

CHUB - UM MODELO CARTOGRÁFICO PARA A VISUALIZAÇÃO E ANÁLISE DO CORPO HUMANO

Tese submetida à Universidade do Minho para obtenção do grau de
Doutor em Tecnologias e Sistemas de Informação, área do
conhecimento Engenharia de Programação e dos Sistemas Informáticos

Elizabeth Simão Carvalho
Departamento de Sistemas de Informação,
Escola de Engenharia, Universidade do Minho
ecarvalho@dsi.uminho.pt

Orientação
Prof. Doutor Adérito Fernandes Marcos, Prof. Doutora Maribel Yasmina Santos e
Prof. Doutor João Espregueira-Mendes

Abril de 2008

Agradecimentos

Ao Prof. Doutor Adérito Fernandes Marcos, orientador desta tese, por ter confiado em mim, dando-me a oportunidade de desenvolver este trabalho, pelo seu apoio e amizade, demonstrados de forma incondicional ao longo de todo o processo.

À Prof. Doutora Maribel Yasmina Santos, co-orientadora desta tese, pela sábias sugestões dadas, pelo incentivo, suporte e simpatia sempre presentes.

Ao Prof. Doutor João Espregueira Mendes, co-orientador desta teste, pela sua constante disponibilidade e amabilidade, pelo valioso e inestimável auxílio prestado como especialista da área de medicina, fundamental a validação deste trabalho.

Ao Fisioterapeuta Rogério Barbosa Pereira, pela sua simpatia, importante ajuda, disponibilidade e profissionalismo na recolha dos dados para teste do protótipo.

Ao Engenheiro Paulo Miguel Brito, pela sua amizade sempre demonstrada, disponibilidade em apoiar e bons conselhos, pelo suporte e ajuda técnica a nível de implementação do protótipo.

À Universidade do Minho, em particular à Escola de Engenharia e ao Departamento de Sistemas de Informação, por terem acolhido e apoiado este trabalho.

À minha família, em particular à minha irmã, pais e tios, pelo apoio sempre presente.

Aos meus amigos, em especial o Manuel Sá, a Luísa Coelho e a Conceição Águas pelas palavras sempre de incentivo.

À todos aqueles que de uma forma directa ou indirecta ajudaram a realização deste trabalho.

Resumo

A visualização é a representação visual realística ou abstracta de um conjunto de dados que são gerados por modelos computacionais ou resultantes de medições físicas realizadas no mundo real. É fundamental para auxiliar as pessoas a compreenderem dados e processos complexos e pode ser classificada consoante os seus objectivos (nomeadamente a visualização científica e de informação). A correcta modelação e caracterização dos dados são partes fundamentais para a escolha de técnicas visuais eficazes e a produção de uma visualização válida. O grande desafio é exactamente o de identificar como a análise dos resultados pode e deve ser mostrada ao potencial utilizador de uma forma simultaneamente sucinta, coerente e útil.

O conceito de modelação cartográfica ou álgebra de mapas foi desenvolvido por Dana Tomlin em 1983 com o *Map Analysis Package*¹ [Sendra2000]. Um modelo cartográfico pode ser visualizado como uma colecção de mapas registados numa base cartográfica comum, em que cada mapa é uma variável sujeita a operações matemáticas tradicionais. A modelação é um processo que decorre de operações primitivas de pontos, vizinhança e regiões sobre diferentes mapas, numa lógica sequencial para interpretar e resolver problemas espaciais. Neste contexto, a sequência de operações é similar à solução algébrica de um conjunto de equações.

A criação de ferramentas informáticas para a análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano é uma área em forte expansão e de especial interesse. Apesar destas ferramentas serem muito úteis, sofrem bastante da limitação imposta pela arquitectura dos modelos utilizados para o seu desenvolvimento e consequente implementação. Isto ocorre porque estes modelos adoptam os mesmos princípios e ponderações que são aplicados a dados de natureza não humana ou biológica e tratando-os de forma independente e atómica. Por outro lado, a utilização de técnicas visuais pouco intuitivas no sentido de denotar a interdependência espacial inerente a este tipo de informação é outra limitação a salientar neste tipo de ferramentas.

¹ Software para análise de mapas.

Os dados relacionados com o corpo humano apresentam uma forte componente espacial. Para que seja possível uma análise e investigação correctas é necessário ter isso sempre em consideração. Um bom exemplo desta situação é o diagnóstico médico. A combinação de informação oriunda de diferentes partes do corpo humano é normalmente necessária para que um médico possa diagnosticar a doença de um paciente. O acto de diagnosticar pode ser traduzido por um conjunto de operações de álgebra de mapas executadas sobre os dados relacionados com o corpo humano do paciente.

Qualquer modelo que pretenda servir de base para o desenvolvimento e implementação de ferramentas informáticas orientadas para a medicina, e em especial, para a análise e visualização de dados relacionado com o corpo humano, deve incorporar os princípios fundamentais da modelação cartográfica. Desta maneira, é possível que os dados possam ser devidamente modelados e conseqüentemente extrapolada mais informação útil. Por outro lado, a utilização da visualização como instrumento de comunicação de resultados, com a inclusão de metáforas visuais cartográficas é outra mais-valia a ter em conta.

O modelo CHUB (*Cartographic Human Body*), que é apresentado neste trabalho, pretende colmatar essa falha identificada no tratamento e visualização de dados relacionados com o corpo humano. Utiliza a modelação cartográfica como alicerce fundamental para a análise dos dados e a visualização científica e de informação como meio para a comunicação de resultados. Para ser possível a sua avaliação e validação foram considerados dois estudos de caso: diagnóstico da artrose no joelho e a análise de sessões de hidrocinesioterapia. Para estes dois estudos de caso foi implementado um protótipo que instancia o modelo CHUB nestes casos particulares, permitindo a sua utilização, avaliação e validação em dois domínios específicos. Os resultados obtidos após a utilização e avaliação do protótipo permitiram validar com sucesso o modelo CHUB proposto nesta tese de doutoramento.

Abstract

Visualization is the realistic or abstract visual representation of a dataset that is generated by computer models or resulting from physical measurements of the real world. Visualization is fundamental to help people understand data and complex processes and can be categorized according to its goals (scientific or information). The correct data model and characterization are essential to the right choice of the visualization techniques and the production of useful visualizations. The great challenge lies in how to determine that the results are shown to the final users at the same time in a coherent, useful and simple way.

The cartographic model concept was developed by Dana Tomlin in 1983 with the *Map Analysis Package*² [Sendra2000]. A cartographic model can be seen as a collection of maps that are registered in a cartographic database, where each map is a “variable” that can be mathematically operated. These operations may involve primitives such as points or areas of different maps, for example, in a sequential order to interpret and solve spatial problems. In this context, the sequence of operations is similar to the algebraic solution of a group of equations.

The creation of automatic tools for human’s body data analysis and visualization is a field in expansion and of great interest. However these tools are very valuable, they suffer from a common limitation that is imposed by their basis architectural model. In general, they rarely represent in a suitable way biological, morphological and/or biomedical data spatial interdependency. These models treat data in an almost total focused and independent way. The human body systems and organs work as a complex machine, where each part depends strongly on the others. This dependency might be stronger or weaker to the system or organ importance on the overall patient condition. The doctor diagnoses an illness by comparing and analyzing information not only directly related to the mostly affected organ, but also to the body as a whole. In fact the doctor performs a subtle spatial analysis, and therefore, executes a typical algebraic map operation in his/her mind, when diagnosing a patient. An illness might

² Software for map analysis.

arouse different symptoms and physiological changes in systems/organs that are not directly related to the spatial location of it.

CHUB is a model that was developed taking into consideration the main principles of cartographic modelling. It structures data according to different layers of information. Each layer is associated to a specific organ and/or system, and might contain geometric data or attributes that are “human-referenced”. CHUB has not been developed as a dynamic model. It is considered that dynamic issues related to human’s body data, such as body movement, blood flow or heartbeat (besides others) will be accomplished by other models that should be used as a specialized extension to CHUB.

In order to validate CHUB two cases of study were considered – osteoarthritis knee diagnosis and hydrokinetic therapy sessions analysis, proposed two strategies for its validation and a prototype implemented. This prototype allowed its utilization, evaluation and validation in two different domains. The results achieved after its utilization and test lead to a complete CHUB validation.

Índice

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iv
Índices.....	vi
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas.....	xii
1 Introdução.....	1
1.1. Motivações, objectivos e contribuições fundamentais.....	3
1.2. Metodologia de Investigação.....	6
1.3. Organização da tese.....	8
2 O Estado da Arte da Visualização.....	11
2.1. O Processo de Visualização.....	12
2.2. Modelação dos Dados.....	14
2.2.1. Nominal, ordinal, quantitativo, ponto, escalar e vector.....	14
2.2.2. Domínio e Distribuição.....	15
2.2.3. Lattices e Malhas.....	16
2.2.4. Metadados.....	16
2.3. O Utilizador e a Visualização.....	16
2.3.1. Principais Atributos.....	18
2.3.2. Análise das Tarefas.....	21
2.4. O Mapeamento.....	22
2.5. Representação Visual.....	24
2.5.1. Dados Multi-dimensionais.....	27
2.5.2. Hierárquicas.....	32
2.5.3. Formas Inspiradas na Natureza.....	33
2.5.4. Outras Técnicas Auxiliares.....	33
2.6. Interação.....	36
2.7. Visualização da Informação versus a Científica.....	38
2.7.1. Software na Visualização da Informação.....	40
2.7.2. Software na Visualização Científica.....	50
2.8. Conclusões.....	53

3	Os Modelos Cartográficos.....	56
3.1.	Definição	57
3.2.	A Importância da Análise Espacial.....	57
3.2.1.	Tipos de Dados em Análise Espacial	59
3.2.2.	Conceitos Básicos em Análise Espacial	59
3.2.3.	O Processo da Análise Espacial	61
3.2.4.	Medições.....	62
3.2.5.	Representação de dados espaciais.....	63
3.3.	Mapas	64
3.3.1.	Mapas como modelos	65
3.3.2.	Paradigmas.....	65
3.3.3.	Álgebra de Mapas Digitais.....	66
3.4.	Construção de Modelos Cartográficos.....	68
3.4.1.	Geração de áreas de influência ou análise da vizinhança.....	71
3.4.2.	Agregação de objectos geográficos	71
3.5.	Sistemas de Informação Geográfica.....	72
3.6.	Conclusões.....	75
4	Modelo Cartográfico para a Visualização e Análise do Corpo Humano	77
4.1.	Enquadramento do modelo CHUB	78
4.1.1.	Metáforas Cartográficas na Visualização da Informação	78
4.1.2.	Modelação Cartográfica de Dados Fisiológicos/Morfológicos Humanos	81
4.2.	Arquitectura do modelo CHUB.....	85
4.2.1.	O componente Repositório de Dados.....	86
4.2.2.	O componente Análise de Dados.....	89
4.2.3.	O componente Visualização de Resultados.....	98
4.3.	Estudos de Caso	100
4.3.1.	Sessões de Hidrocinesioterapia	101
4.3.2.	Artrose no Joelho.....	102
4.3.3.	Arquitectura do Modelo CHUB adaptada.....	105
4.4.	Conclusões.....	116
5	Avaliação do Modelo CHUB	118
5.1.	Levantamento de Cenários e Requisitos.....	118
5.1.1.	Sessões de Hidrocinesioterapia	118
5.1.2.	Diagnóstico da Artrose no Joelho.....	120
5.2.	Implementação do Protótipo	122
5.2.1.	O Ambiente e a Interação	123
5.2.2.	O componente Repositório de Dados.....	129
5.2.3.	O componente Análise de Dados.....	131
5.2.4.	O componente Visualização de Resultados.....	132
5.3.	Conclusões.....	136
6	Validação do Modelo CHUB	137
6.1.	Metodologia de Validação.....	138
6.1.1.	Validação das Hipóteses Formuladas.....	146
6.2.	Validação dos Aspectos mais Genéricos do Modelo.....	152
6.3.	Conclusões.....	155

7	Conclusões	157
7.1.	Síntese.....	157
7.1.1.	O Estado da Arte da Visualização.....	158
7.1.2.	Modelos Cartográficos.....	160
7.1.3.	Modelo Conceptual.....	161
7.1.4.	Avaliação do Modelo CHUB	162
7.1.5.	Validação do Modelo CHUB	163
7.1.6.	Projectos de Trabalho Futuro.....	164
7.2.	Considerações Finais.....	166
	Referências Bibliográficas.....	169
	Anexos.....	179
I	Questionário para validação I.....	1
II	Questionário para validação 2.....	5
III.1.	Unidimensionais.....	9
III.2.	Bidimensionais	12
III.3.	Tridimensionais.....	14
III.4.	Multi-dimensionais	15
III.5.	Hierárquicos	18
III.6.	Redes.....	20
III.7.	Espaços de Trabalho.....	21
III.8.	Temporais	24

Índice de Figuras

Figura 1.1. Objectivos, resultados e contribuições fundamentais	4
Figura 2.1. Exemplos de visualização: Tufão, sistema de convenção do magma da Terra, incêndio e linhas de metro	12
Figura 2.2. Processo de Visualização	13
Figura 2.3. Mapeamento da realidade para o utilizador	14
Figura 2.4. Codificação gráfica segundo Cleveland e McGill's	17
Figura 2.5. Codificação gráfica considerando factores psico-físicos	18
Figura 2.6. Processo de mapeamento	22
Figura 2.7. Técnica Basket Weave	27
Figura 2.8. <i>Glyphs</i> 3D e 2D	28
Figura 2.9. <i>Foco</i> + contexto e Deformação	29
Figura 2.10. Coordenadas paralelas: 3D, 2D e com extrusão	30
Figura 2.11. <i>Linking Wings</i>	31
Figura 2.12. Visualização de conjuntos/grupos	31
Figura 2.13. Árvores em Cone, Parede em Perspectiva, Perfil, Árvore Hiperbólica e Mapa de Árvores	32
Figura 2.14. Formas orgânicas da distribuição de documentos	33
Figura 2.15. Textura, neblina e não linear e nível de detalhe	34
Figura 2.16. Campo Estrelado	35
Figura 2.17. Escalonamento por Características	36
Figura 2.18. Visualização de 1 milhão de itens	37
Figura 2.19 Tabela periódica dos métodos de visualização	38
Figura 2.20. WebBook and Web Forager	44
Figura 2.21. Vizit, construído a partir da UVP	49
Figura 2.22. Piccolo	50
Figura 2.23. plot3D e PV-Wave	52
Figura 2.24. Íris Explorer	53
Figura 3.1. Processo de modelação cartográfica	57
Figura 3.2. Exemplo de análise espacial	58
Figura 3.3. Camadas de informação	69
Figura 3.4. Resultado da interpolação de áreas	71
Figura 3.5. Área de influência em torno de pontos, linhas e polígonos	71
Figura 3.6. Ambiente típico de um SIG	75
Figura 4.1. Relações entre os diversos níveis de informação que compõem o corpo humano	81
Figura 4.2. Correspondência entre o corpo humano e um mapa geográfico	83
Figura 4.3. Aplicação dos modelos nas camadas de informação	83
Figura 4.4. Arquitectura do modelo CHUB	86
Figura 4.5. Diagrama de casos de uso da etapa Selecção de Dados	90
Figura 4.6. Diagrama de casos de uso da etapa Tratamento de Dados	92
Figura 4.7. Diagrama de casos de uso da etapa Criação de Camadas de Informação	93
Figura 4.8. Camadas de informação “Corpo”	94
Figura 4.9. Diagrama de casos de uso da etapa Processamento de Camadas	95
Figura 4.10. Diagrama de casos de uso da etapa Interpretação de Resultados	97

Figura 4.11. Camada de informação Resultado enviada para a Base de Dados Cartográfica	98
Figura 4.12. Diagrama de casos de uso da etapa Representação de Resultados	100
Figura 4.13. Anatomofisiologia do joelho	102
Figura 4.14. Fluxograma da árvore de decisão do diagnóstico da artrose no joelho.....	104
Figura 4.15. Conteúdo da Base de Dados Qualitativa a nível do registo do paciente.....	106
Figura 4.16. Gravação de sessão de hidrocinesioterapia.....	107
Figura 4.17. Tabelas da Base de Dados Heurística.....	109
Figura 4.18. A camada “Corpo” adaptada ao diagnóstico da artrose no joelho	111
Figura 4.19. A camada “Corpo” adaptada a análise de uma sessão de hidrocinesioterapia	112
Figura 4.20. Camada de informação enviada para a Base de Dados Cartográfica.....	115
Figura 5.1. Visualizações criadas pelo protótipo.....	123
Figura 5.2. Áreas da interface do protótipo.....	124
Figura 5.3. <i>Widgets</i> na área de controlos no diagnóstico da artrose no joelho.....	125
Figura 5.4. Edição da tabela de configuração.....	126
Figura 5.5. Janela principal de visualização na análise de sessão de hidrocinesioterapia	126
Figura 5.6. Janela secundária de visualização na análise de sessão de hidrocinesioterapia	127
Figura 5.7. Janela principal na visualização do diagnóstico da artrose no joelho	128
Figura 5.8. Janela secundária na visualização do diagnóstico da artrose no joelho	128
Figura 5.9. Interface com a Base de Dados Qualitativa no caso da hidrocinesioterapia	130
Figura 5.10. Análise de sessões de hidrocinesioterapia.....	133
Figura 5.11. Monitorização de sessões de hidrocinesioterapia	134
Figura 5.12. Diagnóstico do joelho.....	135
Figura 6.1. Distribuição de respostas da categoria “sim” ou “não”	147
Figura 6.2. Distribuição de respostas da categoria “pouco”, “suficiente” e “bastante”	148
Figura 6.3. Totais de respostas da categoria “sim” ou “não” e “bastante”, “suficiente” e “pouco”	148
Figura 6.4. Pontuação total auferida nas hipóteses e valores máximos possíveis	150
Figura 6.5. Percentagem do máximo ideal alcançado por cada uma das hipóteses.....	150
Figura 6.6. Distribuição percentual das respostas para a questão 1 da 2ª parte do questionário..	153
Figura 6.7. Distribuição percentual das respostas para a questão 2 da 2ª parte do questionário..	153
Figura 6.8. Distribuição percentual das respostas para a questão 3 da 2ª parte do questionário..	154
Figura 6.9. Distribuição percentual das respostas para a questão 9 da 2ª parte do questionário..	155
Figura 6.10. Distribuição percentual das respostas para a questão 10 da 2ª parte do questionário	155
Figura III-1. txtkit.....	9
Figura III-2. Virtual Shakespeare	10
Figura III-3. Sistema de Visualização por padrões sequenciais	10
Figura III-4. TOPIC ISLANDS TM	11
Figura III-5. ExpO.....	11
Figura III-6. ThemeRiver	12
Figura III-7. PhotoFinder	13
Figura III-8. GeoVista Studio TM	13
Figura III-9. CounterPoint.....	14
Figura III-10. YMap.....	14
Figura III-11. VxInsight	15
Figura III-12. WilmaScope.....	15
Figura III-13. HCE	16
Figura III-14. GlassEye	16
Figura III-15. Snap Together Visualization.....	17
Figura III-16. ADVIZOR/2000 - Perspectiva ancorada	17

Figura III-17. Treemap 4.1.1	18
Figura III-18. DBT.....	19
Figura III-19. Space Tree	19
Figura III-20. TaxonTree	19
Figura III-21. RACE.....	20
Figura III-22. Graphvis	21
Figura III-23. ILOG Discovery	22
Figura III-24. Improvise.....	22
Figura III-25. Análise da <i>Web log data</i>	23
Figura III-26. InfoVis Toolkit.....	23
Figura III-27. SpotFire.....	24
Figura III-28. Timesearcher	24
Figura III-29. Discussão de e-mails	25
Figura III-30. FishCal	25
Figura III-31. Lifelines em casos legais	25

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Prioridades dos atributos visuais versus tipo de dado	15
Tabela 2.2. Taxionomia proposta por Brodlie para dados vectoriais e tensores	25
Tabela 2.3. Características principais de algumas técnicas de visualização	26
Tabela 2.4. Avaliação de técnicas segundo Schumman	27
Tabela 2.5. Avaliação de técnicas segundo Steiger [Steiger1998]	27
Tabela 2.6. Mapeamento de atributos segundo os modelos RGB e HLS de cor	28
Tabela 3.1. Tipos de dados e problemas em análise espacial.....	62
Tabela 3.2. Operações possíveis sobre objectos geográficos.....	69
Tabela 4.1. Objectivo do método x tipos de dados x técnicas visuais.....	99
Tabela 4.2. Situação x técnicas.....	99
Tabela 4.3. Diagnóstico músculo-esquelético do joelho	103
Tabela 4.4. Pontuação de dados quantitativos tratados em hidrocinesioterapia no cálculo da média aritmética.....	113
Tabela 4.5. Pontuação das operações de álgebra de mapas para a hidrocinesioterapia	113
Tabela 4.6. Situação <i>versus</i> técnicas a aplicar	116
Tabela 6.1. Taxionomia para validação de métodos (“-“ indica “não aplicável”, “?” indica “teoricamente possível contudo de difícil execução”)	138
Tabela 6.2. Métodos de validação aplicáveis a cada tipo de validação (“?” indica “teoricamente possível porém de difícil execução”)	139
Tabela 6.3. Dependência entre a avaliação das hipóteses e as questões do questionário	146
Tabela 6.4. Pesos a atribuir as respostas.....	149
Tabela 6.5. Total de pontuações obtidas.....	149
Tabela 6.6. Diferença entre as referências de qualidade e o objectivo ideal realizado	151

Capítulo 1

Introdução

A análise e o estudo do corpo humano são importantes em especial nas áreas da biologia e medicina. Graças a este estudo, é possível diagnosticar-se o estado de saúde de uma pessoa. A combinação de diferentes sintomas, que inclusive se podem manifestar de uma forma aparentemente desarticulada no organismo, serve de suporte ao diagnóstico e tratamento das mais diversas doenças. Por sua vez, cada sintoma está normalmente associado a uma modificação estrutural ou morfológica de uma determinada parte do corpo/organismo humano. Por exemplo, os pulmões de um fumador apresentam uma coloração escurecida e manchada, enquanto que um tumor causa uma deformação morfológica e celular na zona onde esteja localizado. O corpo humano funciona assim como uma espécie de “mapa” que permite estudar o estado de saúde de uma pessoa. A visualização e análise do estado de cada parte desse mapa permitem perceber acerca da sua condição funcional e do seu estado de saúde.

A computação gráfica pode e deve ser utilizada como instrumento facilitador no processo de análise e estudo do corpo humano [Keller1993]. A visualização de dados tem dado inúmeras provas de sua eficácia nas mais variadas áreas do conhecimento, contribuindo de uma forma decisiva e significativa para uma maior e melhor compreensão do funcionamento e eventual interdependência entre processos e fenómenos associados [Bonneau2005]. A utilização de diferentes técnicas para visualizar e analisar dados estruturais ou clínicos relacionados com o corpo humano é um elemento de mais-valia para um médico ou biólogo alcançar uma melhor e mais rápida compreensão destes.

Outro aspecto importante é a questão do modelo. Para uma visualização ser eficaz não basta que ela seja composta de técnicas eficientes, visualmente atraentes e/ou apropriadas ao objectivo final da visualização. É muito importante também que o modelo de dados e da própria

visualização sejam eficientes e devidamente ajustados ao propósito da visualização. As técnicas devem ser escolhidas e/ou criadas em função do seu grau de adaptação a estes modelos e seus objectivos e não o contrário. Por outro lado, existe uma interdependência entre o modelo e o âmbito ou propósito ao qual ele está orientado. Um modelo apropriado para analisar e visualizar reacções químicas numa molécula de chumbo, poderá ou não ser adaptável/utilizável no caso da visualização do funcionamento de um motor a diesel.

Em termos estruturais, o corpo humano ainda é tratado muito de forma atómica, estando as questões espaciais e de interdependência espacial não devidamente representadas e contempladas nos modelos utilizados para o visualizar e analisar. Os modelos dinâmicos, com base em cinemática inversa, focam questões da motricidade humana, porém a estrutura do corpo é normalmente tratada de forma segmentada [Wren1998]. O mesmo acontece em modelos cuja ênfase é dada à criação de efeitos realistas na visualização de partes do corpo [Ward2006]. Eles estão mais orientados para os aspectos puramente visuais, do que os estruturais. Isto ocorre, porque a maior parte dos modelos importa e incorpora os conceitos tradicionais da modelação de objectos inanimados. Por exemplo, um carro pode ser tratado de forma segmentada pois isto reflecte de forma coerente os aspectos estruturais do seu funcionamento. A porta e o pára-brisas do carro são completamente independentes do motor, e se um se avariar, não implica que o outro também sofra algum tipo de impacto. O mesmo não ocorre na natureza e nos organismos vivos. As cheias são causadas por factores climáticos e causam, por sua vez, erosão em terrenos adjacentes e alterações significativas na cobertura vegetal. O mesmo acontece no caso de uma pessoa que sofra de cirrose. Não só o fígado está comprometido como também todo o seu sistema imunitário e digestivo. Um modelo para representar e permitir a visualização e análise de forma coerente do corpo humano deve, de alguma forma, traduzir essa realidade para além de incorporar as questões de temporalidade, dinâmica e estética, comuns à modelação de objectos inanimados.

Defende-se neste trabalho que é possível a **utilização de um modelo cartográfico para a visualização e análise de dados morfológicos e biomédicos associados ao corpo humano**, de forma a garantir que características de interdependência espacial possam ser traduzidas, representadas e analisadas de forma coerente e conveniente. A concepção, implementação e validação dum modelo desta natureza, são a principal finalidade deste trabalho. O CHUB (*Cartographic Human Body*) [Carvalho2007], que é o modelo proposto para ser utilizado como base e referência de desenvolvimento de qualquer software orientado à visualização e à análise de dados morfológicos e biomédicos associados ao corpo humano, apresenta uma estrutura

interna que atende às exigências inerentes à modelação cartográfica [Bailey1996], tais como o tratamento de informação segundo camadas, a combinação destas por operações analíticas e/ou lógicas, a segmentação, ou ainda mecanismos de referência espacial relativa [DeMers2001], e respectivas visualizações resultantes.

1.1. *Motivações, objectivos e contribuições fundamentais*

Como motivação base para a proposta deste trabalho está a necessidade de melhorar o modelo de visualização e análise de dados oriundos do corpo humano (tanto a nível morfológico como biomédico). De uma forma mais abrangente, pretende-se introduzir um modelo que possa ser utilizado como referência para o desenvolvimento de aplicações orientadas a profissionais da saúde com ênfase na visualização do corpo e/ou organismo humano. De uma forma mais específica, este trabalho pretende contribuir para a proposta de um modelo que permita funcionar como apoio ao diagnóstico de médicos e fisioterapeutas da área de hidrocinesioterapia, e em especial, no diagnóstico da artrose no joelho.

O CHUB [Carvalho2007a] é um modelo suficientemente abstracto e abrangente que pode ser utilizado como base para a implementação de qualquer software orientado à análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano e/ou de natureza biológica. Isto é possível graças a adopção de uma aproximação cartográfica nos seus componentes de tratamento da informação e de estruturação de dados. A referência espacial é um elemento chave para a criação de camadas de informação e a sua respectiva combinação.

A hidrocinesioterapia é a fisioterapia na água, ou a prática de exercícios terapêuticos em piscinas, associada ou não a manipulações, hidromassagem e massoterapia, configurada em programas de tratamento específicos para cada paciente [Fiorelli2002]. De forma a tirar o máximo partido dessas sessões torna-se necessário recorrer a um fato especial com o objectivo de auxiliar a respectiva monitorização e execução. Para este efeito, além de ser um fato aquático desenhado para permitir o controle do movimento corporal do paciente, inclui sensores para monitorar um conjunto de parâmetros básicos fisiológicos e motores, como a frequência respiratória e cardíaca, além de movimentos das articulações dos ombros e ancas e flexão da coluna vertebral. Portanto, é fundamental e necessário o desenvolvimento e implementação de uma aplicação computacional que dê o devido suporte à informação obtida durante a utilização deste fato especial numa sessão de hidrocinesioterapia. Por outro lado, a artrose é uma das principais doenças que levam à utilização da hidrocinesioterapia, além de ser uma das

principais razões de incapacitação da população a partir dos 75 anos. Neste trabalho, a área de hidrocinesioterapia e em especial o diagnóstico da artrose são utilizados como base de estudo para o desenvolvimento do modelo CHUB.

De acordo com a finalidade deste trabalho, é possível formular um conjunto de sete objectivos a atingir, bem como os principais resultados e contributos associados à realização de cada um dos mesmos. A figura 1.1 sistematiza o conjunto dos objectivos, os quais são de seguida descritos.

Problema: os modelos normalmente utilizados para a análise e visualização de dados biológicos/biomédicos não traduzem de forma satisfatória a questão da interdependência espacial existente entre as diversas partes que compõem o corpo humano.

Tese: é possível utilizar um modelo cartográfico para a visualização e análise dos dados morfológicos e biomédicos associados ao corpo humano, de forma a tirar partido da componente espacial implícita nos mesmos.

Finalidade: Concepção, implementação e validação de um protótipo baseado num modelo cartográfico para a visualização e análise do corpo humano e respectivos dados biomédicos.

Objectivos	Tarefas	Resultados e contribuições
Revisão dos conceitos associados a modelação de dados	Revisão teórica/bibliográfica	Enquadramento conceptual dos conceitos associados a modelação de dados e visualização: <ul style="list-style-type: none"> - Modelação de dados - O utilizador e a visualização - Técnicas e representações de dados - Aspectos de interacção do utilizador
Revisão da literatura associada à área da visualização da informação	Revisão teórica/bibliográfica	Enquadramento conceptual da área da visualização da informação: <ul style="list-style-type: none"> - Aplicações, projectos, ferramentas e sistemas orientados a visualização da informação - Principais <i>frameworks</i>³ existentes
Revisão dos princípios associados à modelação cartográfica	Revisão teórica/bibliográfica	Enquadramento conceptual dos princípios associados a modelação cartográfica: <ul style="list-style-type: none"> - O significado da análise espacial na modelação cartográfica - A construção de mapas e princípios básicos dos modelos cartográficos - Sistemas de informação geográfica e sua importância
Concepção e desenho do modelo CHUB	Construção de um protótipo com base no CHUB	Arquitectura do modelo CHUB
Implementação de uma aplicação com base no modelo CHUB		Aplicação com base no CHUB
Validação do modelo		
Promoção da utilização do modelo CHUB e da sua evolução conceptual	Formulação e proposta de trabalho futuro	Projectos de trabalho futuro

Figura 1.1. Objectivos, resultados e contribuições fundamentais

O primeiro objectivo consiste em enquadrar e clarificar os conceitos associados à modelação de dados e técnicas de visualização utilizadas, que servem de base para propor uma possível solução para a componente visual do modelo proposto nesta tese. Além das várias

³ É uma estrutura conceptual básica utilizada para resolver ou endereçar problemas complexos de software.

definições apresentadas, sistematizam-se os principais modelos de dados e técnicas utilizadas nas áreas da visualização científica e de informação e ainda aspectos de interacção e cognição do utilizador final com a visualização. Por fim, este objectivo está associado também à revisão do estado da arte em termos de técnicas de visualização.

O segundo objectivo é o de rever a literatura associada à área de visualização de informação, analisando o estado actual em termos de aplicações, projectos, ferramentas e sistemas orientados a esta área. Este objectivo também está associado, em especial e na medida do possível, à identificação do estado actual da tecnologia de visualização orientada a áreas biomédicas (corpo humano).

O terceiro objectivo é o de rever os princípios e fundamentos associados à modelação cartográfica, que servem de suporte teórico para a criação, desenho e desenvolvimento do modelo CHUB. Neste contexto, e além da análise dos seus princípios, verifica-se a importância e relevância da análise espacial dentro do âmbito da modelação cartográfica e da tecnologia actualmente disponível.

O quarto objectivo consiste em desenvolver o modelo CHUB e a sua respectiva arquitectura. A sua concepção é baseada na utilização de um modelo cartográfico que permita visualizar e analisar o corpo humano e os dados biomédicos associados, incorporando princípios básicos de análise espacial. A nível visual, o modelo deverá na medida do possível utilizar técnicas visuais comuns à visualização de mapas (curvas de nível, textura, pseudo-cor, entre outros).

O quinto objectivo prende-se com a implementação de um protótipo para o modelo CHUB apresentado nesta tese. Na sua implementação é utilizado o KWWidgets [KWWidgets2007] e o VTK [VTK2007], ambas bibliotecas gráficas de código aberto da Kitware Inc, e o Visual C++ da Microsoft Inc. como linguagem de implementação dos diversos módulos. O KWWidgets é utilizado a nível da implementação da interface do protótipo, enquanto que o VTK é utilizado para a criação de todas as visualizações gráficas disponíveis neste. Como linguagem intermédia entre o sistema operativo e o protótipo, é utilizado o Tcl/Tk [TclTk2008].

O sexto objectivo consiste em validar o modelo proposto (através do protótipo implementado com base neste), verificando o desempenho do modelo CHUB na visualização e análise do corpo humano, e em especial, no diagnóstico da artrose no joelho e na análise das

sessões de hidrocinésioterapia [Carvalho2006]. A validação será efectuada junto a médicos e fisioterapeutas da área da ortopedia.

O sétimo objectivo visa promover a utilização e a evolução conceptual e tecnológica do CHUB, através da formulação e proposta de projectos de trabalho futuro. Os resultados não poderão ser avaliados dentro do âmbito deste trabalho, porém, os resultados de testes de eficácia do protótipo deverão fornecer uma boa indicação da possibilidade da incorporação do modelo proposto em softwares orientados à análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano, em especial na área da medicina, que é por si só, um dos resultados mais esperados deste trabalho.

1.2. Metodologia de Investigação

A adopção de uma determinada metodologia de investigação torna-se fundamental num projecto de doutoramento, uma vez que esta permite auxiliar o desenvolvimento do trabalho, ao mesmo tempo que fornece directivas para a sua correcta execução e validação.

O CHUB [Carvalho2008b], o modelo proposto para este trabalho, assenta na proposta de um paradigma cartográfico para análise e visualização do corpo humano, o qual será concretizado recorrendo à integração de diversos conceitos e tecnologias e cuja utilização conjunta permite a construção de uma solução para a resolução de um dado problema. A validação do modelo passa essencialmente pela verificação da qualidade dos resultados de eficácia obtidos através da utilização de um modelo cartográfico como base para a visualização e análise do corpo humano e pela confirmação da utilidade do sistema implementado para as sessões de hidrocinésioterapia e no diagnóstico da artrose.

Esta tese de doutoramento está inserida na área de conhecimento da Engenharia da Programação e dos Sistemas Informáticos. A adopção de método científico (baseado na experimentação) permite validar o modelo proposto, com base nas experiências realizadas com o mesmo. No sentido de permitir a avaliação e validação do modelo CHUB [Carvalho2008] foi implementado um protótipo, que é em essência uma ferramenta de software. Portanto, é importante ter também em conta alguns aspectos relevantes à avaliação de uma ferramenta de software.

A avaliação de um software consiste no exame de um produto final resultante de um processo de desenvolvimento, ou de produtos resultantes de actividades de fases intermediárias

desse processo. Deve-se avaliar a qualidade de um produto por diversas razões [Bache1993]: (1) identificação e compreensão das razões técnicas para as deficiências e limitações do produto; (2) comparação de produtos e (3) formulação de um plano de acção para fazer o produto de software evoluir.

O método experimental de avaliação de software é ressaltado por diversos autores [Paiva2001] como sendo um dos mais poderosos métodos de avaliação de um projecto. Os resultados obtidos fornecem evidência empírica para suportar uma determinada hipótese.

De uma forma geral, a experimentação pode ser utilizada para estudar diversas questões em diferentes níveis de detalhe. Há diferentes abordagens de experimentação no domínio de Engenharia de Software e para a Engenharia de Sistemas. Wallace e Zelkowitz [Zelkowitz1998] propõem uma taxionomia que consiste de doze técnicas que podem ser utilizadas para mostrar que uma tecnologia de facto alcança seus objectivos: Monitorização de projecto (*project monitoring*), caso de estudo (*case study*), asserção (*assertion*), estudo de campo (*field study*), pesquisa literária (*literature search*), legado (*legacy*), lições aprendidas (*lessons learned*), análise estatística (*static analysis*), replicação (*replicated*), sintético (*synthetic*), análise dinâmica (*dynamic analysis*) e simulação (*simulation*). Estas doze técnicas ainda são classificadas segundo 3 critérios: observação, histórica e controlada.

Neste trabalho é adoptada a abordagem proposta por Wallace e Zelkowitz para avaliação de software, sendo utilizadas as técnicas de pesquisa bibliográfica, asserção e estudo de caso como métodos científicos. A primeira técnica está inserida na categoria histórica, enquanto que as outras duas pertencem à categoria observação.

A pesquisa bibliográfica é composta pela recolha e análise de artigos e documentos públicos que estão relacionados directamente ou indirectamente com a elaboração do modelo conceptual subjacente a este trabalho. A pesquisa bibliográfica, neste trabalho, é caracterizada nomeadamente pela identificação do estado da arte nas áreas de visualização (modelação de dados, técnicas e tecnologias) e cartografia (definição e construção de modelos cartográficos, análise espacial e tecnologia).

