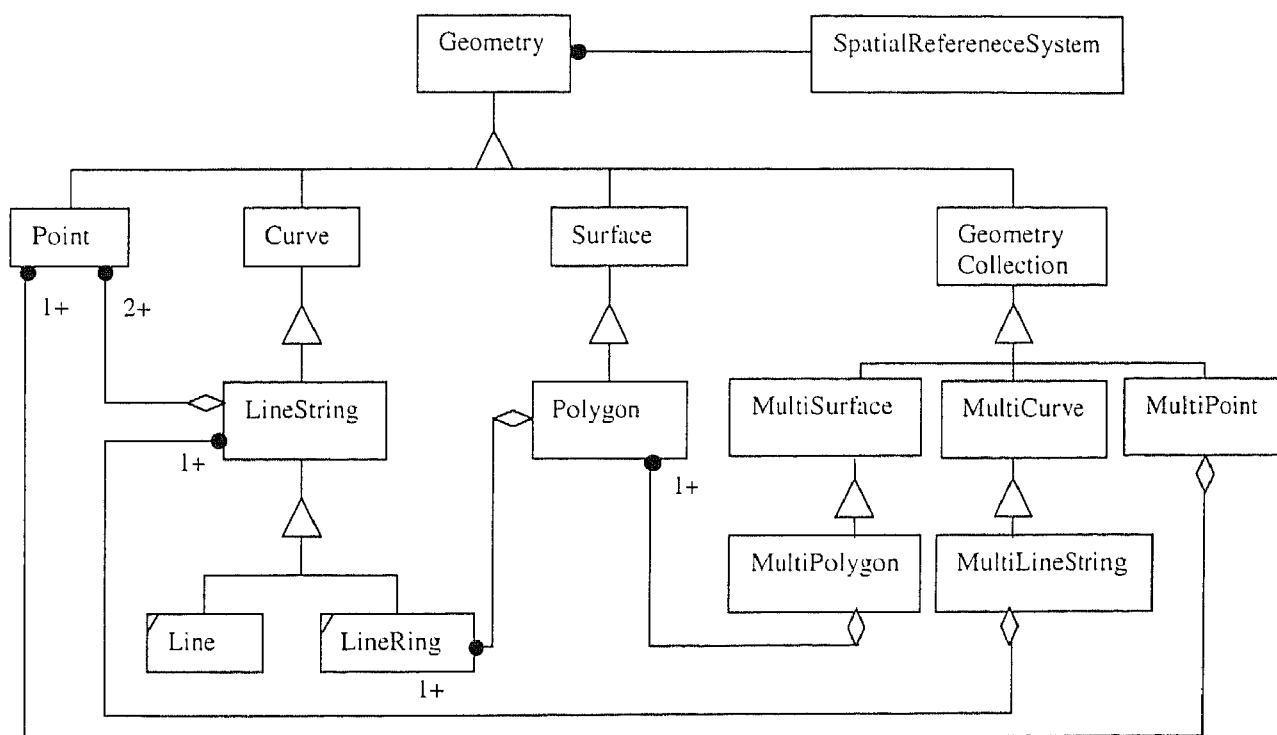


Fig. 23 – Geometria – Modelo de Objectos.

A norma OpenGIS disponibiliza três formas para a representação dos elementos geométricos:

- Objectos.
- Estruturas – *Well Known Structures* (WKS).
- Sequências de Bytes – *Well Kown Binary Representation for Geometry* (WKBGeometry).

A primeira forma é fundamental para a implementação da norma numa tecnologia de objectos distribuídos. A norma OpenGIS especifica a interface dos vários objectos associados com a geometria.

As WKS consistem num conjunto de estruturas (*struct*) que podem ser utilizadas por linguagens convencionais e que, adicionalmente, podem ser utilizadas no processo de criação e consulta dos objectos de geometria.

A WKBBGeometry disponibiliza uma representação da geometria que consiste num fluxo contínuo de bytes. Permite que valores associados à geometria sejam transferidos entre um cliente ODBC e uma base de dados SQL, num formato binário. Tal como sucede com as WKS, a WKBBGeometry pode também ser utilizada na criação e consulta de objectos de geometria.

Elementos Avançados de Geometria

Existem actualmente outros tipos de elementos geométricos, ainda em processo de desenvolvimento. A tendência consiste em disponibilizar uma geometria tridimensional, suficientemente genérica e poderosa, que permita uma representação mais realista de entidades do mundo real, como edifícios, veículos, relevo, efeitos atmosféricos, etc.

Imagens matriciais orto-rectificadas, modelação digital de terreno (DTM) baseado em células ou em redes irregulares de triângulos (TIN) e topologia são áreas contempladas na especificação abstracta e nas estruturas WKS, mas no presente momento, ainda não foram abordadas nas especificações de implementação.

3.2.6 Sistema de Referência Espacial

A Referência Espacial ou geo-posicionamento consiste na fixação da localização de um objecto no espaço e no tempo. É, sem dúvida, um aspecto crucial na modelação de geodados.

No contexto de uma *Feature*, os sistemas de referência espacial definem a forma como as coordenadas da geometria são interpretadas geograficamente. Nesse sentido, todos os elementos geométricos deverão estar associados a um determinado sistema de referência espacial.

A norma OpenGIS disponibiliza um conjunto de tipos de sistemas de referência espacial genéricos, como por exemplo, a Projecção Mercator, a Latitude-Longitude e muitas outras [OGG 98]. Adicionalmente, é também possível definir novos sistemas de referência espacial específicos, sendo ainda possível disponibilizar mecanismos que descrevam e invoquem transformações entre distintos tipos de sistemas de referência espacial.

3.2.7 Meta-dados

Associada a cada *Feature* poderá existir uma colecção de meta-dados. Esta colecção poderá ser constituída por vários componentes, cada um deles representando determinados tipos de meta-dados.

Existe um conjunto de tipos de meta-dados predefinidos que armazenam valores de precisão relativos à *Feature* em causa e às respectivas propriedades, como por exemplo, meta-dados que indicam a precisão da posição da geometria da *Feature* em termos relativos ou absolutos, a precisão das propriedades semânticas (numéricas ou não) e a precisão de imagens matriciais. Adicionalmente, existe a possibilidade de criar novos tipos de meta-dados.

No presente, os meta-dados ainda não foram abordados ao nível das especificações de implementação.

3.3 Modelo de Serviços OpenGIS

O modelo de serviços OpenGIS tem como objectivo definir um conjunto de serviços, que serão utilizados para garantirem o acesso e o processamento de geo-dados definidos no Modelo Aberto de Geo-dados e adicionalmente disponibilizarem capacidades que garantam a partilha de geo-dados entre diferentes comunidades de utilizadores, que utilizam um conjunto próprio de definições de entidades geográficas.

3.3.1 Serviços Partilhados do Domínio Geo-espacial

As aplicações GIS poderão ser parcialmente constituídas por um conjunto de componentes partilhadas. Estas componentes, são designadas, na norma OpenGIS, por serviços partilhados do domínio geo-espacial.

O serviço partilhado do domínio geo-espacial apresenta uma interface normalizada com um conjunto de comportamentos previsíveis, para que possam ser facilmente invocados por uma aplicação GIS. Existe um número considerável de serviços [OAS 99]:

- Serviços de Acesso Geo-espacial – Serviços que definem um conjunto de interfaces utilizadas para localizar, obter ou disseminar uma selecção de informação geo-espacial de um determinado sistema GIS.
- Serviços de Generalização de *Features* – Serviços que modificam as características cartográficas de uma *Feature* ou de uma *Feature Collection*, simplificando a sua visualização, mas mantendo os seus elementos mais relevantes.
- Serviços de Extracção de Informação Geo-espacial – Serviços que suportam a extracção de *Features* e do relevo do terreno a partir de imagens digitalizadas.
- Serviços de Transformação de Coordenadas Geo-espaciais – Serviços que convertem as coordenadas de um sistema de referência espacial para outro.
- Serviços de Anotação Geo-espacial – Serviços que adicionam informação auxiliar a uma imagem ou a uma *Feature* com o intuito de garantir uma descrição mais completa e clara da entidade em causa.
- Serviços de Manipulação de Imagem – Serviços utilizados na manipulação de imagem matricial (redimensionamento; alteração da cor, do contraste, do brilho; aplicação de filtros; alteração da resolução) e adicionalmente podem ser utilizados para realizar análises matemáticas à imagem (histogramas, convulsões).

- Serviços de Manipulação de *Features* – Serviços que suportam a criação, os métodos controlo de qualidade, análise e visualização de *Feature Collections*.
- Serviços de Exploração de Imagem – Serviços necessários para realizar análises fotogramétricas a imagens digitalizadas de fotografia aérea ou imagens de satélite.
- Serviços de Análise Geo-espacial – Serviços que exploram a informação existente numa *Feature* ou numa *Feature Collection*.
- Serviços de Modelação de Geometria de Imagem – Serviços que suportam modelos matemáticos de geometria de imagem, que permitem corresponder uma posição na imagem a uma posição no mundo real.
- Serviços de Gestão de Simbologia Geo-espacial – Serviços utilizados na gestão de bibliotecas de símbolos.
- Serviços de Geração de Imagens de Mapas – Serviços utilizados na manipulação e combinação de imagens, com o objectivo de produzir mapas.
- Serviços de Síntese de Imagem – Serviços usados para criar ou transformar imagens recorrendo à manipulação das características da imagem com o objectivo de melhorar a visibilidade, aumentar a nitidez, reduzir efeitos de nevoeiro ou de nuvens na imagem e transformação da perspectiva da imagem.
- Serviços de Percepção de Imagem – Serviços que disponibilizam a detecção automática de alterações na imagem ao longo do tempo.
- Serviços de Visualização Geo-espacial – Serviços que possam enviar para um periférico de saída (monitor, impressora) uma *Feature Collection* ou uma *Coverage*.

Ao nível das especificações de implementação, actualmente, ainda nada foi desenvolvido relativamente ao modelo de serviços OpenGIS.

3.4 Modelo de Comunidades de Informação

Uma comunidade de informação é um conjunto de pessoas (agências governamentais ou organizações privadas, uma profissão, um grupo de investigadores numa dada disciplina, um projecto) que, pelo menos durante um determinado período de tempo, partilham uma linguagem comum na definição de um mapa digital (identificação e classificação de elementos geográficos) [OGG 98].

Estas pessoas possuem uma visão comum do mundo real, bem como um conjunto comum de abstracções, representações de *Features* e *Coverages*, assim como metadados. É previsto na especificação OpenGIS que a comunidade de informação possui uma norma que especifica quais as *Features Collections* existentes.

O Modelo de Comunidades de Informação utiliza o Modelo Aberto de Geo-dados e o Modelo de Serviços OpenGIS num esquema que estabeleça [OGG 98]:

- Um meio que permita à comunidade de produtores de geo-dados e aos utilizadores, manter, de uma forma eficiente, todo um conjunto comum de definições de entidades geográficas.
- Um meio eficiente e preciso que permita a distintas comunidades de utilizadores e produtores de geo-dados a partilha dos seus dados, apesar das diferentes formas de definir uma mesma entidade geográfica.
- Um esquema para a tradução automática entre diferentes formas de definir uma mesma entidade geográfica real, baseada no domínio de conhecimento específico de cada comunidade.

No presente, ao nível de especificações de implementação, nada foi desenvolvido relativamente ao modelo de comunidades de informação.

3.5 Potencialidades da Norma OpenGIS

Dado que a norma OpenGIS se encontra, actualmente, em fase de desenvolvimento, quaisquer potencialidades que a norma possua, devem ser encaradas como uma projecção no futuro, assumindo que o trabalho de desenvolvimento actual venha a ser concluído com sucesso.

No entanto, pode-se afirmar que o aspecto mais fascinante introduzido por esta norma, consiste na redefinição do conceito de aplicação, que deixa de ser encarada como uma entidade local, fechada e monolítica para passar a ser uma agregação efémera e dinâmica de componentes partilhadas.