A asserção constitui uma forma simples de validação (que não requer a satisfação de normas científicas rigorosas), que permite julgar a eficácia da experimentação efectuada pelo investigador. Constitui o método de validação mais utilizado na avaliação de tecnologia, uma

vez que o investigador assume o papel de avaliador, sendo também responsável pelo desenvolvimento da tecnologia (tornando-se, também, alvo de avaliação).

O estudo de caso é a utilização da tecnologia em um projecto real, com condições não simuladas. São considerados dois estudos de caso, ambos caracterizados neste projecto pela utilização do protótipo desenvolvido em ambiente hospitalar, sendo o primeiro utilizado como ferramenta de análise e visualização de dados de sessões de hidrocinesioterapia por parte de médicos e fisioterapeutas, e o segundo, como ferramenta para o apoio ao diagnóstico da artrose no joelho.

Por fim, de forma a ser possível validar os resultados obtidos tanto ao nível de modelo, de visualização resultante, como ao nível dos aspectos mais globais de interacção e funcionalidades, são consideradas duas aproximações. Na primeira aproximação é utilizado o GEM – *Generic Evaluation Model*, proposto por Irene Buvat et al. [Buvat1999], que é um modelo especialmente orientado para a validação de imagens médicas e que define uma *framework* composta por 6 etapas hierárquicas, que estruturam o desenho de uma metodologia de validação. Na segunda aproximação, é adoptada uma solução menos formal, mas que permite obter o grau de satisfação do utilizador em termos de funcionalidades, interacção e comunicação de resultados pelo protótipo.

1.3. Organização da tese

A estrutura deste trabalho reflecte a sequência de trabalhos realizados ao abrigo dos objectivos propostos. O seu conteúdo inclui dois capítulos de revisão teórica/bibliográfica (capítulos 2 e 3), que permitiram a sistematização dos conceitos necessários à concepção do modelo CHUB. A concepção do CHUB é descrita no capítulo 4, enquanto que a implementação do seu protótipo, é apresentada no capítulo 5. No capítulo 6 são descritos a metodologia de validação, os testes efectuados e os principais resultados alcançados. No capítulo 7 são referidas as principais conclusões deste trabalho e apresentadas as propostas de evolução futura para este trabalho.

Este primeiro capítulo é iniciado com uma breve síntese de todo este projecto, destacando as principais características do modelo proposto nesta tese. Na primeira secção é apresentada a principal finalidade deste trabalho, apresentando as motivações que conduziram à sua formulação, e ainda a sequência de objectivos necessários à sua realização. Para cada um dos objectivos são referidos os resultados e contribuições esperadas. Este capítulo contém

também a descrição da metodologia de investigação adoptada para a execução dos trabalhos. Por fim, também é descrito neste capítulo a estrutura deste documento.

No segundo capítulo é efectuado o levantamento do estado da arte na área da visualização, nomeadamente em termos de modelação de dados e técnicas, além de aspectos significativos da interacção com o utilizador. São avaliadas as principais características e dependências existentes entre as técnicas e a natureza dos dados, bem como as vantagens e desvantagens dos atributos visuais em termos de cognição humana. Neste capítulo também é elaborado o enquadramento das principais tecnologias, sistemas e ferramentas, e/ou projectos existentes na área de visualização.

No terceiro capítulo é feito o enquadramento teórico aos conceitos subjacentes à modelação cartográfica, que servem como base para o desenvolvimento do modelo conceptual deste trabalho. É dada especial ênfase à importância da análise espacial e referidos aspectos inerentes à construção de modelos cartográficos. Por último, também são avaliadas as características mais relevantes dos SIGs (Sistemas de Informação Geográfica), cuja tecnologia assenta na utilização de modelos cartográficos para a análise e visualização de dados georeferenciados.

No quarto capítulo é introduzido o modelo proposto por este trabalho e que assenta na utilização de um paradigma cartográfico para a análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano. É realizado o enquadramento estrutural que conduziu à definição da arquitectura do modelo CHUB [Carvalho2008a], que integra três componentes: o repositório de dados, a análise de dados e a visualização de resultados. Cada um destes componentes é documentado recorrendo a diagramas de caso de uso e a diagramas de classes (do UML – *Unified Modelling Language*). Os primeiros são utilizados para especificar o modo de funcionamento do modelo e a sua interacção com o exterior. Os diagramas de classe são utilizados para descrever a estrutura lógica dos repositórios de dados utilizados pelo CHUB [Carvalho2007], bem como os componentes de visualização e análise de dados. Por fim, neste capítulo também é efectuado um breve resumo das áreas de medicina utilizadas como base para os casos de estudo e apresentado o modelo conceptual adaptado a estes casos.

No quinto capítulo é descrita a avaliação do CHUB através da implementação do protótipo segundo o modelo adaptado aos casos de estudo. São apresentadas as interfaces e descritas as funcionalidades disponíveis e formas de interacção com as visualizações.

No sexto capítulo são apresentadas as aproximações utilizadas para executar a validação do modelo através da utilização do protótipo implementado com base no CHUB. São descritas as hipóteses a considerar, bem como os principais resultados obtidos na aplicação do modelo para cada uma delas. São também analisados os principais resultados obtidos pela aplicação destas duas aproximações de validação e apresentadas as principais conclusões associadas à validação realizada.

Por último, no sétimo capítulo, são tecidas as principais conclusões deste trabalho, realçadas as contribuições fundamentais desta tese e propostas algumas evoluções futuras no sentido de melhorar o modelo proposto.

Capítulo 2

O Estado da Arte da Visualização

O objectivo básico e principal subjacente à qualquer visualização pode ser resumido numa frase: a partir de um grande volume de dados extrair o máximo de informação de uma forma rápida, clara e precisa [Ware2004]. Para isso, são utilizadas metáforas visuais adequadas. Várias são as áreas do conhecimento que necessitam dela: medicina, física, geologia, contabilidade, economia, administração, entre outros (figura 2.1). Por outro lado, a tecnologia subjacente é vital para o seu futuro (por exemplo, as próximas gerações de — PCs⁴, sistemas de armazenamento, dispositivos de visualização, sistemas de comunicação, ferramentas analíticas) bem como um melhor conhecimento das características psicológicas, físicas e cognitivas humanas.

Muitas são as técnicas de visualização existentes [Rosenblum1992, Ware2004]. Cada uma delas permite analisar os dados com metáforas visuais diferentes. Porém, ao aplicar-se uma determinada técnica de visualização, diversos factores devem ser considerados. São alguns exemplos desses factores a classificação dos dados e das tarefas, a característica cognitiva do potencial utilizador ou o tipo de ênfase visual desejada ao resultado final (conteúdo *versus* quantidade). A questão a responder é sempre a mesma: Como conseguir uma visualização efectiva?

Este capítulo, sem ser abrangente ou exaustivo, fornece uma panorâmica geral do estado da Visualização. Ele aborda o problema da visualização exactamente no que diz respeito à subtil correlação existente entre as técnicas (e respectivas metáforas), o utilizador e os dados.

⁴ Personal Computers – Computadores pessoais.

Por último, também é feito um enquadramento das principais tecnologias, sistemas, ferramentas e projectos existentes na área de Visualização da Informação.

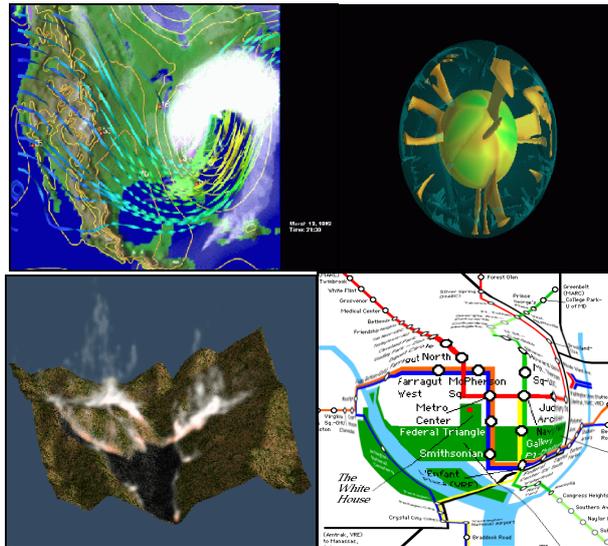


Figura 2.1. Exemplos de visualização: Tufão [Johnson1999], sistema de convecção do magma da Terra, incêndio [Ahrens1997] e linhas de metro [Keahey1998]

2.1. O Processo de Visualização

No processo de visualização podem identificar-se basicamente 3 fases: preparação dos dados (pré-processamento), mapeamento (*mapping*) e representação (*rendering*). Duma forma geral, a fase de pré-processamento inclui operações de formatação dos dados e/ou normalização. Na fase de mapeamento faz-se a associação entre os dados e as representações gráficas e no processo de representação é gerada a imagem.

Vários autores identificam outras fases. Por exemplo, em [Carmo1997] são referidas mais três componentes: abstracção (*abstraction*) em que é feita uma filtragem semântica dos dados - é um processo anterior ao de mapeamento; interacção, que trata os aspectos de interacção com o utilizador; estado de visualização (*visualization state*), que guarda informação sobre as operações do utilizador e o estado corrente do processo de visualização.

Uma outra perspectiva aponta para a visualização como uma actividade que engloba o processo de explorar e compreender os dados. Isso inclui tanto a geração de imagens e a computação gráfica, bem como o processamento dos dados e filtragem, a metodologia de interface com o utilizador, as técnicas computacionais e o desenho do software [Marcus1991]. A imagem 2.2 ilustra esta situação proposta por Schroeder, Martin e Lorensen [Schroeder2004].

Podemos entender a filtragem como um processo que não só elimina alguma da informação, mas também pode alterar ou criar nova informação, por exemplo, construindo novas variáveis como função de variáveis já existentes. Ela pode ocorrer em diferentes fases do processo de visualização. A mais relevante será a filtragem do volume de dados pré-processados tendo em atenção critérios semânticos estabelecidos pelo utilizador que podem ser traduzidos por: utilização de funções de grau de interesse; escolha de um conjunto de variáveis; restrição do domínio de variação de algumas variáveis; definição de variáveis à custa de outras. Como poderemos considerar a existência de filtragem noutros pontos do processo de visualização, vamos chamar a esta fase selecção.

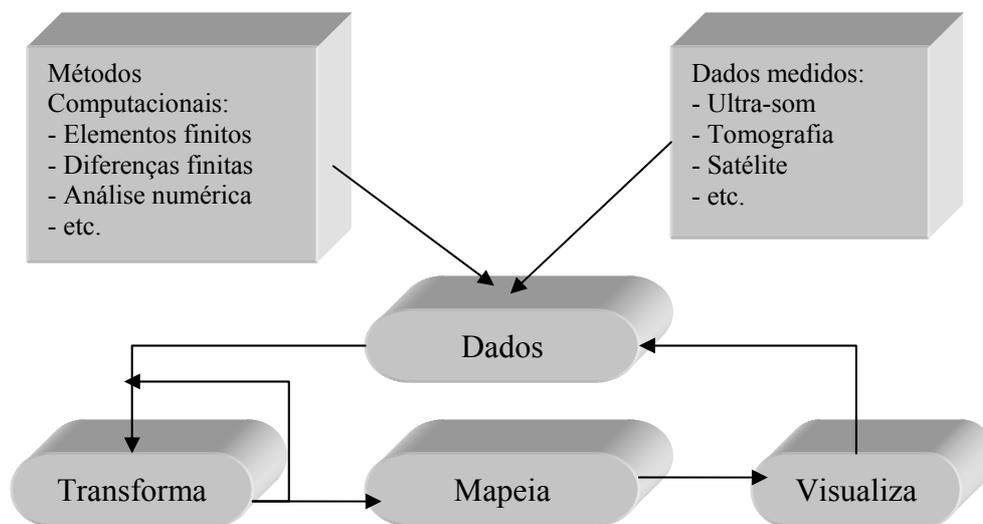


Figura 2.2. Processo de Visualização

No processo de visualização podemos também considerar etapas distintas no tempo. Há normalmente uma fase inicial de preparação dos dados que inclui a recolha e formatação dos dados. Posteriormente poderá haver ou não uma atribuição de representações à informação que se vai representar. Isto é, uma fase de mapeamento prévio. Há finalmente a visualização propriamente dita, em que à partir dos dados se gera uma imagem num ambiente em que o utilizador pode interagir com o processo de visualização.

Os diferentes modelos de visualização podem distinguir-se, não só por uma visualização particular para determinada estrutura de informação, como também, pela existência ou não de mecanismos para filtragem de informação e de escolha da representação de entre possíveis mapeamentos pré-estabelecidos.

2.2. Modelação dos Dados

Os dados podem ser analisados de diversas formas [Nielson1997]. Podemos de uma forma geral os caracterizar segundo: a sua natureza (hidráulico, geológico, contabilístico, linguístico, entre outros); a dimensão de seu domínio; a distribuição nesse domínio; a característica temporal (estática ou dinâmica); a forma como estão organizados; o estado físico (gasoso, líquido ou sólido); a localização geográfica; entre outros. A sua caracterização expressa uma interpretação conceptual segundo diferentes perspectivas.



Figura 2.3. Mapeamento da realidade para o utilizador

Existe actualmente uma grande variedade de técnicas de visualização utilizadas para mapear a informação (figura 2.3). Um factor prioritário utilizado para a escolha das técnicas é a identificação do modelo de dados. O modelo deve “traduzir” de forma conveniente a relação existente (ou a que se pretende que exista) entre o mundo real e os respectivos dados.

A solução adoptada na modelação científica é sempre a de derivar com rigor um modelo e de executar aproximações até este ser processável por computador [Upson1989]. Um aspecto a considerar é a importância de enfatizar a informação de interesse contida nos dados, eliminando os eventuais ruídos (filtrar, limpar, normalizar, entre outros). Por último, o modelo de dados deve apresentar características que expressem o grau de confiança destes, a sua amplitude de valores (média, mínimo e máximo) e a descrição do momento temporal (vários são os significados que o tempo pode possuir – tempo de gravação, tempo de simulação, tempo de computação, entre outros).

2.2.1. Nominal, ordinal, quantitativo, ponto, escalar e vector

Os dados podem conter informação numérica que discrimina quantidades ou uma ordem sequencial, ou ainda algum tipo de “rótulo” (*label*) que identifica uma classe ou conjunto. Por outro lado, cada dado pode ser considerado como sendo uma posição espacial num espaço de dimensão n (ponto), ou possuir um valor numérico (escalar). Os escalares também podem constituir conjuntos discretos de funções contínuas com 1 (linear), 2 (imagem), 3 (volumétrica)

ou mais dimensões. Num vector, cada elemento é considerado uma recta com um determinado comprimento, num espaço de dimensão n .

De uma forma geral, algumas prioridades visuais podem ser observadas consoante o tipo de dados [Brodli1992]. A tabela 2.1 apresenta algumas das situações existentes.

QUANTITATIVO	ORDINAL	NOMINAL
Posição	Posição	Posição
Comprimento	Densidade	Matiz
Ângulo	Saturação	Densidade
Inclinação	Matiz	Saturação
Área	Comprimento	Forma
Densidade	Ângulo	Comprimento
Saturação	Inclinação	Ângulo
Matiz	Área	Inclinação
Forma	Área	Área

Tabela 2.1. Prioridades dos atributos visuais versus tipo de dado (nominal, ordinal ou quantitativo)

2.2.2. Domínio e Distribuição

Considere-se que um modelo empírico tenha sido criado a partir de um conjunto de dados de forma a definir uma “entidade” a qual se deseje visualizar. Esta entidade terá um determinado intervalo de valores. Os dados contínuos são dados que são representados por uma entidade que é descrita como uma função ($F(x)$) ou conjunto de funções, compostas por variáveis independentes e dependentes (parâmetros). A função F pode ser uma dos muitos tipos diferentes existentes: escalar, vectorial ($F = (f_1, f_2, \dots, f_k)$), ou até mesmo um campo de tensores de segunda ordem ($F = (f_{jk})$), ou mais [Nielsen1994]. Podem estar distribuídos de uma forma regular ou irregular. A visualização de dados contínuos é em geral feita segundo o proposto também na tabela 2.1.

Os dados descontínuos, ao contrário dos anteriores, não possuem uma função que possa representá-los. A sua topologia/estrutura é utilizada normalmente para a sua análise – sequencial (texto), hierárquico, relacional, entre outros.

Segundo Nielsen [Nielsen1994], a dimensão do domínio ao qual a entidade pertence, permite fazer ainda mais algumas distinções:

- I. A entidade é definida pontualmente ao longo de um domínio contínuo – por exemplo, num mapa a altitude é definida separadamente para cada ponto.
- II. A entidade é definida ao longo de regiões existentes no domínio contínuo – por exemplo, um mapa que mostre as densidades populacionais por Concelho.
- III. A entidade é definida como um grupo de dados enumerados – por exemplo, um gráfico que mostre o total de carros vendidos por ano.

2.2.3. *Lattices e Malhas*

Os *lattices*⁵ são utilizados para descrever diferentes arranjos de dados contínuos. A dimensão de um *lattice* indica a ordem dos dados: zero é desordenado, uma dimensão indica um vector de dados, e duas, uma matriz de dados. Esta classificação é mais orientada para os dados e menos para a entidade matemática subjacente.

As malhas descrevem a geometria de um conjunto de dados contínuos [Gitlin1995]. Por exemplo, um conjunto de dados topológicos dispostos numa grelha, consistem em pontos distribuídos uniformemente (com distâncias uniformes) [Nagy1994]. Uma malha pode ser estruturada e regular, ou não.

2.2.4. *Metadados*

Um outro aspecto importante que define um conjunto de dados é a sua informação documentada, isto é, os seus metadados [Earnshaw1992]. Ela é uma informação suplementar que descreve a estrutura, a escala, a orientação, o tipo, o momento temporal, ou qualquer outra característica, relacionada com a história e as propriedades de um conjunto particular de dados.

2.3. *O Utilizador e a Visualização*

O próprio utilizador é um elemento fundamental no processo de visualização [Gogien2003]. Algumas questões devem estar sempre presentes no desenvolvimento de um sistema de visualização:

- ✓ Quais as características que permitem (ou não) que o utilizador interprete correctamente e da forma desejada uma visualização?
- ✓ Como é possível ter a certeza de que a visualização está ser correctamente interpretada?

⁵ É um arranjo de pontos, partículas ou objectos segundo um padrão periódico e regular em 2D ou 3D.

É necessário para o desenvolvimento de um sistema de visualização o conhecimento de como funciona a percepção humana a nível biológico, psicológico e cognitivo, e de teorias da percepção [Gordon2004]. Por outro lado, é necessário distinguir entre características gerais e individuais – cor, ilusão óptica, modelo cognitivo visual do utilizador, capacidade motora, entre outros [Ignatius1996]. A validação da correcta visualização implica em ter informação acerca dos objectivos, hábitos e expectativas visuais, do nível cultural e habilidades do utilizador. A aplicação de testes para avaliação estatística podem auxiliar muito nesta tarefa.

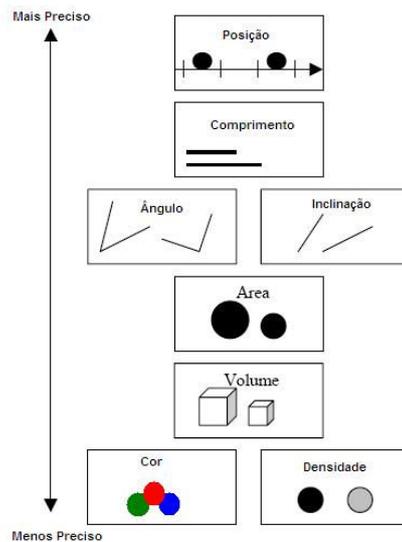


Figura 2.4. Codificação gráfica segundo Cleveland e McGill's [Cleveland1985]

Um outro aspecto a referir aqui diz respeito ao facto de que outros sentidos humanos poderem também podem contribuir para a compreensão de uma visualização: som, olfacto, pressão, entre outros. Os atributos visuais, por sua vez, influenciam a compreensão consoante: cor, tamanho, orientação, brilho, quantidade, movimento e forma [Globus1994]. A interpretação destes pode ser resumida a:

- ❑ *Reacção inata aos atributos visuais* – natural e usualmente simples, inconsciente.
- ❑ *Reacção adquirida aos atributos visuais* – através de treino (educação por ex.), normalmente mais complexa.
- ❑ *Atributos visuais ilusórios* – ilusões visuais que se encontram documentadas, porém, pouco compreendidas.

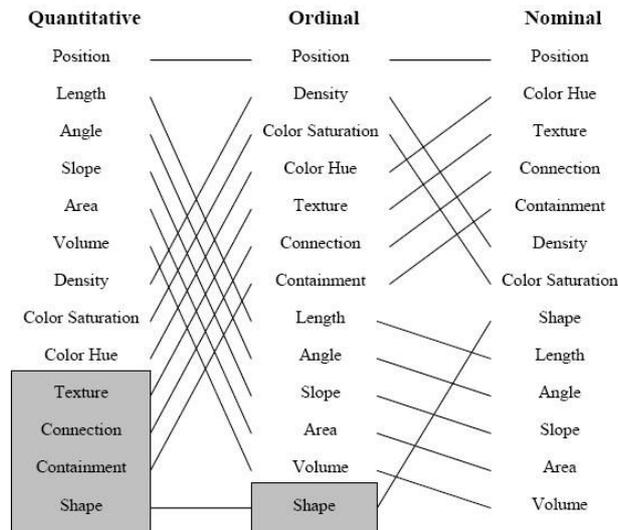


Figura 2.5. Codificação gráfica considerando factores psico-físicos [Globus1994]

Embora a codificação gráfica de valores segundo o esquema na figura 2.4, proposta por Cleveland e McGill's [Cleveland1985, Cleveland1987], auxilia a comparação quantitativa de informação, o mesmo não é possível no caso de informação não quantitativa, pois esta exige outro grau de percepção. Por exemplo, a textura não está referida no esquema acima. Como consequência disso, ela foi aprimorada, de forma a levar em conta resultados de análise aos factores psico-físicos e tarefas perceptivas. A figura 2.5 mostra o resultado obtido.

A maior parte das ferramentas falha em dar suporte a visualização de informação que esteja em falta, sendo esta muitas vezes valiosa para o utilizador (ter noção do que está ausente no conjunto de dados). Cyntrica Eaton et al. [Eaton2005] identificaram as causas de possíveis faltas, e classificaram as técnicas de visualização tendo como base o impacto que os dados em falta causam na região de visualização correspondente. Como conclusão final, é dada ênfase à necessidade dos sistemas e/ou aplicações de visualização indicarem com clareza situações de falta de informação, além de sugerir alguma forma de resolução.

2.3.1. Principais Atributos

2.3.1.1. Cor

Não existe nenhuma teoria completa sobre a cor. Ela é descrita geometricamente em função da gama de cores [Kunni1991]. A sua dimensão em termos de percepção é caracterizada pelo seu matiz, saturação e intensidade (brilho) [Healey1997]. Estes três componentes podem variar de forma independente ou não. Em termos gerais verifica-se que:

- **Matiz** – a sua utilização é efectiva para dados do tipo ordinal e nominal (escala de cores) [Keller1993]. Devem-se ter os seguintes cuidados na sua utilização:
 - Azul (cores “frias”) – para valores afastados do ponto de observação, pequenos, negativos, ou associados com temperaturas baixas;
 - Vermelho (cores “quentes”) – para valores próximos, altos, positivos, associados a temperaturas altas ou algo de perigoso;
 - A forma do objecto representado segundo uma escala similar à do arco-íris pode não ser prontamente visível;
 - O matiz pode apresentar uma aparência diferente de acordo com a cor de fundo utilizada;
 - Descontinuidade nas escalas de cor;
 - Efeito de “*color-blindness*”⁶;
 - Pequenos objectos azuis: desvantajoso aquando da utilização de fontes de luz pontuais com comprimento de onda curta.

- **Saturação** – a sua utilização é efectiva para dados do tipo ordinal. Deve-se ter os seguintes cuidados na sua utilização:
 - Quando se deseja interpretar o brilho e a saturação independentemente;
 - Deve-se utilizar escala de cor 2D para uma maior efectividade, pois o utilizador consegue identificar visualmente melhor o grau de saturação com a referência facultada pela escala;

- **Brilho** – A sua utilização é efectiva para dados do tipo ordinal e quantitativo [Marcus1991]. Deve-se ter os seguintes cuidados na sua utilização:
 - Os objectos brilhantes num fundo escuro parecem ser maiores do que os objectos escuros num fundo claro;
 - A utilização de brilho gradiente fornece uma melhor interpretação da distância ou profundidade;
 - Alterações de brilho ou a utilização de um brilho total não são apreendidos linearmente.
 - O contraste do brilho influencia a percepção do brilho;
 - Deve-se utilizar escala de cor 2D para uma maior efectividade, pelos mesmos motivos referidos para a saturação;

⁶ Confusão visual criada quando é utilizada na cena cores muito próximas para pintar os objectos presentes nesta e o fundo, por exemplo.

2.3.1.2. Textura

Textura é o aspecto de uma superfície ou seja, a “pele” de uma forma, que permite identificá-la e distinguí-la de outras formas. O mapeamento de textura é a parte da computação gráfica que se ocupa do estudo da simulação de materiais e texturas sobre planos. A sua utilização é efectiva para dados do tipo nominal [Cuccu1993]. Devem-se ter os seguintes cuidados na sua utilização:

- Não sobrepor texturas;
- As texturas podem dar origem a outras impressões, por exemplo, densidade;
- Incluir legendas.

2.3.1.3. Orientação

A orientação espacial de uma geometria 2D ou 3D pode ser utilizada como ferramenta para mapeamento de atributos. Devem-se ter os seguintes cuidados na sua utilização [Healey1997]:

- Deve preferivelmente ser mantida a simetria em relação ao eixo vertical;
- A familiaridade da forma está frequentemente associada à orientação;
- Devem ser utilizadas várias orientações de forma a garantir uma correcta visualização dos objectos.

2.3.1.4. Movimento

O movimento é especialmente importante quando se deseja ter uma clara noção da variação ocorrida num determinado atributo (ou conjunto de atributos) ao longo do tempo. Devem ser mostrados numa velocidade mínima de 10 imagens/segundo.

- Piscar duas ou mais imagens para realçar diferenças ou similaridades.

2.3.1.5. Profundidade

Graças à visão humana ser capaz de perceber a profundidade, é possível enxergarmos o mundo em 3D. A profundidade deve ser utilizada para enfatizar a existência e melhorar a percepção de estruturas 3D em dispositivos de visualização tipicamente 2D (ecrãs) [Senay1999]. Características:

- A aplicação de brilho gradiente auxilia a percepção da profundidade;

- A utilização de projecção perspectiva;
- A oclusão distingue o que é frontal e o que é posterior;
- A transparência ou opacidade também distingue o que está a frente ou atrás;
- Utilização de sombra para simular superfícies [Wald2005];
- A rotação auxilia a percepção 3D;
- Efeito estereoscópico (percepção da profundidade): realidade virtual [Bryson1993], *shutter glasses*⁷ [Bryson1994, Bryson1996], entre outros.

Por fim, o contexto visual onde as técnicas são inseridas, também é importante [Tuft2001]. As cores devem ser utilizadas segundo os seus significados mais padronizados (de acordo com os hábitos do utilizador); o mesmo ocorre com a utilização de símbolos (*glyphs*⁸) [Shneiderman1997]. A anotação é outro detalhe que também auxilia a interpretação de atributos visuais:

- Rótulos, títulos, legendas;
- Escala de cor e brilho;
- Escalas de distâncias que relacionam as coordenadas do mundo real com as existentes no ecrã;
- Símbolos de orientação (por ex. norte/sul, leste/oeste);
- Animações com indicações temporais: duração, momento, entre outros.

2.3.2. *Análise das Tarefas*

A aplicação pode ser dependente ou não da classificação dos objectivos da visualização [Kunni1991]. A visualização tem como tarefa básica traduzir/representar correctamente o enfoque que o utilizador dá a um determinado domínio de interesse durante a interpretação de uma imagem. Para que a visualização de uma tarefa seja efectiva, é necessário que a visualização seja devidamente personalizada de acordo com a natureza desta última.

As tarefas são frequentemente determinadas de uma maneira informal ou implícita e são subdivididas em tarefas de alto, médio ou nível atómico [Haber1990]. Uma vantagem é que uma única representação pode servir para uma tarefa inteira, pertencente a um determinado nível. Um outro aspecto a considerar diz respeito à avaliação do progresso do processo de

⁷ Óculos especiais utilizados nos computadores para visualizar imagens em estereoscopia.

⁸ É um símbolo abstracto que é utilizado para mapear atributos numa visualização. Seu tamanho, cor, forma ou até orientação espacial pode ser utilizado para a codificação do mapeamento.

mapeamento da tarefa *versus* visualização proposta. Este deve sempre ter como base a utilização de procedimentos específicos, que permitam a sua correcta avaliação [Lindland1994].

Com base nas técnicas visuais que já foram desenvolvidas e propostas, pode-se afirmar que existe um conjunto de tarefas de alto nível que estão sempre presentes, independentemente do tipo de dados em análise, sendo elas:

- Vista geral (*Overview task*) – vista geral de toda a informação disponível;
- Zoom – foco especial num determinado conjunto de informação;
- Filtragem – execução de pesquisas dinâmicas;
- Detalhes consoante solicitação (*Details-on-demand task*) - detalhes são fornecidos conforme solicitação do utilizador;
- Relação (*Relate task*) – identificação de relações entre itens;
- Historial (*History task*) – memória das acções executadas;
- Extracção e Relatório (*Extract and Report task*) – gravação de subconjuntos dos dados ou de determinadas visualizações.

2.4. O Mapeamento

Para a exploração dos dados é necessária a existência e utilização sistemática de metodologias, sistemas inteligentes de visualização e conceitos [Earnshaw1993]. A figura 2.6 mostra a ideia conceptual subjacente ao mapeamento da informação na visualização.

No processo de mapeamento é importante a eliminação de qualquer limitação. Não se deverá padronizar as técnicas de visualização em função da origem dos dados (medicina, satélite, mecânica, entre outros), dos formatos e estruturas requeridas por eles (por exemplo, seleccionar uma técnica porque esta requer os mesmos formatos e estruturas que os dados), ou ainda da dimensão que os dados possuam (por exemplo, é possível dar o mesmo tipo de tratamento e representação a dados de um campo escalar 2D ou de uma superfície 3D).

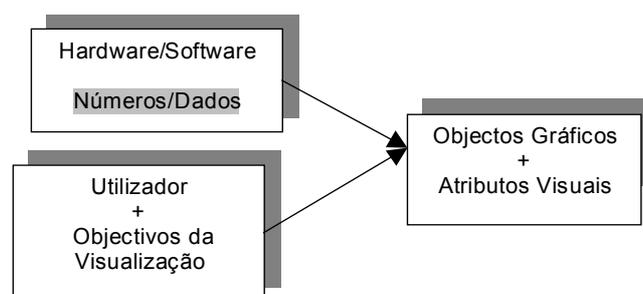


Figura 2.6. Processo de mapeamento

O método básico para conseguir escolher a representação ideal é abstrair as propriedades chaves do comportamento dos objectos físicos [Kunni1991]. Edward Tufte [Tufte2001] propõe alguns princípios para visualizar a informação:

- ❑ Mostrar os dados — induzir o utilizador a pensar em relação ao conteúdo mais do que na metodologia, o desenho gráfico, a tecnologia, ou qualquer outra coisa;
- ❑ Evitar distorcer o que os dados devem transmitir — não apresentar muitos números em espaços pequenos;
- ❑ Revelar os dados em vários níveis de detalhe, a partir de uma panorâmica geral para uma mais detalhada;
- ❑ Servir a um propósito claro e aceitável — descrição, exploração, tabelas, ou decoração;
- ❑ Estar intimamente integrado com as descrições estatísticas e verbais de um grupo de dados.

O mapeamento não é uma tarefa fácil, pois as representações visuais geradas pelo computador nem sempre são claras. As aproximações e artifícios utilizados, sempre geram efeitos indesejáveis. Vários são os modelos que têm sido propostos para definir as estratégias de mapeamento, todos apresentam entretanto, prós e contras. Eles podem ser divididos nas seguintes categorias:

- ❑ Cruzamento por tentativa e erro (*Blind Matching Procedure*) – os dados são separados em elementos. É executado o cruzamento de elementos de dados *versus* primitivas visuais, por exemplo quatro variáveis e quatro atributos visuais disponíveis. O número total de combinações possíveis de se obter entre os atributos é definido por: $(n > m): n!/(n-m)!$, onde n é o nº. de características existentes nos dados e m o nº. de atributos visuais.
- ❑ Equipas de especialistas (*Renaissance teams*) – propõe um grupo formado por especialistas em visualização e na área destino da aplicação. Apresenta um custo elevado.
- ❑ De baixo para cima (*Bottom-up*) – as imagens são geradas a partir das primitivas visuais ou de uma linguagem gráfica [Senay1994]. Depois as imagens são verificadas com um conjunto de condições (características dos dados, ambiente computacional, utilizador, realidade, efectividade e expressividade).
- ❑ Gerar e testar (*Generate-and-test*) – Consiste em testar as representações visuais que tenham sido geradas a partir do modelo anterior.
- ❑ De cima para baixo (*Top-down*) – É exactamente o oposto da *Bottom-up*. Inicialmente é definido um ou mais conjuntos de técnicas visuais complexas (em lugar de simples

primitivas gráficas), para servirem como base de trabalho, sendo escolhida aquela que obtenha melhores resultados junto aos potenciais utilizadores.

- Decisão baseada em código (*Code based reasoning*) – é um procedimento que escolhe as representações visuais a partir de um conjunto de representações (consideradas) bem sucedidas. É utilizado normalmente, após a aplicação do modelo anterior (*Top-down*).

Muitas ferramentas computacionais têm sido desenvolvidas, com o objectivo de executar o mapeamento de forma “automática” [Chuah1997, Fujishiro2000, Senay1994]. Elas apresentam um conjunto de estratégias sistemáticas que analisam os mais diversos factores que podem intervir na escolha da representação gráfica: domínio, tipo de dados, dimensão, semântica, entre outros [Dyer1990]. Um bom exemplo é dado pelo **VISTA** – *VISualization Tool Assistant* [Senay1994] ou o modelo proposto por Robertson [Robertson1991].

2.5. Representação Visual

Uma técnica de visualização pode ser simples ou composta. No segundo caso, a técnica é, na realidade, composta por um conjunto de técnicas, que devidamente combinadas, resultam numa nova. Vários foram os estudos efectuados de forma a identificar melhor a relação técnica *versus* dados. Os dados considerados pontuais, são visualizados normalmente através de gráficos do tipo *scatter plot*⁹ de 1 até n dimensões.

Muitas taxionomias têm sido propostas tendo como objectivo relacionar as técnicas de visualização com os domínios e dados compatíveis com esses dados. Tal resulta ser bastante útil, pois é um instrumento que permite rapidamente identificar o conjunto de técnicas que são compatíveis e podem ser aplicadas a um determinado domínio de interesse. Entretanto, grande parte destas taxionomias não ajuda-nos efectivamente a entender como é feita a aplicação e implementação destas técnicas. Por exemplo, Ed Chi [Chi2000] propõe uma taxionomia baseada no modelo de estado dos dados como uma solução possível a este problema. Enquanto que [Blodlie1992a] define uma taxionomia que tem como base a dimensão dos dados e a sua natureza (a tabela 2.2 ilustra a taxionomia aplicada quando os dados são vectores ou tensores).

⁹ Gráfico que utiliza as coordenadas cartesianas para representar como uma colecção de pontos os valores de duas variáveis de um conjunto de dados.

TAXONOMIA	APLICAÇÃO	TÉCNICA
$E_{2,2}^V$ $E_{2;t,2}^V$	Física Oceanografia CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)	Setas Rastreo de partículas Linhas de tempo <i>Streak lines</i> ¹⁰ Linhas de fluxo e polígonos de fluxo <i>Glyphs</i>
$E_{2,3}^V$ $E_{2;t,3}^V$	Física Meteorologia	Ver $E_{2,2}^V$ Porco-espinho
$E_{3,3}^V$ $E_{3;t,3}^V$	Física Meteorologia Aerodinâmica CFD	Ver $E_{2,3}^V$ + fitas e superfícies com fitas Tubos <i>Tufts</i> ¹¹ Métodos baseados em texturas + pontos críticos
$E_{3,3,3}^T$ $E_{3;t,3,3}^T$	Análise de elementos finitos Análise do stress e esforço	<i>Glyphs</i> Hiper linhas de fluxo e Fluxo poligonal

Tabela 2.2. Taxionomia proposta por Brodli para dados vectoriais e tensores

As taxionomias de uma forma geral encontram-se focadas na área de visualização de informação ou na de visualização científica (a diferença entre estas áreas será discutida na secção 2.7), apesar de algumas técnicas estarem presentes em ambos os universos.

Os dados escalares de 1 dimensão utilizam também gráficos, porém estes são do tipo barra, histograma, circulares ou diagramas xy. Os dados escalares 2D são visualizados com técnicas do tipo curva de nível [Wang2005] ou superfícies 2D. No caso 3D, as técnicas englobam o desenho de superfícies isométricas, volumes [McCormick1999, Nooruddin2003], pequenos cubos, ou a aplicação de algoritmos que desenharam curvas de nível [Wang2005] como (figura 2.7) fitas largas (técnica designada de *Basket Weave*).

Os dados vectoriais 2D são normalmente representados através de vectores, linhas de fluxo, ou com a aplicação de texturas utilizando mapeamento de relevo (*bump shading*). No caso 3D são utilizadas representações do tipo vectores num plano ou vectores num volume [Ranjan1994], porco-espinho ou ainda fitas [Senay1999]. Muitas delas são adaptações para 3D das técnicas utilizadas para 2D. Com a variação de atributos, vários resultados visuais são possíveis. A tabela 2.3 resume as principais técnicas e suas características.

¹⁰ Visualização do *locus* de todas as partículas de um fluido que passaram por um ponto espacial em particular.

¹¹ Tira, fio ou corda de comprimento variável colado a uma superfície para a visualização de fluidos.

TÉCNICA	DADOS	EFFECTIVIDADE
Gráficos de linha	Conjunto de escalares 1D contínuos	- Não é necessária uma interpolação “mental”
<i>Scatter Plots</i>	Multi variado de dimensão n	- A posição é a primeira impressão - Animação para um efeito 3D - Dimensão >2, utiliza projecções
<i>Glyphs</i> e ícones	Multi variado	- Vários atributos visuais associados a um único <i>glyph</i> - Distinção entre interpretação macroscópica/microscópica dos <i>glyphs</i>
Curvas de nível	Conjunto de dados 2D Escalares	- Anotação de curvas seleccionadas
Superfície	Conjunto de dados 2D escalares	- A cor ou nível de cinzento devem ser significativos para o utilizador
Imagem	Conjunto de dados 2D escalares	- Necessidade de escalas de cor e brilho
Cor	Até 3 conjuntos de escalares definidos em relação ao mesmo plano	- Aplicar o modelo RGB para os conjuntos de dados de mesmo tipo - Utilizar os modelos HSV e HLS quando forem tipos de dados diferentes - Efectivo para correlações/associações entre os dados.
Volumes cortados	Conjunto de dados escalares 3D	- Sistema de coordenadas apropriado de forma a identificar as posições dos planos de corte - Animação, superfícies escondidas e geometria perspectiva para um efeito 3D
<i>Basket Weave</i>	Conjunto de dados escalares 3D	- Sistema de coordenadas apropriado de forma a identificar as posições dos planos de corte - Superfícies escondidas e geometria em perspectiva para um efeito 3D
<i>Render</i> de Superfícies	Conjunto de dados escalares 3D	- Expansão 3D das superfícies – iluminação, sombra, projecção
Visualização volumétrica	Conjunto de dados escalares 3D	- Transparência/opacidade
Pequenos cubos ou esferas	Conjunto de dados escalares 3D discreto	- O espaço aberto entre objectos permite uma visualização mais penetrante
Setas	Campos de vectores	- Problemas em 3D devido a ambiguidade em relação a direcção - Evitar excesso de dados de 1 só vez
Fitas e superfícies	Campo de vectores	- Necessidade de <i>steering</i> ¹² interactivo - Necessidade de ferramentas e métodos de interacção especiais
Arvore em Cone (<i>Cone Tree</i>)	Conteúdo de uma base de dados hierárquica	- Os cones devem ser girados de forma a mostrar informações
Diagramas de Fluxo	Módulos de programas e suas relações	- Geração interactiva de uma rede de programas
<i>Ball-and-Stick</i> ¹³	Estruturas moleculares	- As sombras e reflexos melhoram o efeito 3D
Falta de Dados	Indica a diferença entre os dados reais e os auferidos	- Utilização de cor para os dados medidos e brilho para os dados em falta

Tabela 2.3. Características principais de algumas técnicas de visualização

Tratando-se de dados multi-dimensionais (quando a dimensão dos dados é superior a 3) são utilizadas técnicas mais sofisticadas [Treinish1995]. A secção seguinte discute algumas das técnicas mais utilizadas para solucionar a visualização deste tipo de dados, e não só [Russel2000].

¹² Orientação da visualização do campo vectorial é controlada de forma interactiva pelo utilizador.

¹³ Representação visual segundo a modelação clássica adoptada para as estruturas moleculares (esferas interligadas por varas).

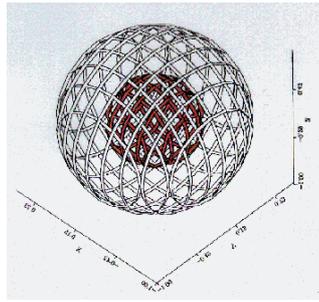


Figura 2.7. Técnica Basket Weave

2.5.1. Dados Multi-dimensionais

Os dados podem ser constituídos por colecções de amostras [Seo2005]. Cada amostra pode ser um item de dimensão n [Nielson1991]. O conjunto destas amostras constitui um conjunto de dados de elevada dimensão. A visualização deste tipo de dados pode tornar-se por vezes confusa e complexa. Cinco grupos de técnicas de visualização diferentes são utilizados basicamente para dados com esta característica: Mapeamento de atributos, codificação geométrica, som, redução de dimensão [Guan1999] e agrupamento (*clustering*) [Keahey1999].

	MAPEAMENTO DE ATRIBUTOS	GLYPHS	COORDENADAS PARALELAS	REDUÇÃO DA DIMENSÃO
Dimensão	$n \leq 3$	$n > 3$	$n > 3$	$n \geq 3$
Identificação de parâmetros individuais	Só para 1 variável	Só para alguns glyphs	Boa para pouca quantidade de dados	Depende do método de visualização
Descontinuidade	Boa		Boa	Boa
Boa	Possível	Possível	Boa	Possível
Correlação	Possível	Possível	Possível	Possível

Tabela 2.4. Avaliação de técnicas segundo Schumman

Estas técnicas podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente. (resultados de análises feitas por Schumman e Steiger [Steiger1998] a algumas técnicas podem ser vistas nas tabelas 2.4 e 2.5).

TÉCNICA	O MELHOR	TENDÊNCIAS DOS DADOS	CORRELAÇÕES ENTRE DADOS	O PIOR
Scatter Plots	Grande nº de amostras	Mostra claramente	Entre planos 2D	Pouca qualidade com dimensões maiores que 8
Paralela	Foca bem correlações	Não é ideal	As gerais não é ideal	Reduz qualidade conforme nº de amostras aumenta
Glyphs	É possível encontrar amostras com representação simbólica aplicável ao <i>glyph</i>	boa	boa	O tamanho do ecrã é problema e deixa de ser utilizável com elevado nº de amostras e dimensões

Tabela 2.5. Avaliação de técnicas segundo Steiger [Steiger1998]

2.5.1.1. Mapeamento dos Atributos

Este é um dos métodos mais comuns. Ele utiliza *lattices* de uma ou duas dimensões para definir primitivas geométricas simples, como por exemplo, planos ou linhas de contorno. Os

atributos destas primitivas geométricas podem ser utilizados para visualizar as variáveis restantes.

RGB	HLS
Variável 1 { Vermelho	Variável 1 { Matiz
Variável 2 { Verde	Variável 2 { Saturação
Variável 3 { Azul	Variável 3 { Brilho

Tabela 2.6. Mapeamento de atributos segundo os modelos RGB e HLS de cor

A cor é um dos atributos mais utilizados, apesar de apresentar alguns inconvenientes: só pode codificar 3 variáveis; algumas pessoas têm problemas de percepção a cor e exigência de legendas [Holub1992]. Além disso, a cor implica considerações biológicas, psicológicas e técnicas [MacDonald1999]. Dependendo do modelo de cor utilizado, o efeito visual difere (tabela 2.6).

2.5.1.2. Codificação Geométrica

Consiste em mostrar dados de elevada dimensão num *lattice* de baixa dimensão. Diversos objectos distintos são mostrados dentro do *lattice* através do mapeamento dos dados de elevada dimensão para alguma característica geométrica ou atributo destes objectos. Os mais comuns são: *Glyphs* [Yu1995] (figura 2.8), ícones [Post1996], Faces *Chernoff* [Werner1997], *Data Jacks* e *m-Arm Glyph* [Ribarsky1994].

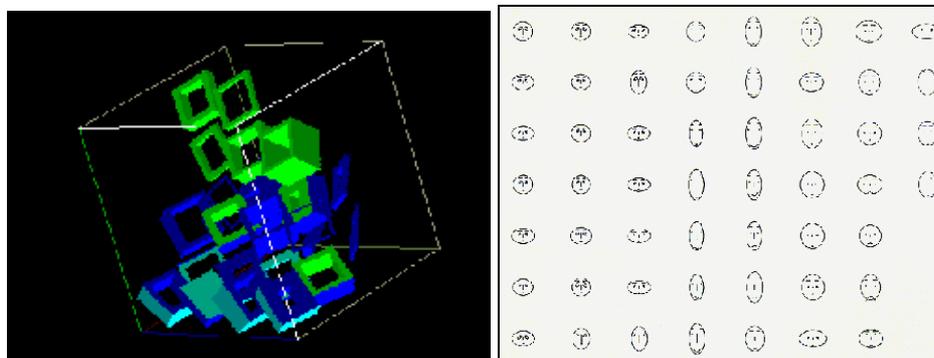


Figura 2.8. *Glyphs* 3D e 2D [Yu1995, Werner1997]

2.5.1.3. Som

A utilização de som permite não sobrecarregar a visão. Por outro lado, ele pode ser produzido consoante os parâmetros que são mapeados para um determinado dado [Scaletti1991]. O tom, a intensidade sonora, ou o timbre são características sonoras que podem facilmente variar e expressar o comportamento de um grupo de dados.

2.5.1.4. Redução de Dimensão

Uma outra forma de visualizar dados com elevada dimensão é através da redução desta. Com técnicas que permitem variar o foco de atenção na informação visualizada, se consegue “reduzir” a dimensão real existente.

Para alterar o foco de atenção, técnicas que permitem esticar ou distorcer o espaço visual, são trivialmente utilizadas [Keahey1999]. Alguns exemplos (figura 2.9) são:

- Visualização olho de peixe (*fisheye*) [Bederson2003, Fisheye2007];
- Foco + contexto [Keahey1998];
- Esticar uma folha elástica (*stretching rubber sheet*) e;
- Distorção orientada de visores (*oriented distorted displays*).

O termo ampliação não linear foi introduzido para descrever o efeito em comum que estas aproximações causam. A propriedade básica da ampliação não linear é a não oclusão da área local que se pretende focar e a de preservar uma visualização geral do contexto global presente na cena [Keahey1999]. Tradicionalmente os sistemas não lineares de ampliação são definidos com a identificação de um centro de foco. Este centro de foco pode ser um ponto, uma linha, ou uma região. A área próxima ao centro é ampliada, enquanto que as demais áreas (designadas de contexto) são reduzidas ou desfocadas.

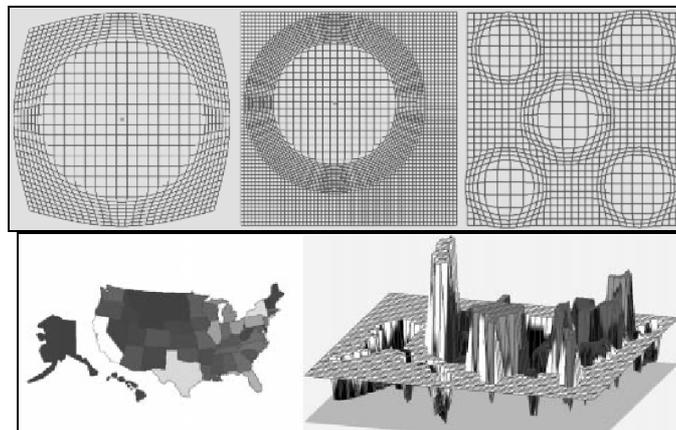


Figura 2.9. Foco + contexto e Deformação

A literatura sobre visualização da informação, de uma forma geral, estabelece que as interfaces baseadas em vista geral + detalhe (*overview + detail*) apresentam um alto grau de usabilidade, porém, no caso de interfaces baseadas em zoom, os resultados ainda estão divididos [Nielsen2000]. Kasper Hornbaeck e al. [Hornbaeck2002] compararam estes dois paradigmas utilizados em interfaces e concluíram que o grau de satisfação por parte do utilizador é maior no caso das interfaces vista geral + detalhe entretanto, no caso de tarefas de

navegação ou visualização com mais de um nível, as interfaces zoom permitem interacções mais rápidas.

Uma consequência da ampliação é que cada visualização só contém informação parcial a respeito dos dados. Isto pode ser compensado através da criação de ligações entre diversas visualizações focadas. A visualização paralela (também designada de geométrica) pode ser vista em janelas separadas ou com o auxílio de técnicas de projecção geométrica ou hierárquica.

2.5.1.5. Projecção Geométrica

As técnicas de projecção geométrica visam obter interessantes projecções planares de conjuntos de dados multi-dimensionais. Esta classe de técnicas inclui técnicas de exploração estatística (análise de factor, alteração de escala multi-dimensional, entre outros).

As técnicas de projecção também incluem a técnica de visualização (figura 2.10) de coordenadas paralelas [Hinneburg1999]. A ideia básica é a de mapear um espaço de dimensão k para o espaço 2D, utilizando k eixos equidistantes entre si e paralelos a um dos eixos do espaço. Os eixos correspondem as dimensões e estão linearmente ordenados do menor até o maior valor existente naquela dimensão. Cada item é um dado representado como uma linha poligonal, a qual intercepta o eixo no ponto com o valor considerado para aquela dimensão.

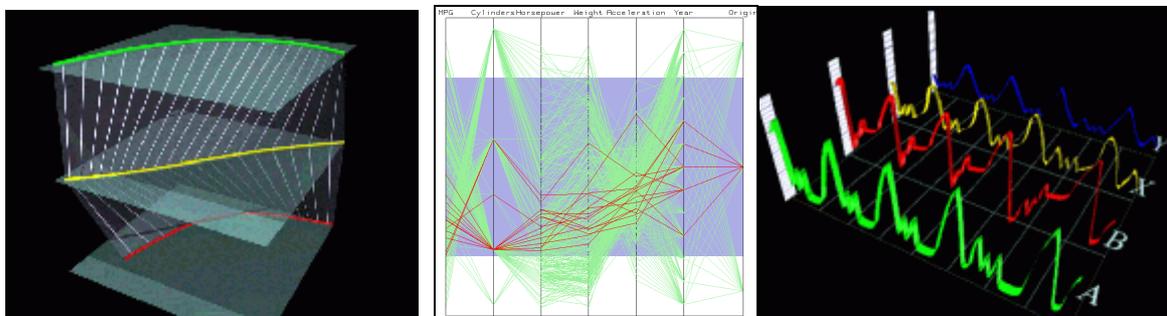


Figura 2.10. Coordenadas paralelas: 3D, 2D e com extrusão [Hinneburg1999]

De uma forma geral, os métodos existentes focam-se mais na representação estatística da quantidade e não fornecem nenhum suporte à topologia que o fluxo apresenta. Alguns métodos têm sido desenvolvidos (principalmente com base nas técnicas de projecção geométrica) com o objectivo de contornar essa “falha” (coordenadas paralelas por extrusão - figura 2.10, ligação com asas - Figura 2.11 ou ainda, coordenadas paralelas 3D – figura 2.10) [Werner1997].

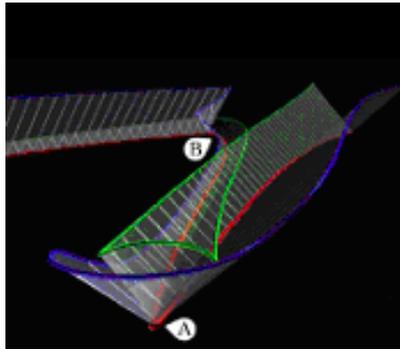


Figura 2.11. *Linking Wings* [Werner1997]

2.5.1.6. Extracção de dados (*Data Mining*) e Agrupamento (*Clustering*)

A criação de conjuntos de dados consiste em dividir um conjunto de n pontos em m subconjuntos, de forma a minimizar a soma das distâncias (ou qualquer outra métrica similar) existentes entre cada ponto e o centro do conjunto [Ribarsky1999]. Os pontos presentes num determinado grupo ou conjunto são representados por um único ponto que está localizado no centro deste, e equivale a média dos demais. É utilizada normalmente em conjunto com o diagrama de Voroni¹⁴. A escolha dos pontos iniciais para cálculo do centro do conjunto tem implicações ao nível de uma melhor ou pior performance da aplicação desta técnica. Uma outra variação é a utilização hierárquica de conjuntos ou grupos [Keahey1999].

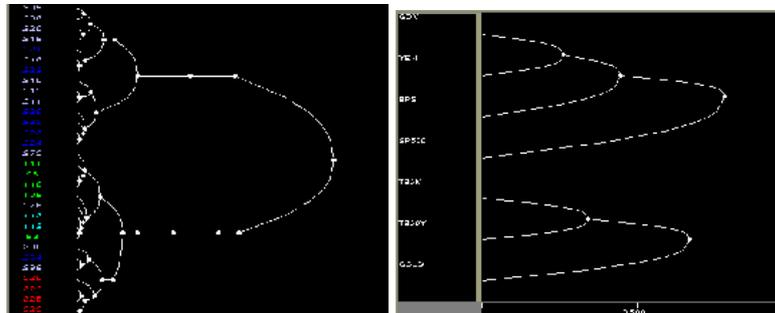


Figura 2.12. Visualização de conjuntos/grupos [Keahey1999]

O agrupamento não é uma técnica de visualização em si, mas sim de extracção de dados [Rhyne2000]. A extracção de dados (*data mining*) é um conjunto de técnicas para a exploração automática de complexas relações existentes em grandes volumes de dados. Muitas novas técnicas de visualização têm sido criadas para o agrupamento e extracção de dados. Ben Shneiderman em [Shneiderman2001] propõe algumas recomendações básicas e importantes a serem seguidas aquando da criação de visualizações para a extracção de dados. A figura 2.12 ilustra algumas das técnicas utilizadas.

¹⁴ É um tipo especial de decomposição espacial determinada pelas distâncias à conjuntos discretos de objectos no espaço.

2.5.2. Hierárquicas

As técnicas hierárquicas (Figura 2.13) subdividem um espaço de dimensão k e apresentam os sub-espços obtidos segundo um critério hierárquico. A técnica de sobreposição dimensional é um exemplo [Werner1997]. Ela subdivide espaços de dimensão k em sub-espços 2D. A Parede em Perspectiva (*Perspective Wall*) mostra a informação segundo uma metáfora de montra de informação. A técnica Mapa de Árvores (*Treemaps*) foi desenvolvida para visualizar a informação tanto de forma quantitativa como hierárquica, e em especial nas árvores com distribuição equilibrada de ramos [Baehrecke2004]. Ela se baseia na construção de vários rectângulos que vão se subdividindo segundo algoritmos variados. Ben Shneiderman e Martin Wattenberg [Shneiderman2001a] propõem um algoritmo que desenha o mapa de árvores de uma forma ordenada, garantindo que os itens próximos entre si numa dada ordenação, sejam representados visualmente próximos. A Árvores em Cone [Heman2000] representa em 3D uma informação hierárquica e permite a visualização da estrutura na íntegra, segundo uma disposição espacial cónica. A técnica Árvores em Bolhas (*Bubbles Trees*) introduz um mecanismo de visualização que é baseado na propriedade natural da árvore – de uma forma recursiva, criam-se subcategorias na árvore, tendo como base as sub-árvores que a compõem [Chintalapani2004].

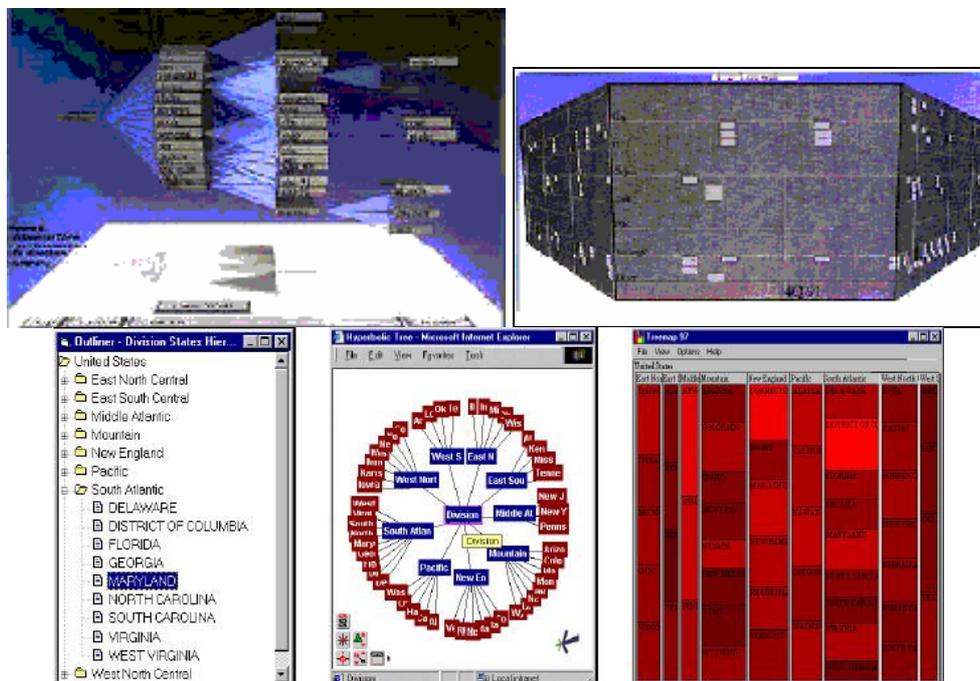


Figura 2.13. Árvores em Cone, Parede em Perspectiva, Perfil, Árvore Hiperbólica e Mapa de Árvores

Cheops é um método baseado na compressão da visualização de dados hierárquicos, mantendo entretanto o contexto e dando acesso fácil a detalhes. A Árvore Hiperbólica dispõe os ramos da árvore circularmente, sendo mais apropriada para os casos de árvores com graus

variados de profundidade nas hierarquias [North2000]. A Perfil (*Outliner*) é trivialmente utilizada para a visualização da hierarquia de directorias.

2.5.3. Formas Inspiradas na Natureza

A visualização de inter-relações complexas é normalmente difícil e exige um esforço cognitivo relativamente elevado. Desenhos inspirados em formas provenientes da natureza podem proporcionar uma nova aproximação visual, muito mais intuitiva e fácil de interagir Russel Beale et al. [Beale2006] utilizaram conceitos inspirados na natureza para permitir uma amplificação cognitiva, e remover o peso centrado na cognição do utilizador para o sistema perceptivo que desenvolveram, de forma a permitir que o utilizador possa focar os seus recursos cognitivos no que é mais apropriado. Eles utilizaram dois sistemas: um utiliza um modelo físico como base de inspiração, enquanto que o outro utiliza uma forma orgânica como base. Em seguida, eles aplicaram os sistemas em quatro tarefas de visualização: a estrutura de browsers de informação na Internet; a estrutura de partes da própria *web* em si; auxiliar o refinamento de pesquisas numa biblioteca digital; e comparar documentos diferentes com conteúdo semelhante (figura 2.14).

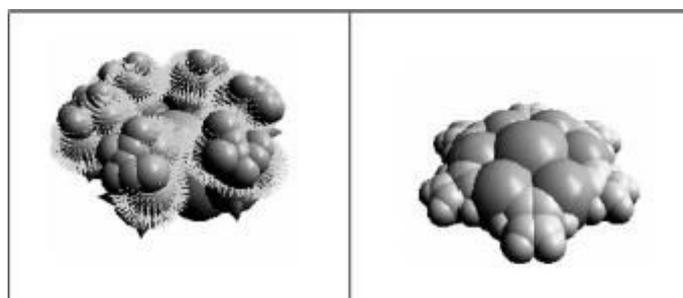


Figura 2.14. Formas orgânicas da distribuição de documentos [Beale2006]

2.5.4. Outras Técnicas Auxiliares

A transparência pode ser utilizada para realçar determinadas zonas da visualização [Russel2000]. A utilização de técnicas de luz e sombra, e até mesmo neblina (figura 2.15), são normalmente aplicadas com esse intuito na visualização resultante.

Os recortes de volumes permitem extrair superfícies [Sharma2006] e visualizar zonas de especial interesse existentes nesses volumes, enquanto que a variação do nível de detalhe (figura 2.15) permite focar a atenção consoante a posição e distância de observação da cena [McCormick1999]. Quanto mais perto o observador está, mais detalhada é a visualização. Neste

caso, a utilização de técnicas fractais, por exemplo, permitem criar representações interessantes e de fácil percepção [Pummar1997].

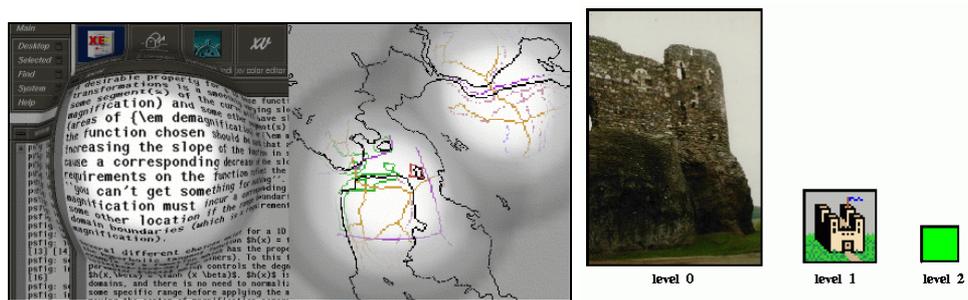


Figura 2.15. Textura, neblina e não linear e nível de detalhe (*Level-of-detail*)

A utilização de animação permite tratar a informação sob uma forma dinâmica [Zhang2006] e temporal, e avaliar a sua evolução [Eranshaw1001]. A aplicação de texturas permite criar efeitos diferenciados que facilitam a percepção da forma, e realce de zonas de interesse [Cuccu1993].

A interactividade, por seu lado, permite que a visualização seja analisada de uma forma mais controlada [Isenhour1997]. Computação direccional (*Computational steering*) é o nome da técnica que permite que a simulação e a visualização estejam integradas num único processo, e que permite um controlo total do mesmo por parte do utilizador [Johnson1999].

A segmentação permite dividir a visualização em partes menores, enquanto que a extracção de formas facilita a identificação de determinadas formas (e não conteúdos) presentes na visualização [Okada1996]. Por outro lado, a utilização de ambientes de realidade virtual permite uma maior “imersão” na visualização e respectiva compreensão [Bryson1993].

A visualização hierárquica emparelhada (*PairTrees*) integra mapa de árvores, diagramas de nós com ligações, mapas de cores e outras técnicas de visualização para dar suporte a exploração de conjuntos de dados em múltiplos níveis de abstracção [Kules2003]. Ela permite que o utilizador explore dados heterogéneos utilizando hierarquias baseadas em relações de agregação, subclasses e outras.

A visualização de dados multi-dimensionais provenientes de bases de dados, comumente chamados de cubos de dados, está a tornar-se cada vez mais trivial [Seo2005a]. Stephen Eick propõe visualizações baseadas em projecções perspectivas [Eick2000].

A visualização em colaboração permite que múltiplas pessoas possam executar anotações e interagir na criação de uma visualização em tempo real, estando fisicamente

distantes umas das outras [Wood1997]. A evolução deste tipo de visualização resultou nos ambientes tele-imersivos. Eles integram ambientes em colaboração criados em realidade virtual, juntamente com capacidades de áudio e vídeo-conferência. Apesar de não serem directamente técnicas de visualização, auxiliam na eficácia destas.

A técnica Campo Estrelado (*Starfield*) é similar a um gráfico de pontos, porém possui capacidades de zoom, *panning*¹⁵, fornecimento de detalhes (fig. 2.16) conforme solicitado, rotações, entre outros [Cailleteau1999]. Esta visualização combina simultaneamente a visualização de um grande número de pontos de dados individuais com uma interface que permite facilmente executar o zoom, filtrar e pesquisar dinamicamente [Sanchez2005].

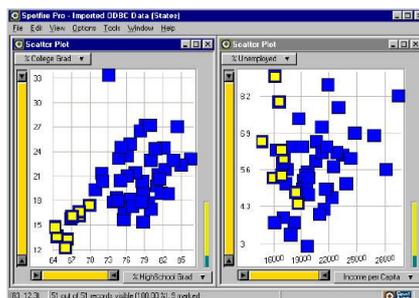


Figura 2.16. Campo Estrelado [Cailleteau1999]

A visualização *Snap-Together* (STV) é, na realidade, uma arquitectura que permite aos utilizadores conectarem ferramentas de visualização de tal forma, que seleccionar, navegar e pesquisar são actividades que decorrem de uma maneira coordenada [Hochheiser2000, North2000]. Adicionalmente, a STV suporta várias ferramentas de visualização, o que permite combinar visualizações campos de estrelas com tabelas, sumários e *web* browsers, por exemplo. A STV utiliza as ferramentas ODBC (*Open Data Base Connectivity*) da Microsoft™ para ligação a base de dados, sendo a importação de dados directa.

A Varredura e Ligação (*Brushing and Linking*) é uma técnica de análise exploratória de dados utilizada na visualização de conjunto de dados em múltiplas janelas [Dang2001]. Quando o utilizador selecciona itens numa das janelas de visualização, os itens relacionados são automaticamente colocados em evidência em todas as demais.

¹⁵ Deslocamento da visualização ao longo do eixo horizontal ou vertical do ecrã.

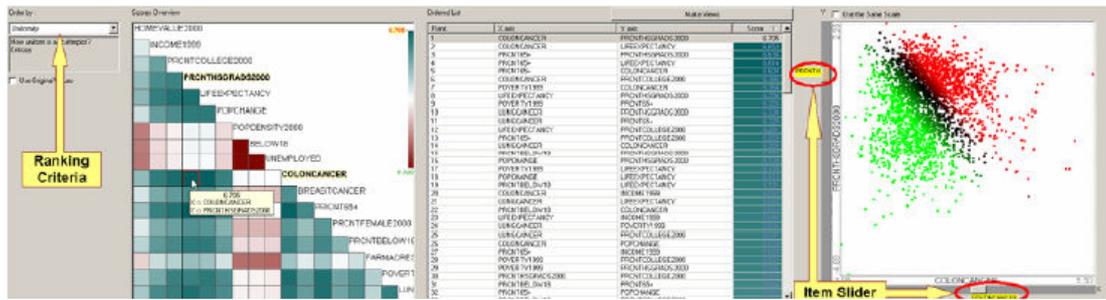


Figura 2.17. Escalonamento por Características [Seo2004]

Na visualização Escalonamento por Características (*Rank-by-Feature*) [Seo2004] o utilizador pode seleccionar (fig. 2.17) um critério interessante de pontuação, sendo em seguida avaliadas todas a projecções paralelas possíveis dos dados de multi-dimensão segundo o critério de pontuação definido. O resultado da pontuação é apresentado segundo uma grelha codificada por cores (designado de “*Score Overview*”), bem como numa tabela (designada de “*Ordered List*”), cujas linhas representam uma projecção e está colorida segundo o critério de pontuação. O utilizador pode manualmente percorrer as projecções através da alteração da dimensão de um eixo, com o auxílio dos manípulos gráficos associados ao eixo.

O Diagrama de Pontos (*Dot Plots*) [Wild2000] é um gráfico estatístico que consiste de um grupo de pontos representados numa escala simples. Eles são utilizados para visualizar dados contínuos, quantitativos e invariáveis. Esta visualização é uma das mais simples e aconselhável para pequenos conjuntos de dados. É bastante útil para detecção de grupos e falhas nos dados, bem como limites.

2.6. Interação

A interação é identificada pelas acções que o utilizador executa durante o processo de visualização [Hibbard1994]. Existem várias formas de interação. Algumas formas [Rettig1992] podem implicar a alteração da cor, do ponto de observação da visualização ou de técnicas de sombreamento. Outras, podem incluir alterações nas próprias técnicas de visualização ou dos parâmetros utilizados para a geração de dados (*steering* interactivo). Outras formas de interação estão relacionadas com a exploração dos dados: exploração de seus valores e eliminação de dados oclusivos.

Na interacção do utilizador com a visualização, as características humanas de resposta são importantíssimas [Marcus1991]. De uma forma geral, os utilizadores preferem respostas

rápidas. O *feedback*¹⁶ deve decorrer em menos de 1 décimo do segundo, para que as tarefas de entrada (fornecimento de informações) executadas pelo utilizador sejam contínuas. Respostas com mais de 15 segundos causam quebras no processo de interacção. Por outro lado, respostas muito rápidas não permitem que o utilizador pense. Um outro factor importante é o equilíbrio entre a velocidade e a produtividade desejada, pois as duas não variam proporcionalmente - a rapidez pode implicar taxas de erro maiores. De uma forma geral, o tempo de resposta deve ser personalizado consoante a tarefa a executar. Testes empíricos podem ser úteis para avaliar o tempo de resposta.

As técnicas de interacção são várias (são mencionadas apenas as mais relevantes): selecção [Walsum1994], movimentação, teste, com auxílio de *widgets*¹⁷ [Cignoni1994], entre outros. A interface desempenha um papel fundamental, pois pode facilitar ou inibir a interacção. Um outro detalhe é a consistência, pois nem sempre o que é considerado “padrão” implica esta.

Por exemplo, Jean Fekete e Catherine Pleasant propõem uma técnica interactiva em [Fekete2002] para visualizar 1 milhão de itens num ecrã de resolução 1500 x 1200 *pixels*, sem efeito de agregação. A técnica depende intensamente da capacidade que a placa gráfica do computador possua. Ela inclui efeitos animados, para auxiliar a percepção de valores fronteiros e tendências existentes nos dados, assim como pesquisas dinâmicas utilizando o *Z-buffer*¹⁸ da placa gráfica. A utilização de atributos visuais não padronizados, como a transparência e a visão estereoscópica, permitem inspecções (fig. 2.18) temporárias efectivas.

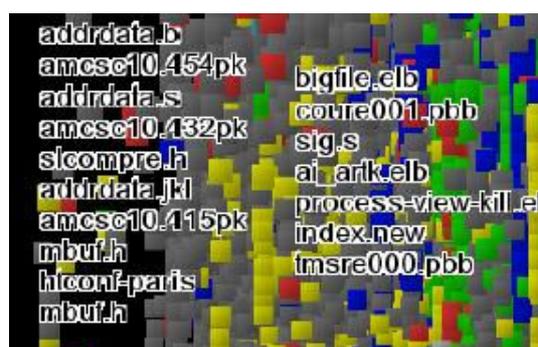


Figura 2.18. Visualização de 1 milhão de itens [Fekete2002]

Outro bom exemplo de interacção é a pesquisa dinâmica. Elas constituem um método para inspeccionar de forma interactiva dados na visualização da informação. Por outro lado, é importante a criação de interfaces que permitam que estas decorram de uma forma eficiente.

¹⁶ Resposta do sistema.

¹⁷ É um termo que designa componentes de interface gráfica com o utilizador.

¹⁸ É a memória de um adaptador de vídeo encarregada de gerir as coordenadas de profundidade das imagens nos gráficos em três dimensões.

Evan Golub e Shneiderman [Golub2003] propõem a utilização de métodos que incluem controle de manípulos, representação visual e visualização/actualização de resultados, tendo como base o *Dynamic HTML* para potenciar mais a pesquisa dinâmica. Hochheiser e Shneiderman [Hochheiser2004] sugerem o desenvolvimento de *widgets* específicos para análise de séries temporais (designadas de *timeboxes*), para garantir a pesquisa dinâmica interactiva de dados com forte componente temporal.

Por último, um resumo geral e abrangente pode ser encontrado no site do Visual-Literacy.org [VisualLiteracy2007]. Em forma de tabela periódica (ver figura 2.19), são dispostas as principais técnicas actuais em termos de visualização da informação, servindo como suporte a um curso de *e-learning*¹⁹ sobre visualização.