Tal situação tem implicações tremendas na forma como as aplicações poderão vir a ser comercializadas. Actualmente, o utilizador ao efectuar o acto de compra de uma aplicação, irá pagar por todas as funcionalidades existentes, incluindo aquelas que nunca venha a utilizar. Em contraste, se a aplicação fosse constituída por componentes, o utilizador só pagaria pelas funcionalidades utilizadas e unicamente pelo tempo de

utilização. Adicionalmente, a aplicação utilizada seria sempre da versão mais recente, evitando a desatualização inevitável das aplicações locais e o eterno processo de *upgrade*.

Infelizmente, uma ruptura com as soluções do passado não é normalmente bem aceite, existindo sempre a eterna desconfiança natural em relação a tudo o que é novo.

Além disso, um cenário em que existam grandes volumes de geo-dados partilhados e em que um vasto número de utilizadores recorrem ao uso de aplicações compostas por funcionalidades partilhadas, irá possuir uma grande dependência em relação a redes com uma elevada largura de banda.

No entanto, o factor mais complexo será o desenvolvimento de software que esteja em conformidade com a norma e, principalmente, a garantia que o software anterior ao aparecimento da norma, possa ser adaptado, de forma a estar, também ele, em conformidade.

Nesse sentido, é importante garantir, numa primeira fase, que as implementações da norma possam realizar aquilo que as soluções anteriores já realizavam. Tal garantia deve servir, fundamentalmente, como um passo de transição entre o que existia e o que passará a existir. Esta garantia deve, no entanto, ser contemplada, num horizonte de curto a médio prazo, nunca esquecendo a meta final, para a qual a norma foi desenvolvida, que consiste na obtenção de uma infra-estrutura global e nacional de informação, na qual os geo-dados e funcionalidades possam mover-se livremente, totalmente integrados [OGG 98].

Em seguida, passa-se a enunciar os potenciais benefícios que a norma poderá dar aos vários grupos de pessoas associadas aos sistemas GIS.

O programador poderá mais facilmente e de uma forma mais flexível [OGG 98]:

- Escrever software capaz de aceder a geo-dados partilhados.
- Escrever software capaz de utilizar funcionalidades partilhadas.
- Ajustar as aplicações às necessidades específicas do utilizador, integrando geo-dados com dados de outros tipos.
- Escolher um ambiente de desenvolvimento.
- Produzir aplicações numa variedade de plataformas.
- Reutilizar código das funcionalidades.

O gestor/produtor de geo-dados terá uma maior flexibilidade na execução de operações como [OGG 98]:

- Aceder e/ou tornar acessível geo-dados.
- Disponibilizar funcionalidades a clientes.
- Integrar geo-dados e funcionalidades numa só arquitectura.
- Escolher a plataforma mais adequada, ao nível de hardware e software de base.
- Disponibilizar ao utilizador o conjunto de funcionalidades mais adequadas ao seu perfil e às suas necessidades.

Os utilizadores finais são os que mais benefícios retiram, usufruindo nomeadamente [OGG 98]:

- De acesso em tempo real a um universo de informação geográfica, em quantidade muito superior ao actual.
- De um maior número de aplicações que utilizam geo-dados.
- Da capacidade de trabalhar com diferentes tipos de geo-dados e formatos, numa só aplicação, sem interrupção do fluxo regular de trabalho e sem a preocupação adicional de conhecer aprofundadamente os vários tipos e formatos.

3.6 Cooperação Internacional

O consórcio OGC mantém um conjunto de ligações com o actual esforço de normalização desenvolvido pelo comité técnico TC 211 da ISO, através do *White Paper*. Adicionalmente é um dos promotores do projecto *GIS Interoperability Project Stimulating the Industry in Europe* (GIPSIE), que visa promover a participação a nível internacional da comunidade europeia de indústria GIS (GI) no esforço de normalização OpenGIS.

3.6.1 O *White Paper*

No dia 14 de Maio de 1997, o consórcio OGC e o comité TC 211 da ISO anunciaram o início de um esforço de cooperação com o intuito de obter uma convergência e aproximação do trabalho que tem vindo a ser desenvolvido por cada uma das organizações e assim evitar a duplicação e a divergência no trabalho a efectuar no futuro [JP 97].

As duas organizações decidiram criar o *White Paper* [Kuhn 97] que consiste num mecanismo que formaliza o esforço de cooperação desenvolvido desde 1997 entre as duas organizações.

Numa primeira análise, conclui-se que existem muito mais aspectos e metas em comum, de que propriamente divergentes. Chegou-se também à conclusão que determinados aspectos mereciam um especial de esforço de cooperação, para garantir que o resultado global tenha alguma hipótese de sucesso. Nesse sentido, foram identificados os seguintes aspectos: a terminologia, os modelos de referência e as linguagens de modelação.

Apesar do aparente desejo de cooperação, ambas as organizações salvaguardam o direito de tomar decisões em relação ao seu próprio esforço de normalização, sem tomarem em consideração o esforço paralelo que eventualmente possa estar a ser desenvolvido.

3.6.2 O Projecto GIPSIE

Este projecto, iniciado em 1 de Junho de 1998, é financiado pelo programa ESPIRIT da comissão europeia, com o intuito de apoiar o desenvolvimento de produtos, por parte da indústria de GIS europeia, que estejam em conformidade com a norma OpenGIS.

“O GIPSIE oferece uma oportunidade única para que a indústria de GIS europeia aumente o seu grau de conhecimento sobre a interoperabilidade e os sistemas abertos, trabalhando em conjunto, com o objectivo de articular os requisitos específicos da realidade europeia e, dessa forma, contribuir para uma só especificação OpenGIS internacional.” [GIPSIE 98]

Com o objectivo de atingir os objectivos descritos anteriormente, o projecto GIPSIE irá focar as suas actividades em três áreas primordiais [GIPSIE 98]:

- A criação de um canal de comunicação entre o consórcio OGC e as várias organizações que compõem a comunidade da indústria GIS Europeia e que participam no projecto em causa.
- A identificação e a resolução de problemas interoperabilidade específicas à realidade europeia.
- A OGC compromete-se a informar as demais organizações do estado de desenvolvimento da norma OpenGIS, atempadamente e com detalhe suficiente.

Algumas das organizações que aderiram ao projecto GIPSIE são: a SICAD Geomatics; a Intergraph Europe, a Laser-Scan, o Departamento de Geo-Informação da Universidade Técnica de Viena, o Instituto de Geo-Informática da Universidade de Muenster, etc.

4 Implementações em conformidade com a norma OpenGIS

Neste capítulo são descritos dois exemplos extremos da implementação da solução OpenGIS. O primeiro exemplo, consiste no paradigma antigo, ou seja, na transferência de geo-dados entre sistemas monolíticos distintos. No segundo exemplo, temos o paradigma do futuro, um protótipo de um modelo de geo-dados e de funcionalidades distribuídos utilizado por um município fictício.

4.1 O Paradigma Antigo

A transferência de dados entre sistemas monolíticos distintos é uma necessidade antiga, que actualmente, continua, ainda, a ser muito comum.

4.1.1 Descrição do problema

Pretende-se transferir um conjunto de geo-dados entre duas aplicações GIS monolíticas distintas, cada uma instalada localmente num computador próprio. Ambos os computadores podem comunicar entre si, via rede.

As duas aplicações possuem um conjunto de geo-dados comuns, que consiste num mapa base de um determinado concelho. Este mapa é constituído pelos seguintes tipos de entidades geográficas: fronteira do concelho; fronteiras das freguesias; terrenos agrícolas; cursos de água; jardins; passeios; edifícios e outras estruturas. Nenhuma das entidades existente no mapa base é manipulada por qualquer uma das aplicações. A única função do mapa é ser visualizado pelos utilizadores.

Uma das aplicações, designada por aplicação A, foi especialmente concebida para criar um novo tipo de entidade geográfica, inexistente no mapa base, designada por eixo de via. O eixo de via é uma sequência de segmentos de recta, que identificam um

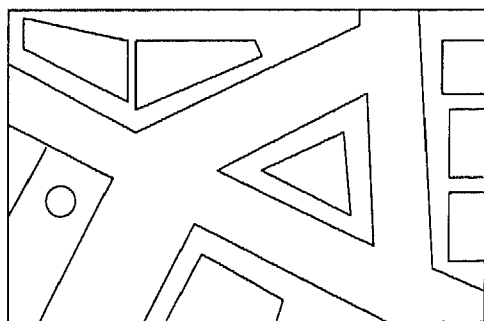


Fig. 24 - Mapa Base.

arruamento, como se pode ver na Fig.25. No mapa base, como se vê na Fig.24, um arruamento consiste no espaço vazio delimitado pelos passeios, jardins ou edifícios. Nesse sentido, um arruamento pode ser constituído por um conjunto de distintas entidades geográficas. Por outro lado, essas mesmas entidades geográficas podem também delimitar outros arruamentos.

Esta forma de representar um arruamento é totalmente inadequada, visto não existir uma só entidade geográfica que o possa representar directamente. O eixo de via surge como uma forma alternativa de representar um arruamento. Um só eixo de via identifica inequivocamente um só arruamento. É, dessa forma, consideravelmente mais fácil, para qualquer aplicação GIS, identificar um determinado arruamento no mapa a partir do seu eixo de via.

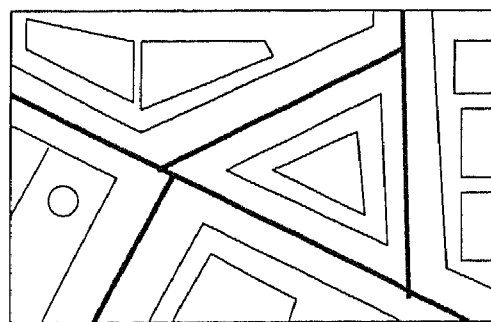


Fig. 25 - Mapa Base com os Eixos de Via.

A aplicação A, além de criar os eixos de via, associa a cada um deles um atributo alfanumérico contendo a designação do arruamento. O processo de criação dos eixos de via é semi-automático, ou seja, existe uma funcionalidade que efectua a criação de eixos de via para uma determinada área, mas o utilizador terá que agregar os vários segmentos

de recta criados automaticamente, para que seja possível formar um eixo de via para um único arruamento. A introdução da designação do arruamento é manual e adicionalmente existe a possibilidade de editar a geometria do eixo de via, com o intuito de corrigir eventuais anomalias resultantes da parte automático do processo.

Esta aplicação foi desenvolvida em linguagem C++, em sistema operativo MS Win95/98 ou NT. Os eixos de via criados nesta aplicação são armazenados em memória auxiliar num ficheiro com o formato DXF.

O formato DXF é utilizado para transferir informação vectorial, sendo adequado nesta situação. O eixo de via é armazenado como uma entidade do tipo *Polyline* e a designação do arruamento é armazenada como uma entidade do tipo *Attr*, que se encontra associada a uma *Polyline*. Todas as entidades se encontram distribuídas por, camadas (*Layers*), correspondendo cada camada a uma freguesia (a designação da camada é o nome da freguesia). A origem das coordenadas corresponde a uma determinada localização espacial, ou seja, o canto inferior esquerdo do rectângulo que inclui toda a geometria do concelho e possui latitude e longitude. No tocante à escala, cada unidade na geometria corresponde a um metro no mundo real.

Infelizmente, muitas aplicações começaram a ser desenvolvidas, antes da aplicação A estar operacional. Sendo assim, essas aplicações só poderiam contar, à partida, com o mapa base. Entre estas aplicações encontrava-se a aplicação B (ver Fig. 26).

A aplicação B tem como objectivos realizar a gestão do processo de distribuição porta a porta de contentores de resíduos sólidos e, adicionalmente, gerir os circuitos de recolha dos mesmos contentores. Ambos os objectivos necessitam dos eixos de via, pelo que se tornou imperativo que fossem adicionados, ao mapa base desta aplicação, os eixos de via criados na aplicação A.