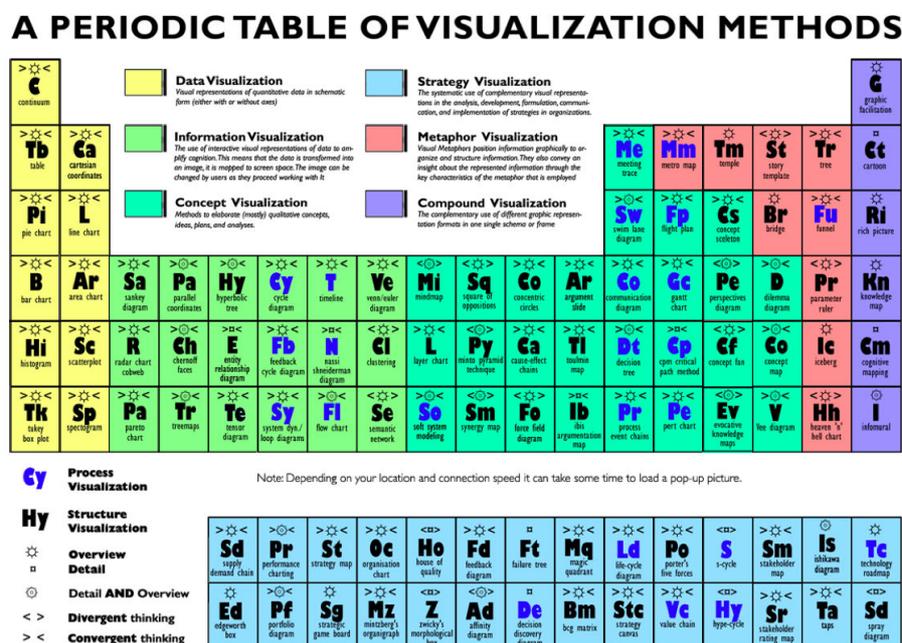


Figura 2.19 Tabela periódica dos métodos de visualização [VisualLiteracy2007]

2.7. Visualização da Informação versus a Científica

É importante que se faça a distinção entre as áreas de Visualização da Informação e Científica. Ambas são áreas da computação gráfica orientadas para a visualização de dados com o auxílio das mais diferentes técnicas, porém, a Visualização Científica [Bonneau2005] foca dados que descrevem objectos físicos, fenómenos e medições de cariz científico, tendo surgido no início dos anos 80, enquanto que a Visualização da Informação está mais orientada para o desenvolvimento de metáforas para dados que não são inerentemente espaciais (designados de elevada dimensão), e surgiu a partir dos anos 90. Portanto a diferença entre elas reside basicamente na natureza dos dados que são utilizados para análise – científicos ou não

¹⁹ É a combinação ocorrida entre o ensino com auxílio da tecnologia e a educação a distância.

científicos, já que partilham objectivos e desafios bastante semelhantes. Muitas são as técnicas de visualização comuns a estas duas áreas, sendo difícil determinar também neste sector uma clara fronteira. Outro aspecto a referir liga-se com o facto desta discriminação ter vindo a ser tema de intenso debate na comunidade científica, como pode ser visto em [Rhyne2003], não havendo até à presente data um claro consenso. Graças à separação entre estas duas comunidades (Informação e Científica) e à pouca ou nenhuma interacção que tem ocorrido, muitos dos dados que pertencem a ambos os domínios, encontram-se numa espécie de “limbo” em termos de visualização.

De acordo com Stephen Eick [Eick2005] a Visualização de Informação necessita de uma nova classe de técnicas visuais para sequência de dados pois as actuais apresentam limitações como por exemplo:

- São estáticas e mostram “fotos” em lugar de uma sequência de imagens;
- Não são escalonáveis e facilmente “sobrecarregadas” em função do volume dos dados;
- Não mostram a dinâmica existente nos dados sequenciais;
- Estão limitadas a reduzidas dimensões;
- Podem inclusive adicionar mais complexidade aos dados (numa sequência de dados eles já o podem ser de forma inerente);
- Podem atingir um grau de complexidade elevado e tornarem-se visualmente confusas;
- Exigem um nível de processamento cognitivo bastante elevado para ser possível a extracção do significado subjacente;
- Não dão suporte a comparações entre períodos de tempo e eventos cruzados.

Por outro lado, Cris Johnson [Johnson2004] aponta que a Visualização Científica necessita de resolver as seguintes deficiências:

- “Pensar na Ciência” - os que desenvolvem Visualização Científica devem gastar mais tempo a perceber o ramo do conhecimento que está subjacente à visualização;
- Quantificar a efectividade – muitas avaliações são feitas de forma *ad hoc* ou utilizando alguma regra empírica;
- Representação do erro da incerteza – embora já existam representações em 2D, em termos de 3D pouco ou nada está proposto;
- O aspecto perceptivo – raramente é considerado o conhecimento que se tem sobre o sistema cognitivo e perceptivo visual do ser humano aquando da criação de uma nova técnica de visualização;

- Utilização eficiente das novas arquitecturas e respectivo hardware – Como podemos garantir a integridade das imagens ao utilizar hardware gráfico barato que é normalmente empregue em vídeos jogos? Como podemos contrabalançar a capacidade de processamento oferecidas pelas GPUs (*Graphical Processing Units*) com a pouca largura de banda do bus num CPU (*Central Processing Unit*)?
- Interacção homem-máquina – Existe a necessidade constante de garantir uma interacção efectiva do utilizador com a visualização;
- Visualização local e global – Existe uma falta de métodos variados que permitam a visualização convergir para o detalhe sem perder o seu contexto global;
- Ambientes integrados para solucionar problemas – Os cientistas querem mais interacção entre a modelação, simulação e visualização do que actualmente é oferecido pela grande parte das aplicações de visualização científica;
- Visualização de multi-campos – Muita pesquisa tem sido realizada mas focando a visualização de apenas uma variável (os dados multi-campos são compostos em simultâneo por escalares, vectores e tensores);
- Integrar a Visualização da Informação com a Científica – Não faz sentido dois campos que partilham tanto em comum, estarem separados em lugar de unir forças;
- Detecção de características – é um factor importante no processamento e tratamento de dados complexos, multidimensionais ou ainda em larga escala para diversas áreas;
- Visualização com dependência temporal – existe uma grande falta de técnicas visuais interactivas que representem convenientemente a dependência temporal;
- Visualização escalável, distribuída e paralela em grelha – Novos sistemas estão a aparecer e a visualização deve se adaptar a essa realidade;
- Abstracções visuais – As abstracções visuais criadas têm que ser sempre efectivas;
- Teoria da visualização – Inexiste uma fundamentação teórica e formal da visualização científica.

Como é possível constatar, alguns dos pontos apontados em cada uma das análises fundem-se, reforçando a ténue divisão que separa as áreas. De forma a enquadrá-las melhor, a parte restante deste capítulo analisará cada uma delas sob o ponto de vista das suas principais tecnologias, sistemas, ferramentas e/ou projectos actualmente existentes.

2.7.1. Software na Visualização da Informação

Para categorizar as aplicações, projectos, ferramentas e sistemas, serão considerados sete tipos de dados básicos subjacentes a eles: unidimensional, bidimensional, tridimensional,

multi-dimensional, temporal, hierárquico, rede (*network*) e espaço de trabalho (*workspace*). Esta sistemática de categorização, embora válida para o objectivo desta secção, é restritiva sob o ponto de vista analítico da questão, já que muitos deles estão orientados para mais de um tipo de dado, sendo portanto mistos em relação aos dados que lhe estão subjacentes. Por exemplo, muitos sistemas serão categorizados como espaços de trabalho, embora eles englobem muito mais do que essa categoria.

Por fim, serão também analisadas algumas das *frameworks* [North2004] que estão a ser propostas com o objectivo de criar uma estrutura comum e padronizada para todos os desenvolvimentos de software que são feitos nesta área. Os exemplos de projectos e ferramentas que se enquadram nas oito classificações que serão apresentadas nas secções 2.7.1.1 a 2.7.1.8 estão disponíveis no Anexo III deste trabalho.

2.7.1.1. Unidimensional

As listas sequenciais, baseadas normalmente em texto, são um bom exemplo deste tipo de dado. Exemplos típicos incluem os códigos fonte de programas de computadores, textos com muitas linhas e resultados de pesquisas em documentos. Via de regra, os potenciais utilizadores de aplicações desta natureza desejam transitar entre visualizações focadas e visualizações globais da lista de caracteres que eles estão a analisar, para efectuar comparações entre os elementos presentes na lista, ou ainda, simplesmente aceder a um determinado elemento da lista.

A solução, mais adoptada neste caso, utiliza métodos que permitem rolar o texto, ordena-lo ou ainda executar alguma busca. Uma busca típica na WWW (*World Wide Web*), com o auxílio de um *browser* como o Explorer™, é um bom exemplo disso. Por outro lado, as limitações impostas nesse tipo de buscas, ilustram bem a inadequação destas técnicas a longo prazo.

Uma aplicação baseada na Visualização da Informação pode oferecer, nesses casos, uma resposta sempre mais efectiva às necessidades do utilizador, além de vistas globais e compactas das listas em si. Com a alteração da cor, tipo de fonte, tamanho, orientação, posição e escala, a visualização pode tornar-se muito mais rica, permitindo de uma forma fácil comparar, filtrar ou pesquisar dados na lista.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza na Visualização da Informação, temos:

- Visualização de sumários dos itens ordenados, de forma a encontrar os elementos mais importantes;
- Percorrer as listas segundo uma ordenação variável;
- Filtragem de itens indesejáveis.

2.7.1.2. Bidimensional

Este ambiente de informação combina a representação e tipo de dados bidimensional. Exemplos de aplicações em ambientes 2D incluem: Sistemas de informação geográfica (SIG), desenho de hardware, *design* de jornais e fotografias. Os SIGs incluem visualizações cartográficas da informação, sendo bons exemplos deste tipo de aplicação o Arcview™ e o GeoMedia™. Os programas que permitem criação de desenhos estilizados e artísticos, como o Pad++, incluem o zoom semântico. O Photoshop™ é um software que permite os desenhadores e fotógrafos criarem trabalho artístico de uma forma original (corrigindo cores, retocando e compondo imagens digitalizadas). No *design* de edições de jornais, os ambientes bidimensionais provam também ser de grande utilidade, pois facilitam a localização de artigos ou áreas em branco.

A melhor maneira de definir um ambiente bidimensional de dados, é inicialmente determinar quais os tipos de respostas as representações visuais devem dar resposta. A direcção, a localização e a distância são características, que podem efectivamente ilustrar o ambiente de visualização 2D. Por exemplo, um objecto está à direita ou à esquerda? Quão grande é Lisboa em comparação com o Porto? Quais são os sítios localizados ao norte de Lisboa? Guimarães está mais perto de Braga ou de Viseu?

Um ambiente visual bidimensional se sobrepõe a outros ambientes de visualização, quando tenta classificar tipos de dados. Na realidade, todas as visualizações de dados são mostradas numa superfície 2D (ecrã do computador). Daí que, muitas aplicações possam ser falsamente classificadas como bidimensionais quando na realidade são do tipo temporal ou rede, por exemplo. Há uma certa confusão entre o conceito de representação 2D dos dados e o tipo de dados 2D.

Os dados do tipo bidimensional apresentam um número de atributos que é normalmente utilizado directamente para sua representação visual em 2D. Exemplos são a longitude e latitude, largura e altura, entre outros. Por vezes os dados não são do tipo bidimensional e o ambiente, mesmo assim, é considerado bidimensional. Os dados com mais de duas dimensões também podem, em alguns casos, serem representados segundo um modelo 2D. Por exemplo, se considerarmos uma aplicação que desenhe o mapa de Portugal e que mostre toda a informação associada a cada cidade seleccionada, a visualização pode ser multi-dimensional, pois mais de dois atributos podem estar associados a cada cidade. Embora isto seja possível, neste caso, ainda será considerada como sendo uma aplicação 2D, pois o objectivo principal dela é dar a direcção e posição. Esta subtil distinção é a base que deve ser utilizada para identificar um dado de tipo 2D.

Como domínios aplicativos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Mapas geográficos;
- Desenho de hardware;
- Zoom semântico;
- Sistemas de rastreio;
- *Design* de jornais;
- *Browser* de fotos e imagens.

2.7.1.3. Tridimensional

Este tipo de visualização deve ser aplicado quando observar o objecto em 3D ou o que está em seu interior é um factor fundamental para a execução de uma dada tarefa por parte do utilizador. Embora a criação de ferramentas para navegar e visualizar em 3D sejam complexas, há uma grande solicitação para a criação destas. Por exemplo, o *National Library of Medicine* desenvolveu o projecto Visible Human [VisibleHuman2007]. Este é um repositório de imagens sobre o corpo humano, que podem ser utilizadas para criar visualizações 3D. Muitas aplicações têm sido criadas com base nessas imagens, permitindo uma interacção total com as visualizações em 3D do corpo humano.

A visualização volumétrica é a forma mais utilizada em 3D. Ela implica a criação de visualizações muito próximas do mundo real, num ecrã 2D de um computador, além de eventual interacção em ambiente imersivo virtual. As aplicações actuais desse tipo incluem áreas como a medicina, ensino, meteorologia e arquitectura, entre outras.

Tem vindo a crescer cada vez mais a utilização de realidade virtual no contexto destas aplicações. O VRML (*Virtual Reality Modelling Language*), por exemplo, é uma ferramenta bastante utilizada na criação de universos virtuais, que permite modelar desde lugares históricos até planetas, disponibilizando as visualizações interactivas na Internet.

O conceito de universo 3D também é por si confuso. Existem basicamente quatro interpretações diferentes deste:

- A primeira considera que o universo 3D é composto por objectos 3D reais, como os presentes em visualizações nas áreas da medicina, arquitectura ou química. Nesses casos, há sempre o interesse por parte do utilizador em visualizar os objectos no seu interior, pois isto é fundamental para a compreensão da visualização. Navegar para cima, baixo, frente e trás dentro do ambiente imersivo apresentado, fornece ao utilizador a percepção de contenção espacial;
- A segunda é a de que o universo 3D é artificial e sintético. As visualizações criadas são universos fictícios, que entretanto, se apresentam como bastante reais. Esse tipo de visualização permite passeios virtuais por ambientes fictícios, e não possui como ideia chave explorar o interior de objectos, como no caso anterior. As aplicações que simulam visitas virtuais a museus ou lugares históricos, são bons exemplos deste caso;

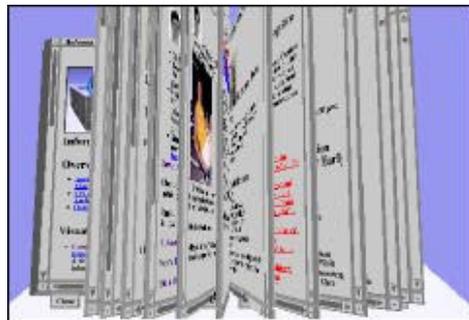


Figura 2.20. WebBook and Web Forager [Card1996]

- A terceira categoria de visualização em 3D, inclui objectos em que é possível aplicar o nosso sentido real de 3D para os fazer parecer tridimensionais. Por exemplo, árvores hierárquicas, redes de comunicação, sistemas SIG, objectos multi-dimensionais e temporais, podem ser modelados em 3D, mas isto não significa que estes objectos fazem realmente parte de um universo 3D. Existem muitos produtos que utilizam este conceito 3D, como por exemplo o WebBook and Web Forager [Card1996] (figura 2.20);

- A quarta categoria engloba objectos em que a criação da 3ª dimensão é forjada. Bons exemplos são os gráficos em barras ou queijo construídos a partir de dados 2D, mas que são visualizados em 3D (muito utilizado no Excel TM, por exemplo). Este tipo de visualização, apesar de apelativo, é de utilização questionável em termos de qualidade e efectividade da compreensão que se consegue com estes obter.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Percepção da contenção espacial existente num ambiente;
- Pesquisar e explorar o ambiente segundo posições espaciais diferentes e intuitivas (acima e abaixo, dentro e fora, para frente e trás).

2.7.1.4. Multi-dimensional

Esta visualização, no caso da visualização de informação, mostra dados que primariamente não são espaciais. O número de atributos associado a cada item é sempre mais que três. Os dados utilizados podem ser abstractos e de natureza estatística, como por exemplo: fenómenos, produção fabril, base de dados cinematográfica, distribuição de livros numa biblioteca, entre outros.

A visualização unidimensional, bidimensional, tridimensional e temporal podem ser vistas como subconjuntos da visualização multi-dimensional. Existe sempre um determinado atributo predominante em cada uma destas. Por exemplo, no caso de ser temporal, o tempo é o atributo de maior peso. No caso de ser 2D e 3D a posição é o atributo mais expressivo. No caso multi-dimensional, todos os atributos apresentam o mesmo peso.

A visualização científica também utiliza muito dados com esta dimensão, mas em geral, os atributos espaciais associados aos dados são utilizados na visualização. Bons exemplos são os sistemas de tomografia computacional e sistemas CAD (*Computer Aided Design*). Em ambos os casos, as coordenadas espaciais dos dados são fundamentais para as respectivas visualizações. Esta é a distinção fundamental entre a visualização científica de dados multi-dimensional e a de informação.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Perceber o todo ou parte de um conjunto de dados de n dimensões. São bons exemplos: encontrar padrões, relações, limites, falhas e grupos;

- Encontrar um item específico nos dados. O zoom, a filtragem e a selecção de um único item ou grupo de dados são bons exemplos deste caso.

2.7.1.5. Hierárquicos

Este tipo de dados também é conhecido como estrutura em árvore. Eles são conjuntos de dados dispostos em nós, onde cada nó possui apenas um nó pai (situado hierarquicamente acima deste), e pode ter vários nós filhos (situados hierarquicamente abaixo deste). Os nós e ligações podem ter múltiplos atributos. A própria estrutura hierárquica traduz informação relevante. A análise de hierarquias pode focar um único nó, ligação, colecção de nós ou até mesmo toda a estrutura.

As taxionomias, as estruturas organizacionais, a gestão de espaço de disco e as árvores genealógicas são bons exemplos de situações, onde a hierarquia está implícita na informação. A análise de hierarquias pode implicar na pesquisa de um determinado nó ou das anomalias e/ou duplicações na estrutura, até ao exame da estrutura em árvore como um todo.

Muitas das representações tradicionais de hierarquias são feitas em 2D, porém, outras técnicas têm sido desenvolvidas. O objectivo é permitir uma navegação e pesquisa da informação mais intuitiva e simples, garantindo que o utilizador perceba o contexto geral da árvore como um todo. A visualização de hierarquias está relacionada com a visualização de dados 3D, pois em muitos casos, as técnicas utilizadas são tipicamente 3D. Por outro lado, as hierarquias são similares aos dados multi-dimensionais no que toca o número de atributos, embora nestes, questões de hierarquia não existam. Em última análise, as hierarquias podem ser vistas como um caso especial das redes. A diferença reside em não existir o conceito de hierarquia nas redes, podendo haver mais de uma ligação e caminho entre nós, e com sentido bi-direccional na relação.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Obter uma noção global e hierárquica da estrutura;
- Encontrar grupos, duplicados, relações, caminhos e heranças existentes na estrutura;
- Descobrir atributos dos nós ou de ramos inteiros.

2.7.1.6. Redes

A visualização em rede está normalmente associada a visualização de uma estrutura de dados com muitos itens. As redes são constituídas por nós e ligações, onde os nós representam um dado pontual e a ligação, a relação entre dois nós. Muito do trabalho realizado nesta área foi directamente importado da teoria dos grafos. Um grafo simples, com poucos dados, é fácil de entender, porém o mesmo não ocorre, quando a quantidade de dados cresce para os milhares. Outro detalhe, é que muita informação presente em grandes conjuntos de dados está “escondida”. Encontrar uma estrutura ou hierarquia, dentro de uma rede, pode ser muito difícil, daí, as redes também terem sido categorizadas segundo as suas particularidades estruturais – cíclicas, *lattices*, directa versus indirecta, com raiz ou sem raiz.

As visualizações normalmente envolvem algum tipo de diagrama, e até mesmo efeitos como a distorção, animação ou vistas das ligações mais dependentes ou fortes existentes na rede. As áreas de aplicação da visualização em rede incluem base de dados (tanto o modelo da base como os seus itens), software (conexões estáticas entre módulos, classes, ligações dinâmicas entre processos, entre outros), redes computacionais, WWW, redes de gestão social, SIG (relação geográfica entre localizações), tráfego aéreo, linhas de comunicação, entre outros.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Encontrar o caminho menor ou mais barato – por exemplo, instalações eléctricas num condomínio;
- Performance de programas – grafos auxiliam a encontrar possíveis estrangulamentos ou fluxos errados de dados;
- Gestão de tráfego – relacionar o tráfego a partir de diferentes nós, de forma a encontrar um determinado padrão;
- Edição de grafos;
- Relacionar facilmente os nós entre si.

2.7.1.7. Espaço de Trabalho

A visualização espaço de trabalho é constituída por dois tipos de classes: (1) a tentativa de obter mais área de trabalho no ecrã do computador de uma forma organizada e (2) a tentativa de modificar o ambiente de trabalho com nova informação. Na primeira, não há inclusão de nova informação na visualização espaço de trabalho, porém, uma tentativa de organizar melhor esta de maneira a facilitar a visualização imediata de dados de interesse. Na segunda classe, o

objectivo é adicionar mais e novos tipos de informação, como ocorre no caso da realidade virtual e/ou conferência virtual.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Permitir que o utilizador interaja com o ecrã do computador de forma mais eficiente;
- Permitir que pessoas fisicamente remotas entre si possam colaborar e interagir de forma concorrente;
- Sintetizar informação, conhecimento e resultados para a criação de soluções de alta qualidade;
- Organizar, interagir e executar pesquisas de informação relacionadas com tarefas de uma forma eficaz;
- Permitir um rápido acesso e reestruturação de informação pertinente a tarefas.

2.7.1.8. Temporal

A visualização de informação temporal possui duas qualidades fundamentais que a distinguem de simples listas padrão: (1) o facto de que os eventos temporais poderem ser simultâneos ou se sobreporem e (2) as múltiplas escalas subjacentes a dados temporais poderem exigir medições com alta precisão assim como mais grosseiras (desde segundos até milhares de séculos, por exemplo).

Alguns exemplos de visualizações temporais são as representações em vídeo e as animações. A ideia básica é mostrar os dados dinamicamente ao longo do tempo, permitindo ao utilizador analisar as variações que ocorrem, alterar a ordem temporal ou focar um determinado momento em especial, por exemplo. Neste tipo de visualização é facilitada a observação de padrões comportamentais nos dados.

Como objectivos básicos na visualização de dados desta natureza temos:

- Visualizar eventos ou dados em sequência e/ou variando a ordem sequencial;
- Visualizar e analisar historicamente a evolução de dados;
- Encontrar inconsistências e/ou relações indesejáveis nos eventos ou dados.

2.7.1.9. Frameworks para Visualização de Informação

O IVC (*Information Visualization Cyberinfrastructure*) [IVC2007] é uma *framework* para visualização da informação do tipo *plug-in*²⁰. Cada componente de software que faz parte do IVC pode ser “ligado” ou “desligado”. Desta forma, novos tipos de algoritmos, além de estruturas de dados, métodos, interfaces e até mesmo ferramentas inteiras, podem ser facilmente integrados. O IVC é composto pelos seguintes componentes: IVC *core*²¹, modelo de dados, *plug-ins*, interface gráfica, armazenamento de dados, agendador de tarefas e *logger*. Todos os componentes, com excepção da *core*, podem ser “ligadas” ou “desligadas” consoante a análise de dados que se deseje fazer. Inclui actualmente vários algoritmos de análise, interacção, pesquisa, modelação, entre outros. O IVC foi implementado em JSDK1.4.

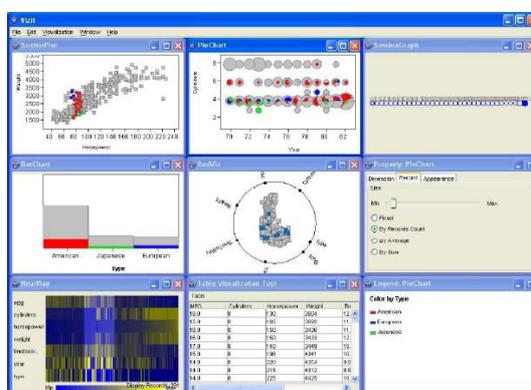


Figura 2.21. VIZIT, construído a partir da UVP [UVP2007]

A UVP (*Universal Visualization Platform*) [UVP2007] é a implementação de uma *framework* comum, a partir da qual várias visualizações de dados e aplicações para análise podem ser construídas. Esta tem como objectivo principal o desenvolvimento e partilha das ferramentas de visualização. Ela permite alcançar uma grande funcionalidade através de um modelo de dados comum. Outras ferramentas podem ser “ligadas” a *framework*, sendo o código automaticamente identificado e carregado dinamicamente. Ela é composta de quatro componentes principais agrupadas dentro de uma única API (*Application Programming Interface*). Na figura abaixo (fig. 2.21), um exemplo de aplicação feita com base na UVP, a VIZIT.

A *Piccolo* [Piccolo2007] suporta o desenvolvimento de programas estruturados para 2D, em geral, e de interfaces para o utilizador passíveis de zoom (ZUIs), em particular. A ZUI é um novo tipo de interface que permite que o utilizador execute o zoom da visualização resultante suavemente e progressivamente (para aproximar e afastar). A interface com os objectos que

²⁰ É um programa de computador que serve normalmente para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica.

²¹ É o núcleo central da *framework* IVC.

compõem esta ferramenta é feita com base num grafo. O utilizador pode (fig. 2.22) combinar, orientar e manipular os objectos que compõem a ferramenta, mantendo sempre o senso hierárquico existente entre eles. Como nos demais casos, a ocupação da área do ecrã é maximizada.

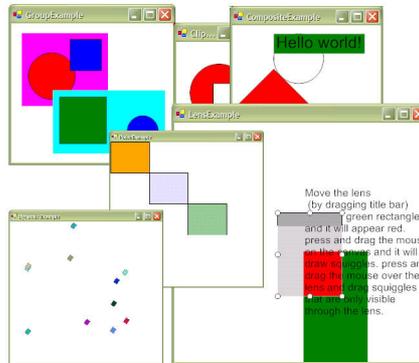


Figura 2.22. Piccolo [Piccolo2007]

A *Prefuse* [Prefuse2007] é uma plataforma para construção interactiva de visualizações, que podem ser aplicadas a várias áreas. A arquitectura suporta vários tipos de interacção (selecção, focagem, reposição, zoom, *panning* e varrimento), técnicas de visualização (animação, algoritmos de distorção e para *layout*), indexação e pesquisa de dados. A *Prefuse* foi construída totalmente em JAVA, utilizando a biblioteca gráfica 2D e o IDE Eclipse.

2.7.2. Software na Visualização Científica

Existem actualmente muitas aplicações de Visualização Científica disponíveis, algumas inclusive estando disponíveis para utilização gratuita, enquanto que outras exigem a compra de licenças. Um aspecto relevante que distingue as tecnologias utilizadas no universo da Visualização Científica e no da Informação é o da estrutura dos dados e o seu respectivo modelo. No caso da Visualização Científica os dados são desde escalares que descrevem a pressão ou temperatura, até tensores relacionados com valores de tensão num determinado material. Outra diferença importante reside no conjunto de técnicas visuais que normalmente está presente. Por último, ao contrário da Visualização de Informação, não é possível categorizar as ferramentas ou aplicações segundo o tipo de dados, mas sim de acordo com o nível de complexidade na sua implementação, já que existe uma dependência directa da tecnologia que é adoptada como base de desenvolvimento.

A tecnologia em termos de Visualização Científica pode ser categorizada em 3 grandes grupos: software de apresentação gráfica, aplicações “chave na mão” (*turnkey*) ou ainda os construtores de aplicação. Segue-se uma breve discussão sobre cada uma destas categorias e alguns exemplos.

2.7.2.1. Software de apresentação gráfica

Este tipo de softwares são os mais simples e básicos que podem ser utilizados para visualizar e analisar dados. As bibliotecas interagem directamente com o hardware gráfico ou incluem funcionalidades gráficas no software. O utilizador tem que desenvolver todas as partes da aplicação, tais como a interface com o utilizador, a gestão de dados, o mapeamento da geometria, e o programa principal. A maior parte das bibliotecas básicas somente suportam a uma interface elementar para os dispositivos gráficos, enquanto que algumas de nível mais elevado incluem funcionalidades para manipulação de entidades gráficas mais sofisticadas.

A grande vantagem deste tipo de software é a sua flexibilidade e elevado controlo. Por outro lado, exigem um elevado conhecimento de programação, e muito tempo para desenvolvimento e suporte de código. Bons exemplos desta categoria são o VTK 5.0 [VTK2007] da KitWare Inc. e o OpenGL.

VTK 5.0 (*Visualization Toolkit*) é uma ferramenta de código aberto gratuita para a computação gráfica tridimensional, o processamento de imagem e a visualização. Ela consiste numa biblioteca de classes em C++ e várias camadas de interpretadores incluindo Tcl/Tk, Java e Python. O VTK suporta uma grande variedade de algoritmos de visualização incluindo escalar, vector, tensor, textura, métodos volumétricos, além de métodos avançados de técnicas de modelação. O desenho e implementação desta biblioteca são orientados a objectos.

2.7.2.2. Soluções Chave na Mão

Este tipo de aplicação oferece uma solução [Brodie1992] fixa e reduzida para solucionar um determinado conjunto limitado de problemas específicos. Bons exemplos são dados pelos sistemas plot3D [PLOT3D2007] (ver figura 2.23), pv3 [Pv32007], Visual3, GMV, UFAT, FAST ou ainda o gnuplot. O utilizador fornece os dados e as instruções ao programa principal e eventualmente alguma geometria para mapear. A aplicação normalmente possui uma interface final bastante intuitiva e visualmente apelativa.

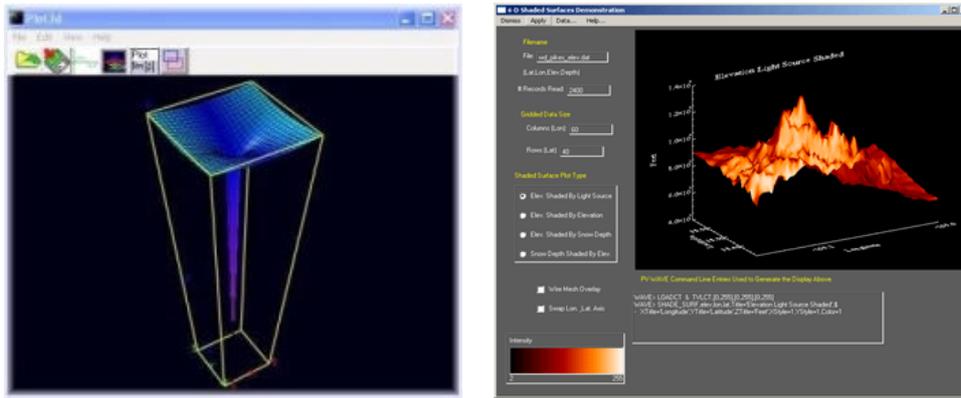


Figura 2.23. plot3D [Plot3D2007] e PV-Wave [PVWave2007]

Muitas aplicações do tipo chave na mão são extremamente [Earnshaw1992] específicas e orientadas para uma dada situação, sendo praticamente impossível a sua utilização em outras áreas do conhecimento. A grande mais-valia reside no facto de não ser necessária programação adicional, obtendo resultados rapidamente. A desvantagem é a inflexibilidade e limitada capacidade de extensão. Em função disso, estas soluções normalmente só atendem parte do que o utilizador precisa ou deseja. Elas atingiram um grau de maturidade elevado e são utilizadas para visualização por um grande número de utilizadores. O ParaView [ParaView2007], o VolView [VolView2007] ou ainda o PV-Wave [PVWave2007] (figura 2.23) são bons exemplos das gerações mais actuais e versáteis deste tipo de solução.

2.7.2.3. Construtores de Aplicação

Este tipo de software normalmente disponibiliza na sua interface uma [Abram1995] lista de módulos que podem ser facilmente acedidos, seleccionados e ligados interactivamente entre si em tempo real (*runtime*) pelo utilizador. A arquitectura de base deste tipo de software é designada de fluxo de dados (*data-flow*). Os construtores de aplicação são uma espécie de combinação de várias soluções chave na mão com a possibilidade de personalização do resultado final. Os módulos podem ser inclusivamente substituídos por outros que sejam codificados pelo utilizador, permitindo assim alcançar um alto grau de flexibilidade.

Nestes sistemas tudo o que o utilizar necessita está virtualmente disponível. O utilizador precisa apenas de definir a rede de visualização (composta pelos diversos módulos interligados), fornecer eventualmente dados, e caso seja necessário, facultar os seus próprios módulos programados. Bons exemplos desta categoria são o IBM Data Explorer [IBMDDataExplorer2007], o Íris Explorer [Iris2007] (ver figura 2.24), o Application Visualization System (AVS) [AVS2007] ou ainda o Khoros [Khoros2007].

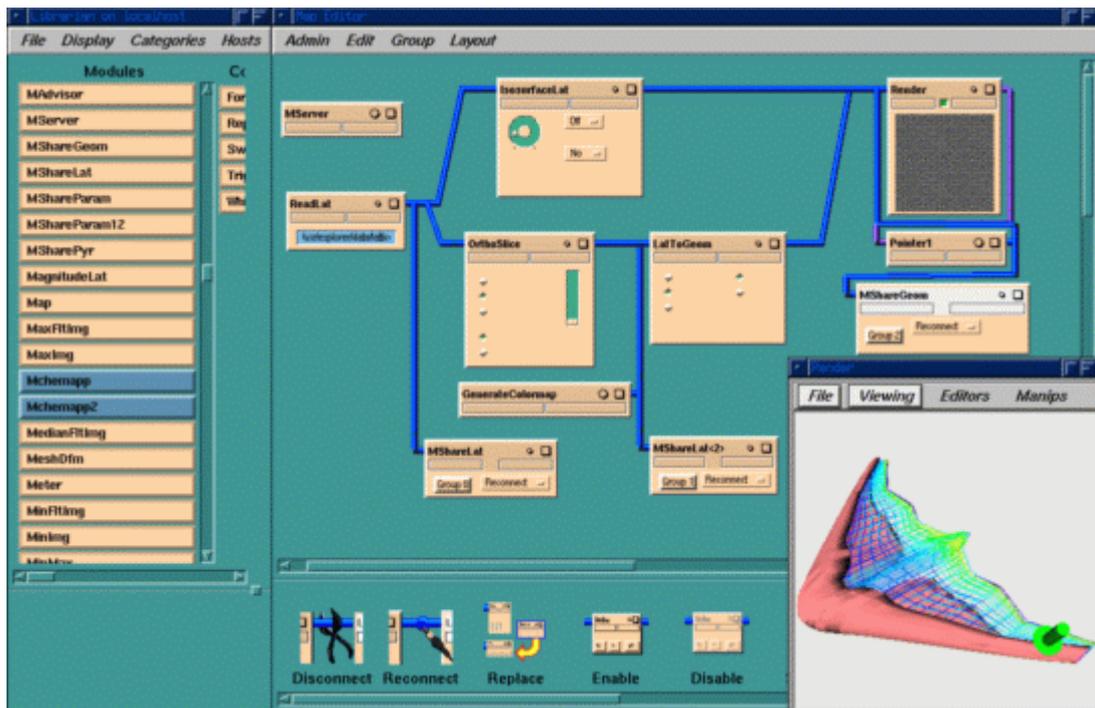


Figura 2.24. Iris Explorer [Iris2007]

As aplicações são criadas pelo utilizador através do simples arrastar dos módulos seleccionados com o auxílio do rato para a área de trabalho. Uma vez que todos os módulos estejam interligados da forma correcta e desejada, o programa pode ser executado. Apenas através da alteração das ligações, novas aplicações podem ser facilmente e rapidamente prototipadas. O utilizador necessita saber apenas como deve controlar o fluxo de dados na rede ou criar novos módulos. Os novos avanços em termos de software e técnicas de visualização têm contribuído para uma melhoria significativa dos construtores de aplicação.

2.8. Conclusões

A visualização é um processo bastante complexo. Factores cognitivos [Holub1992], físicos, psicológicos, culturais, entre muitos outros, podem influenciar, de forma decisiva, o sucesso de uma visualização. O conhecimento do modelo visual do utilizador, a caracterização dos dados a serem visualizados e das tarefas a serem executadas, são alguns exemplos da informação básica necessária para poder se executar um mapeamento eficiente da informação. Muitos modelos já foram propostos, porém, a visualização [Wright1997] ainda não possui uma “fórmula” absoluta [Lindland1994]. Por outro lado, existem poucos testes para verificar e garantir a fiabilidade dos resultados fornecidos pelos sistemas de visualização [Robertson1994], ou pelas técnicas a nível algorítmico [Nielsen1994].

Uma boa visualização deve potenciar não só uma clara compreensão da informação subjacente, mas também aumentar a quantidade de informação que é “compreendida” e “apreendida” através da mesma. A identificação de valores máximos e mínimos, de desvios, erros, tendências ou intervalos e até mesmo de conjuntos de informação, são alguns dos objectivos que devem estar sempre presentes na visualização, pois só assim, é possível uma melhor compreensão de sistemas complexos e descobrir informação “escondida” [Eaton2003] ou ainda dar apoio à tomada de decisões. Vários estudos têm sido feitos para avaliar a validade dos sistemas de visualização, segundo critérios bem definidos [Plaisant2004].

Visualizar informações disponíveis na *Internet* ou [Rohher1997] nas *intranets*, tornou-se uma aplicação trivial na visualização, e segundo Rhyne [Rhyne2000], neste milénio será necessário o desenvolvimento de novos modelos para dados assim como de técnicas inteligentes de exploração. Estas técnicas deverão permitir a extracção de informação a partir dos vastos repositórios de dados existentes, muitos destes, oriundos de complexas simulações computacionais. Isto auxiliará também a investigação de tecnologias de visualização mais efectivas (hardware e software). Neste milénio deverá se tornar usual a execução de pesquisas tendo como base a representação pictural da informação (QBPE – *Query By Pictorial Example*), em lugar da textual. Este é o futuro da visualização.