Fig. 26 – Mapa digital da aplicação B com os eixos de via.

Esta aplicação foi desenvolvida em MapBasic, a linguagem nativa do MapInfo. O MapInfo é um software classificado como Desktop Mapping.

Um Desktop Mapping, ao contrário de um GIS, não possui a capacidade de armazenar informação de carácter topológico associado à geometria. É uma solução consideravelmente menos poderosa, mas acarreta custos mais reduzidos, sendo considerado uma alternativa aceitável em determinados cenários menos exigentes.

O MapInfo é capaz de ler ficheiros no formato DXF, mas só as entidades geométricas são consideradas. As entidades *Attr*, não geométricas, são ignoradas, perdendo-se, assim, as designações dos arruamentos.

Para solucionar este problema, optou-se pela utilização de um ficheiro em formato ASCII. Na Tab. 2 pode ver-se a constituição deste ficheiro. Na primeira linha encontra-se indicado o número de freguesias com eixos de via a ser transferido.

Cada freguesia é identificada pela sua designação, surgindo, em seguida, o número de eixos de via nela existentes. Cada eixo de via é identificado pela designação do arruamento, seguida do número de pontos necessários para o definir. Finalmente, surge uma sequência de pares de coordenadas, cada par associado a um ponto do eixo de via.

A aplicação B é capaz de ler este ficheiro em formato ASCII. A solução clássica para garantir a transferência dos geo-dados, da aplicação A para a aplicação B, seria um conversor de formatos. Esta solução implicaria a construção de um programa utilitário, que teria como função, converter o ficheiro em formato DXF produzido pela aplicação A, num ficheiro em formato ASCII entendido pela aplicação B.

N.º de Freguesias	1
Freguesia	Santa Marinha
N.º de Arruamentos	1
Arruamento	Rua Antero de Quental
N.º de Pontos	2
Coord x, Coord y, ...	110,111,120,125

Tab. 2 – Ficheiro em formato ASCII.

Até que ponto o OpenGIS poderá ser uma alternativa a esta solução?

Em primeiro lugar, referira-se que utilização do OpenGIS sobre uma tecnologia de objectos distribuídos para transferir e converter ficheiros não é a solução mais adequada, visto que desvirtua os princípios básicos da norma. No entanto, isso não impede que o OpenGIS seja uma solução funcional e, de certo modo, a própria norma irá, no futuro, contemplar este tipo de cenários. O capítulo “Transferência de Tecnologias” da especificação, tem como objectivo o desenvolvimento de interfaces de objectos com a

função de transferir os geo-dados existentes em ambiente distribuído para ficheiros em diversos formatos (proprietários e neutros).

Este tipo de problemas continuam a ser comuns e muito provavelmente continuarão a sê-lo, principalmente durante os primeiros anos em que a norma OpenGIS começar a ser utilizada.

Em seguida, passa-se a descrever as várias alternativas em relação às tecnologias de objectos distribuídos que, podem servir de base à implementação da solução OpenGIS.

4.1.2 As Alternativas de Implementação

Existem várias alternativas para a implementação de sistemas distribuídos e em particular para sistemas distribuídos orientados ao objecto [Adler 95]. Das várias alternativas existentes, três irão ser consideradas: a DCOM da Microsoft, a CORBA da OMG e a Java da Sun Microsystems. Infelizmente, só para CORBA é que existe a especificação de implementação OpenGIS. Para a Java e para a DCOM, a especificação de implementação ainda se encontra em fase de desenvolvimento. No entanto, levando em consideração a importância crescente que ambas as tecnologias detêm na actualidade, parece oportuno, levá-las em consideração como base de comparação com a CORBA.

Distributed Component Object Model (DCOM)

A DCOM é uma variante para ambientes distribuídos do COM [S & P 95]. Esta última tecnologia, sendo a base do OLE2, acaba por ser bastante utilizada devido fundamentalmente ao facto de que a grande maioria dos sistemas operativos existentes nos computadores pessoais serem da Microsoft (MS Windows 95/NT), bem como parte das aplicações mais utilizadas serem também da mesma empresa (exemplo: MS Office).

Nesse sentido, a utilização da DCOM como base de implementação da solução OpenGIS é uma alternativa viável. No entanto, esta tecnologia possui algumas desvantagens que, para o problema apresentado, poderão não ser muito importantes, mas numa perspectiva mais alargada e de longo prazo poderão ser graves.

Uma das principais e mais conhecidas desvantagens da DCOM é a sua dependência em relação a plataformas Microsoft (esta tecnologia foi especialmente desenvolvida para funcionar no seio de uma família de sistemas operativos produzidos pela empresa em causa). Existem esforços no sentido de tornar esta tecnologia compatível com sistemas operativos não-Microsoft, sendo um caso notável desse esforço, o EntireX DCOM [F & H 97].

Uma desvantagem, com algum peso para a resolução deste problema, consiste na complexidade geralmente elevada inerente à utilização desta tecnologia. A filosofia que guiou o seu desenvolvimento promove a riqueza e a abundância de funcionalidades em detrimento da simplicidade e objectividade [Brock 94].

Actualmente, existe uma especificação de implementação OpenGIS para a tecnologia COM, não existindo, infelizmente, uma para DCOM ou para EntireX DCOM. A tecnologia COM possibilita somente o acesso a objectos cuja implementação esteja disponível em modo local. Na prática não contém quaisquer aspectos relativos à distribuição de objectos, o que acaba por impossibilitar a sua utilização para solucionar o

problema descrito. No entanto, importa tornar a referir que, tanto a tecnologia DCOM como a EntireX DCOM podem ser consideradas viáveis como base para uma futura especificação de implementação OpenGIS.

Common Object Request Broker Architecture (CORBA)

A CORBA é uma especificação para sistemas de objectos distribuídos criada pelo *Object Management Group* (OMG), um consórcio constituído por empresas produtoras de software e hardware. Fundamentalmente, o seu principal objectivo é permitir a interoperabilidade entre aplicações recorrendo a um modelo orientado ao objecto. No presente, é a única tecnologia de objectos distribuídos para a qual existe uma especificação de implementação OpenGIS, fazendo dela a única alternativa possível de ser utilizada. A razão que levou a CORBA a ter sido a primeira e a única tecnologia de objectos distribuídos contemplada com uma especificação de implementação, prende-se com o facto de que muitas das empresas que fazem parte do consórcio OMG, também fazem parte do consórcio OGC, responsável pela norma OpenGIS.

Esta tecnologia apresenta algumas vantagens de peso, das quais um modelo cliente/servidor muito flexível é provavelmente uma das mais importantes. Para além da relação clássica cliente-servidor, na qual tipicamente vários clientes efectuem pedidos a um determinado servidor, é também possível manter uma relação *peer to peer*. Neste tipo de relação ambos os intervenientes poderão efectuar pedidos ou responder aos mesmos. Na sua essência, a CORBA só se preocupa com a localização específica da implementação de um determinado objecto. Para uma dada aplicação composta por objectos distribuídos, as suas respectivas implementações poderão estar localizadas em diferentes computadores existentes na rede.

Um aspecto interessante para quem pretenda recorrer ao clássico modelo cliente/servidor, consiste numa arquitectura de servidor bastante flexível que possibilita ao servidor não ser encarado forçosamente como um processo singular. Nesse sentido, um computador conectado à rede, poderá suportar vários processos de servidor, não estando irremediavelmente monopolizado por um só processo. Esta característica é especialmente útil em sistemas com cargas muitas elevadas, em que um determinado processo de servidor pode ser atribuído a um determinado processador, simplificando dessa forma a distribuição da carga de pedidos pelos recursos de processamento disponíveis no sistema.

Uma das vantagens implícita ao facto da CORBA ser uma tecnologia de objectos distribuídos, prende-se com a utilização de um modelo orientado ao objecto e às vantagens inerentes aos objectos (ver 2.3.2).

Infelizmente, esta tecnologia também possui algumas desvantagens. Tal como na DCOM, mas não num grau tão elevado, também existiu na CORBA alguma dependência em relação aos produtores da implementação em causa. Até à versão 1.2 da especificação, muitos dos detalhes da implementação eram deixados à descrição dos produtores. Dessa forma, era fácil obter interoperabilidade entre duas aplicações desenvolvidas sobre uma mesma implementação de CORBA, mas a interoperabilidade entre diferentes implementações era impossível de ser obtida. Esta desvantagem foi correctamente identificada pela OMG e o resultado consistiu na versão 2.0 da especificação [CORBA 98], a qual contém a definição de um protocolo que possibilita a distribuição de objectos sobre redes TCP/IP. Este protocolo, designado *Internet Inter*

ORB Protocol (IIOP), aumentou consideravelmente o grau de interoperabilidade desta tecnologia.

Um dos problemas actuais em relação ao CORBA prende-se com a migração de objectos. A especificação CORBA não explora especificamente este aspecto, deixando-a ao cargo do produtor da implementação. Normalmente, num modelo cliente/servidor, os objectos do servidor reagem à invocação dos seus métodos por parte dos clientes. No entanto, em determinados cenários, poderá ser mais prático migrar o objecto em causa do lado do servidor para o lado do cliente e, em seguida, um dos seus métodos ser eventualmente executado, localmente, neste último.

Apesar destas desvantagens, a CORBA é uma tecnologia com bastante potencial e totalmente viável como base para a implementação da solução OpenGIS do problema em causa.

Java

A Java é, simultaneamente, uma tecnologia de objectos distribuídos e uma linguagem de programação orientada aos objectos. Esta tecnologia teve a sua origem no início da década de 90 num projecto de investigação sobre a responsabilidade de James Gosling da Sun Microsystems.

Curiosamente, o objectivo desse projecto consistia em desenvolver um conjunto de novas técnicas de programação que pudessem ser aplicadas a electrodomésticos, nomeadamente a vídeo-gravadores, a máquinas de lavar roupa, a televisores, etc. Como é natural, qualquer software que pudesse ser utilizado por uma tão grande variedade de equipamento deveria ser extremamente portátil. Por outro lado, o nível de fiabilidade exigido deveria ser elevado, visto que a tolerância de um utilizador de um electrodoméstico é consideravelmente inferior à de um utilizador de um computador. Adicionalmente, a capacidade de suportar um ambiente multitarefa era altamente adequado para a gama de equipamento em que o software deveria ser executado.

Todas estas exigências tiveram como resultado uma linguagem independente do hardware, característica importante para obtenção de um elevado nível de interoperabilidade.

Adicionalmente, existe um vasto conjunto de vantagens, das quais se apresentam algumas das mais importantes [G & M 95]:

- Simplicidade – A Java é uma linguagem “simples” que não exige um treino intensivo de programação para ser utilizada.
- Orientação ao objecto – A Java adopta totalmente a tecnologia dos objectos, obtendo, nesse sentido, todos os benefícios a ela associados (ver secção 2.3.2).
- Semelhança com o C++ - A Java adopta muitos elementos sintácticos e semânticos do C++. Sendo assim, programadores com experiência nesta última linguagem, terão uma maior facilidade em aprender Java.
- Robustez – Como já foi visto anteriormente, a necessidade de elevada fiabilidade permite que o software criado seja mais robusto que o de outras linguagens.
- Segurança – A segurança é sempre uma característica importante num sistema distribuído. As arquitecturas de software que permitam que determinadas porções de código, obtidas remotamente, possam ser executadas localmente, devem ter as precauções necessárias para evitar que código com intenções

maliciosas seja executado. A Java possui vários níveis de segurança que previnem que determinados tipos de código, como os vírus, possam aceder aos recursos do sistema local.

De todas as alternativas abordadas, a Java é a mais atraente. No entanto, na actualidade, a especificação de implementação OpenGIS para esta tecnologia ainda se encontra em desenvolvimento, não existindo nenhuma versão disponível.

A Alternativa Escolhida

A alternativa escolhida, para servir de base à solução OpenGIS do problema descrito, foi a CORBA, em parte pelos seus próprios méritos, mas principalmente por ser a única que possui uma primeira versão de especificação de implementação OpenGIS já disponível.

Importa, no entanto referir que, num futuro próximo, irão surgir as primeiras versões da especificação de implementação OpenGIS, tanto para Java como para DCOM e, nesse sentido, é crucial conhecer as características associadas a cada alternativa para que no futuro se possa efectuar uma escolha fundamentada e sensata.

Após a escolha da tecnologia CORBA, passa-se em seguida a descrever a implementação da solução do problema descrito, na respectiva tecnologia.

4.1.3 Considerações sobre a implementação em CORBA

Para realizar a implementação da solução OpenGIS em CORBA, o primeiro passo consiste em obter a especificação de implementação para CORBA, designada por *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA*, que se encontra escrita em IDL, podendo-se obter uma cópia no site WWW da OGC.

A IDL é uma linguagem utilizada para especificar as interfaces dos objectos, de forma a que os clientes possam efectuar um pedido (por exemplo: invocar um método). No entanto, a IDL não é utilizada para escrever código, ou seja as implementações dos objectos cuja a interface se encontra especificada em IDL. Para isso, é necessário utilizar uma linguagem, como o C++, onde esses objectos irão efectivamente ser implementados.

Nesse sentido, a IDL funciona como uma linguagem neutral para definir a interface, não sendo uma “verdadeira” linguagem de programação. Na prática, os objectos descritos terão que ser mapeados em alguma linguagem. A linguagem de programação utilizada foi o Microsoft Visual C++, que pode ser adquirida comercialmente; opcionalmente também poderia ter sido utilizada, por exemplo, a linguagem ANSI C++.

Na actualidade, a especificação de implementação CORBA ainda é consideravelmente limitada. Nesse sentido podem-se obter na WWW algumas implementações em C++, em diferentes estados de desenvolvimento e de aprovação pelo OGC, geralmente disponíveis com o estatuto de *freeware* ou *shareware*. Convém no entanto, referir que, tanto a especificação da implementação em IDL, como as implementações em C++, são disponibilizadas sem qualquer tipo de garantias em relação ao seu funcionamento e que, adicionalmente, os potenciais utilizadores são avisados que a especificação se encontra num estado de revisão activa, podendo sofrer alterações sem qualquer aviso.

Finalmente, sendo o CORBA uma especificação, também é necessário obter uma implementação da mesma. As implementações de CORBA são constituídas pelos Object Request Brokers (ORB); muitos deles encontram-se disponíveis comercialmente, mas existem algumas versões *freeware*, como é o caso da ORB utilizada na solução proposta, designada por ORBACUS. Adicionalmente, existem também um conjunto de funcionalidades de alto-nível, como por exemplo os CORBAfacilities e os CORBAservices. Actualmente, a *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA* é uma candidata a ser incluída nas CORBAfacilities.

Em seguida, será descrita sucintamente a especificação de implementação em CORBA.

4.1.4 *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA*

Esta especificação é suficientemente abrangente para poder garantir o máximo de flexibilidade na implementação. Em particular, foi concebida com dois tipos de implementação previstos [OGCORBA 98] :

- Exposição a aplicações e geo-dados já existentes, estando os dados armazenados em gestores de bases de dados relacionais ou em ficheiros proprietários. Esta exposição pode ser conseguida através de algum tipo de *object wrapping*, técnica a partir da qual um conjunto de dados ou funcionalidades numa arquitectura, não orientado ao objecto, é convertida para uma arquitectura orientada ao objecto.
- O desenvolvimento de novas aplicações GIS distribuídas e orientadas para o objecto.

A necessidade de suportar estes dois tipos de implementação, surgiu com a intenção de garantir que a interoperabilidade OpenGIS possibilite um ponto de partida de baixo custo para os vários intervenientes existentes no mercado de GIS, permitindo, nesse sentido, uma evolução gradual das tecnologias antigas para as mais poderosas tecnologias de objectos distribuídos. Importa referir que o problema em causa se enquadra, perfeitamente neste contexto.

Adicionalmente, a OGC apostou fortemente na interoperabilidade em ambientes não-distribuídos, desenvolvendo especificações de implementação, tanto em COM como em SQL. Estas especificações contribuem para facilitar a adaptação, por parte dos intervenientes no mundo GIS, à norma OpenGIS, pois são mais fáceis de implementar do que as tecnologias de objectos distribuídos.

A *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA* encontra-se escrita em IDL e é constituída por um conjunto de interfaces, que se dividem em dois modelos: o modelo da *Feature* e o modelo da geometria.

O Modelo da Feature

A especificação utiliza este modelo para criar, aceder e pesquisar *Features* e *Feature Collections*.

Como já foi visto na secção 3.2.2, uma *Feature* é normalmente utilizada para representar entidades do mundo real ou abstracções das mesmas (por exemplo: os eixos de via); são

constituídas por uma geometria (por exemplo: uma sequência de segmentos de recta) e por atributos (por exemplo: o nome do arruamento a qual pertence o eixo de via).

As *Feature Collections* são, simplesmente, conjuntos de *Features* (ver secção 3.2.3). Neste modelo existem dois tipos de *Feature Collections*: as que efectivamente contêm as *Features* em causa e as que unicamente referenciam um determinado conjunto de *Features*, com um certo propósito. Se, por exemplo, uma *Feature* fosse eliminada de uma *Feature Collection* do primeiro tipo, ela realmente deixaria de existir; no entanto, realizar a mesma operação numa *Feature Collection* do segundo não iria provocar o mesmo efeito. Nesta situação, só a referência a essa *Feature* seria removida da *Feature Collection* em causa.

Na implementação da solução OpenGIS proposta, é criada uma *Feature Collection* do primeiro tipo que engloba todas as *Features* (eixos de via). Adicionalmente, são criadas *Feature Collections* do segundo tipo, que agrupam as *Features* pelas freguesias a que pertencem os respectivos eixos de via.

O Modelo da Geometria

O modelo da geometria é utilizado por esta especificação com o intuito de criar uma geometria que, possa ser associada a uma determinada *Feature*.

Os elementos geométricos são representados por objectos, mas as coordenadas que os definem, só poderão ser consultadas através das WKS ou das WKB (ver secção 3.2.5). Convém referir que é através das mesmas WKS ou das WKB que um determinado objecto de geometria é criado.

Associado a cada geometria existe, invariavelmente, um sistema de referência espacial (ver secção 3.2.6) que irá determinar a sua localização geo-espacial relativamente à superfície da Terra. Os sistemas de referência espacial poderão ser compostos por diversos componentes, dependendo do tipo específico a que pertencem.

Como foi visto, a especificação de implementação em CORBA, foi concebida para ser o mais flexível possível, tornando assim viável a implementação da solução do problema em causa que, será descrita em seguida.

4.1.5 CORBA na Configuração Cliente – Servidor

Em primeiro lugar, há que escolher uma configuração que se ajuste à solução do problema em causa. Nesse sentido, optou-se por uma configuração cliente-servidor, nesta configuração (Fig. 27). O software do lado do servidor tem a função de ler o ficheiro em formato DXF, criado pela aplicação A, e convertê-lo para um modelo de objectos distribuídos OpenGIS. Por sua vez, o software do lado do cliente tem como objectivo consultar os objectos criados pelo servidor e converter os dados obtidos num ficheiro em formato ASCII, que será lido pela aplicação B.

Neste cenário, o servidor cria todo um vasto conjunto de objectos que representam os eixos de via e todos os dados alfanuméricos a eles associados, enquanto que o cliente acede aos objectos criados pelo servidor. Convém referir que a norma OpenGIS não impõe grandes restrições no papel a ser desempenhado por ambas as partes, podendo mesmo afirmar-se que existe a tendência para os papéis se fundirem [OGG 98]. Em

última análise, os responsáveis pelo desenvolvimento da relação cliente-servidor é que ditarão aquilo que cada parte deverá ou poderá fazer.

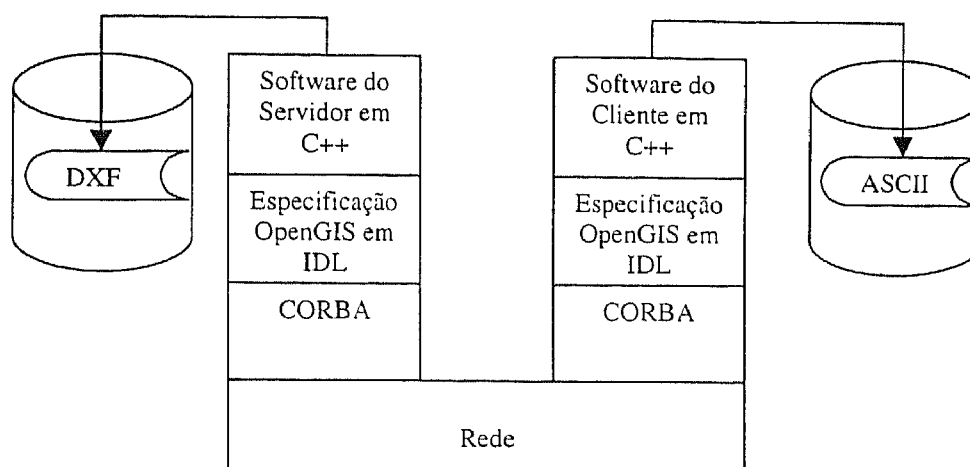


Fig. 27 – Arquitectura da Solução OpenGIS para o problema descrito.

Sendo o CORBA uma tecnologia de objectos distribuídos, pode utilizar-se uma configuração cliente-servidor que, para o problema em causa, como foi visto, é adequada. Nesse sentido, podem-se então discretizar os vários passos que terão de ser dados para partilhar os eixos de via.

4.1.6 *Container Feature Collection*

Tipicamente, o software do servidor irá começar o processo de partilha expondo a interface de um objecto *Container Feature Collection* ao cliente. Isto pode ser obtido via uma ligação estática (hard-coded) ou por via de um determinado mecanismo dinâmico de ligação, como por exemplo o *CORBA Naming and Trader Services* [CORBA 98]. Levando em consideração a rigidez e o aspecto limitado da implementação em causa, optou-se pelo primeiro método, visto que o servidor e o cliente se conhecem mutuamente.

Uma *Container Feature Collection* pode ser encarada como uma base de dados GIS, que irá armazenar o universo de informação a ser partilhada. Esta entidade contém um conjunto de *Features* que poderão estar agrupadas nas respectivas *Feature Collections*.

De salientar que uma *Container Feature Collection* é uma espécie de *Feature Collection*, podendo ela própria conter directamente as *Features*., sem que estejam agrupadas em *Feature Collections*.

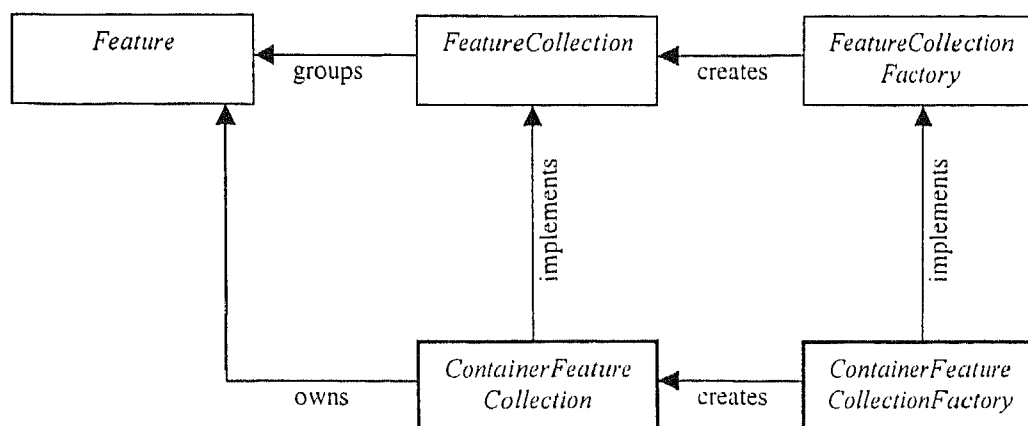


Fig. 28 – Diagrama Parcial do Modelo da Feature (ênfase na *ContainerFeatureCollection*).