Uma infra-estrutura orientada para a visualização deve ser composta por vários níveis, existindo um bom nível de comunicação entre eles. No nível mais próximo do utilizador, a visualização da informação requer um ambiente interactivo, onde várias visualizações podem ser criadas, combinadas, sincronizadas e configuradas rapidamente, de forma a potenciar a rica exploração de dados.

Para aceder a conjuntos de dados é exigido um outro nível de infra-estrutura. Este deve garantir a leitura de ficheiros em diferentes formatos, provenientes de diversas fontes. Construir o algoritmo de visualização com técnicas de visualização apropriadas é o terceiro nível da infra-estrutura, sendo aconselhável a utilização de sistemas de visualização sempre que possível (evitar tempo/esforço em programação/desenvolvimento). Também é importante ter em mente a possibilidade de adicionar novas técnicas sempre que necessário, tanto a nível de utilizador final como a nível de programação.

A combinação do acesso e processamento a dados e de técnicas de visualização deve ser fácil e visual. A visualização pode ser *front-end*²² para a aplicação principal ou pode ser a aplicação em si. Ela também pode ser uma componente dentro de uma aplicação já existente. A infra-estrutura deve ser flexível o bastante para permitir [Plaisant2005] a sua integração numa aplicação já existente, sem grande dificuldade, além de garantir vários níveis de acesso, dependendo do perfil do utilizador final. A necessidade de programação deverá ser gradualmente reduzida até à sua total eliminação.

²² É a parte do sistema de software que interage directamente com o utilizador.

Capítulo 3

Os Modelos Cartográficos

A modelação de informação cartográfica está actualmente muito ligada ao crescente interesse na visualização desse tipo de informação e conseqüente criação de ferramentas de software orientadas à cartografia [Zhao2002]. Estas ferramentas são designadas por SIGs e foram concebidas e desenvolvidas a partir de um conjunto de modelos²³, que têm como base comum, a visualização e o tratamento de informação cartográfica, ou melhor, espacial e usualmente geo-referenciada (com referência espacial centrada em algum lugar da superfície terrestre) [Korte2000]. Os modelos que são utilizados para modelar a informação cartográfica são basicamente os mesmos que são utilizados pelos SIGs (com as devidas padronizações/adaptações a nível dos modelos analíticos aplicados). Portanto, ao se analisar a questão da modelação de informação cartográfica, é praticamente impossível não se referir ou se desassociar por completo este tipo de sistemas, que foram totalmente desenvolvidos tendo como base essa premissa.

Outro pormenor de relevante importância na modelação cartográfica é a presença intrínseca da análise espacial num mapa. Ela define e caracteriza a forma como a informação cartográfica é processada, e transformada em informação útil. A definição de qualquer modelo cartográfico exige, sem dúvida, sempre algum grau de abstracção espacial.

Este capítulo aborda os conceitos mais relevantes e que são inerentes e estão subjacentes aos modelos cartográficos, tais como a sua definição, a análise espacial, as metodologias para definição de modelos cartográficos e sua respectiva construção, e os mapas. Por último, é feita uma breve referência aos SIGs, pois como já referido anteriormente, existe uma forte ligação entre estes dois conceitos.

²³ No âmbito deste trabalho, modelo é uma idealização da realidade sem ser efectivamente uma réplica exacta (contém apenas alguns elementos considerados essenciais). A modelação é o acto de criar um modelo.

3.1. Definição

A cartografia é uma disciplina muito antiga que surgiu a partir da necessidade de se representar grandes áreas da superfície terrestre num tamanho passível de manipulação. Por muitos anos, a cartografia foi associada apenas a mapas analógicos e à respectiva produção (mapas impressos em papel). Hoje em dia, a cartografia cresceu e engloba um campo muito maior de aplicações e alternativas de visualização.

Um modelo cartográfico é definido como sendo uma representação simplificada da superfície da Terra ou de qualquer corpo celestial que possa ser expresso de forma analítica [Slocum2004]. Ele é uma generalização ou idealização da realidade. A sua utilidade assenta no facto de ser uma representação analítica simplificada da realidade, que permite um processamento mais fácil da informação.

A principal razão do desenvolvimento de um modelo cartográfico é o de facilitar e automatizar a produção de mapas (normalmente designados por produtos cartográficos). A automação é de grande valor na cartografia, pois a utilização de computadores potenciou a criação massiva de produtos cartográficos. O número de especialistas na área é reduzido, e por esta razão, a automação é a única maneira de tirar partido de uma maior produção e alcançar uma qualidade uniforme.

O modelo cartográfico é um esforço para compreender, a partir de um ponto de vista teórico, a produção de produtos cartográficos digitais e analógicos. O modelo é derivado segundo princípios reconhecidos e universais da teoria cartográfica moderna. Os componentes do processo de modelação cartográfica estão representados na figura 3.1, sendo este representado como um sistema fechado.

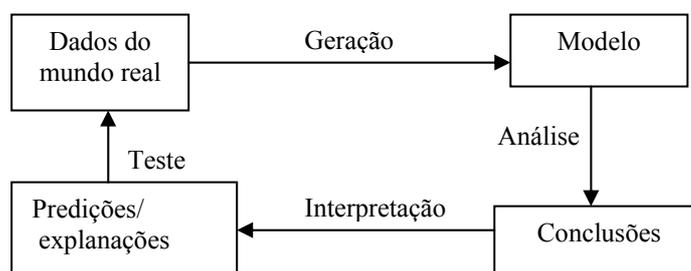


Figura 3.1. Processo de modelação cartográfica [Lentorp1999]

3.2. A Importância da Análise Espacial

A análise espacial não é um conceito novo em Geografia, pois os geógrafos a têm executado, ou tentado efectuar operações espaciais desde há muito tempo. Este conceito surgiu

[Bailey1996] com a necessidade de se comparar e sobrepor a informação geográfica presente em mapas. Embora em primeira instância a aplicação da análise espacial tenha e tem sido utilizada maioritariamente no domínio da Geografia, a verdade é que ela pode ser aplicada a todos os casos em que questões espaciais são relevantes na análise dos dados.

Nestas duas últimas décadas houve um grande desenvolvimento de ferramentas SIG e com isso, as técnicas para análise espacial cresceram drasticamente. De certa forma, a análise espacial efectuada nos SIG (figura 3.2) é na verdade uma extensão/especialização da análise quantitativa executada normalmente em Geografia.

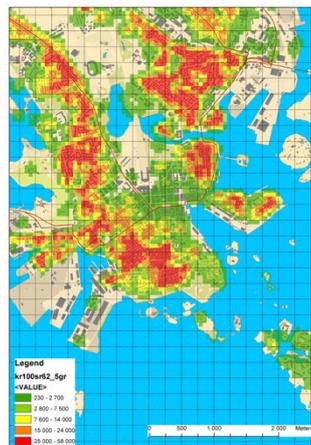


Figura 3.2. Exemplo de análise espacial

A análise quantitativa em Geografia representa um estudo profundo dos padrões presentes em pontos, linhas, áreas e superfícies num mapa definido segundo coordenadas espaciais em 2D ou 3D [Lentorp1999]. Por várias razões, a compilação e análise de mapas e a respectiva análise estatística do que esses mapas representam evoluíram de forma isolada. Por isso, a análise quantitativa em Geografia ficou conhecida como análise espacial.

A análise espacial pode ser considerada sob um ponto de vista puramente teórico ou prático e aplicado [Peuquet2002]. A grande parte dos SIGs tendem a considerar o último ponto de vista. Numa análise espacial é necessário que os dados sejam analisados segundo uma lógica, ordem ou princípio: Definição do problema ou do objectivo, pesquisar os dados, modelação e análise, obter o resultado avaliando-o e interpretando-o. A análise espacial é o estudo quantitativo dos padrões e relações entre pontos, linhas, áreas e superfícies. Segundo DeMers [DeMers2007], a maior parte dos SIGs são orientados às necessidades comerciais do mercado e não aos requisitos académicos de resolução de problemas complexos de natureza geográfica. Ou seja, os SIGs são ferramentas incompletas em termos de análise espacial.

3.2.1. Tipos de Dados em Análise Espacial

A taxionomia mais utilizada para caracterizar os problemas de análise espacial considera três tipos de dados:

Eventos ou padrões pontuais – fenômenos expressos através de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais. São exemplos: localização de crimes e de determinadas espécies vegetais.

Superfícies contínuas – estimadas a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas. Normalmente, este tipo de dados é resultante do levantamento de recursos naturais, e que incluem mapas geológicos, topográficos ou ecológicos.

Áreas com contagens e taxas agregadas – tratam-se de dados associados a levantamentos populacionais, como censos e estatísticas de saúde, e que originalmente se referem a indivíduos localizados em pontos específicos do espaço. Por razões de confidencialidade, estes dados são agregados em unidades de análise, usualmente delimitadas por polígonos fechados (sectores censitários, zonas de endereçamento postal, entre outros).

3.2.2. Conceitos Básicos em Análise Espacial

3.2.2.1. Dependência Espacial

Um conceito chave na compreensão dos fenômenos espaciais é a dependência espacial [Druck2004]. Essa noção parte do que Waldo Tobler [Tobler1970] chama de primeira lei da Geografia: "todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais do que coisas distantes". Ou, como afirma Noel Cressie [Cressie1994], "a dependência espacial está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida em que aumenta a dispersão na localização dos dados".

Generalizando, pode afirmar-se que a maior parte das ocorrências, sejam estas naturais ou sociais, apresentam entre si uma relação que depende da distância. O que quer nos dizer este princípio? Se encontramos poluição num trecho de um lago, é provável que locais mais próximos a esta amostra também estejam poluídos. Se a presença de uma árvore adulta inibe o crescimento de outras por perto, certamente esta inibição diminui com a distância.

3.2.2.2. Autocorrelação Espacial

A expressão computacional do conceito de dependência espacial é a autocorrelação espacial. Este termo foi derivado do conceito estatístico de correlação, utilizado para mensurar o relacionamento entre duas variáveis aleatórias. A preposição “auto” indica que a medida de correlação é realizada com a mesma variável aleatória, medida em locais distintos do espaço. Para se medir a autocorrelação espacial pode-se utilizar diferentes indicadores, todos baseados na mesma ideia: verificar como varia a dependência espacial, a partir da comparação entre valores de uma amostra e de valores dos seus vizinhos.

3.2.2.3. Inferência Estatística para Dados Espaciais

Uma consequência importante da dependência espacial é que as inferências estatísticas neste tipo de dados não serão tão eficientes quanto no caso de amostras independentes do mesmo tamanho. Em outras palavras, a dependência espacial leva a uma perda de poder explicativo. De uma forma geral, isto reflete-se em variâncias maiores para as estimativas, níveis menores de significância em testes de hipóteses e um ajuste menos preciso para os modelos estimados, comparados a dados de mesma dimensão que exibam independência.

Na maior parte dos casos, a perspectiva mais apropriada é considerar os dados espaciais não como um conjunto de amostras independentes, mas como uma única realização de um processo estocástico. Na visão tradicional, por amostras, cada observação traz uma informação independente. Num processo estocástico, todas as observações são utilizadas de forma conjunta para descrever o padrão do fenômeno estudado.

3.2.2.4. Estacionariedade e Isotropia

Os principais conceitos estatísticos que definem a estrutura espacial dos dados relacionam-se aos efeitos de 1ª e 2ª ordem. Efeito de 1ª ordem é o valor esperado, isto é, a média do processo no espaço. Efeito de 2ª ordem é a covariância entre as áreas espaciais. Um conceito importante neste tipo de estudo é o da estacionariedade. O processo é considerado estacionário se os efeitos de 1ª e 2ª ordem são constantes, em toda a região estudada, ou seja, não há tendência. Um processo é isotrópico se, além de estacionário, a covariância depende somente da distância entre os pontos e não da direção entre eles.

3.2.3. O Processo da Análise Espacial

A análise espacial é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento espacial presente no fenómeno. Os procedimentos iniciais da análise incluem o conjunto de métodos genéricos de análise exploratória e a visualização dos dados, em geral através de mapas. Essas técnicas permitem escrever a distribuição das variáveis de estudo, identificar observações atípicas não só em relação ao tipo de distribuição, mas também em relação aos vizinhos, e procurar a existência de padrões na distribuição espacial. Através desses procedimentos é possível estabelecer hipóteses sobre as observações, de forma a seleccionar o modelo inferencial melhor suportado pelos dados.

Os modelos de inferência espaciais são usualmente apresentados em três grandes grupos: variação contínua, variação discreta e os processos pontuais. A resolução de um problema espacial pode envolver a utilização de um deles ou a interacção de alguns ou mesmo de todos. Motivados por diferentes áreas de aplicação, os modelos inferenciais foram desenvolvidos separadamente para cada uma das situações. A unificação deste campo ainda não está totalmente definida, e frequentemente é possível aplicar mais de um tipo de modelo ao mesmo conjunto de dados.

- **Processo pontual:** são definidos como um conjunto de pontos irregularmente distribuídos num terreno, por exemplo, cuja localização foi gerada por um mecanismo estocástico. A localização dos pontos é o objecto de estudo, que tem por objectivo compreender o seu mecanismo gerador.

- **Variação contínua:** neste caso, os modelos inferenciais consideram um processo estocástico, cujos valores podem ser conhecidos em todos os pontos da área de estudo. A partir de uma amostra de um atributo, recolhida em vários pontos da área espacial, pretende-se inferir uma superfície contínua com atributos com valor idêntico ao da amostra.

- **Variação discreta:** os modelos inferenciais de variação discreta dizem respeito à distribuição de eventos cuja localização está associada a áreas delimitadas por polígonos. Este caso ocorre com muita frequência quando lida com fenómenos agregados por concelhos, freguesias ou sectores censitários, por exemplo, como população, mortalidade e rendimentos. Neste caso não se dispõe de uma localização exacta dos eventos, mas de um valor agregado por área. O objectivo é modelar o padrão de ocorrência espacial do fenómeno em estudo.

A tabela 3.1 exemplifica a relação existente entre o tipo de análise, os dados e os problemas típicos que ocorrem no tratamento espacial da informação em cada caso.

TIPO DE ANÁLISE	TIPO DE DADOS	EXEMPLO	PROBLEMAS TÍPICOS
Padrões Pontuais	Eventos localizados	Ocorrência de doenças	Identificação de padrões e agregações
Superfícies	Amostras de campo e matrizes	Depósitos minerais	Interpolação e medidas de incerteza
Áreas	Polígonos e atributos	Dados censitários	Regressão e distribuições conjuntas

Tabela 3.1. Tipos de dados e problemas em análise espacial

3.2.4. Medições

De forma a ser possível analisar os fenómenos espaciais, é necessário que estes sejam classificados segundo alguma escala de medição. Isto é especialmente verdadeiro em relação a todos os dados não espaciais, designados de atributos. A utilização de uma escala de medição é necessária para que seja possível comparar objectos em localizações distintas. As medições podem ser do tipo: nominal, ordinal, intervalo e rácio. Estes níveis de medições estão aninhados em apenas um sentido, isto é, um nível mais elevado pode ser reduzido para um mais baixo, entretanto a recíproca não é verdadeira.

Os *dados nominais* são de natureza puramente quantitativa. Isto significa que o fenómeno é simplesmente nomeado ou classificado sem lhe ser atribuído qualquer valor numérico ou pontuação. Graças a isso, não é possível estabelecer nenhum tipo de comparação directa entre os objectos. Exemplos deste tipo de dados são as classificações de solos, vegetação ou formações geológicas.

Os *dados ordinais* apresentam não só uma classificação, mas também algum tipo de pontuação. Entretanto, entre os valores pontuados não existe nenhuma distância definida. As pontuações podem incluir classificações como bom, regular, mau, ou grande, médio e pequeno. As pontuações podem ser baseadas em algum critério específico do utilizador, ou podem ser subjectivas. Com a pontuação é possível comparar objectos espaciais localizados em posições espaciais distintas. Um detalhe, é que essas comparações serão sempre vagas e pouco precisas, pois não é possível definir se o “bom” é 5 vezes melhor que o “regular”, ou 6 vezes melhor que o “mau”. Isto ocorre pois nenhuma distância entre a classificação foi previamente definida.

Os *dados em intervalo* colmatam esse problema, pois permitem alcançar uma melhor precisão em função da utilização de uma escala. Como é uma medição quantitativa, significa que distâncias numéricas uniformes podem ser utilizadas para gerar uma análise significativa.

As escalas utilizam sempre um ponto inicial arbitrário, sendo este utilizado como referencial. Um bom exemplo é dado pela escala de temperatura Celsius, que começa com o 0° C. Não se pode afirmar que 100° C é equivalente em calor ao dobro de 50° C.

Dados em rácio são essencialmente iguais aos anteriores, sendo a principal diferença que estes não têm uma escala cujo valor inicial é baseado num valor zero arbitrário, pelo contrário. O rácio zero significa a ausência total de uma determinada característica. Por exemplo, na escala Kelvin, a temperatura zero indica a inexistência de actividade molecular ou calor. Este é o único nível de medição que permite a comparação directa entre duas variáveis espaciais. Os dados em rácio prestam-se a medições por índices. Um índice é um rácio ou qualquer número derivado a partir de uma série de observações e utilizado como indicador ou uma medição. As medições de índices não possuem dimensão, ou seja, elas são independentes das unidades de medição. Isto permite efectuar a comparação entre diferentes tipos de dados ou conjunto de números de uma forma mais fácil.

3.2.5. Representação de dados espaciais

Pontos, linhas e polígonos são frequentemente designados de entidades ou primitivas espaciais, sendo definidos pela sua localização espacial e pela sua dimensão. Todas essas entidades possuem certos atributos que as identificam de uma forma única. Os atributos são o resultado de métodos de codificação, ou podem ser determinados através de cálculo. Por causa da sua utilidade e unicidade na análise em SIG, estas entidades são normalmente referidas como objectos de alto nível.

Todos os objectos de ordem elevada ou simples devem ser passíveis de identificação, de forma à sua operacionalidade e análise ser fácil. Deve ser possível representa-los visualmente, trata-los de forma isolada e independente ou ainda tabular. A capacidade de um sistema SIG executar estas operações espaciais, depende directamente disso, ou seja, da capacidade de executar estas tarefas com sucesso.

As representações de dados espaciais são caracterizadas por:

- **Pontos:** Nós e centroides (representam localizações pontuais, tais como a posição de uma estação meteorológica ou de um determinado edifício).
- **Linhas:** Limites, isolinhas e redes (rios ou estradas são bons exemplos da aplicação de linhas).

- **Áreas:** Regiões (áreas com atributos semelhantes), que ainda podem ter por exemplo, características físicas, culturais ou económicas idênticas (um concelho ou país são tipicamente representados por áreas).

3.3. Mapas

No universo matemático os mapas são considerados como a tradução de um espaço vectorial para outro, sendo esta a mesma interpretação dada em termos geográficos [MacEahren2004]. Neste caso, o primeiro espaço vectorial considerado é o mundo real, multi-dimensional, enquanto que o segundo é a folha de papel ou ecrã do computador onde o mapa é visualizado.

Os mapas caracterizam espaços 3D onde a localização é dada pelas coordenadas x , y e z . Eles são a representação de um fenómeno numa forma particular, e são alvo de convenções específicas e bem definidas. A utilização dos mapas é bastante útil, pois permite armazenar localizações, ou melhor, dados espacialmente referenciados de uma forma eficiente e clara. São úteis para mostrar fenómenos e relações de especial interesse. Além disso, também permitem associar relações espaciais entre fenómenos num mesmo mapa ou entre mapas. Proporcionam um bom suporte visual em termos da identificação de processos que causam uma determinada ordem espacial e diferenciação, sendo este pormenor de grande importância para os geógrafos, por exemplo.

Os mapas são compostos na realidade por diferentes camadas de informação, sendo assim um resultado da agregação destas. Por exemplo, se examinarmos um mapa de Guimarães que mostre a distribuição demográfica numa determinada zona, poderemos encontrar não só essa informação, mas também referências às estradas, limites de freguesias, rios, entre outros, que integram uma determinada camada de informação (é impossível desagregar do mapa o conceito de espaço e da análise deste).

Existem vantagens e desvantagens na utilização dos mapas. Segue-se uma análise dos principais prós e contras.

Desvantagens:

- Os mapas são essencialmente estáticos e não podem ser desenhados de forma a agregar directamente uma dimensão temporal, e processos físicos e humanos.

- A análise de um único mapa implica a avaliação de uma estrutura espacial que é, por sua vez, o resultado de um processo espacial. Entretanto, os processos em Geografia tendem a serem mais de natureza estocástica do que determinística.
- Um processo espacial é um processo que possui padrões espaciais ou que resulta nestes.
- Os mapas podem ser criados para mostrar dados inadequados ou desvirtuados.

Vantagens:

- Os mapas permitem uma expressão sinóptica de toda a informação representada. Isto permite que sejam isoladas propriedades espaciais que inicialmente não foram isoladas.
- Os mapas são representações ou modelos do mundo real que utilizam símbolos e generalizações.
- Eles são dispositivos de comunicação utilizados para expressar e trocar ideias sobre o universo.

3.3.1. Mapas como modelos

O mapa é um modelo espacial de fenómenos. Ele é uma abstracção e não uma miniatura da realidade. É utilizado normalmente como uma versão simbólica de formas existentes na face da Terra. Em função disso, nem todas as formas podem ser efectivamente representadas, e as que são, estão passíveis de alguma imprecisão. Os mapas necessitam de serem examinados com base nos valores que aparecem na sua superfície. Por isso, os resultados de análises executadas em SIGs apresentam na mesma estas limitações.

3.3.2. Paradigmas

Os mapas se baseiam em dois paradigmas: o da comunicação e o analítico ou holístico. No primeiro caso, é assumido que o mapa é o produto final e os dados em bruto não estão disponíveis para o utilizador final. Em função disso, os dados não podem ser reagrupados ou manipulados. Esta é a aproximação mais tradicional utilizada no processo de criação de mapas.

No segundo caso, os dados em bruto são mantidos dentro do computador num repositório de dados, sendo estes disponibilizados segundo as necessidades do utilizador ou das várias classificações que este pretende realizar. Este paradigma é o precursor da cartografia computacional.

3.3.3. Álgebra de Mapas Digitais

A álgebra de mapas foi desenvolvida por Dana Tomlin em 1983 com o *Map Analysis Package* (um software SIG *raster*) [Sendra2000]. Um modelo cartográfico orientado à produção de produtos cartográficos digitais pode ser visualizado como uma colecção de mapas registados numa base digital cartográfica comum, em que cada mapa é uma variável sujeita a operações matemáticas tradicionais [Câmara2007]. A modelação é um processo que decorre de operações algébricas entre pontos, vizinhança e regiões sobre diferentes mapas, numa lógica sequencial para interpretar e resolver problemas espaciais. Neste contexto, a sequência de operações é similar à solução algébrica de um conjunto de equações.

Com esta abordagem é possível desenhar um conjunto de funções que permitem o processamento das variáveis geográficas contidas na base de dados de um SIG, por exemplo, de forma a obter nova informação. Num produto cartográfico digital, todas as localizações no espaço são definidas numa grelha (segundo o modelo *Raster*²⁴). A unidade básica de processamento é o *pixel*, que pode ser processado independentemente, integrado numa vizinhança ou numa região de elementos com o mesmo atributo. Assim, as operações com mapas podem ocorrer a nível local, de vizinhança ou a uma escala regional.

3.3.3.1. Operações Locais

Estas operações produzem um novo mapa a partir de um ou mais mapas de entrada.

- **Reclassificação** É criado um novo mapa por alteração dos valores (atributos) dos *pixels* do mapa original. Existem quatro abordagens possíveis para a reclassificação dependendo do objectivo do processo:
 - Associar um novo valor a cada valor do mapa de entrada com o propósito de criar uma máscara binária (0 e 1) para uso subsequente.
 - Associar novos valores a classes ou gamas de valores com o propósito de reduzir o número de classes original ou agrupar valores em categorias.
 - Associar ordens (níveis de importância) a valores ou categorias únicos no mapa original. Aplica-se quando se pretende avaliar a capacidade, aptidão ou potencial de certos fenómenos ou actividades.

²⁴ Os dois modelos mais utilizados e importantes nos SIGs são o *Raster* e o *Vectorial*. O *vectorial* é o modelo no qual informações sobre pontos, linhas e polígonos são codificadas e armazenadas como uma colecção de coordenadas x, y e z. O modelo *vectorial* é extremamente útil para descrever características discretas, mas menos utilizados para descrever características continuamente variantes, tal como tipos de solos. Pontos, linhas e polígonos complexos podem ser usados para capturar as estruturas internas de uma entidade, e estas definições podem ser funcionais ou descritivas.

- Associar ordens ou pesos a um mapa qualitativo (escala nominal) para gerar um mapa quantitativo (escala ordinal, de intervalos ou ratios).
- **Sobreposição** - Sobrepor mapas é uma das mais importantes e utilizadas operações em análise espacial. Usualmente envolve operações aritméticas em duas ou mais matrizes de igual dimensão, devendo estar bem registadas geometricamente. Se [A] representar o mapa 1, [B] o mapa 2, e [O] o mapa criado por sobreposição, as seguintes operações aritméticas são possíveis:

$$\begin{aligned}
 [O] &= [A] + [B] \\
 [O] &= ([A] + [B]) / 2 \\
 [O] &= [A] - [B] \\
 [O] &= [A] * [B] \\
 [O] &= [A] / [B] \\
 [O] &= [A] \text{ se } [A] > [B] \\
 [O] &= [A] \text{ se } [A] < [B] \\
 [O] &= [B] \text{ se } [B] > 0; \text{ caso contrário, } [O] = [A]
 \end{aligned}$$

3.3.3.2. Operações de vizinhança local

Também conhecidas como operações de contexto, envolvem a manipulação de um conjunto de *pixels* relativamente próximos num mapa. Um novo mapa é produzido como resultado dessas operações.

- **Filtros** - São utilizados para melhorar aspectos da imagem, ou através da detecção de propriedades similares (filtros de baixa frequência, como média, valor mínimo ou máximo), ou de propriedades dissimilares (filtros de alta frequência como detecção de fronteiras).
- **Declives** - O cálculo de declives é uma das operações espaciais mais exemplificativas baseadas em vizinhança, derivada de um mapa com dados de altimetria. Para uma janela de 3*3 *pixels*, o *pixel* central é rodeado por 8 *pixels*, cada um dos quais está associado a uma direcção específica N (norte), NE (nordeste), E (este), SE (sudeste), S (sul), SO (sudoeste), O (oeste), e NO (noroeste). O ângulo de declive do *pixel* central é calculado com base na informação dos *pixels* vizinhos nas diferentes direcções. A distância horizontal entre o *pixel* central e cada um dos *pixels* nas diferentes direcções é igual à resolução espacial dos dados.

3.3.3.3. Operações de vizinhança geral

Estas operações envolvem um conjunto de pontos que se podem estender por uma grande área, incluindo um grande número de *pixels*.

- **Distância, Proximidade e Conectividade** - Distância é um dos conceitos fundamentais em geografia, e é utilizado para determinar o grau de interação entre dois elementos no espaço, por exemplo, o caminho mais curto entre dois pontos, ou distâncias de um elemento espacial (casa) a uma característica (auto-estrada, ou corpo de água).
- **Buffering (áreas tampão)** - *Buffering* é uma das operações espaciais mais úteis que assenta na distância. A operação *buffer* não é mais que a expansão de uma propriedade espacial às células adjacentes, seja essa um ponto, uma linha ou uma área.
- **Análise de exposições de terreno** - Baseia-se em dados de altimetria para determinar que áreas são visíveis para um observador situado num local específico (ou a inter visibilidade entre dois pontos).

3.3.3.4. Operações em regiões

Uma região é uma área (conjunto de *pixels*) mais ou menos extensa com características homogêneas (mesmo atributo). Uma região de trigo é uma área em que o atributo (trigo) se mantém. Uma região pode ser compacta, alongada, fragmentada, em termos da sua forma. Uma operação comum sobre regiões é identificar a(s) região(ões) baseada num critério estabelecido para o atributo.

- **Área, perímetro** - A determinação de áreas e perímetros de uma região são exemplos de operações espaciais assentes na informação de regiões. A área e o perímetro podem ser utilizados para se obter uma ideia da forma da região, além da sua fragmentação ou compactação.

3.4. Construção de Modelos Cartográficos

Todos os procedimentos relacionados com a modelação cartográfica se baseiam nos dados retirados de dois ou mais mapas, ou melhor, camadas de informação (a figura 3.3 ilustra esta situação) iniciais e geram, usualmente, um novo mapa, uma nova camada de informação que se adiciona às existentes na base de dados [Sendra2000]. A construção de modelos cartográficos tem como base a forma como essas operações básicas são combinadas e executadas, utilizando para isso a álgebra de mapas (descritas na secção 3.3.3).

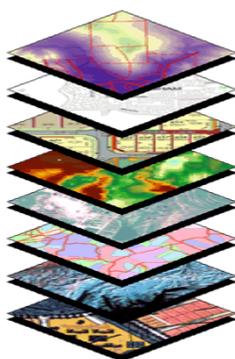


Figura 3.3. Camadas de informação

A metodologia a utilizar é a que define propriamente a forma como essa construção será feita, ou seja, identifica a ordem das operações e a forma como elas devem ser aplicadas às diversas camadas de informação consideradas pelo modelo. Portanto, um modelo cartográfico pode ser definido de diversas maneiras, consoante o objectivo final a alcançar no processamento da informação cartográfica.

As operações possíveis diferem em função do tipo topológico (pontos, linhas, polígonos) dos objectos geográficos de cada camada de informação. Na tabela 3.2 assinalam-se as seis possibilidades existentes.

CAMADA DE INFORMAÇÃO B	CAMADA DE INFORMAÇÃO A		
	Pontos	Linhas	Polígonos
Pontos	Coincidência de pontos	Ponto na linha	Ponto num polígono
Linhas		Intersecção de linhas	Linha num polígono
Polígonos			Sobreposição de polígonos

Tabela 3.2. Operações possíveis sobre objectos geográficos

A análise da “*coincidência de pontos*” determina em que localizações coincidem os objectos do tipo ponto situados nas camadas de informação originais. Por exemplo, determinar os lugares onde coincidem (ou estão a uma distância menor do que a pré-definida) as estações de autocarros e comboios em uma determinada região.

A análise do “*ponto em linha*” permite determinar a coincidência espacial de objectos do tipo ponto e objectos lineares. Por outro lado, a análise “*ponto num polígono*” determina a presença ou não de pontos de um dos mapas que constitui uma das camadas de informação, dentro da área definida por um polígono pertencente a um outro mapa que constitua uma outra camada de informação.

O estudo de “*intersecção de linhas*” permite identificar os lugares onde duas redes ou sistemas lineares se cruzam e, ao mesmo tempo, gerar o conjunto de novas arestas e nós criados pela dita intersecção. A análise de “*linha num polígono*” permite determinar a existência de

objectos lineares cujos traçados percorrem a parte interna de um polígono pertencente a um outro mapa. Por último, a operação de “*sobreposição de polígonos*” é a operação mais complexa na modelação cartográfica, e que engloba maior número de variantes. Neste caso, novos polígonos são gerados em função da intersecção dos já existentes.

Tanto no caso de ponto como linha num polígono, o problema geométrico se resolve de várias formas, algumas delas muito complexas [DeMers2007]. A mais simples e rápida tem como base a topologia dos mapas. Na identificação de linhas num polígono e intersecção de linhas, a resolução adequada a estas questões em todas as situações exige que se determinem as intersecções de cada linha com os limites de cada polígono (formado por arcos ou linhas) e das linhas entre si. Este é um problema simples de geometria, a questão mais complexa está associada ao elevado número de intersecções que podem ser obtidas, e pela quantidade elevada de operações que é necessário executar.

A sobreposição de polígonos possui duas fases. Em primeiro lugar, está a de “*geométrica-topológica*”, na qual se determinam os novos polígonos gerados pela intersecção dos existentes nos mapas em sobreposição. Igualmente nesta fase, deve associar-se um identificador a cada novo polígono, para que de alguma forma este possa corresponder aos identificadores dos polígonos que os geraram. Finalmente, também se deve reconstruir a topologia do novo polígono.

A segunda fase é de carácter temático e nela se atribuem os valores pertinentes às variáveis temáticas associadas ao novo polígono. Por conseguinte, estes novos valores dependem, de alguma forma, dos valores que estas variáveis assumem nos polígonos “pais”. As variáveis são do tipo nominal ou ordinal. São normalmente utilizadas operações lógicas com operadores booleanos para combinar as variáveis temáticas presentes nos polígonos “pais” e derivar as variáveis temáticas presentes no polígono “filho”, ou melhor, resultante.

A interpolação (figura 3.4) de áreas é uma operação especial de sobreposição de polígonos. Neste caso, um dos mapas iniciais só contém parte do espaço em polígonos (mapa destino), e se deseja conhecer que valor adopta nesta organização poligonal a variável quantitativa associada a outro mapa (mapa de origem). Por exemplo, conhecendo a população existente em cada uma das secções censitárias de uma cidade (mapa de polígonos associado a uma variável quantitativa) e sendo necessário calcular a população que existirá em outra divisão do espaço da cidade (por exemplo as áreas sanitárias), a qual não coincide em absoluto com as secções censitárias.

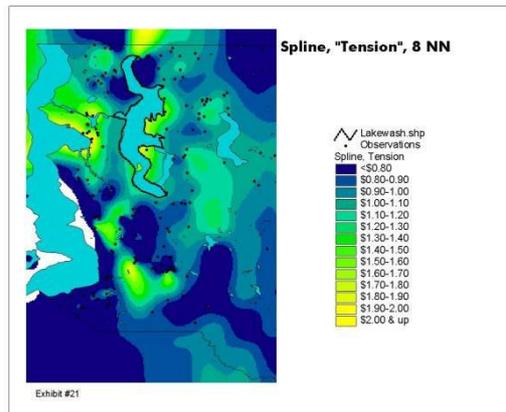


Figura 3.4. Resultado da interpolação de áreas [Dykes2005]

A sobreposição de mapas poligonais é dificultada, em muitas ocasiões, pela existência dos denominados polígonos fictícios (designados de *slivers*). Isto ocorre quando se sobrepõem mapas cujos polígonos têm limites que sejam muito próximos. Nestes casos o número de novos (e pequenos) polígonos gerados pode ser muito grande e muitos deles têm uma extensão superficial muito reduzida e uma forma bastante definida e repetitiva em todos eles.

3.4.1. Geração de áreas de influência ou análise da vizinhança

Este procedimento consiste na definição, ao redor de um objecto geográfico (a figura 3.5 ilustra esta situação), de uma zona envolvente de largura prefixada. O exemplo mais usual é assinalar uma área de influência, de uma determinada largura, a ambos os lados de uma auto-estrada [Rouet1991].

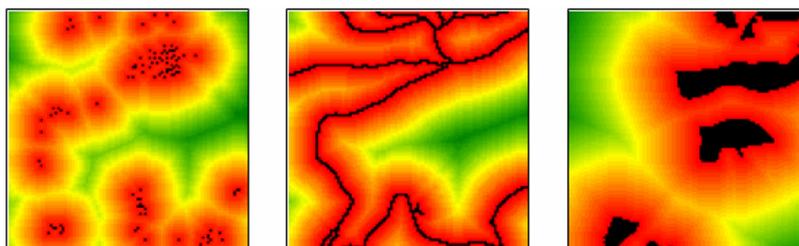


Figura 3.5. Área de influência em torno de pontos, linhas e polígonos [Rouet1991]

No caso de se tratar de um objecto do tipo ponto, a situação é muito semelhante à da conversão de um objecto ponto em polígono, aplicando-se inclusive os mesmos tipos de procedimentos. Se o objecto é uma linha, o procedimento é mais complexo, pois pode exigir algum processamento prévio da linha, antes de ser definida a sua zona envolvente – por exemplo, determinar intersecções com outras linhas.

3.4.2. Agregação de objectos geográficos

A existência explícita dos objectos geográficos na representação vectorial da informação espacial determina a possibilidade de fazer operações que modifiquem em diversos aspectos as suas características espaciais, e com eles igualmente as variáveis temáticas associadas a cada objecto. Trata-se das operações de união e integração de objectos.

Uma primeira questão é a agregação ou união de objectos. Consiste em gerar, a partir da geometria e da topologia de um conjunto de objectos, outro conjunto em que cada um dos seus constituintes é formado por um ou vários dos anteriores.

Outra possibilidade é a integração. Esta consiste simplesmente em unir em um só objecto dois ou mais polígonos que pertençam, por exemplo em termos administrativos, à mesma unidade, embora não sejam contínuos espacialmente. Esta situação pode produzir-se muitas vezes, em especial nos dados censitários.