Para criar uma *Container Feature Collection*, o servidor utiliza o objecto *ContainerFeatureCollectionFactory* (ver Fig.28).

Após a criação de uma *ContainerFeatureCollection*, o próximo passo seria a criação de *Features* ou de *FeatureCollection*. No entanto, para que tal passo se possa efectuar, é necessário que existam a *FeatureType*.

4.1.7 Feature Types

Para que o servidor possa criar uma *FeatureCollection* ou uma *Feature*, é necessário criar antecipadamente um *FeatureType*. Este objecto tem como função descrever um tipo específico de *Feature* ou de *FeatureCollection*.

A criação de um objecto *FeatureType* implica utilizar o método *create_featuretype* do objecto *FeatureTypeFactory* (ver Fig. 29). Durante o processo de criação, é necessário indicar um nome que identifique a *FeatureType* e, opcionalmente, uma sequência de propriedades que se encontram armazenadas numa estrutura (struct) *PropertyDef*, e um conjunto de *FeatureTypes* que sejam pais da *FeatureType* a ser criada. Uma propriedade (*PropertyDef*) é constituída por um nome identificativo e pelo seu tipo. A sequência de propriedades poderá ser uma geometria, propriedades semânticas ou meta-dados.

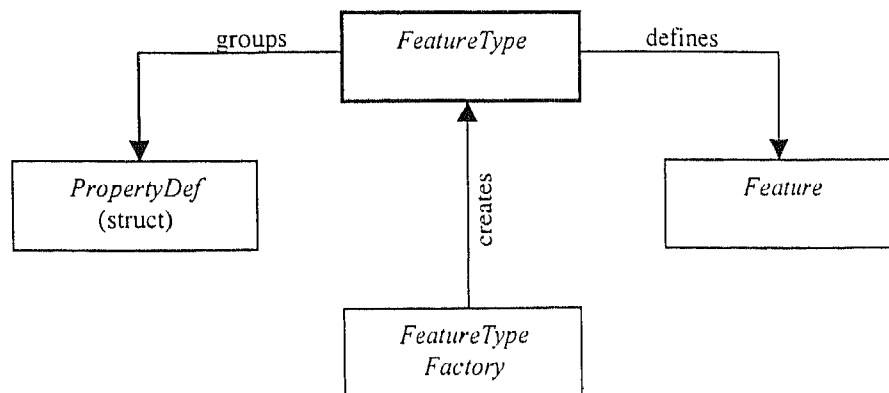


Fig. 29 – Diagrama Parcial do Modelo da Feature (ênfase na *FeatureType*).

Na implementação foram criados dois objectos *FeatureType*, o primeiro dos quais foi designado por “Freguesia” e o segundo por “Arruamento”.

- O *FeatureType* “Freguesia” foi utilizado como um tipo de *FeatureCollection*. Em relação às propriedades, este tipo não possui geometria, nem meta-dados; possui uma única propriedade semântica, com a designação de “DesigFreg” do tipo *string* de caracteres, que tem como função armazenar a designação da freguesia.
- O *FeatureType* “Arruamento” foi utilizado como um tipo de *Feature*. As propriedades especificadas incluem uma geometria e uma propriedade semântica, com a designação de “DesigRua” do tipo *string* de caracteres (ver Fig. 30). A primeira propriedade armazena a designação do arruamento e a segunda propriedade armazena a geometria do eixo de via.

A caixa de diálogo intitulada "Feature Type - Criação" apresenta os seguintes campos e controlos:

- Nome:** Um campo de texto com o valor "Arruamento".
- OK:** Um botão para confirmar a criação.
- Propriedades Semânticas:** Uma secção contendo:
 - Designação:** Um campo de texto com o valor "DesigRua".
 - Tipo:** Um menu suspenso com uma lista de tipos de dados: TypeBoolean, TypeChar, TypeOctet, TypeShort, TypeUShort, TypeLong, TypeULong, TypeFloat, TypeDouble, **TypeString** (destacado), TypeAny, TypeObject.
 - Obrigatório:** Uma caixa de seleção marcada com o texto "Obrig" (Obrigatório).
 - Botões de Ação:** Três botões empilhados à direita: "Inserir", "Alterar" e "Eliminar".

Fig. 30 – Caixa de Diálogo do software do servidor utilizada para a criação das *FeatureType*.

Adicionalmente, é possível indicar se as propriedades são de instânciação obrigatória ou opcional. Em ambos os objectos *FeatureType* foi considerada a instânciação obrigatória para todas as propriedades.

Com as *Feature Type* criadas pode-se então passar para a criação das *Feature Collection*.

4.1.8 *Feature Collection*

Como já foi visto no Capítulo 3, uma *Feature Collection* é simplesmente um conjunto de *Features*.

O processo de criação de uma *FeatureCollection* é desencadeado pela invocação do método *create* do objecto *FeatureCollectionFactory* (ver Fig. 31). É necessário indicar o seu tipo (*FeatureType*), além de um conjunto de valores que irão ser atribuídos às propriedades, definidas através da *FeatureType*.

Na implementação, foi criado um objecto *FeatureCollection* para cada freguesia. Cada um desses objectos é do tipo “Freguesia” e a sua propriedade semântica, “DesigFreg”, é instanciada com a designação da freguesia.

Após a sua criação, o objecto *FeatureCollection* disponibiliza vários métodos que permitem manipular o conjunto de *Features* a ele pertencente. É assim possível adicionar, inserir, substituir ou eliminar *Features* pertencentes à *FeatureCollection* em causa. Estes métodos são normalmente invocados pelo servidor, embora possam também serem invocados pelo cliente em cenários em que este possa editar os geo-dados existentes no servidor.

Uma das necessidades básicas por parte do cliente, é o acesso às *Features* que compõem uma *FeatureCollection* criada pelo servidor. Para que tal seja possível, o objecto *FeatureCollection* disponibiliza o método *create_iterator*, que permite criar um objecto *FeatureIterator* (este objecto permite ao cliente aceder às *Features* existentes na *FeatureCollection* em causa).

Após a criação da *Feature Collection*, é possível iniciar o processo de criação das *Features* e a sua respectiva inclusão na primeira entidade.

4.1.9 *Feature*

Um objecto *Feature* pode ser criado recorrendo ao objecto *FeatureFactory* (ver Fig.31). É necessário especificar o seu tipo (*FeatureType*) e instanciar as suas propriedades.

Nesta implementação, foi criado um objecto *Feature* por cada arruamento (eixo de via) existente. Cada *Feature* é do tipo “Arruamento” e a propriedade “DesigRua” é instanciada com a designação do arruamento.

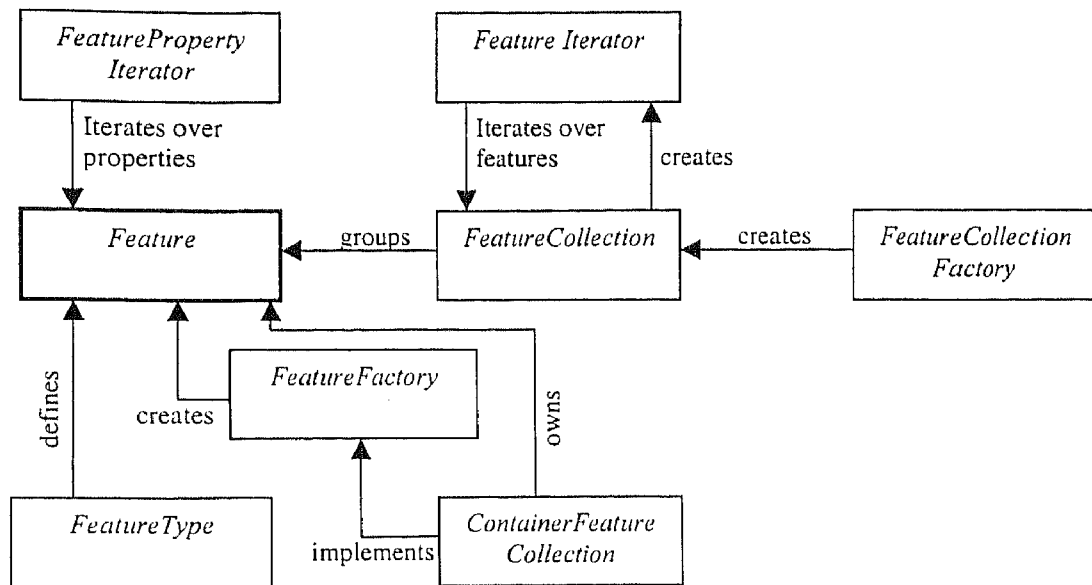


Fig. 31 – Diagrama Parcial do Modelo da Feature (ênfase na Feature).

Após o processo de criação, é importante que a *Feature* seja incluída na *ContainerFeature Collection* e numa *FeatureCollection*, para que seja possível associá-la à respectiva freguesia. Tal pode ser garantido recorrendo respectivamente ao método *add_element* dos objectos *ContainerFeatureCollection* e *FeatureCollection*.

As propriedades respectivas podem ser alteradas, após o processo de criação, recorrendo ao método *set_property* do objecto *Feature*.

Nesta implementação, todas as *Features* criadas foram incluídas na *FeatureCollection* da freguesia a que pertencem os eixos de via por elas representados.

O cliente poderá consultar as propriedades de uma *Feature* recorrendo ao método *get_property* da própria *Feature*. Este método exige que o cliente conheça a designação da propriedade para a poder consultar. Se o cliente não estiver familiarizado com as propriedades da *Feature*, o método *get_property* não terá qualquer utilidade.

Existe, no entanto, outra forma de um cliente consultar as propriedades de uma *Feature*. O método *get_property_iterator* do objecto *Feature*, cria um objecto *PropertyIterator* que permite ao cliente consultar as propriedades de uma *Feature* sem conhecer as respectivas designações.

Na presente implementação, o cliente consulta as propriedades de uma *Feature* criada pelo servidor, usando o método *get_property* da própria *Feature*. Como, neste cenário, o cliente conhece o servidor, a utilização do objecto *PropertyIterator* é desnecessária.

A geometria é um aspecto fundamental em qualquer GIS. Neste sentido, uma *Feature*, muito provavelmente, irá necessitar de uma geometria. No entanto, para que se possa criar uma geometria, é necessário criar antecipadamente um sistema de referência espacial.

4.1.10 Sistema de Referência Espacial

Para criar a geometria de uma *Feature* é necessário associar um sistema de referência espacial à geometria em causa. O sistema de referência espacial realiza a correspondência entre as coordenadas da geometria e as coordenadas no mundo real.

Criar um objecto *SpatialReferenceSystem* implica invocar o método *create_from_WKT* do objecto *SpatialReferenceSystemFactory*. Este método necessita de um parâmetro de entrada, uma *string* no formato Extended Backus Naur Form (EBNF), que descreva o sistema de referência espacial que vai ser criado.

Para o cenário em causa, na *string*, deverão ser indicadas, entre outros valores, as:

- coordenadas geográficas da origem:

```
PARAMETER["Longitude_of_origin",63.32]
```

```
PARAMETER["Latitude_of_origin",35.45]
```

- e a escala da geometria:

```
UNIT=["Meter",1.0]
```

Com o sistema de referência espacial criado, pode-se agora avançar para a geometria.

4.1.11 Geometria

A geometria é de importância crucial na grande maioria dos sistemas GIS. Estes sistemas utilizam mapas digitais que para serem definidos, necessitam de um conjunto de elementos geométricos, aos quais se pode dar o nome genérico de geometria. Na norma OpenGIS, por uma questão de flexibilidade, o uso de geometria é opcional, o que no entanto não invalida a sua importância.

Na norma OpenGIS, como já foi visto no Capítulo 3, a geometria pode ser representada por objectos, por estruturas (WKS) ou por uma sequência de bytes (WKBGeometry). Na implementação (ver Fig.32), optou-se por utilizar a representação por objectos e por estruturas. Os objectos são a forma de representação principal, utilizada no processo de partilha. As estruturas são utilizadas, unicamente, no apoio à criação dos objectos e na consulta das coordenadas que os definem.

Sendo assim, numa primeira fase, a geometria contida no ficheiro DXF é traduzida para as WKS respectivas. Numa segunda fase, procede-se à criação dos objectos, recorrendo às WKS criadas na primeira fase.

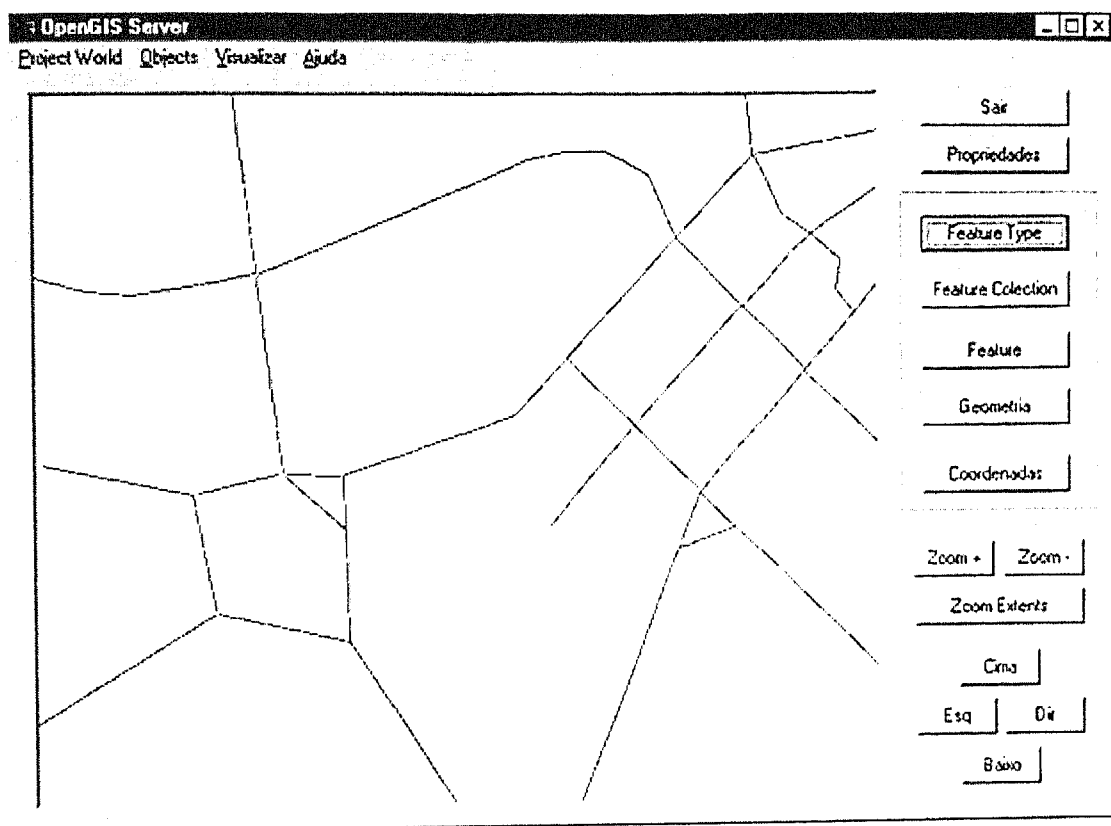


Fig. 32 – Visualização da geometria dos eixos de via no software do servidor.

Como se pode ver na Fig.33, a geometria de um eixo de via consiste numa sequência aberta de segmentos de recta. Na norma OpenGIS, o elemento geométrico mais indicado para representar o eixo de via é a *LineString* (secção 3.2.5).

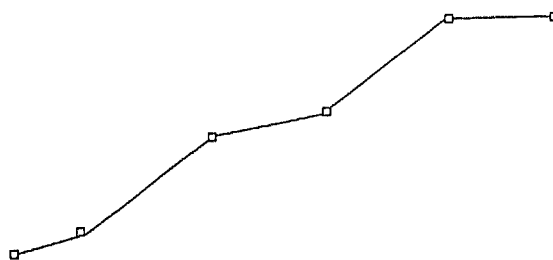


Fig. 33 – Geometria de um eixo de via.

A forma mais rápida e directa que o servidor possui para criar todos os objectos geométricos acima enunciados, consiste na utilização de um conjunto de estruturas WKS, que posteriormente poderão ser convertidas para objectos.

A estrutura que armazena o elemento *LineString* é a *WKS_LineString* que é constituída por uma sequência de *unions WKS_Coordinate* (ver Tab. 3). Estas consistem em quatro valores reais, pelo que, nesta sequência, irão ser armazenadas as coordenadas 2D dos pontos do eixo de via. Os dois valores restantes são instanciados a zero.

WKS_Coordinate e WKS_LineString	
<pre> const MaxDim 4; typedef sequence<long,MaxDim> LongBSeq; typedef sequence<double,MaxDim> DoubleBSeq; enum CoordinateType (TypeDouble, TypeLong); union Coordinate switch CoordinateType { case TypeDouble: DoubleBSeq d_coord; Case TypeLong: LongBSeq l_coord; } typedef sequence<Coordinate> LineString; </pre>	

Tab. 3 – Definição em IDL das WKS_Coordinate e WKS_LineString .

Finalmente, utiliza-se a estrutura de mais alto nível, a *WKS_Geometry*. Nela deve-se identificar uma instância da estrutura, de nível imediatamente inferior, que compõe a geometria e que neste caso, será uma instância da estrutura *WKS_LineString*. É também necessário identificar o sistema de referência geo-espacial utilizado.

Para criar os objectos geométricos a partir de uma instância da estrutura *WKS_Geometry*, recorre-se ao método *create_from_WKSGeometry* do objecto *GeometryFactory*. São, dessa forma, criados um objecto *Geometry*, um objecto *Curve* e um objecto *LineString*, que foi definido à custa da *WKS_LineString*. O objecto *Geometry* passa a ser uma das propriedades da *Feature* em causa, através do método *set_property* desta última.

Em contraste com o método acima utilizado, todos estes objectos poderiam ter sido criados individualmente. Por exemplo, um objecto *Point* pode ser criado recorrendo ao método *create_from_WKSPoint* do objecto *PointFactory*, sendo neste caso necessário indicar uma instância da estrutura *WKS_Point* e um sistema de referência espacial.

Importa referir que, após o objecto ter sido criado e independentemente do método utilizado, é possível alterá-lo. Por exemplo, o objecto *LineString*, disponibiliza vários métodos que permitem adicionar, inserir, eliminar e substituir as associações com os objectos *Point*, garantindo, assim, um grau razoável de flexibilidade.

O cliente obtém a geometria de uma determinada *Feature*, usando o método *get_property* ou o método *get_geometry* dessa mesma *Feature*. O objecto *Geometry* assim obtido disponibiliza o método *export*, que permite ao cliente obter um conjunto de instâncias de estruturas WKS relativas à geometria da *Feature*.

Com a criação da geometria, a *Feature* encontram-se completa. É então necessário repetir o processo da criação da *Feature* e da respectiva geometria para outro eixo de via, até que todos os eixos de via para a freguesia em causa sejam esgotados.

Pode-se então passar para a próxima freguesia. Cria-se a respectiva *Feature Collection*, e em seguida as *Features* correspondentes aos vários eixos de via em causa.

O cliente poderá obter as propriedades semânticas e a geometria de cada *Feature* e, com a totalidade desses dados, poderá então gravar na memória auxiliar um ficheiro ASCII (ver secção 4.1.1), que será lido pela aplicação B.

A aplicação B obtém os dados disponibilizados pela aplicação A, num formato que reconhece mas que não é reconhecido aplicação A. Deste ponto de vista, a interoperabilidade atingida não é total.

4.1.12 Considerações Finais

Num cenário tão limitado e restrito como o apresentado, o desenvolvimento de uma implementação em conformidade com a norma OpenGIS é muito mais complexo do que a natureza do problema a ser resolvido. Para estes cenários, o desenvolvimento de um conversor de formatos constitui uma solução mais adequada e eficiente, se bem que, irremediavelmente, menos flexível. No entanto, para o cenário em causa, tal desvantagem não tem grande importância.

Mas se, no futuro, viesse a ser necessário transferir os eixos de via da aplicação A para um número crescente de novas aplicações, a solução OpenGIS passaria a ser, doravante a mais adequada.

Neste novo cenário, o software do servidor não necessitaria de ser alterado e só uma parte do software do cliente deveria ser modificado, de forma a poder-se adaptar às várias aplicações. Em contraste, o conversor de formatos seria agora totalmente inadequado, visto que, se as novas aplicações fossem incapazes de ler os formatos já conhecidos do conversor, seria necessário criar um novo conversor para um novo formato.

No entanto, nenhuma das soluções acima enunciadas, garante a integral interoperabilidade entre as duas aplicações, visto que:

- Não existe integração dos geo-dados. O mapa base e os eixos de via, encontram-se instanciados, tantas vezes, quantas as aplicações que os utilizam. Existem muitos geo-dados redundantes e potencialmente inconsistentes.
- Não é um processo transparente. O utilizador que pretender transferir os eixos de via da aplicação A para a aplicação B terá que, na aplicação A, gravar um ficheiro com os eixos de via e utilizar o software do servidor para enviar os eixos de via para o cliente, o qual criará um outro ficheiro que poderá ser lido a partir da aplicação B.

Uma boa solução, para a obtenção de interoperabilidade completa, consistiria no desenvolvimento destas aplicações numa tecnologia de objectos distribuídos, em conformidade com a norma OpenGIS.

Assim, só existiria um mapa base com os respectivos eixos de via; todas as alterações realizadas pela aplicação A, ao nível dos eixos de via, iriam, imediatamente, ser visíveis para as demais aplicações; adicionalmente, todos os processos responsáveis por garantirem a interoperabilidade entre as várias aplicações seriam totalmente transparentes para os utilizadores.

4.2 O Paradigma Futuro

A partilha de geo-dados e de funcionalidades é a base da interoperabilidade entre sistemas GIS. Nesse sentido, é também o aspecto primordial que deverá ser contemplado por qualquer implementação da solução OpenGIS.

4.2.1 *Descrição do Problema*

Pretende-se utilizar um sistema distribuído já existente, com o objectivo de garantir a livre partilha de geo-dados e de funcionalidades. O sistema em causa deverá responder às necessidades de uma determinada Câmara Municipal, que será designada por Metropolis. O município de Metropolis é um concelho constituído por sete freguesias, possuindo uma área total de 75 km² e uma população de aproximadamente 30 mil habitantes.

A câmara municipal de Metropolis utiliza como redes de comunicação digital uma intranet própria, e ao nível de tecnologias de objectos distribuídos, a tecnologia utilizada é a CORBA.

4.2.2 *Solução - A norma OpenGIS*

Para garantir a livre partilha de geo-dados e de funcionalidades, no sistema em causa, optou-se pelo desenvolvimento de software, implementado em CORBA, em total conformidade com a norma OpenGIS. Opcionalmente, poderia optar-se pela utilização de sistemas GIS que estivessem em conformidade com a norma OpenGIS ao nível da especificação de implementação em CORBA. Nesta opção, as aplicações são desenvolvidas nas linguagens nativas desses sistemas ou noutras linguagens externas que sejam consideradas pelo sistema GIS.

É importante referir que a implementação se baseia numa extrapolação futurista do presente estado da norma OpenGIS. A norma encontra-se actualmente em fase de desenvolvimento, nomeadamente ao nível da própria especificação de implementação em CORBA. Outras especificações de implementação, já anunciadas há algum tempo, ainda não surgiram, como por exemplo a Java. O que irá ser apresentado, baseia-se fundamentalmente no que se encontra descrito em língua inglesa na especificação abstracta e que ainda não foi abordado nas especificações de implementação.