3.5. Sistemas de Informação Geográfica

Os SIGs têm vindo a adquirir uma capacidade de modelação analítica crescente através da concepção de módulos específicos e do estabelecimento de ligações com diferentes softwares estatísticos [Harmon2003]. Eles são, por exemplo, particularmente úteis para construir modelos ecológicos que pretendem relacionar uma determinada característica ou fenómeno medido numa determinada zona (variável dependente) com factores ambientais (variáveis independentes), cuja variação no espaço é conhecida.

Existe também uma forte associação entre a ideia da utilização de SIGs apenas para modelar cartografia terrestre, porém a verdade é que eles são flexíveis o suficiente para criar tanto mapas de terrenos como do corpo humano [Dykes2005]. Um SIG cria mapas a partir de dados que estão presentes numa base de dados, que são normalmente de natureza espacial e, em função disso, possuem algum tipo de referência espacial. Os dados, entretanto, podem ter uma referência espacial cuja localização é algures na face da Terra (designados por geo-referenciados), bem como estarem referenciados a outro tipo de origem.

Toda a informação presente num SIG é organizada segundo diferentes camadas de informação. Estas podem ser combinadas de diversas formas, de acordo com o modelo analítico aplicado. As camadas de informação podem conter basicamente informação cartográfica/espacial ou geo-referenciada [Munz2003]. A camada de informação cartográfica está relacionada com a identificação de localizações e/ou zonas espaciais situadas sobre a

superfície da Terra, designadas de entidades geográficas – limites de países, concelhos ou cidades, estradas, rios, áreas florestais, barragens, entre outros. A informação geo-referenciada está sempre relacionada com alguma localização espacial pertencente a uma camada cartográfica de informação. Este é um atributo que define alguma característica ou propriedade especial – distribuição demográfica num concelho, índice pluviométrico numa zona florestal, variação da temperatura numa cidade, entre outros. O conjunto de atributos geo-referenciados de mesmo tipo também constitui uma camada de informação.

De uma forma geral, os SIGs utilizam o modelo vectorial ou modelo *raster* para organizar e representar as camadas de informação (dados) cartográfica/espacial e modelos analíticos – cartográficos, baseados em regras ou estatísticos, para combinar as diversas camadas de informação (espacial e geo-referenciada) e executar operações analíticas. Os modelos analíticos podem ser considerados estáticos ou dinâmicos caso incluam ou não uma componente temporal (este último ainda não está a ser contemplado de forma plenamente satisfatória nos SIGs). Além disso, todos os SIGs são normalmente suportados por uma forte interação com uma base de dados, podendo está adoptar tanto o modelo relacional de base de dados como o modelo orientado aos objectos, entre outros.

O modelo *raster* é utilizado na camada espacial de informação quando o fenómeno a ser modelado varia de forma contínua ao longo do espaço (erosão do solo, acumulação de neve, entre outros) [DeMers2001]. As imagens de satélites e os DEMs (*Data Elevation Models*) constituem a maior parte dos dados de entrada que compõem este modelo. De uma forma geral, o tratamento conduz a um intenso e complexo processo computacional.

O modelo vectorial exige a modelação topológica da informação espacial, isto é, a definição gráfica, por exemplo, de pontos, linhas e áreas. É normalmente utilizado quando o fenómeno em estudo envolve apenas zonas bem definidas. As ferramentas SIG normalmente permitem a execução da conversão entre estes dois modelos – raster para vectorial e vice-versa.

Os modelos cartográficos resultam da simples combinação de várias camadas de informação, recorrendo às capacidades de processamento dos SIG, com o objectivo de localizar as áreas com as propriedades desejadas [MacGuire2005]. A modelação baseada em regras recorre a sistemas periciais para o estabelecimento de regras de decisão. O próprio sistema “aprende” a relação entre as camadas de informação e estabelece uma série de critérios para a modelação. Nos modelos estatísticos é estabelecida uma relação empírica entre as variáveis ambientais e determinada propriedade (variável resposta), através da estimação de parâmetros

cuja validade é estatisticamente testável. Outro conjunto de modelos estatísticos baseia-se em técnicas de interpolação espacial, caso em que a modelação geográfica de uma característica ou fenómeno é baseada exclusivamente em informação de natureza espacial.

Um requisito fundamental decorrente da modelação espacial é a aferição duma escala de estudo adequada ao fenómeno que se pretende estudar [Zhangcai2005]. A capacidade de simulação de um SIG pode ser usada para gerar testes de hipóteses, que comparem determinados padrões resultantes da observação de um mesmo processo, em diferentes escalas espaciais. Neste contexto, é conveniente ter disponível um conjunto de modelos de crescente complexidade e detalhe, que possibilite a exploração da relevância da informação obtida, segundo diferentes escalas.

Os SIGs são ferramentas úteis para modelar o raciocínio espacial [Committee2006]. Estes possuem a capacidade de modelar dados segundo estruturas e sistemas de codificação, tanto espaciais como não espaciais. Os SIGs permitem a visualização através de múltiplas formas de representação e executam operações, que processam as relações estruturais presentes nos conjuntos de dados espaciais.

Apesar dos grandes avanços desta tecnologia, a mesma ainda apresenta algumas limitações [Dykes2005]. Por exemplo, o tratamento de informação temporal (como já referido anteriormente) ou não espacial é ainda deficiente. Estas ferramentas não satisfazem totalmente as exigências da própria modelação espacial ou das características cognitivas e de processamento do utilizador [Freundschuh1997]. Nomeadamente, as grandes desvantagens são as seguintes:

- Tempo de aprendizagem muito longo para um utilizador novo na área;
- Tempo muito longo para recolher dados (definição e criação da base de dados, por exemplo);
- A criação de mapas é uma tarefa que consome tempo;
- Pode rapidamente tornar-se no objectivo de estudo em lugar de uma ferramenta;
- As próprias desvantagens que os modelos *raster* e *vectorial* apresentam e se propagam para os SIGs.

Por último, uma referência às aplicações disponíveis. Muitos são os produtos existentes (ArcView™, MapInfo™, EasyMap 2™, GeoMedia™, entre outros) actualmente no mercado

para a modelação cartográfica em SIG (ver figura 3.6). De uma forma geral, as aplicações incluem a possibilidade de:

- Construir modelos para geo-processamento, de forma a permitir a fácil identificação de relações, análise dos dados e integração.
- Automatizar complexos fluxos de dados e modelos analíticos.
- Executar sobreposição vectorial, análise da área de influência/proximidade e análise estatística.
- Gerar entidades entre formas lineares ou sobrepor objectos com outras formas.
- Converter dados de uma forma automática.
- Produzir mapas de uma forma padronizada, precisa e de alta qualidade.

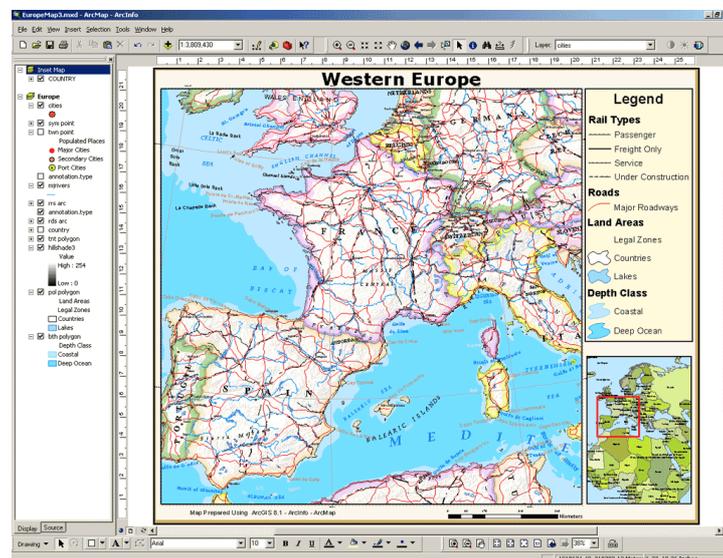


Figura 3.6. Ambiente típico de um SIG

3.6. Conclusões

Quando se pensa em cartografia, imediatamente está associada à ideia da visualização num mapa de alguma zona da face da Terra. Por outro lado, o conceito de mapa está fortemente ligado à visualização geo-referenciada e exige do seu utilizador implicitamente ou explicitamente a aplicação de alguma forma de análise espacial, para sua correcta interpretação. Apesar da área da Geografia ter sido sempre a que maior ênfase deu à utilização de mapas, um mapa pode representar qualquer informação que tenha uma forte componente espacial, estando esta associada ou não a alguma localização relativa à superfície da Terra, pois um mapa é na realidade um excelente meio visual para representar entidades com forte cariz espacial.

A análise espacial é uma etapa importante no processamento de qualquer conjunto de dados cuja componente espacial seja relevante para a extração e a compreensão de informação interdependente ou derivada dessa característica. Com a estruturação da informação segundo distintas camadas, é possível executar variadas análises espaciais através da combinação destas, e com isso, obter diferentes perspectivas e resultados significativos.

Por último, a utilização de modelos cartográficos fora do universo da informação georeferenciada tem sido menosprezada ao longo dos anos. Em especial, em termos de visualização e análise de dados biológicos/biomédicos de organismos vivos, pouco ou nada se tem feito na aplicação deste modelo.

Capítulo 4

Modelo Cartográfico para Visualização e Análise do Corpo Humano

Existem diversas formas de se modelar e visualizar o corpo humano e os seus dados morfológicos e fisiológicos [Preim2007]. A maioria dos modelos considera naturalmente o aspecto espacial inerente a este tipo de visualização, contudo este é tratado de uma forma isolada e independente.

O corpo humano é um sistema complexo, constituído por diversos componentes (ou sistemas) que são totalmente interdependentes entre si. O mau funcionamento de uma parte, pode potencialmente gerar impactos variados nas outras partes. Os efeitos causados por uma doença nunca estão restritos a apenas uma localização espacial no corpo humano. Mesmo uma constipação, contribui para o mau funcionamento de várias partes do corpo em simultâneo (olhos, pulmões, estômago, entre outros). A falência de qualquer um dos nossos órgãos ou sistemas, gera impactos que se propagam para os demais, podendo inclusive levar à morte. Existe, sem dúvida, uma forte interdependência espacial no funcionamento do corpo humano como um todo. Portanto, qualquer modelo que pretenda representar de forma suficientemente flexível e extensível as características do seu funcionamento, bem como traduzi-la visualmente, terá que satisfazer este requisito.

Este capítulo aborda a questão da modelação e conseqüente visualização do corpo humano e toda a informação inerente ao seu funcionamento. Inicialmente é efectuado um enquadramento do modelo CHUB sob o ponto de vista da área base de estudo para o seu desenvolvimento conceptual, das metáforas cartográficas e da utilização da modelação

cartográfica para analisar e visualizar dados morfológicos e/ou fisiológicos relacionados com o corpo humano, sendo tecidas algumas considerações sobre as suas potencialidades. Por fim, é apresentada e detalhada a sua arquitectura, sendo esta adaptada a dois estudos de caso.

É utilizada a UML como linguagem de modelação formal para estruturar a apresentação do modelo conceptual subjacente ao CHUB [Carvalho2008] e que é apresentado no âmbito deste trabalho de doutoramento.

4.1. Enquadramento do modelo CHUB

A revisão teórica realizada nos capítulos anteriores permite identificar o conjunto de características desejadas para o modelo que é proposto neste trabalho e ainda justificar as diversas opções estruturais em que o mesmo se baseia. Para enquadrar o CHUB [Carvalho2007a], será inicialmente abordada a questão da visualização segundo metáforas cartográficas e a modelação cartográfica de dados fisiológicos/morfológicos humanos. Posteriormente será apresentada a arquitectura proposta para o modelo CHUB, e de forma bastante sucinta, as áreas de medicina que servem de base para os estudos de caso e o modelo CHUB instanciado a estas áreas.

4.1.1. Metáforas Cartográficas na Visualização da Informação

A cartografia tem sido definida como a arte, ciência e tecnologia para a elaboração e criação de mapas. Antes do século 20, era mais conhecida como uma arte do que uma ciência. Esse conceito foi invertido apenas a partir dos anos 50. No início dos anos 70, muitos investigadores adoptaram-na como um paradigma para a comunicação de informação através de mapas [Sluter2001].

A metáfora cartográfica foi por muito tempo apenas associada à visualização de informação geo-referenciada, porém, vem sendo utilizada também em informação não geográfica. Paul Otlet [Rayward1994] nos finais do século 19 fez referências explícitas à criação de mapas para representar diferentes domínios intelectuais. Otlet [Otlet1990] previu a utilização de mapas na exploração do conhecimento existente em diferentes áreas e inclusive ponderou o papel do factor de escala nessa exploração. Andreas [Vesalius2007, Gillispie2000], conhecido como o pai da anatomia moderna, em 1543 publicou o *Humanis Corpori Fabrica* que introduziu o conceito de atlas do corpo humano, com diversas representações gráficas (tipo mapa) das diferentes camadas anatómicas do corpo.

Por outro lado, a utilização de conceitos e expressões verbais inerentes à cartografia têm sido aplicados há já algum tempo na área da hipermédia, porém de forma quase despercebida. O artigo “*Hypertext: An Introduction and Survey*” de Conklin [Conklin1987] teve um papel importante ao denotar a utilização de *browsers* gráficos, que permitiam visualizar graficamente/cartograficamente a rede. A navegação tornou-se rapidamente a metáfora dominante na hipermédia e o *browser* gráfico num padrão nos principais sistemas da hipermédia, como por exemplo o NoteCards [Halasz1988] ou o Intermedia [Utting1989].

Com o advento da WWW (*World Wide Web*) a ausência da consciencialização da utilização implícita de conceitos cartográficos tornou-se mais evidente, juntamente com a importância de que um maior conhecimento prático e conceptual de cartografia e geografia pode ser uma mais-valia, se importado e aplicado devidamente ao universo da hipermédia [Skupin2000]. O emergir da *web* renovou o interesse na visualização de informação segundo mapas. Além da visualização de estruturas na *web*, existem outras áreas que estão a focar a atenção na adopção de metáforas cartográficas [Skupin2002]. Um bom exemplo é a área de *data mining*.

Neste processo, está a ser descoberta a relevância de muitos princípios tradicionais à cartografia. Bons exemplos são as pesquisas de usabilidade das variáveis visuais de Jacques Bertin [Bertin1991] ou a compreensão de que a escala é um dos factores mais importantes na visualização. Outro exemplo é dado pelo HERO que utiliza a visualização baseada em cartografia como base para mapear conceitos [MacEachren2003].

Uma aproximação cartográfica para representar visualmente informação com natureza não geográfica (ou melhor, não geo-referenciada) auxilia a gerir a complexidade gráfica das visualizações [Skupin2002]. Além disso, uma visualização cartográfica também ajuda a obter uma melhor compreensão do domínio, pois permite utilizar as mesmas capacidades cognitivas que são utilizadas na visualização de mapas geográficos. Por outro lado, vários estudos têm mostrado que os mapas podem ser compreendidos e utilizados por crianças desde os quatro anos de idade, sem a necessidade de qualquer treino ou experiência anterior [Peuquet2002]. Isto reforça a ideia da utilização de metáforas cartográficas como uma mais-valia para a assimilação de informação.

Outro aspecto interessante na visualização cartográfica é a sua relação directa com o raciocínio espacial do ser humano [Committee2006]. Existem várias formas de raciocinar: verbal, lógica, hipotética, matemática, estatística, entre outros. Elas podem ser distinguidas em

termos de sistemas de representação ou de raciocínio. O raciocínio espacial é uma colectânea de capacidades cognitivas compostas por formas declarativas e perceptivas de conhecimento e algumas operações analíticas que podem ser aplicadas sobre estas – transformações, combinações, entre outros. Através da compreensão do significado do espaço, podem ser utilizadas as suas propriedades como veículo para estruturar problemas, encontrar respostas e expressar soluções. A visualização cartográfica auxilia sem dúvida a utilização deste tipo de raciocínio.

Portanto, a importância do conceito de “pensar espacialmente”, tem gradualmente adquirido uma maior importância junto das comunidades científicas. Em função disso, têm vindo a surgir um grande número de produtos de software que relevam as virtudes da utilização de visualizações baseadas em mapas (cartografia) de informação de cariz não geográfico. Produtos como o SPIRE (*Spatial Paradigm for Information Retrieval and Exploration*) [Spire2007] e Viscovery SOMine [Viscovery2007] são bons exemplos disso.

Um aspecto a não ser desprezado é o da característica dual que um mapa possui [Peuquet1988]. Dependendo do contexto da aplicação do mapa ou da metáfora cartográfica, o significado individual dos símbolos e as regras gramaticais básicas devem ser bem conhecidas de forma a garantir que o mapa seja legível para o seu potencial utilizador. Como no caso de qualquer visualização gráfica, todo o processo de criação de um mapa implica na utilização de um complexo sistema de símbolos bem como num conjunto de regras gramaticais que são combinadas consoante o contexto da visualização desejada e segundo diferentes operações (selecção e transformação por exemplo). Graças a isso, os mapas apresentam uma natureza dual – eles são uma estrutura algébrica resultante da combinação de símbolos segundo regras variadas, bem como uma representação visual com padrões, cores, luz, entre outros. [MacEachren2004]. O processo cartográfico, que inclui a compilação do mapa bem como a sua respectiva interpretação, é na realidade bastante complexo.

O modelo conceptual do CHUB [Carvalho2008a] deve considerar a utilização de metáforas cartográficas no seu modelo visual, de forma a potenciar o efeito de “pensar espacialmente” a informação que é visualizada. O diagnóstico visual do corpo humano e dos seus órgãos está implicitamente associado a esse efeito. Um médico utiliza-o sempre que tem que avaliar o estado de saúde de um paciente. Existem muitas doenças que visivelmente causam a mudança de coloração, tamanho ou forma de alguma parte do corpo, cuja causa, está relacionada com outra parte completamente diferente. Um bom exemplo é a apendicite. Esta

doença causa transtornos hepáticos acentuados e na sua fase mais avançada, paralisia das pernas. No entanto, o problema em si não está em nenhuma destas localizações.

Outro aspecto relevante é a mais-valia introduzida na adopção de metáforas cartográficas na visualização e processamento de informação biológica/fisiológica humana. Uma aproximação cartográfica poderá auxiliar a gerir a complexidade gráfica das visualizações de diversas camadas de informação presentes no corpo humano, além de ajudar a obter uma melhor compreensão do domínio em si.

4.1.2. Modelação Cartográfica de Dados Fisiológicos/Morfológicos Humanos

Todos os procedimentos relacionados com a modelação cartográfica se baseiam nos dados retirados de dois ou mais mapas, isto é, camadas de informação iniciais. A combinação que é feita com esses dados gera normalmente uma nova camada de informação. A construção de modelos cartográficos tem como base a forma como essas operações básicas (álgebra de mapas) são combinadas e executadas. A metodologia a utilizar é a que define propriamente a forma como essa construção será feita, indicando claramente o tipo de operação e a forma como a mesma é aplicada a cada camada de informação. Outro detalhe importante é que as diversas camadas têm que possuir uma referência espacial comum.

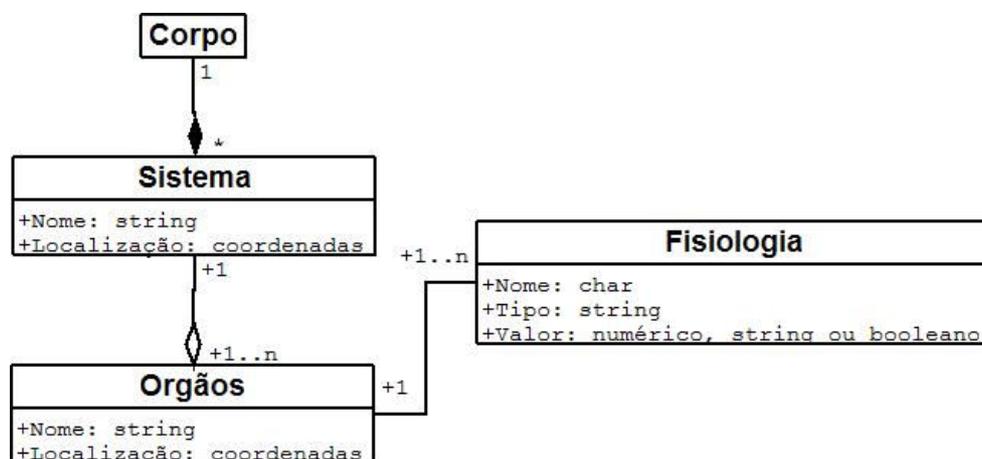


Figura 4.1. Relações entre os diversos níveis de informação que compõem o corpo humano

Por outro lado, o corpo humano é composto por diferentes sistemas – nervoso, circulatório, linfático, muscular, digestivo, reprodutor, respiratório, esquelético, entre outros. Cada sistema corresponde a um determinado nível, ou seja, camada de informação. Por sua vez, cada sistema é composto também por diferentes órgãos e está associado a um conjunto variado de informação fisiológica. Por exemplo, o sistema renal é constituído pelos rins, bexiga e uretra,

estando a ele associado o índice de acidez, ureia e PH presentes na urina. O diagrama de classes apresentado na figura 4.1 recorrendo à notação UML, esquematiza esta realidade.

Cada camada de informação presente no corpo humano é composta tanto por entidades espaciais (informação espacial) bem como por um conjunto de atributos associados a estas entidades. As entidades espaciais, isto é, as camadas de informação espacial, podem ser traduzidas pela localização e área ocupada pelos diferentes sistemas e respectivos órgãos. Os atributos correspondem aos parâmetros fisiológicos que podem ser auferidos nesses sistemas e órgãos. Estes últimos constituem também várias camadas de informação fisiológica. Os atributos podem ser classificados como “humano-referenciados” se considerarmos como sistema de referência espacial o centróide do corpo humano.

A camada de informação “humano-referenciada” relacionada com os parâmetros fisiológicos, pode ainda apresentar dados com características bem diferentes – escalares, vectoriais, dependentes, independentes, uniformes, não uniformes, temporais, entre outros, consoante o caso. A natureza e o tipo de atributos varia em consonância com a natureza e tipo da camada de informação espacial à qual está associado (órgãos e sistemas). Por exemplo, se se considerar a corrente sanguínea no sistema circulatório, ou o fluxo de ar no sistema respiratório, a característica vectorial dos dados traduz a velocidade e orientação de deslocamento dos respectivos fluxos.

As combinações analíticas possíveis entre as camadas de informação espacial e “humano-referenciada” do corpo humano servem como suporte ao diagnóstico de doenças e deficiências orgânicas. Por exemplo, para diagnosticar uma doença hepática é necessário combinar a informação presente em duas camadas de informação, respectivamente na do sistema circulatório (nível de bilirrubina presente no sangue) e a do sistema digestivo (morfologia do fígado, nomeadamente algum obstáculo nas vias biliares).

Cada órgão e respectivo sistema possuem posições espaciais bem definidas dentro do corpo humano. A utilização de raciocínio espacial para analisar e avaliar as condições fisiológicas de uma pessoa está sempre intrinsecamente e intuitivamente presente em qualquer diagnóstico. Portanto, qualquer modelo orientado para o estudo e/ou visualização do corpo humano deve atender de forma conveniente esta necessidade espacial de raciocínio. A utilização das operações básicas da modelação cartográfica (como descrito nas secções 3.3.3 e 3.4) é sempre executada implicitamente quando um médico diagnostica o seu paciente.

Com base nos pressupostos apresentados é possível constatar que existe uma clara associação entre a ideia de corpo e de cartografia (ou mapa). Esta abstracção torna-se mais evidente ao pensar na sua visualização de uma forma progressiva de fora para dentro – segundo diferentes camadas de informação, ou no próprio atlas proposto por Vesalius [Gillispie2000]. Pode-se até estabelecer uma correspondência directa entre um mapa de um país, com as suas subdivisões administrativas, e o corpo humano, como mostra a figura 4.2.

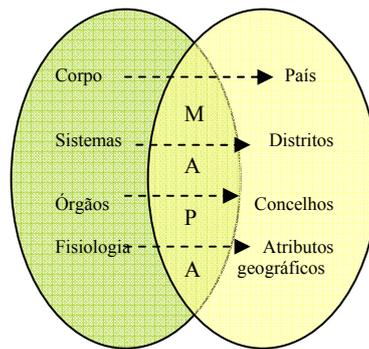


Figura 4.2. Correspondência entre o corpo humano e um mapa geográfico

Muitos dos conceitos cartográficos estão presentes na visualização e estudo do corpo humano [Sato2001]. Também neste caso existe uma forte necessidade de uma referência espacial para os dados, sendo aqui a única diferença o referencial em si. Na cartografia tradicional, os dados são sempre considerados como geo-referenciados, pois o seu referencial é o globo terrestre. No caso do corpo humano, os dados podem ser vistos como “humano-referenciados”, ou seja, o seu referencial não atinge uma escala global, mas sim a dimensão do corpo humano. Por exemplo, a ideia de transformar o corpo humano num mapa com a tecnologia SIG é proposta por Sato [Sato2001].

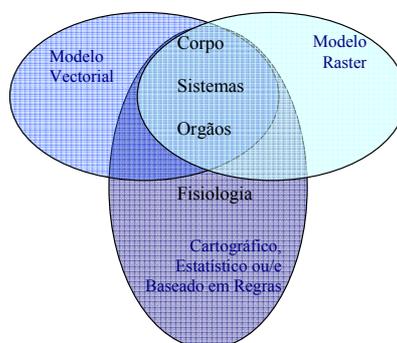


Figura 4.3. Aplicação dos modelos nas camadas de informação

Em função dessa correspondência, os modelos utilizados na modelação cartográfica e, por conseguinte, de mapas, podem e devem ser incorporados na modelação do corpo humano. Os modelos vectorial e/ou *raster* utilizados pelos SIGs para estruturar os dados são totalmente

passíveis de representar e compor as camadas de informação que descrevem sistemas e órgãos. Os modelos analíticos espaciais permitem a combinação e análise das diferentes camadas de informação fisiológica e de sistemas e órgãos. Podemos dizer que o modelo a ser aplicado deve ser um híbrido que combine e adapte devidamente todos estes modelos. A figura 4.3 ilustra uma possível correlação entre a utilização de modelos na cartografia tradicional e no corpo humano.

O modelo conceptual do CHUB [Carvalho2007] deve poder traduzir esta realidade ao nível do seu modelo de dados (organizado segundo camadas de informação) e do seu modelo analítico da informação. Este último deve incorporar, na medida do possível, conceitos oriundos da álgebra de mapas. Desta forma, tornar-se-á possível, por exemplo, combinar a informação escalar (oriunda da rotação das articulações) contida na camada relacionada com o esqueleto, com a frequência cardíaca e respiratória contida nas camadas relacionadas com o sistema respiratório e cardíaco; e derivar um “mapa” temático do estado do corpo de um paciente.

Um outro aspecto é a questão temporal e dinâmica do corpo humano. O corpo humano pode ser analisado no seu aspecto dinâmico segundo três pontos de vista diferentes:

- Motricidade humana – Deslocamento do corpo no espaço: movimento de membros;
- Mecânica dos fluídos – Deslocamento de fluídos corporais como o sangue e o ar, por exemplo, dentro dos seus respectivos sistemas/órgãos;
- Movimentos orgânicos – Batimento do coração, respiração nos pulmões, diafragma, peristálticos, entre outros.

A necessidade da aplicação de modelos específicos para cada caso torna-se premente, para poder garantir devidamente o enfoque dinâmico desejado em cada situação. Portanto, em função disso, pode-se concluir que um modelo ideal para a análise e visualização do corpo humano deve ser desenvolvido segundo uma metodologia de construção baseada em modelação cartográfica, devendo também ser complementado por vários outros modelos adicionais, que traduzam devidamente a ênfase dinâmica desejada em cada situação. Estes funcionariam como uma espécie de extensão especializada ao modelo principal.

No modelo CHUB a questão da temporalidade e dinâmica não estão contempladas, pois o modelo aqui proposto é estático. No entanto, o mesmo poderá evoluir para um modelo dinâmico, o qual será uma extensão ao aqui apresentado.

O enquadramento realizado, e que evidencia as opções estruturais identificadas para o modelo CHUB, permite diferenciar a abordagem proposta neste trabalho, e ainda, salientar algumas das suas principais vantagens. Destaca-se a utilização de um modelo cartográfico como base para a visualização e análise do corpo humano.

Por último, o desenvolvimento de um protótipo com base no CHUB pode servir para responder às seguintes questões:

- Qual o grau de mais-valia obtido ao utilizar um modelo orientado à cartografia no caso do corpo humano?
- O modelo é passível de ser aplicado a diferentes situações de análise e estudo do corpo humano?
- A utilização de metáforas cartográficas ao nível da visualização do corpo humano aumenta a percepção espacial da informação fisiológica?

4.2. Arquitectura do modelo CHUB

A arquitectura do CHUB agrega três componentes principais: i) Repositório de dados; ii) Análise de dados, e iii) Visualização de resultados. A figura 4.4 apresenta uma visão global da arquitectura, cujos componentes são descritos nas próximas secções.

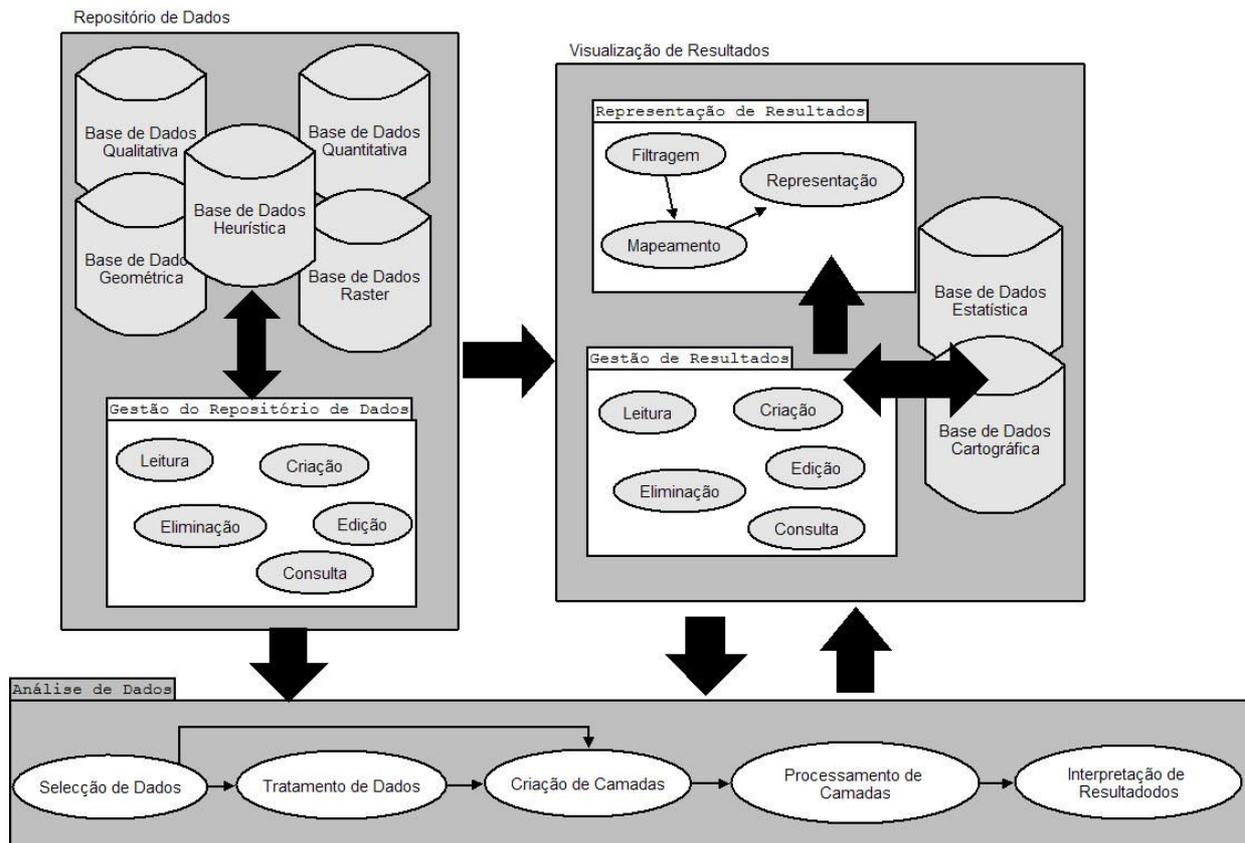


Figura 4.4. Arquitectura do modelo CHUB

Genericamente, o modelo é concretizado através de uma arquitectura que recorre a sete Base de Dados (BD), as quais armazenam os dados qualitativos e quantitativos relacionados com o corpo humano, a descrição geométrica (informação vectorial) 3D das partes constituintes do corpo humano, as imagens *raster* de órgãos e/ou sistemas, o conjunto de regras utilizadas para gerar ou interpretar resultados obtidos com a utilização do modelo, os resultados estatísticos e analíticos executados sobre os dados quantitativos e/ou qualitativos e as camadas de informação resultantes da aplicação do modelo. A análise de dados baseia-se no tratamento estatístico da informação quantitativa recolhida em um dado momento ou ao longo do tempo, bem como na aplicação da álgebra de mapas a dados “humano-referenciados”. A visualização de dados permite a representação dos resultados mapeados no corpo humano, aplicando, na medida do possível, metáforas cartográficas.

4.2.1. O componente *Repositório de Dados*

O repositório de dados é o componente responsável pelo armazenamento e gestão dos dados quantitativos e qualitativos relacionados com o corpo humano, dos ficheiros com a geometria em 3D e imagens *raster*, ambas “humano-referenciadas”, que descrevem diferentes partes do corpo (órgãos e sistemas), e do conjunto de heurísticas que são utilizadas para gerar

ou avaliar resultados no modelo. Ao nível da gestão dos diversos repositórios este componente integra tarefas de leitura, criação, edição, consulta e eliminação de registos na **Base de Dados Qualitativa, Heurística, e Quantitativa**, leitura e eliminação de ficheiros de imagens *raster* “humano-referenciadas” da **Base de Dados Raster**, e leitura de geometrias “humano-referenciadas” em 3D da **Base de Dados Geométrica**.

De uma forma geral, os dados relacionados com o corpo humano podem ser classificados em dois grandes grupos: quantitativo e qualitativo. Os dados qualitativos podem ser subdivididos ainda em dois grupos: nominal e ordinal. Dados nominais são colecções desordenadas de nomes simbólicos desprovidos de unidades de medição. Dados ordinais identificam uma ordem. Por exemplo, a morada, o nome ou a idade de um paciente, cujo corpo seja visualizado e/ou analisado pelo modelo CHUB, constituem dados qualitativos nominais, enquanto que o número de contribuinte é um dado ordinal qualitativo. Dados quantitativos são tipicamente classificados em duas dimensões; (1) baseado no número de componentes que compõem a quantidade, e (2) baseado nas escalas de valores. Ao longo da primeira dimensão, um dado quantitativo pode ser escalar, vector, ou tensor. Dados escalares possuem uma magnitude, mas nenhuma informação direccional. No caso de vectores e tensores, existe sempre alguma informação direccional. No corpo humano, por exemplo, os valores de tensão arterial ou batimento cardíaco são tipicamente dados quantitativos escalares, enquanto que a rotação de uma articulação é um quantitativo vectorial. Os resultados de muitos exames (sangue, urina, etc.) realizados em uma pessoa podem ser classificados como sendo qualitativos ou/e quantitativos. Embora a **Base de Dados Qualitativa** deva ser utilizada para armazenar dados pessoais do paciente, também pode armazenar resultados de alguns exames. Por outro lado, a **Base de Dados Quantitativa** é utilizada tipicamente apenas para este fim, guardar dados resultantes de exames realizados. Em ambos os casos, quando a informação se refere a resultados de exames é necessário que esteja devidamente identificado o sistema, órgão e/ou fisiologia ao qual estes se referem.

Para ser possível gerar a representação visual gráfica do corpo humano são necessários dados geométricos (pontos, linhas e polígonos) que descrevem os diversos órgãos e sistemas que o compõem. Estes dados, além de serem tridimensionais e apresentarem o mesmo factor de escala e orientação espacial (consoante os eixos x, y e z, por exemplo), devem ser ainda “humano-referenciados” (ou seja, devem ter todos a mesma referência espacial absoluta localizada, por exemplo, no centróide do corpo humano). Desta maneira é garantido um perfeito alinhamento e correspondência espacial entre as diversas geometrias permitindo a criação de

uma correcta representação visual gráfica. A **Base de Dados Geométrica** funciona como uma espécie de catálogo para o repositório do atlas do corpo humano. Cada registo é composto por: identificador dos sistemas ou órgãos, número de ficheiros de geometria relacionados (com conjunto de pontos de coordenadas 3D), lista de endereços de armazenamento dos ficheiros e lista de identificadores de formatos dos ficheiros.

Um outro aspecto de interesse para o modelo é o de possibilitar a visualização de imagens *raster* “humano-referenciadas” que contenham informação relevante para a análise do corpo humano. Existem actualmente muitos exames que geram imagens 2D de órgãos e/ou sistemas: tomografia, RX (radiografia), entre outros. Para o CHUB ser capaz de suportar a visualização e análise do corpo humano de uma forma mais abrangente é necessário que o seu repositório de dados seja também capaz de armazenar e gerir informação desta natureza, sendo esta disponibilizada para os outros componentes que constituem o modelo. Cada registo nesta base de dados é composto por: o endereço de armazenamento (localização do ficheiro de imagem), a referência espacial da imagem, a identificação do tipo de exame que a originou, a identificação do órgão ou sistema afecto e a data de criação. A **Base de Dados Raster** funciona como uma espécie de catálogo para o repositório de imagens *raster*.