Também não existe nenhum sistema GIS comercial que esteja em conformidade com a norma OpenGIS ao nível da especificação de implementação em tecnologias de objectos distribuídos.

Dessa forma, o objectivo desta secção consiste em descrever uma implementação da solução OpenGIS, projectada no futuro, em que seja possível apreciar as principais características inerentes ao seu desenvolvimento e à sua utilização, apesar da sua implementação ser actualmente impossível.

Na descrição da implementação irão ser abordados tanto a partilha de geo-dados, como a partilha de funcionalidades.

4.2.3 Partilha de Geo-dados

Todos os geo-dados existentes no sistema irão consistir em *Features* que se encontram agrupadas em *Features collections*. Estas *Features Collections* agrupam *Features* que possuem algum grau de relacionamento entre si, como por exemplo, uma *Feature Collection* que agrupe todos as escolas primárias de uma determinada freguesia.

No contexto desta implementação, as *Features Collections* podem ser classificadas como sendo de uso genérico ou de uso específico. As *Features Collections* de uso genérico são utilizadas pela maioria das aplicações GIS, as de uso específico são utilizadas por uma única aplicação ou então por um nicho muito reduzido de aplicações GIS, possuindo, normalmente, uma forte relação com o domínio de conhecimento associado à aplicação ou aplicações que os utilizam.

O Mapa Base

As *Feature Collections* de uso genérico constituem o que é normalmente designado por mapa base que é utilizado pela grande maioria das aplicações GIS existentes. Adicionalmente, cada aplicação poderá também utilizar um conjunto de elementos geográficos específicos ao seu domínio de conhecimento, que consistem nas *Feature Collections* de uso específico.

As entidades geográficas mais comuns nos mapas base são por exemplo: as divisões administrativas (fronteira de concelho, fronteiras de freguesia); os arruamentos; os edifícios e outras estruturas; os jardins; as propriedades agrícolas; etc. Todas estas entidades se encontram representadas por *Features*, possuindo uma geometria, um vasto conjunto de propriedades semânticas que descrevem pormenorizadamente a entidade em causa e um conjunto de meta-dados, que incidem particularmente na qualidade, ou seja, na precisão da geometria e das propriedades semânticas da *Feature*.

Uma das *Features* mais comuns no mapa base consiste nos arruamentos. A geometria de um arruamento é normalmente constituída por uma *LineString*. Mas neste município, como se pode ver na Fig. 34, determinados arruamentos, como a Avenida A, encontram-se intercalados por rotundas, não existindo um conjunto contínuo de segmentos de recta.

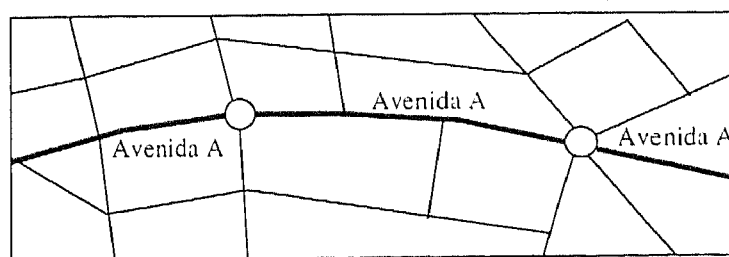


Fig. 34 – Arruamentos constituídos por várias *LineStrings*.

Nesse sentido, não é possível utilizar uma única *LineString* para representar este arruamento. Optou-se, dessa forma, pela utilização de uma *MultiLineString*, que consiste numa coleção de *LineStrings*. Podia também, ter-se optado pela criação de *Features* de nível inferior, designadas por “troços”, que consistiriam em segmentos do arruamento delimitados por duas intersecções consecutivas. Assim, a *Feature* arruamento seria

constituída por *Features* troço e cada uma delas teria uma geometria definida por uma *LineString*.

Como se pode observar na Tab. 4, existe um vasto conjunto de propriedades semânticas, que vão desde a sua designação até à sua largura média. Este conjunto pode sofrer alterações ao longo do tempo: novas propriedades podem ser adicionadas e outras poderão ser eliminadas.

Um aspecto interessante, que convém referir, consiste na aparente redundância de algumas propriedades semânticas, como por exemplo o N.º de Edifícios. Esta propriedade semântica é inerente ao mapa, ou seja, é possível, recorrendo a uma determinada funcionalidade, obter o número de *Features* edifícios existentes na vizinhança de um arruamento. No entanto, este tipo de redundância é benéfica, pois evita a necessidade de invocar esta funcionalidade sempre que se deseje obter o valor em causa. Por outro lado, este valor deverá ser recalculado com uma certa frequência, para que se possa evitar a sua possível desactualização. Um meta-dado pertinente, para esta propriedade semântica, será a data em que foi calculada pela última vez.

Propriedade Semântica	Tipo
Designação do Arruamento	<i>string</i>
N.º de Sentidos	inteiro
Trafego	Complexo
Passeios	Complexo
Estacionamento	Complexo
Largura Média	real
N.º de Edifícios	inteiro
N.º de Fogos	inteiro
N.º de Unidades Comerciais e Serviços	inteiro
N.º de Unidades Industriais	inteiro
N.º de Escolas	inteiro

Tab. 4 – Propriedades Semânticas da *Feature* Arruamento.

De forma a disponibilizar um mapa base com um aspecto visual mais realista e que cause um maior impacto, nomeadamente durante apresentações, optou-se por criar uma

Feature Collection constituído por *Coverages* que representam imagens orto-rectificadas, sendo dessa forma possível obter uma representação visual do mapa base em modo matricial ou em modo vectorial (recorrendo à geometria das *Features*). Pode-se também combinar as duas representações, obtendo um mapa, em que uma representação vectorial (geometria das *Features*) do mapa se encontra combinada com uma representação matricial (*Coverage*) do mesmo mapa.

Servidores do Mapa Base

O mapa base encontra-se disponível num servidor, podendo ser utilizado por qualquer aplicação GIS cliente. Nesse sentido, qualquer actualização realizada pelo gabinete de cartografia no mapa base, torna-se visível a todas as aplicações GIS clientes que o utilizem. Como já foi referido, o mapa base é utilizado pela maioria das aplicações GIS existentes no sistema e, nesse sentido, os geo-dados existentes no mapa base possuem uma elevada taxa de afinidade com as aplicações clientes, sendo estas últimas, por sua vez, totalmente dependentes destes.

Utilizar um só servidor, não é uma estratégia eficiente nem fiável, para este cenário. O ideal consiste em utilizar um número superior de servidores, cada um deles com uma instância do mapa base. Como intermediário entre os clientes e os servidores, existe um filtro, os clientes que necessitem de aceder ao mapa base, enviam esse pedido para o filtro, e este, por sua vez, redirecciona o pedido para um dos servidores disponíveis. A função do filtro consiste em distribuir equitativamente os pedidos de acesso, pelos servidores disponíveis.

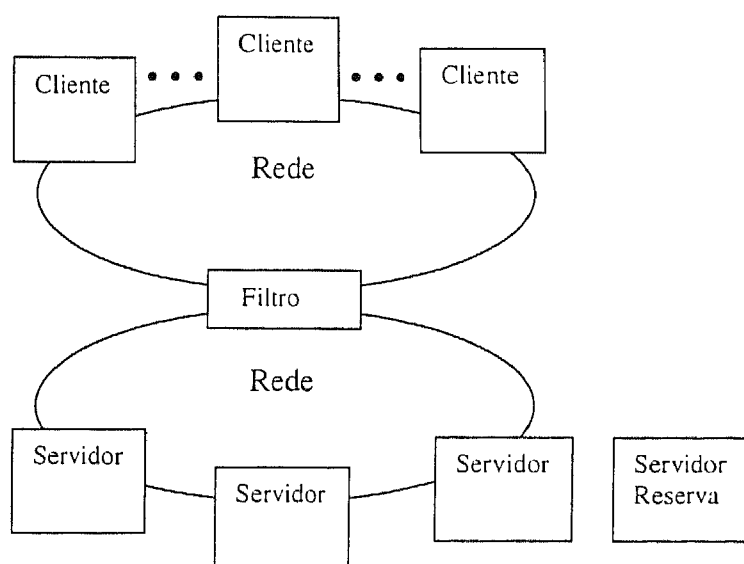


Fig. 35 – Utilização de vários servidores do mapa base.

Como se pode ver na Fig.35, utilizam-se quatro servidores, um deles de reserva em off-line. Existem quatro instâncias iguais do mapa base, cada uma delas num dos servidores. O servidor de reserva tem como função substituir um dos servidores operacionais no evento de falha ou na necessidade de manutenção. Apesar desta solução produzir redundância de geo-dados, é mais eficiente e consideravelmente mais fiável, visto que os clientes não dependem de um só servidor e, nesse sentido, o nível de afinidade entre os clientes e cada instância do mapa base cai, teoricamente, para um terço do nível original.

Aplicações GIS

Existem várias aplicações GIS no sistema, que utilizam o mapa base. Estas aplicações, por sua vez, utilizam e manipulam *Features Collections* específicas ao seu domínio.

Das aplicações existentes, dá-se como exemplo duas aplicações, pertencentes ao departamento do ambiente e da qualidade de vida da Câmara Municipal de Metropolis. Uma delas, designada por aplicação C, tem como função realizar a gestão das viaturas abandonadas na via pública. A outra, designada por aplicação D, tem como função realizar a gestão do esgotamento das fossas existentes no município. Cada uma destas aplicações encontra-se instalada num computador próprio conectado à intranet da Câmara Municipal.

A aplicação C utiliza uma *Feature Collection*, armazenada localmente, que é constituída por *Features* representando viaturas abandonadas na via pública que tenham sido detectadas pelos funcionários camarários competentes. Tal como na aplicação anterior, a aplicação D também utiliza uma *Feature Collection* armazenada localmente. A sua *Feature Collection* é constituída por *Features* representando as várias fossas existentes.

O mapa utilizado por estas duas aplicações é constituído por *Feature Collections* obtidas via rede (mapa base) e por uma *Feature Collection* local.

Visualizadores GIS

Os visualizadores GIS são idealizados, fundamentalmente, para garantir a consulta e visualização dos geo-dados partilhados. O objectivo passa por fornecer ao utilizador uma visão integrada dos geo-dados existentes no sistema.

Tomemos como exemplo a seguinte situação: o autarca responsável pelo pelouro do ambiente pretende obter um mapa onde possa visualizar todas as viaturas abandonadas e todas as fossas existentes no município. O visualizador terá que aceder as *Features Collections* das viaturas abandonadas e das fossas e, adicionalmente, terá também que aceder, via filtro, a todas as *Features Collections* que constituem o mapa base.

Neste exemplo, os anteriores clientes passam a ser servidores. No contexto apresentado anteriormente, as aplicações C e D eram clientes dos servidores do mapa base. No entanto, passam agora a ser servidores do visualizador.

4.2.4 Partilha de Funcionalidades

Em adição à partilha de geo-dados, também se decidiu realizar a partilha de funcionalidades. Tanto as aplicações GIS clientes como os visualizadores clientes poderão requerer funcionalidades partilhadas (componentes) a um servidor especialmente dedicado a suportar um conjunto de componentes que se enquadram nos serviços definidos no modelo de serviços OpenGIS.

Visualizadores de Geo-dados

Os visualizadores de geo-dados são o tipo de software que mais poderá beneficiar da utilização de componentes. Isto, porque são consideravelmente mais simples e genéricos

do que as aplicações GIS, sendo dessa forma mais fácil encontrar componentes que satisfaçam as suas necessidades.

Um visualizador pode ser totalmente constituído por componentes, que podem ser enquadradas no modelo de serviços OpenGIS, nomeadamente nos serviços de acesso geo-espacial e, principalmente, nos serviços de visualização geo-espacial.

Um visualizador pode, também, funcionar como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Neste papel, o visualizador deve possuir um conjunto adicional de componentes que permitam realizar análises aos geo-dados partilhados e obter os respectivos relatórios e indicadores estatísticos, utilizando-se assim componentes enquadrados nos serviços de análise geo-espacial.