Por último, todos os resultados obtidos nas etapas de **Processamento** e de **Criação de Camadas** do componente **Análise de Dados**, apresentado na próxima subsecção, precisam de ter acesso a um conjunto de regras que definam claramente como esses resultados devem ser gerados, avaliados, interligados e eventualmente pontuados. Como o modelo pode ser aplicado a inúmeras situações em que o corpo humano seja objecto de visualização e análise, a existência de uma base de dados especializada em armazenar heurísticas é necessária. Desta forma, consoante o domínio da aplicação do modelo, o conjunto de heurísticas é facilmente redefinido e adaptado. Portanto, a **Base de Dados Heurística** contém regras que definem como os resultados de operações algébricas de mapas ou de métodos estatísticos/matemáticos devem ser avaliados, gerados ou eventualmente pontuados. Além disso, também contém informação que serve de suporte para que a “humano-referenciação” dos dados possa ser executada. Para dar resposta conveniente à primeira situação, esta base de dados deve conter de uma até várias tabelas (dependendo do objectivo/domínio da aplicação) em que constem a identificação da heurística, do sistema, órgão e fisiologia aos quais a mesma se aplica, além do conjunto de regras que identificam o algoritmo a utilizar (pode conter valores numéricos, expressões lógicas, operações de álgebra de mapas, listas de cadeias de caracteres, entre outros). No caso da segunda situação, a **Base de Dados Heurística** deve conter as relações que existem entre os

sistemas, órgãos e/ou fisiologias. Essa informação serve de apoio para a correcta consulta e integração de informação quantitativa, qualitativa, geométrica, *raster* e inclusivamente heurística presente no modelo.

4.2.2. O componente *Análise de Dados*

Este componente é composto pelas seguintes etapas: selecção de dados, tratamento dos dados, criação de camadas de informação, processamento de camadas e interpretação de resultados. Utiliza os dados que estão armazenados no componente anterior, e armazena os resultados no componente de **Visualização de Resultados**.

Seleção de Dados

Nesta fase são identificados os dados quantitativos e qualitativos que serão utilizados para executar a análise e criar uma ou mais camadas de informação de atributos, bem como as imagens *raster* 2D que serão consideradas para constituir as camadas de informação *raster*. A **Seleção de Dados** pode requerer inicialmente a identificação da janela temporal e do(s) órgão(s) e/ou do(s) sistema(s) a serem seleccionados para a análise. A **Seleção de Dados** deve estar adaptada ao objectivo e domínio de aplicação do modelo. Existem muitos casos em que os dados podem estar relacionados com um ou vários momentos temporais distintos, embora existam outros em que isto não aconteça. Por outro lado, existem situações em que a selecção do órgão e/ou sistema não é necessária, pois por inferência indirecta das opções seleccionadas pelo utilizador é possível apurar-se o possível conjunto de órgãos e/ou sistemas que estão envolvidos.

Os dados quantitativos e imagens *raster* podem estar relacionados com um determinado momento temporal ou vários momentos temporais. No caso dos dados quantitativos, um momento temporal pode ser também considerado como fraccionado em vários momentos temporais. Por exemplo, se se considera a situação de leitura da frequência respiratória de um paciente durante uma sessão de fisioterapia de meia hora, uma sessão corresponde a um momento temporal específico – a uma data. Porém, ao longo da meia hora de sessão, vários momentos temporais são registados (por exemplo, a leitura da frequência respiratória a cada segundo). Outra situação é a de várias sessões de fisioterapia efectuadas em datas completamente distintas. No caso das imagens, normalmente estas estão relacionadas apenas a datas distintas.

Portanto, em ambos os casos, pode ser necessário identificar qual a janela temporal que deve ser adoptada para a selecção dos dados qualitativos e/ou *raster*. A janela temporal é definida com base na data, que é a medida mais macroscópica do momento temporal disponível em ambos os casos. Caso estejam relacionados com datas diferentes, é considerada uma situação de análise de históricos de dados.

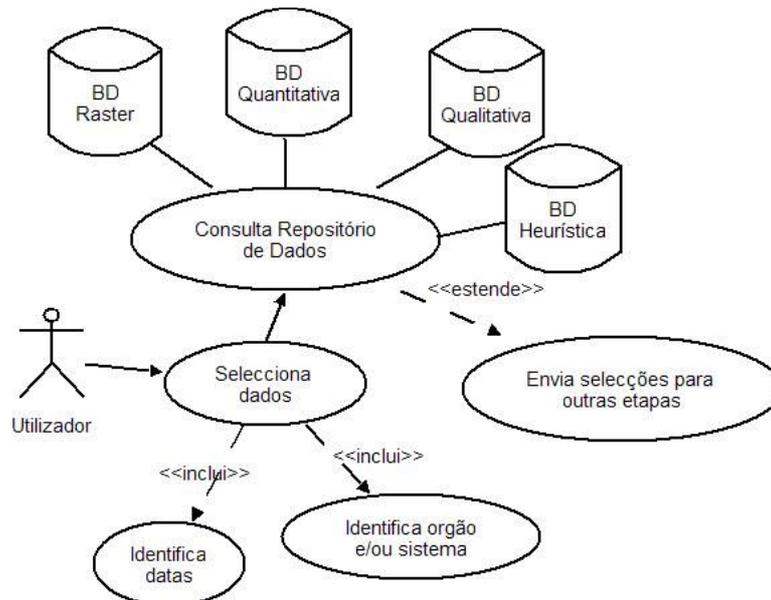


Figura 4.5. Diagrama de casos de uso da etapa Selecção de Dados

Em termos de escolha da zona do corpo a ser focada pelo modelo, como anteriormente referido, dependendo do âmbito e domínio de aplicação do modelo esta informação pode ou não ser fornecida pelo utilizador. Isto é especialmente importante, pois como este modelo se baseia em álgebra de mapas e toda a informação qualitativa (quando se refere a exames), quantitativa, *raster*, geométrica e heurística está associada a algum sistema, órgão e/ou fisiologia, é possível uma integração de todos estes níveis nesta etapa (com base nas relações disponíveis na **Base de Dados Heurística**) e auferir a zona ou conjunto de zonas que possivelmente estão em análise pelo modelo. A selecção da área do corpo pode ser efectivamente mais utilizada quando mais de uma zona for identificada como potencial candidata, seguindo-se uma filtragem de toda a informação que seja pertinente.

Os dados quantitativos são enviados para a etapa **Tratamento de Dados**, enquanto que os qualitativos e *raster* são enviados para a etapa **Criação de Camadas de Informação**. O diagrama de casos de uso²⁵ apresentado na figura 4.5 ilustra esta etapa.

Tratamento de Dados

²⁵ Os diagramas de casos de uso do UML servem para mostrar as funcionalidades ou usos possíveis do sistema.

A **Base de Dados Heurística** é consultada inicialmente por esta etapa de forma a identificar como devem ser tratados os dados recebidos. Por exemplo, num caso da utilização do modelo para analisar uma sequência de dados recolhidos durante uma sessão electroencefalográfica ou hidroterapêutica, as heurísticas definem quais métodos matemáticos e/ou estatísticos devem ser aplicados aos dados. É importante ressaltar que os dados que sofrem tratamento são tipicamente dados quantitativos, pois esta etapa consolida a aplicação directa de métodos matemáticos e/ou estatísticos sobre estes.

Os dados quantitativos seleccionados podem ser inicialmente avaliados ao nível de ruído (erros de leitura causados por falhas mecânicas ou/e humanas), dependendo do contexto de aplicação do modelo. Se este for o caso, é calculado o erro, e valores muito discrepantes são eliminados, consoante os limites máximos definidos. O próprio algoritmo aplicado para avaliar o erro deve ser personalizado consoante o domínio de aplicação em causa.

Como normalmente os dados quantitativos referentes a uma mesma data (dia, mês e ano), são compostos por um agregado de momentos temporais fraccionados (minutos, segundos, entre outros), é desejável que o modelo possa permitir agrupá-los segundo um critério temporal ajustável. Por exemplo, se se considerar os dados de uma sessão de hidrocinésioterapia, em que várias leituras do batimento cardíaco são registadas (p. ex. a cada milissegundo), para facilitar a análise, é importante que seja possível agrupar os dados segundo a segundo ou minuto a minuto. Portanto, nesta etapa deve ser possível identificar-se uma granularidade para o agrupamento dos dados quantitativos referentes a uma mesma data (oriundos de uma mesma amostra).

Outra situação a ter em conta relaciona-se com a de análise de dados históricos. Em função da janela temporal identificada na etapa **Seleção de Dados**, os dados quantitativos poderão estar relacionados com várias datas. Para ser possível compará-los entre si temporalmente, a granularidade de agrupamento de dados tem que ser a mesma para cada amostra individual. Portanto, nesta etapa, o valor de granularidade escolhido é sempre aplicado a todas as amostras escolhidas.

Em resumo, esta etapa é a que aplica todas as operações e métodos estatísticos e/ou matemáticos indicados na **Base de Dados Heurística** aos dados recebidos. Dependendo do domínio e objectivo da aplicação do modelo, esta etapa ainda pode oferecer ao utilizador algum grau de selecção e escolha em termos do conjunto de métodos e operações que devam ser

efectivamente utilizados nos dados. Os dados tratados são enviados para a etapa **Criação de Camadas de Informação**. O diagrama de casos de uso na figura 4.6 ilustra esta etapa.

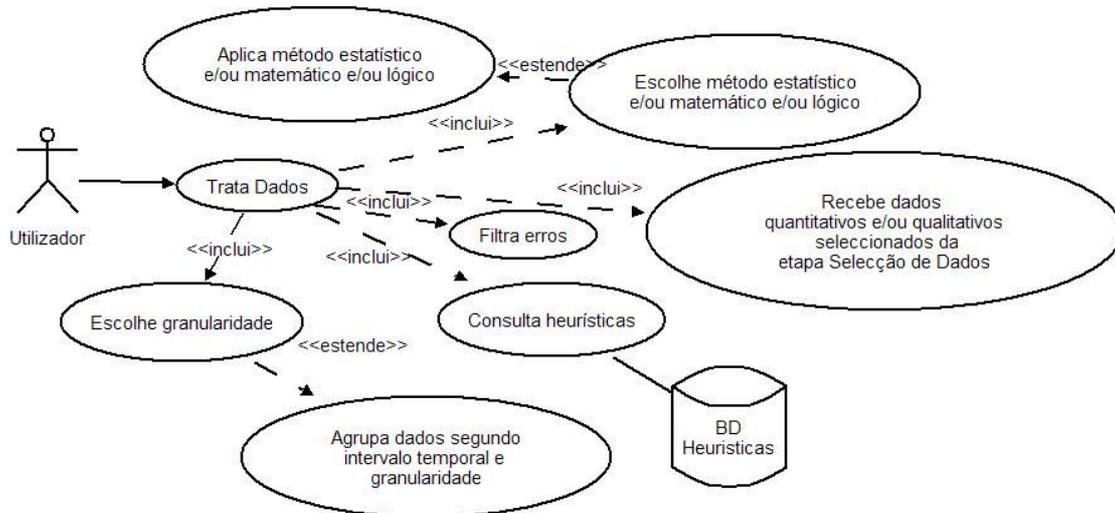


Figura 4.6. Diagrama de casos de uso da etapa Tratamento de Dados

Criação de Camadas de Informação

Os dados de saída da etapa **Tratamento de Dados** são resultantes da aplicação de métodos estatísticos/matemáticos e ou lógicos aos dados quantitativos em estado bruto, segundo a indicação das heurísticas. Essa informação está associada com determinadas posições espaciais dentro do corpo humano, consoante o órgão ou sistema de origem do respectivo dado (o mesmo acontece com os dados qualitativos recebidos da etapa **Seleção de Dados** relacionados com exames ou opções de diagnóstico). Além disso, os dados podem estar associados a momentos temporais diferentes, ou ainda, a grupos distintos dentro do mesmo conjunto de dados.

Por outro lado, os dados geométricos (armazenados na **Base de Dados Geométrica**) que descrevem partes distintas do corpo do paciente possuem uma referência espacial comum, à escala do corpo humano. O mesmo ocorre com as imagens *raster* 2D oriundas da **Base de Dados Raster**. Em ambos os casos os dados já estão “humano-referenciados”, pois além de estarem associados a um órgão ou sistema, também possuem claramente identificadas as coordenadas espaciais 3D de referência. É necessário que os dados tratados bem como os dados qualitativos sejam também referenciados espacialmente, tendo como base a mesma referência espacial utilizada no modelo geométrico do órgão/parte relacionada do corpo humano ou imagem *raster*. É nesta etapa que são efectuadas estas associações e estruturação da informação tratada, sendo criadas camadas de dados tratados e “humano-referenciados”. Estas camadas são enviadas para o componente **Visualização de Resultados** e armazenadas na **Base de Dados Estatística**, ficando disponível para futura reutilização no modelo.

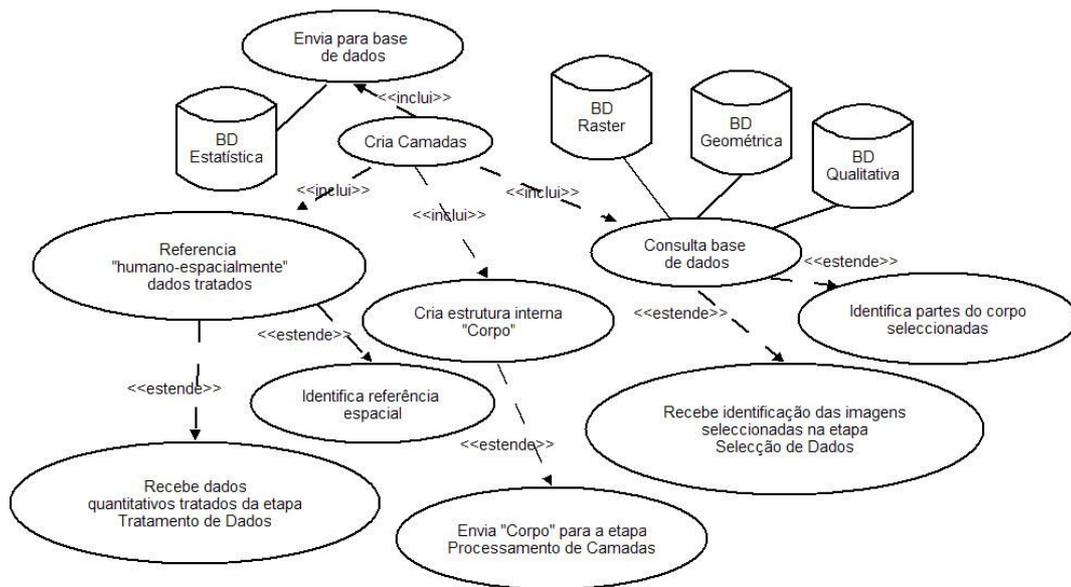


Figura 4.7. Diagrama de casos de uso da etapa Criação de Camadas de Informação

Nesta etapa também são agregadas as diferentes camadas de informação “humano-referenciadas” (e portanto, interrelacionadas espacialmente entre si), numa estrutura de informação interna ao modelo designada por camada “**Corpo**”. Esta estrutura é constituída em grande parte por apontadores relacionados com diferentes endereços dentro das bases de dados **Geométrica**, **Qualitativa**, **Raster** e **Estatística** e contém a referência espacial (centróide do corpo humano) que serve de base para as imagens, geometrias e dados quantitativos tratados. Cada camada de informação na camada “**Corpo**” pode conter descrições geométricas 3D de órgãos/sistemas do corpo humano, dados tratados, dados qualitativos ou ainda imagens *raster* 2D. A camada de informação “**Corpo**” é enviada para a etapa **Processamento de Camadas**.

A figura 4.7 ilustra o diagrama de casos de uso desta etapa, enquanto que a figura 4.8 esquematiza o nível lógico da criação da camada de informação “**Corpo**”. Considera-se que todas as camadas “**Órgão**” ou “**Sistema**” possuem a sua descrição em formato vectorial e/ou *raster* sendo passíveis da aplicação directa dos respectivos modelos (*raster* e/ou vectorial) e estão associadas a variados atributos fisiológicos. Os atributos *CI_Vectorial* e *CI_Raster* traduzem essa realidade. O *CI_Vectorial* é uma lista de apontadores para um conjunto de pontos 3D (“humano-referenciados”) que descrevem polígonos, além de atributos de cor e textura. O *CI_Vectorial* tem como base a informação presente na **Base de Dados Geométrica**. O *CI_Raster* é composto por uma lista de apontadores para um conjunto de imagens 2D, uma lista numérica para as referências espaciais de cada imagem e uma lista numérica para as datas. O *CI_Raster* tem como base os dados existentes na **Base de Dados Raster**.

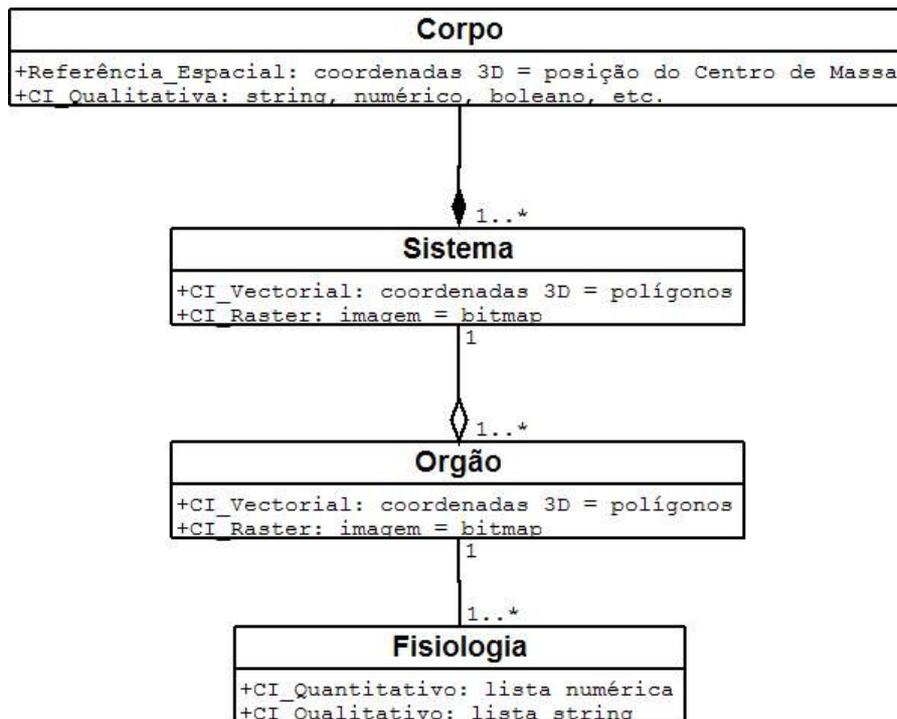


Figura 4.8. Camadas de informação “Corpo”

No caso das camadas “**Fisiologia**”, o atributo *CI_Quantitativa* contém listas de apontadores para os valores resultantes do tratamento de dados quantitativos, armazenados na **Base de Dados Estatística**, enquanto que o *CI_Qualitativa* contém apontadores para dados qualitativos referentes aos exames ou opções de diagnóstico, por exemplo, presentes na **Base de Dados Qualitativa**. Podem existir várias camadas do tipo “**Fisiologia**”, relacionadas com o mesmo órgão, consoante o número de grupos criados e/ou momentos temporais considerados na amostra. O atributo *CI_Qualitativa* na camada “**Corpo**” contém uma lista de apontadores para a informação qualitativa sobre o corpo em análise pelo modelo (por exemplo, o nome, a altura, o endereço, o médico responsável, o tipo sanguíneo, entre outros), armazenada na **Base de Dados Qualitativa**.

Processamento de Camadas

Esta etapa está directamente relacionada com a aplicação de operações algébricas de mapas nas camadas de informação que constituem a camada “**Corpo**” (criada na etapa anterior) e na avaliação dos resultados dessas operações e da informação tratada. Para que o utilizador possa extrair informação útil sobre os dados tratados, além dos resultados desse tratamento (resultantes da fase correspondente), é também desejável disponibilizar no modelo operações espaciais que permitam, de uma forma flexível, combinar a informação contida nas diversas camadas de informação. Isto é particularmente importante quando por exemplo o modelo é

utilizado como uma ferramenta de apoio ao diagnóstico. Como referido na secção 4.1.2, o médico aplica implicitamente uma análise espacial aos dados do paciente de forma a obter um diagnóstico sobre o seu estado de saúde. A figura 4.9 mostra o diagrama de casos de uso desta etapa.

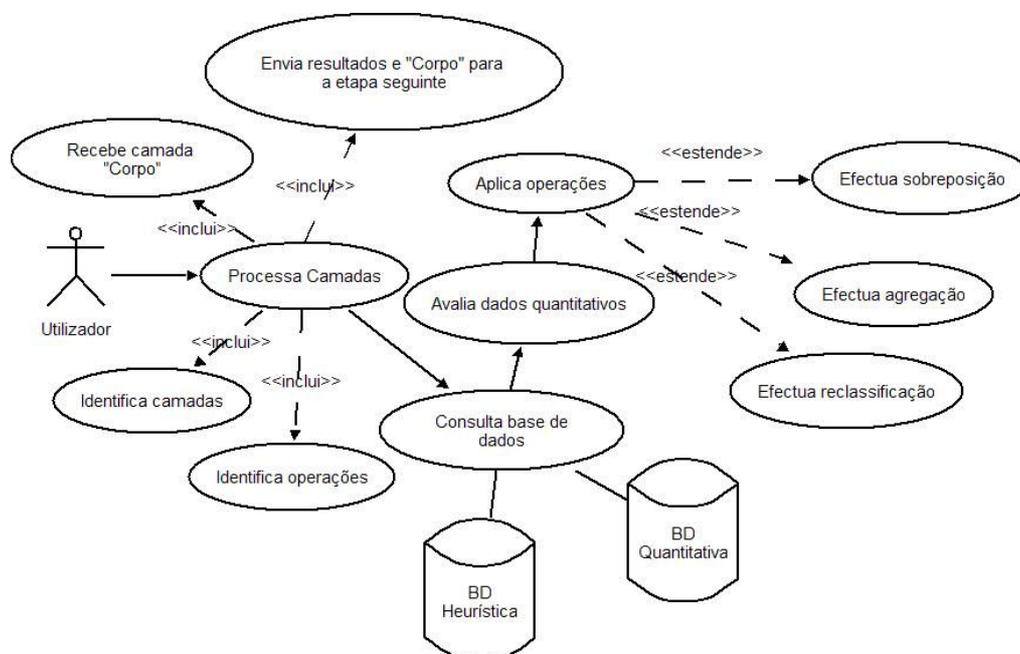


Figura 4.9. Diagrama de casos de uso da etapa Processamento de Camadas

São consideradas de interesse especial para este trabalho as operações de sobreposição e reclassificação. Em ambos os casos, as operações algébricas são sempre aplicadas tendo como base a camada “**Fisiologia**”. A operação de sobreposição é executada sobre camadas que pertençam ao mesmo “**Sistema**” ou não. No caso de pertencerem a “**Sistemas**” diferentes, é utilizada a operação de agregação de forma a efectuar a “união” entre camadas e permitir o processamento em conjunto. Na reclassificação, as camadas devem pertencer sempre ao mesmo “**Sistema**”.

Considera-se neste trabalho que as operações de sobreposição efectuem o “E”, o “OU” e o “SE” (condicional) entre camadas. Desta forma, consegue-se extrair por exemplo:

- A nível do sistema cardíaco, se em algum momento foram atingidas frequências cardíacas máximas superiores a 200 pulsações/minuto;
- Se além de se ter alcançado este valor, a rotação da articulação do braço esquerdo foi inferior a 30 graus em média;
- Se a frequência respiratória tem vindo a baixar ou a aumentar ao longo do tempo;

- Saber se o paciente sofre ou não, por exemplo, de artrose e em que grau de severidade está afectado.

Ao nível de reclassificação, o utilizador pode desejar agrupar valores em categorias, ou ainda associar níveis de importância únicos a categorias. Desta forma, é possível analisar situações como:

- Agrupar dados quantitativos referentes a momentos temporais diferentes segundo o valor médio obtido;
- Atribuir nível de importância variável a uma camada segundo, por exemplo, o seu desvio padrão médio, sendo este nível posteriormente utilizado para ordenar a sobreposição de camadas;
- A partir de um conjunto de possíveis diagnósticos, identificar o de maior ou o de menor grau de risco ou severidade.

Para ser possível a execução das operações algébricas é necessário que antes sejam atribuídos pontos aos dados quantitativos tratados ou aos qualitativos que identificam opções de diagnóstico ou resultados de exames. As avaliações são executadas tendo como base as regras existentes na **Base de Dados Heurística**. Por exemplo, de acordo com o tipo de dados quantitativo tratado (apontados pelo atributo *CI_Quantitativa* na camada “**Fisiologia**” constituinte da camada “**Corpo**”), o tipo/natureza dos dados e o objectivo/tipo do método matemático/estatístico utilizado, é consultada a **Base de Dados Heurística** e uma avaliação/pontuação é produzida. Em seguida, com base nessa pontuação e consoante o tipo de operação algébrica a executar, a **Base de Dados Heurística** é novamente consultada e produzida uma avaliação sobre o resultado obtido da operação de álgebra de mapas. Os resultados desta etapa (nomeadamente as avaliações e a camada “**Corpo**”) são enviados para a etapa **Interpretação de Resultados**. Este processo é o mesmo que se aplica no caso dos dados qualitativos.

Interpretação de Resultados

Esta fase permite avaliar a adequabilidade de todas as opções/decisões tomadas nas fases anteriores, integrando os resultados provenientes da etapa **Processamento de Camadas**. A avaliação efectuada gera resultados que podem auxiliar, por exemplo, a diagnosticar a evolução do quadro clínico de uma pessoa, ou ainda verificar se ela está a ultrapassar determinados limites de frequência cardíaca e/ou respiratória.

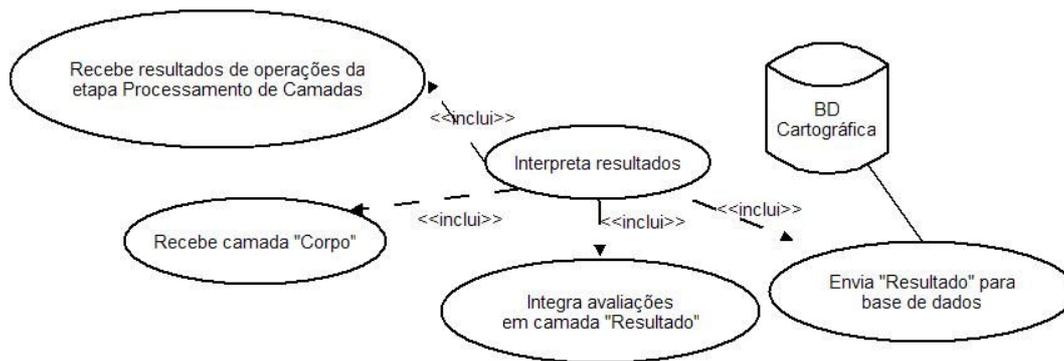


Figura 4.10. Diagrama de casos de uso da etapa Interpretação de Resultados

As avaliações recebidas da etapa anterior são armazenadas na camada de informação “**Resultado**” da **Base de Dados Cartográfica**. Esta camada é composta pela camada de informação “**Corpo**” acrescida de mais alguns atributos – *Data*, *Op_Resultados* e *Resultados*. O atributo *Data* guarda a data de criação da camada “**Resultado**”, o *Op_Resultados* armazena os resultados das avaliações das operações algébricas de mapas, enquanto que o *Results*, os das avaliações dos dados quantitativos tratados. Por fim, a camada “**Resultado**” é enviada para a **Base de Dados Cartográfica** da componente de **Visualização de Resultados**, com vista à sua reutilização pelo modelo.

Ao nível lógico, a informação resultante desta etapa é estruturada segundo camadas de informação como evidenciado na figura 4.11. O diagrama de casos de uso ilustrado na figura 4.10 esquematiza o funcionamento desta etapa. Como se pode observar, não existem actores no diagrama apresentado pois esta etapa ocorre de forma totalmente automática dentro do modelo.

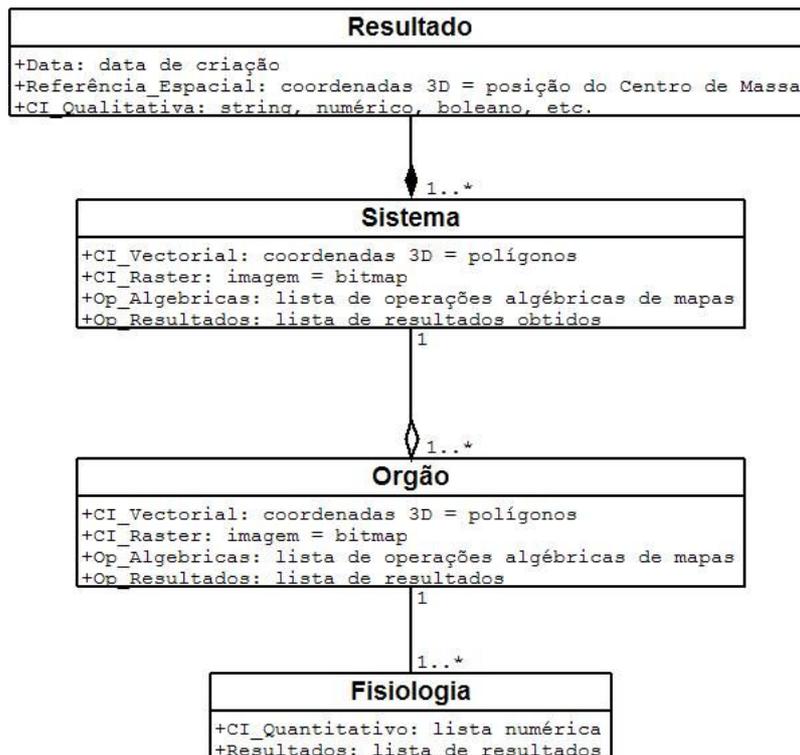


Figura 4.11. Camada de informação Resultado enviada para a Base de Dados Cartográfica

4.2.3. O componente Visualização de Resultados

Este componente é composto por duas etapas: a **Gestão de Resultados** e a **Representação de Resultados**. A primeira etapa está relacionada com a gestão dos resultados que são enviados pelo componente anterior, nomeadamente pelas etapas de **Interpretação de Resultados** e de **Criação de Camadas de Informação**, sendo esta composta por tarefas típicas da gestão de BD (leitura, escrita, consulta, entre outros). Este componente permite o armazenamento de resultados em duas BDs: a **Cartográfica** e a **Estatística**. A etapa de **Representação de Resultados** tem como objectivo modelar visualmente os resultados, de forma a permitir a sua fácil compreensão.

No que diz respeito a visualização é importante considerar os seguintes aspectos: a natureza e o tipo/dimensão dos dados a serem representados, o objectivo final da visualização e as características cognitivas do potencial utilizador. A etapa de **Representação de Resultados** tem como premissas básicas de funcionamento estes aspectos. Utiliza como entrada a informação disponível na **Base de Dados Cartográfica**. Com base nessa informação (que contém um conjunto de apontadores para outras bases de dados e resultados de avaliações das operações de álgebra de mapas e dos dados quantitativos tratados) são consultadas as bases de dados **Geométrica, Raster, Qualitativa e Estatística**.

Os dados geométricos lidos à partir da **Base de Dados Geométrica** servem para criar as representações 3D em pseudo-cor do corpo humano. Além disso, estes dados podem ser mapeados com diferentes técnicas visuais, de forma a representar convenientemente os resultados de operações de álgebra de mapas ou de avaliações de dados quantitativos tratados. As imagens *raster* 2D lidas a partir da **Base de Dados Raster** podem ser sobrepostas sobre a representação visual do corpo humano, com graus diferentes de transparência, consoante a vontade do utilizador. A informação qualitativa lida a partir da **Base de Dados Qualitativa** é representada basicamente por texto e ícones.

Os dados presentes na **Base de Dados Estatística** são tipicamente quantitativos, ou seja, podem ser escalares, vectores ou tensores, resultantes da aplicação de algum método matemático/estatístico, e estão “humano-referenciados”. De acordo com o objectivo do método aplicado e natureza/dimensão dos dados em análise, devem ser utilizadas técnicas tipicamente oriundas das áreas da visualização de informação, científica ou cartográfica, de uma forma conveniente. A tabela 4.1 ilustra algumas combinações possíveis entre os objectivos dos métodos aplicados, os dados e as técnicas (estas técnicas encontram-se pormenorizadas no capítulo 2 deste trabalho).

OBJECTIVO	DADOS	TÉCNICA
Distribuição	Escalares	Pseudo-cor sobre o corpo em 3D, gráfico de linha 2D, histograma, treemap
Distribuição	Vectores	Superfície porco-espinho 3D
Diferença, amplitude	Escalares	Gráfico de barras 2D, curvas de nível 3D sobre o corpo em 3D
Diferença, amplitude	Vectores, tensores	Glyphs

Tabela 4.1. Objectivo do método x tipos de dados x técnicas visuais

Os resultados de operações de álgebras de mapas, presentes na **Base de Dados Cartográfica** possuem um forte cariz espacial. Em função disso, devem ser aplicadas técnicas visuais tipicamente orientadas à modelação cartográfica, de forma a aproximar a visualização final do corpo humano em 3D, a um “mapa”. O mesmo acontece com os resultados das avaliações dos dados quantitativos tratados, existentes nesta mesma base de dados. Estes resultados serviram de base para a execução das operações de álgebra de mapas na etapa **Processamento de Camadas** do componente **Análise de Dados**. A tabela 4.2 relaciona as técnicas e algumas situações possíveis em termos de resultados das operações.

SITUAÇÃO	TÉCNICA (TODAS APLICADAS NO CORPO EM 3D)
Resultado de operação de sobreposição	Textura, pseudo-cor, zoom, segmentação, transparência
Resultado de operação de reclassificação	Textura e pseudo-cor, zoom, segmentação, transparência
Variação dos valores das componentes x, y ou z existentes na geometria do modelo do corpo humano	Curva de nível, pseudo-cor, rotação, transparência

Tabela 4.2. Situação x técnicas

Por último, a etapa de **Representação de Resultados** é composta por três fases típicas do *pipeline*²⁶ de visualização: filtragem, mapeamento de técnicas e a representação visual. A filtragem permite ao utilizador escolher o conjunto de dados a ser visualizado. O mapeamento associa os dados geométricos com os atributos visuais, consoante as técnicas visuais escolhidas. A fase de *render* transforma dados geométricos em imagem. A figura 4.12 mostra o diagrama de casos de uso desta etapa.

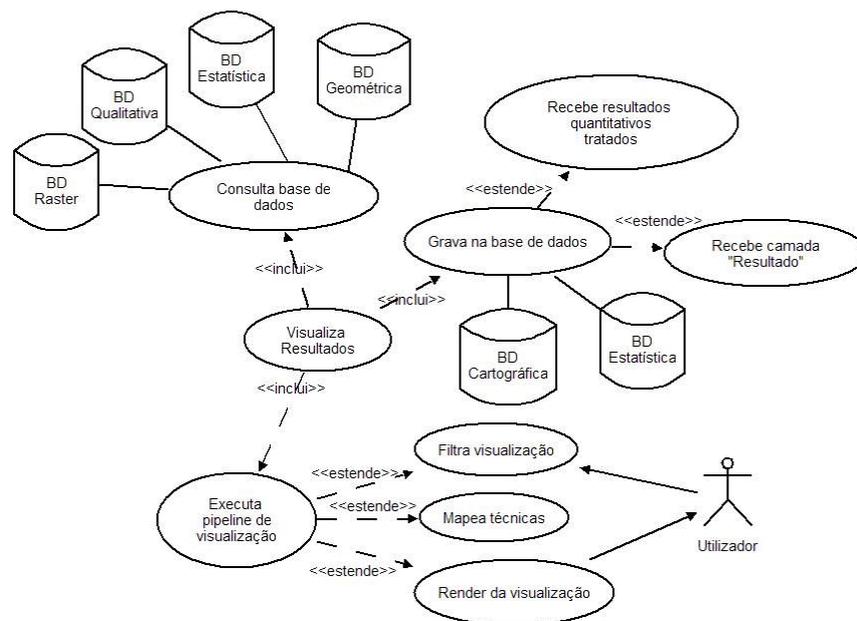


Figura 4.12. Diagrama de casos de uso da etapa Representação de Resultados

4.3. Estudos de Caso

É fundamental a aplicação de um estudo de caso para validar o modelo. Em função do modelo considerar a utilização, processamento e tratamento de dados que podem ser de natureza qualitativa, quantitativa, geométrica, heurística ou ainda imagens, é necessário utilizar estudos de caso que permitam de alguma forma enquadrar todas essas situações. Para tal foram escolhidas duas situações: a análise e visualização de sessões de hidrocinestoterapia e o diagnóstico e visualização da artrose no joelho. Ambos os estudos de caso foram efectuados dentro de um cenário de colaboração com médicos e terapeutas, tendo sido o primeiro realizado no Hospital da Prelada, no Porto, e o segundo na Clínica de Saúde Atlântica, no Estádio do Dragão, também no Porto. Nesta secção são apresentados os dois estudos de caso e a arquitectura do modelo CHUB adaptada a estas duas situações.