Aplicações GIS

Em relação às aplicações GIS, a utilização de componentes é mais restrita. Uma aplicação GIS é um tipo de software mais específico e associado a um determinado domínio de conhecimento. É, dessa forma, mais difícil encontrar componentes que possam satisfazer todas as necessidades da aplicação.

A aplicação GIS é constituída por duas partes principais: uma em modo local e a outra constituída por um conjunto de componentes obtidas do servidor. A parte em modo local irá conter funcionalidades específicas, que não se encontram disponibilizadas nos componentes.

Os componentes mais utilizados pelas aplicações GIS são os mesmos que são utilizados pelos visualizadores, como por exemplo, os que se enquadram nos serviços de acesso, visualização e análise geo-espacial.

Existe, adicionalmente, todo um vasto conjunto de serviços que também podem ser utilizados pelas aplicações GIS, se bem que numa escala mais reduzida. No entanto, com o conjunto de serviços existente, será sempre muito difícil construir a totalidade de uma aplicação GIS, recorrendo unicamente a componentes.

4.2.5 Considerações Finais

No cenário apresentado, o desenvolvimento da solução OpenGIS é compensador. As vantagens que se obtêm compensam, amplamente, o esforço de desenvolvimento necessário à implementação da solução.

Em primeiro lugar, pode-se afirmar que a utilização da solução OpenGIS neste cenário permite a obtenção da interoperabilidade. Fundamentalmente, porque esta solução garante a partilha de geo-dados e funcionalidades, sem que o fluxo normal de trabalho dos utilizadores seja perturbado.

Ao nível da partilha de geo-dados, a principal vantagem consiste no facto de todas as aplicações GIS e visualizadores utilizarem um mapa base actualizado. A difusão de um mapa base actualizado pela variedade de software que o utiliza, consiste numa das tarefas mais complexas que poderá ser realizada num ambiente não-interoperável de uma determinada Câmara Municipal. Adicionalmente, é também possível integrar geo-dados de diferentes origens.

A partilha de funcionalidades permite que um vasto leque de diferentes utilizadores possam efectuar operações, como a consulta e a análise de geo-dados partilhados, que no passado, estariam somente disponíveis a uma elite especializada de utilizadores. Nesse sentido, o utilizador casual e pouco especializado é o que retira os maiores benefícios da partilha de funcionalidades.

Satisfazer as necessidades específicas de utilizadores altamente especializados, será um dos maiores desafios que a partilha de funcionalidades terá que enfrentar. Numa primeira fase, só estarão disponíveis as funcionalidades mais comuns. Assim sendo, a relação de dependência existente entre aplicações especialidades e funcionalidades locais continuará a ser uma realidade no futuro próximo.

Como já foi referido, o actual estado de desenvolvimento da norma, torna impossível a total implementação da solução OpenGIS. Nesse sentido, muito do que foi discutido baseia-se naquilo que se espera que a norma venha a realizar no futuro e que ainda não é capaz de realizar no presente.

5 Conclusões

Neste capítulo são sumariadas as principais conclusões obtidas pela realização desta dissertação. Discutem-se, também, as limitações do trabalho desenvolvido, apontado-se sugestões para uma possível prossecução futura do trabalho efectuado no âmbito desta tese.

5.1 Conclusões de Caracter Geral

O objectivo desta dissertação foi o de verificar até que ponto a norma OpenGIS poderá ser uma opção viável para garantir a interoperabilidade entre os Sistemas de Informação Geográfica, tendo-se como enquadramento o contexto das soluções anteriores.

Como foi visto, a norma OpenGIS é, sem dúvida, uma das tentativas mais ousadas na área da interoperabilidade entre Sistemas de Informação Geográfica.

No capítulo do Enquadramento Tecnológico, foi possível constatar a importância da interoperabilidade para os sistemas GIS, conhecer os métodos e as tecnologias utilizadas no passado e no presente e os actuais esforços em desenvolvimento que provavelmente ditarão o futuro da interoperabilidade nos sistemas GIS.

No capítulo da norma OpenGIS, procedeu-se à descrição da mesma, ficando-se a conhecer as suas principais metas, os conceitos estabelecidos, as várias componentes que a constituem e a forma como elas se relacionam.

Para melhor verificar a viabilidade da norma OpenGIS como garante da interoperabilidade nos sistemas GIS, descreveu-se uma implementação de uma interface OpenGIS entre duas aplicações GIS monolíticas e, adicionalmente, descreveu-se uma implementação fictícia aplicada a um cenário futurista mais complexo.

Essas implementações permitiram concluir que a conformidade com norma OpenGIS é uma opção válida e funcional para a resolução de problemas da não-interoperabilidade em sistemas GIS e que a norma é suficientemente flexível para se adaptar uma grande variedade de cenários e situações. No entanto, é necessário levar em consideração que, apesar da norma OpenGIS ser quase sempre uma solução funcional, nem sempre é a melhor solução, principalmente quando é aplicada a cenários limitados e restritos.

A primeira implementação constitui um software funcional em conformidade com a *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA*, que serviu de base para a transferência de formatos dissimilares entre duas aplicações GIS monolíticas locais.

A utilização da CORBA provou ser adequada para o problema proposto, se bem que limitada na natureza dos geo-dados a serem partilhados. Actualmente, a especificação de implementação em CORBA da norma OpenGIS é incapaz de lidar com a maioria da variedade de tipos de geo-dados existentes, tornando-a dessa forma inútil para muitos dos sistemas GIS actuais.

No entanto, há que referir que a primeira implementação permitiu concluir que a utilização da *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA* não é complexa, partindo do princípio que se esteja familiarizado, no mínimo, com os conceitos genéricos associados à norma OpenGIS. Os maiores problemas foram, fundamentalmente, de baixo nível, prendendo-se com a obtenção de uma implementação funcional em CORBA da *OpenGIS Simple Features Specification for CORBA*.

Em relação à especificação CORBA, foi muito mais fácil obter uma implementação funcional, visto que vai já na sua segunda versão, existindo uma grande variedade de implementações disponíveis, tanto comercial como gratuitamente. Em contraste, as especificações de implementação OpenGIS são versões muito simplificadas e consideravelmente incompletas quando comparadas com a abundância de aspectos e pormenores abordados na especificação abstracta. Nesse sentido, é fácil entender que,

pelo menos a nível comercial, não haja motivação para produzir uma implementação da especificação OpenGIS enquanto a norma estiver num estado tão embrionário.

A segunda implementação permitiu contemplar o que poderá ser possível realizar, quando a norma estiver num estado mais avançado de desenvolvimento.

As duas implementações no seu conjunto apontam para a principal conclusão que se poderá obter, que consiste na seguinte – Quanto mais complexo e diversificado for o problema da não-interoperabilidade, mais adequado e compensador será a utilização da norma OpenGIS como solução.

5.2 Sugestões para trabalho futuro

A norma OpenGIS encontra-se, no presente, em fase de desenvolvimento, não existindo software comercial que esteja em conformidade com a norma ao nível das tecnologias de objectos distribuídos. Tal facto restringe, de certa forma, a gama de trabalhos que se podem realizar.

Num futuro próximo, surgirão especificações de implementação mais completas e numa variedade crescente de tecnologias de objectos distribuídos. Prevê-se o desenvolvimento de especificações de implementação em Java, DCOM e EntireX DCOM. Adicionalmente, muitas das organizações pertencentes ao Consórcio OpenGIS afirmaram estar a desenvolver produtos que estarão em conformidade com a norma, não só ao nível de estruturas (WKS), mas também ao nível das implementações em tecnologias de objectos distribuídos.

Nesse sentido, a gama de trabalhos que poderão ser realizados, no futuro, será consideravelmente superior, possibilitando um melhor entendimento das potencialidades e limitações inerentes à utilização de software em conformidade com a norma.

Será possível desenvolver trabalhos em diferentes e novas tecnologias, que envolvam produtos comerciais em conformidade com a norma e, nesse sentido, estudar e avaliar a aplicação da solução OpenGIS a cenários mais complexos e diversificados.

6 Referências

- [Adler 95] Adler, R. M. (1995). Emerging standards for component software. *Computer*, 28(3), 68-77.
- [Brock 94] Brockshmidt, K. (1994). *Inside OLE2*. Redmond, Washington : Microsoft Press.
- [Clark 90] GIS FAQ List, U.S. Census Bureau.
<ftp://ftp.census.gov/pub/geo/gis-faq.txt>
- [Chorley 87] GIS FAQ List, U.S. Census Bureau.
<ftp://ftp.census.gov/pub/geo/gis-faq.txt>
- [CORBA 98] Component Object Request Broker Architecture: Architecture and Specification, Revision 2.2, 1998.
- [Cowen 89] GIS FAQ List, U.S. Census Bureau.
<ftp://ftp.census.gov/pub/geo/gis-faq.txt>
- [F & H 97] Fisher, P. & Hansem, W.R. (1997). EntireX: A new milestone for enterprise integration.
<http://www.softwareag.co.uk/coporat/press/nov97/koneigs.htm>
- [Flowerdew 91] Flowerdew, R. (1991). Spatial Data Integration.
In Maguire D.J., Goodchild M.F, Rhind DW (eds)
Geographical Information Systems and applications. Longman, London, 337-60, Vol.I.
- [GIPSIE 98] OpenGIS in Europe: the GIPSIE Project.
<http://www.eurogi.org/euro/gipsie.html>
- [Gluptill 91] Gluptill, S.C. (1991). Spatial Data Exchange and Standardization.
In Maguire D.J., Goodchild M.F, Rhind DW (eds)
Geographical Information Systems and applications. Longman, London, 515-30, Vol.I.
- [G & M 95] Gosling, J. & McGilton, H. (1995). *The Java Language Environment*. Tech. Rept. Sun Microsystems Computer Company, Mountain View, California.
- [JP 97] Joint press release – ISO/TC 211 and OGC collaborate on geographic processing standards.
http://www.statkart.no/isotc211/press_fv.htm
- [Korte 97] Korte, G. B. (1997). *The GIS Book*. OnWord Press.
- [Kuhn 97] Kuhn, W. (1997). Liaison contribution from OGC: Toward Implemented Geoprocessing Standards: Converging Standardization Tracks for ISO/TC211 and OGC. ISO/TC 211 N 418.
- [MaD 92] Maguire, D.J., Dangermond J. (1991). The Functionalty of GIS.
In Maguire D.J., Goodchild M.F, Rhind DW (eds)
Geographical Information Systems and applications. Longman, London, 319-35, Vol.I.
- [Matos 97] Matos, J. (1997). Normalização em Cartografia. *Ingenium*, 2ª Série, N.º 23, Nov. 1997, 46-49.
- [Oswald 93] Oswald, R. (1993). The Information utility. *Dr. Dobb's Journal*, 18(13), 18-30.
- [OGG 98] OpenGIS Guide, Draft Third Edition, 1998.
<http://www.opengis.org/public/guide.html>

- [OAS 99] OpenGIS Abstract Specification, Version 4, 1999.
<http://www.opengis.org/public/abstract.html>
- [Østensen 95] Østensen, O. (1995). Mapping the Future of Geomatics.
ISO Bulletin, Dez. 1995.
<http://www.statkart.no/isotc211/isobulen.htm>
- [Raper 99] Raper, J. (1999). Interoperability.
<http://www.gisworld.com/gw/1999/899online.asp>
- [TC211 99] TC 211 Geographic Information/Geomatics.
<http://www.iso.ch/meme/TC211.html>
- [TC287 98] Geographic Information – Fundamentals – Overview, CR 287002:1998.
<http://forum.afnor.fr/afnor/WORK/AFNOR/GPN2/Z13C/PUBLIC/DOC/13425.PDF>
- [Thoen 98] Thoen, B. (1998). The Fairy Tale of the Ugly Standard.
<http://www.gisworld.com/gw/1998/898online.asp>