²⁶ Sequência de etapas que são realizadas para a efectiva visualização de um objecto ou cena num dispositivo de visualização.

4.3.1. Sessões de Hidrocinesioterapia

A hidrocinesioterapia [Fiorelli2002] é a fisioterapia na água, ou a prática de exercícios terapêuticos em piscinas, associada ou não a manipulações, hidromassagem e massoterapia, configurada em programas de tratamento específicos para cada paciente. Muitas são as condições patológicas ou sequelas beneficiadas pelo tratamento hidroterapêutico ou hidrocinesioterapêutico: reumáticas, ortopédicas e traumatológicas, neurológicas, respiratórias, cardíacas, endócrinas e psíquicas.

Existe um fato especial que está a ser desenvolvido pelo CITEVE (Centro das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal) em conjunto com a Universidade do Minho, para os doentes que fazem sessões de hidrocinesioterapia. Este fato é provido de sensores electrónicos que captam os movimentos das articulações da bacia com as pernas, dos braços com os ombros, da coluna vertebral, e os batimentos cardíacos e a frequência respiratória do paciente. Os dados de leitura dos sensores são enviados para a porta USB (*Universal Serial Bus*) de um computador e são gravados em ficheiros ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). O desenvolvimento e implementação de uma aplicação de software que permita processar devidamente toda a informação enviada pelos sensores é fundamental.

Dentre os principais objectivos que médicos e fisioterapeutas desta área apontam para uma aplicação desta natureza, destacam-se os seguintes:

- A possibilidade de gravar num repositório os dados recebidos pelos sensores;
- A capacidade de comparar resultados entre sessões, de forma a avaliar o desempenho do paciente ao longo do tempo;
- Efectuar análises estatísticas variadas sobre os dados, ou seja, modelar matematicamente os dados recebidos e gravados dos sensores;
- A visualização da informação em forma gráfica, e em tempo real²⁷;
- Dispor de uma base de dados para registo de pacientes e um repositório para as gravações das sessões de hidrocinesioterapia;
- Alarme sonoro e visual em casos de risco para o paciente (por exemplo, um batimento cardíaco muito elevado).

Estando globalmente definidos um conjunto de requisitos, o CHUB deve atender a estes requisitos, de forma a se tornar uma aplicação passível de teste num ambiente hospitalar e

²⁷ A visualização decorre em simultâneo com a realização da sessão de hidrocinesioterapia e gravação dos dados.

durante as sessões de hidrocinestoterapia. São considerados como potenciais utilizadores os médicos e fisioterapeutas especializados na área de hidrocinestoterapia.

4.3.2. Artrose no Joelho

O joelho, a articulação intermédia [Russel2004] do membro inferior, tem provavelmente o papel mais importante da locomoção humana. O conhecimento do que está relacionado com esta articulação não é fácil. É uma tarefa morosa e requer especialização, envolvendo o esforço combinado de diversas disciplinas tais como a anatomia, a biomecânica, a fisiologia e a cirurgia, com especial ênfase na cirurgia ortopédica. A figura 4.13 ilustra a anatomofisiologia do joelho humano.

A avaliação músculo-esquelética com o objectivo de detectar problemas no joelho é composta por 3 fases distintas [MacRae1996]: exame por observação, exame pelo toque e análise do movimento. A primeira é constituída basicamente pela observação visual detalhada do joelho e zonas envolventes, a fim de identificar alguma anomalia a nível de ossos, pele e/ou tecidos moles. A segunda é complementar à primeira e é composta pela análise por palpação do joelho, de forma a identificar anomalias em termos de rigidez, temperatura ou deformação. Por último, o movimento do joelho efectuado tanto de forma activa (pelo paciente) ou passiva (pelo médico) fornece uma boa indicação do estado deste, além de permitir avaliar a estabilidade que este possui.

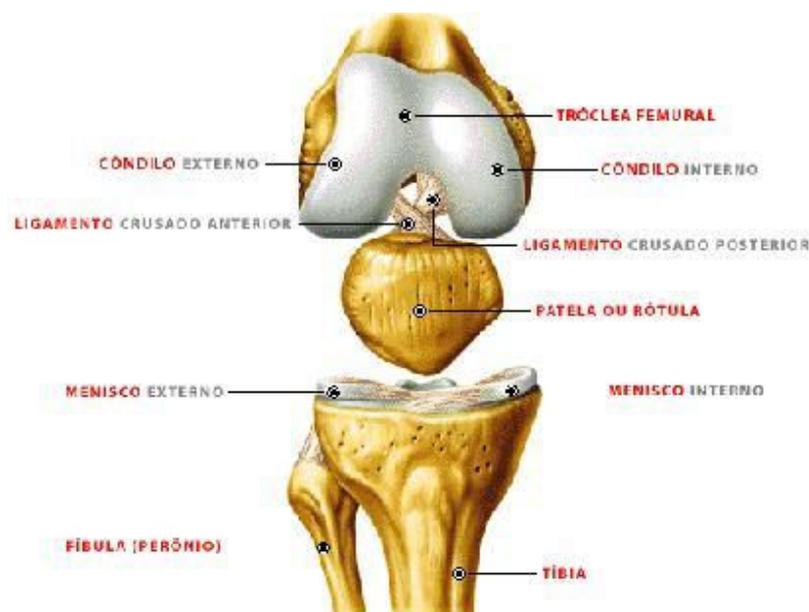


Figura 4.13. Anatomofisiologia do joelho

A osteoartrite [Mendes2006] é derivada da degeneração causada normalmente pela idade. A dor relacionada com qualquer actividade é o sintoma mais significativo, sendo

inclusive o sono afectado. Perda de movimento ou endurecimento do joelho bem como inchaço são outros sintomas que estão presentes. As radiografias podem revelar se existe ou não perda do espaço existente na junta do joelho, formação de osteopatia²⁸, e frequentemente, formação reactiva de quisto e de esclerose²⁹. Nos casos mais suaves, analgésicos, fisioterapia e alteração da rotina diária podem ser suficientes. Nos casos em que ocorrem alterações significativas do eixo varo³⁰ ou valgo, uma osteotomia³¹ correctiva deve ser executada. A tabela 4.3 ilustra a relação existente entre o diagnóstico do joelho e as fases que o compõem.

DIAGNÓSTICO MÚSCULO- ESQUELÉTICO DO JOELHO	FASE	PARTES FOCADAS	SINTOMAS
	Observação	Pele	Vermelhão, feridas e/ou lacerações
		Tecidos moles	Efusão, protuberância
		Ossos	Posição da patela, flexão fixa, pernas em arco e reflexo do joelho
	Toque	Pele	Temperatura, sensibilidade (em especial no pé)
		Tecidos moles	Efusão do joelho
		Ossos	Limites da patela, da tibia e côndilos do fémur
	Movimento	Joelho em termos gerais	Flexão e extensão activa
			Flexão, extensão e teste de retardação
			Estabilidade de ligamentos colaterais, ligamentos cruzados, teste de elevação do pivot e da apreensão da patela

Tabela 4.3. Diagnóstico músculo-esquelético do joelho

A figura 4.14 ilustra o fluxograma representativo da árvore de decisão que um médico normalmente executa no diagnóstico da artrose no joelho de um paciente. Inicialmente é verificada a existência ou não de causas prévias para potenciar ou motivar o surgimento da artrose. Em seguida é efectuada a avaliação músculo-esquelética conforme o descrito no parágrafo anterior. Por fim, são realizados exames complementares tais como radiografias, ressonâncias magnéticas ou ainda exames de sangue (provas reumáticas³²).

²⁸ Alteração estrutural do osso.

²⁹ Endurecimento da articulação.

³⁰ Curvatura da perna por deformidade. Pode ser do tipo varo ou valgo (conforme seja concava ou convexa).

³¹ É o seccionamento cirúrgico de um osso.

³² Exames efectuados ao sangue para detectar a existência de reumatismo no paciente.

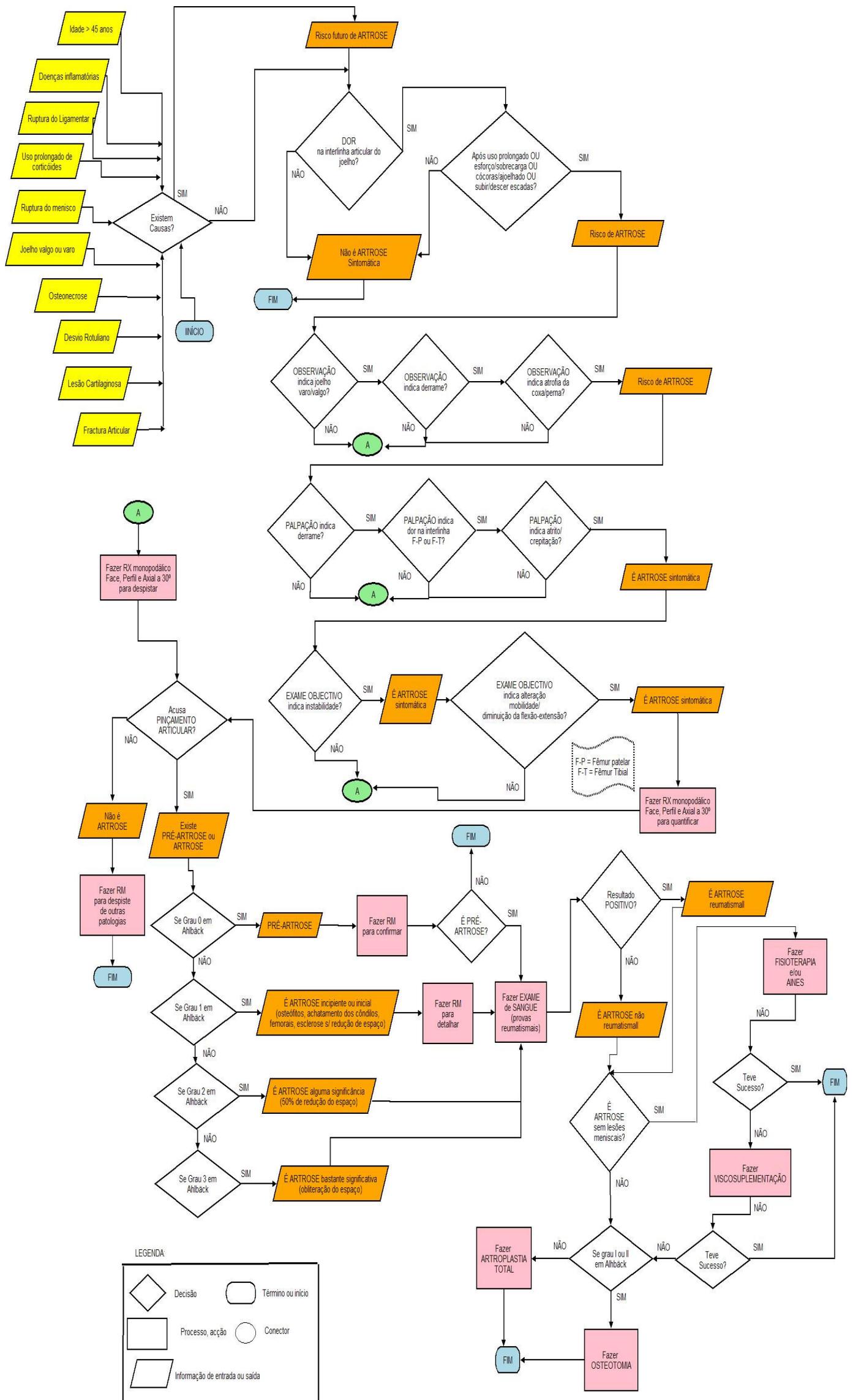


Figura 4.14. Fluxograma da árvore de decisão do diagnóstico da artrose no joelho

4.3.3. *Arquitetura do Modelo CHUB adaptada*

As bases de dados de entrada de dados contêm registos de pacientes e opções de diagnóstico da artrose (**Base de Dados Qualitativa**), gravações de sessões de hidrocinésioterapia, resultados de provas reumatismais, de exames de raios X (graus na escala de Ahlbäck) ou ressonância magnética (**Base de Dados Quantitativa**), geometrias de sistemas e órgãos (**Base de Dados Geométrica**) considerados como relevantes nas sessões de hidrocinésioterapia e no diagnóstico da artrose no joelho (esqueleto, coração, pulmões, ligamentos, meniscos, gêmeos, entre outros), imagens de exames de radiografia e ressonância magnética do joelho do paciente (**Base de Dados Raster**) e regras que identificam como avaliar os dados qualitativos ou/e quantitativos do paciente para obter o diagnóstico da artrose no joelho, como aplicar métodos matemáticos e/ou estatísticos aos dados gravados quantitativos das sessões de hidrocinésioterapia ou, ainda, como obter as relações entre os sistemas, órgãos e fisiologias (**Base de Dados Heurística**).

As bases de dados de saída armazenam os resultados da aplicação de métodos estatísticos/matemáticos nos dados recolhidos durante as sessões de hidrocinésioterapia (**Base de Dados Estatística**) e de operações de álgebra de mapas executadas sobre as camadas “humano-referenciadas” (**Base de Dados Cartográfica**) aquando do diagnóstico da artrose do joelho.

No componente de **Análise de Dados** são aplicados métodos matemáticos/estatísticos aos dados de uma ou mais sessões de hidrocinésioterapia, avaliados os dados quantitativos e/ou qualitativos do paciente tendo como base as heurísticas para o diagnóstico da artrose no joelho e operações de álgebra de mapas, criadas camadas de informação “humano-referenciadas”, e interpretados os resultados obtidos.

Por último, o modo de funcionamento (processamento) do CHUB adaptado deve ser capaz de atender a requisitos de sincronismo com a leitura da porta USB quando ocorre a gravação de uma sessão. Isto é necessário porque existem duas situações distintas que podem ocorrer em termos de análise e visualização de sessões: em tempo real, ou seja, à medida que os dados são recebidos pela porta USB devem ser tratados e visualizados, ou à *posteriori*, apenas depois do término da gravação. Portanto, em especial, os componentes **Análise de Dados** e **Visualização de Resultados** devem satisfazer esta exigência.

4.3.3.1. O componente Repositório de Dados

O repositório de dados é responsável pelo armazenamento de dados pessoais dos pacientes, das gravações dos dados registados pelos sensores ao longo das sessões de hidrocinesioterapia, dos resultados de exames (provas reumáticas, avaliações de radiografias e ressonâncias), das heurísticas que definem o diagnóstico da artrose no joelho (com os sintomas, causas e classificação de resultados de exames), da identificação do conjunto de métodos matemáticos/estatísticos a aplicar, identificação das relações entre sistemas, órgãos e fisiologias, da geometria que descreve as diversas partes do corpo humano e das radiografias e ressonâncias magnéticas do paciente. Ao nível de gestão dos repositórios este componente integra etapas de criação, edição, consulta e eliminação de registos (no caso da base de dados de pacientes, de regras de avaliação e heurísticas e resultados de exames), criação (gravação), leitura e eliminação de ficheiros de gravações de sessões e imagens de exames, e leitura de ficheiros de geometrias.

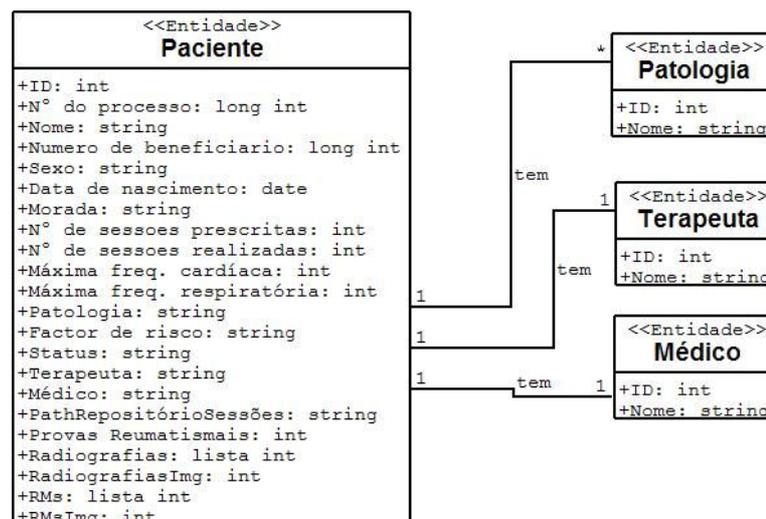


Figura 4.15. Conteúdo da Base de Dados Qualitativa a nível do registo do paciente

Os dados pessoais dos pacientes estão armazenados numa base de dados que utiliza quatro tabelas para estruturar toda a informação necessária. A figura 4.15 evidencia um diagrama de classes em UML a ilustrar a um nível lógico este cenário. A tabela **Paciente** armazena dados gerais sobre o paciente, além de conter os valores que são considerados como máximos biométricos admissíveis a atingir durante a sessão e número máximo de sessões prescritas e apontadores para as BD **Quantitativa** (os atributos *ProvasReumáticas*, *RMs* e *Radiografias*) e **Raster** (os atributos *RMsImg* e *RadiografiasImg*). As tabelas **Patologia**, **Terapeuta** e **Médico** servem como complemento da tabela Paciente. A **Base de Dados Qualitativa** contém toda esta informação. Também nesta BD **Qualitativa** estão contidas as

listas de causas, sintomas e resultados de exames que qualificam a artrose no joelho. Estas listas são disponibilizadas para selecção durante a etapa de **Seleccção de Dados** e estão devidamente pontuadas e logicamente caracterizadas dentro da **Base de Dados Heurística**.

As gravações contêm informação sobre o batimento cardíaco, a frequência respiratória, a rotação das articulações das ancas, dos ombros e da coluna vertebral do paciente, e a temperatura da água da piscina, registados em intervalos de um segundo ao longo da sessão de hidrocinestoterapia, além do identificador numérico associado ao fato vestido pelo paciente. As gravações são registadas em ficheiros. A **Base de Dados Quantitativa** funciona como um repositório dessas gravações, bem como dos resultados de provas reumatismais ou pontuações/avaliações de exames radiográficos ou de ressonâncias magnéticas efectuadas pelo paciente no caso deste sofrer de artrose no joelho. A figura 4.16 ilustra a estrutura de uma gravação ao nível lógico.

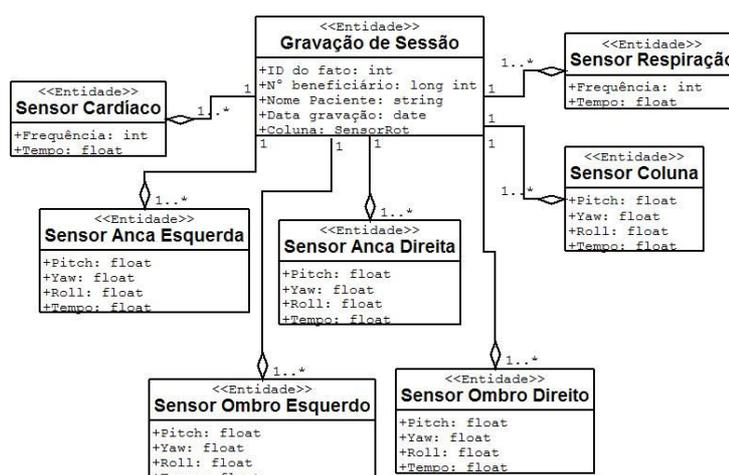


Figura 4.16. Gravação de sessão de hidrocinestoterapia

A **Base de Dados Geométrica** contém geometrias na forma de pontos, linhas e polígonos que descrevem as partes do corpo humano relevantes no caso da sessão de hidrocinestoterapia e do diagnóstico do joelho: esqueleto do corpo humano, coração, pulmões, ligamentos do joelho, meniscos, entre outros. Esses elementos geométricos estão descritos por conjuntos de coordenadas espaciais tridimensionais e atributos de cor e textura. Toda essa informação está “humano-referenciada” e em formato OBJ³³. Esta informação funciona como uma espécie de atlas dos sistemas e órgãos importantes para a hidrocinestoterapia (esqueleto, coração e pulmões) e para o diagnóstico da artrose do joelho, sendo portanto comum a todos os pacientes.

³³ É um formato que foi desenvolvido pela *WaveFront Technologies* para representação de geometria 3D.

Onze tabelas compõem a **Base de Dados Heurística**. Uma é específica para definir as regras de avaliação do diagnóstico da artrose no joelho (tabela **Diagnóstico**). As tabelas **Causas**, **Sintomas** e **ExamesClinicos** contêm respectivamente as causas, sintomas e exames clínicos que estão directamente relacionados com a artrose. Cada uma dessas tabelas, associa uma determinada pontuação a cada entrada, de forma a reflectir a lógica presente no fluxograma da figura 4.14. No caso das sessões de hidrocinésioterapia torna-se necessário definir como os resultados obtidos pela análise numérica sobre os dados gravados devem ser interpretados. Existem um total de quatro análises que são executadas sobre o conjunto de dados gravados: média aritmética, desvio padrão, determinação do valor máximo e do mínimo. Para cada tipo de análise deve ser igualmente pontuado o resultado obtido de forma a indicar se o paciente está ou não a ter bons resultados nas sessões. As tabelas **Hidrocinésioterapia** e **AnáliseNumerica** contêm respectivamente a informação necessária para tornar possível esta interpretação. Além dessas tabelas, e para ser possível estabelecer uma relação entre a doença ou a análise numérica e o sistema, órgão e/ou fisiologia (tabelas **Sistemas**, **Órgãos** e **Fisiologias**) onde estas se aplicam, estão também presentes quatro tabelas específicas para guardar essa informação. Por último, também é necessário identificar qual é a operação de álgebra de mapas que deve ser utilizada para combinar as pontuações auferidas pelas camadas de informação. Por exemplo, a pontuação de um dado exame pode ser somado, subtraído (com o auxílio de operadores aritméticos) ou comparado (com o auxílio de operadores lógicos) da pontuação de um sintoma. O mesmo acontece no caso da hidrocinésioterapia. A pontuação obtida pelo desvio padrão pode ser combinada de várias formas com a pontuação da média aritmética. A tabela **AlgebraMapas** contém toda a informação necessária para estruturar a forma como as operações de álgebra de mapas são aplicadas nas várias camadas. Um pormenor de interesse é a utilização de *strings* (cadeias de caracteres) para os pesos (atributos **Peso** e **PesoTotal** nas tabelas **Causas**, **Sintomas**, **ExamesClinicos**, **AnáliseNumerica**, **Hidrocinésioterapia** e **Diagnostico**). Esta opção deveu-se ao facto das *strings* possibilitarem a criação de codificações mais flexíveis e abrangentes se comparado com a utilização de inteiros. Por exemplo, uma pontuação igual a “ADFGa” contém a informação relativa a todos os contributos parciais para a sua criação além de poder traduzir um resultado numérico, enquanto que uma pontuação igual a 200 consegue representar apenas este último. A pontuação para cada peso é dada pelo atributo **Ponto**, enquanto que **Ponto Total** contém a lista de pontos acumulada. A figura 4.17 ilustra este cenário. A forma como a avaliação é executada está mais detalhada na secção 4.3.2.2 (na fase **Processamento de Camadas**).

As etapas de edição e consulta são aplicadas à **Base de Dados Qualitativa, Quantitativa e Heurística** e servem para incluir, alterar ou consultar respectivamente informação presente nestas bases de dados. No caso da **Quantitativa** a edição de informação restringe-se aos resultados de exames de provas reumatismais e avaliações de radiografias e ressonâncias, pois as gravações das sessões de hidrocinesioterapia são automaticamente gravadas em ficheiros texto com formato próprio e não são passíveis de alteração. A etapa de eliminação está especializada consoante o caso: eliminação de registos da **Base de Dados Qualitativa, Heurística, Raster ou Quantitativa**. A etapa de leitura também está especializada segundo o caso: registo da **Base de Dados Qualitativa, Quantitativa, Heurística, Raster ou Geométrica**.

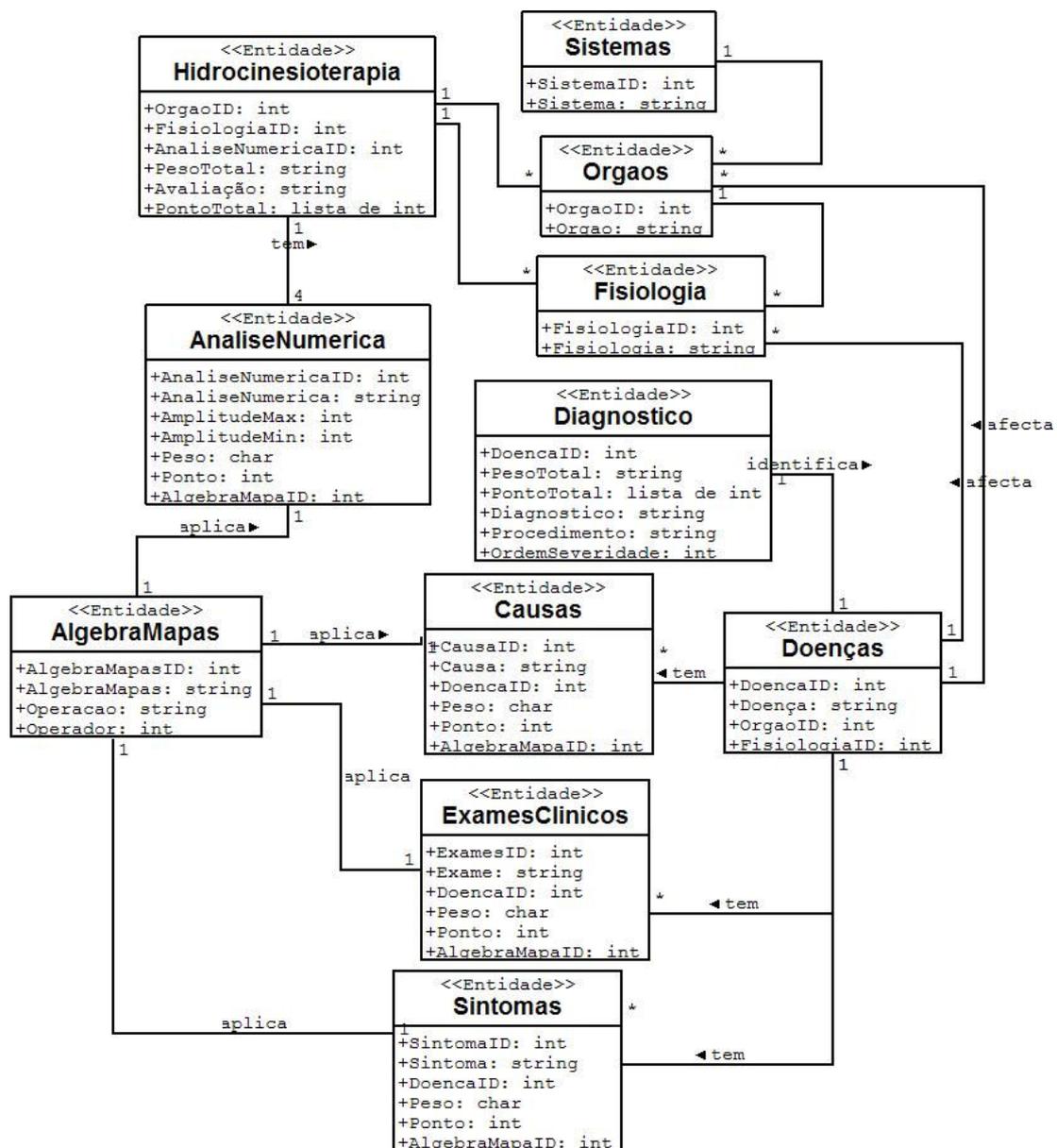


Figura 4.17. Tabelas da Base de Dados Heurística

4.3.3.2. O componente Análise de Dados

Na fase **Seleção de Dados** é identificado o paciente a analisar. No caso da avaliação da(s) sessão(ões) de hidrocinestoterapia, deve(m) ser escolhido(s) ainda o(s) ficheiro(s) de gravação (pode ser um ou mais ficheiros). Como as sessões são registadas em diversos momentos temporais ao longo do tratamento efectuado pelo paciente, é necessário portanto identificar a janela temporal que deve ser adoptada para a selecção dos dados registados pelos sensores. Caso estejamos em presença de mais de uma sessão é considerada uma situação de análise de histórico de dados. No caso do diagnóstico da artrose é necessário eleger quais causas, sintomas e resultados de exames que existem para o paciente em questão. Em seguida é efectuado o cruzamento dessa informação em termos de sistema, órgão e/ou fisiologia ao qual a informação se refere, de forma a identificar a zona do corpo a que o diagnóstico se deverá reportar. Caso seja identificada mais de uma zona, o utilizador deve eleger qual deseja analisar. Isto pode ocorrer em especial no caso de doenças cujo conjunto de causas, sintomas e/ou resultados de exames possam ser muito semelhantes ou quando o utilizador não forneça informação adequada ou suficiente ao modelo.

Na fase **Tratamento de Dados**, no caso de sessões de hidrocinestoterapia, os dados seleccionados são inicialmente avaliados ao nível do ruído. Embora este seja eliminado electronicamente (pelos sensores), o erro é também aqui avaliado, e valores muito discrepantes são eliminados. Em seguida são agrupados segundo um intervalo variável (que identifica a quantidade de leituras a considerar por grupo) definido pelo utilizador na etapa **Seleção de Dados**. Globalmente e para cada grupo de dados são calculados/identificados os valores máximos, mínimos e médios. Apenas ao nível global é ainda calculado o desvio padrão e a regressão linear. Esta fase cria grupos de dados dentro de uma mesma amostra – por exemplo, ao analisar uma sessão, ela será subdividida em vários conjuntos, analisando-a a nível global e dos seus subconjuntos. Por último, os grupos podem ainda ser criados segundo momentos temporais diferentes – por exemplo, várias sessões analisadas.

As sessões de hidrocinestoterapia focam em especial três sistemas no paciente: o cardíaco, o respiratório e o ósseo-articular. O objectivo ao longo de uma sessão é monitorizar os batimentos cardíacos, a frequência respiratória, a tensão arterial, além das rotações e os deslocamentos ocorridos nas articulações das ancas, ombros e coluna vertebral. O terapeuta recolhe essa informação ao longo de várias sessões, de forma a conseguir ao fim de algum tempo, compara-la e constatar se o paciente está a ter uma resposta positiva ou não ao tratamento.

Os dados quantitativos tratados na etapa **Tratamento de Dados**, no caso das sessões de hidrocinestoterapia, são basicamente valores escalares que definem médias, máximos, mínimos e desvios padrão das rotações das articulações e das frequências respiratória e cardíaca do paciente escolhido. Esses valores estão associados com determinadas posições espaciais do corpo do paciente. Além disso, eles podem estar referidos a momentos temporais diferentes, ou ainda, a grupos distintos dentro do mesmo conjunto de dados.

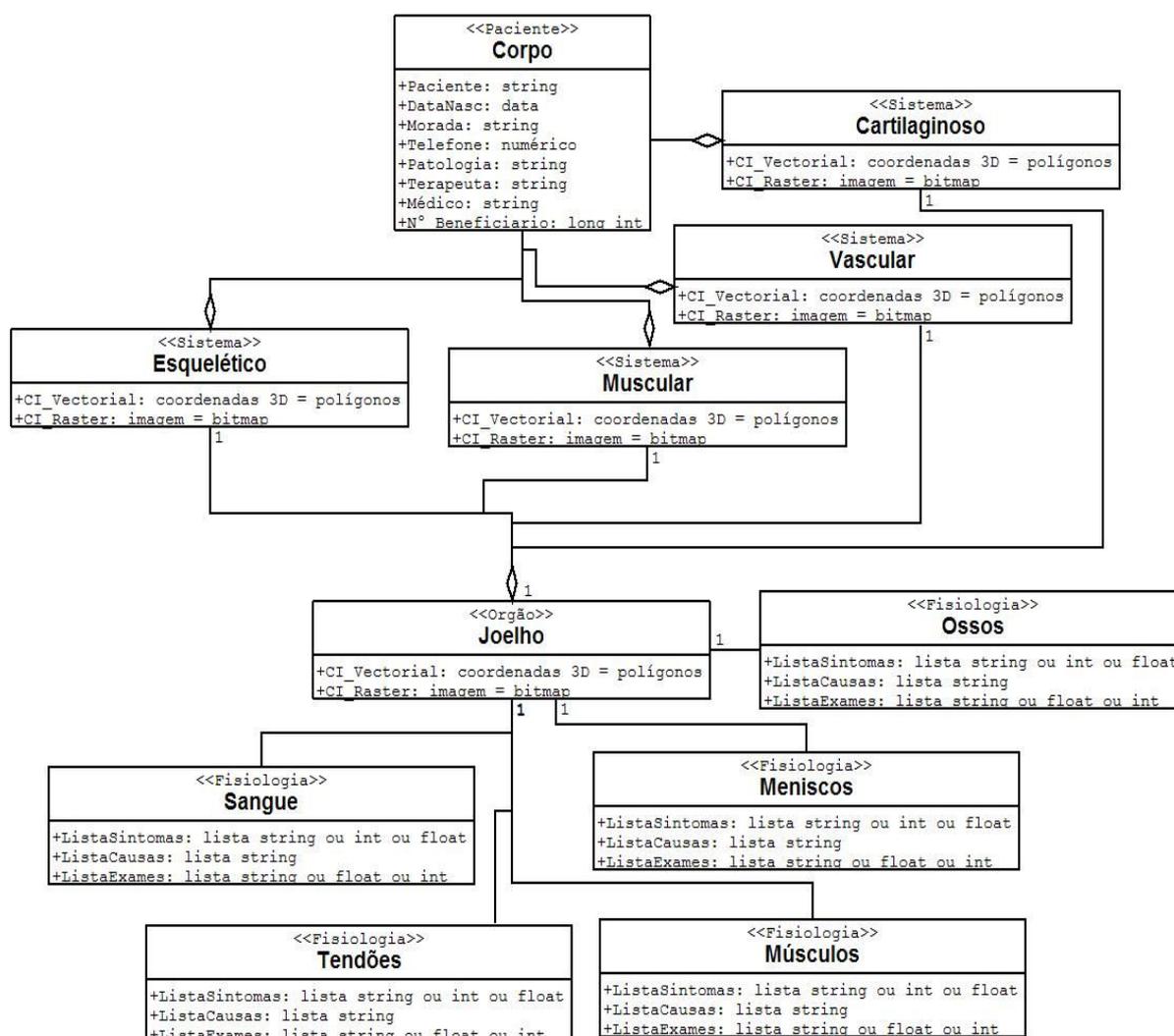


Figura 4.18. A camada “Corpo” adaptada ao diagnóstico da artrose no joelho

No caso de se tratar do diagnóstico da artrose, na etapa **Tratamento de Dados** não é realizada nenhuma operação especial, pois como o diagnóstico é tipicamente uma operação de análise espacial, a sua avaliação será efectuada na etapa de **Processamento de Camadas**.

Na etapa de **Criação de Camadas de Informação**, tendo como base a referência espacial utilizada pelos ficheiros de geometrias (conforme o caso), é executada a “humano-referenciação” dos dados quantitativos tratados e criada a camada de informação “**Corpo**”. No

está associado a um valor baixo (1), B, E ou H a um valor médio (2) e C, F ou I a um valor elevado (3). O valor médio global de um determinado dado fisiológico é utilizado como base para a atribuição de pesos e valores.

SISTEMA/ÓRGÃO	FISIOLOGIA	AMPLITUDE DE VALOR	PESO	VALOR
Esqueleto	Rotação articulação (graus)	< 30	A	1
		31-60	B	2
		> 61	C	3
Coração	Frequência cardíaca (batimentos / minuto)	< 80	D	1
		80-120	E	2
		> 120	F	3
Pulmões	Frequência respiratória (ciclos/ minuto)	<12	G	1
		12-20	H	2
		>20	I	3

Tabela 4.4. Pontuação de dados quantitativos tratados em hidrocinestoterapia no cálculo da média aritmética

Com base nos resultados obtidos na avaliação dos dados quantitativos tratados da(s) sessão(ões) são posteriormente executadas operações de álgebra de mapas. Consoante os pontos atribuídos às camadas, e a operação efectuada, uma pontuação é também atribuída ao resultado. A tabela 4.5 ilustra esta situação considerando a operação entre 2 camadas pertencentes ao sistema esquelético. A coluna “Resultado” mostra entre parêntesis as possíveis combinações de valores de camadas que conduzem a um determinado resultado. A pontuação da operação é codificada pela concatenação das pontuações individuais de cada camada. Posteriormente, para se obter o seu valor final, cada letra é traduzida pelo seu peso individual conforme o ilustrado na tabela 4.4. Os valores resultantes para os pesos finais estão sempre numa faixa de 1 a 3, com excepção da operação de “Soma”, onde em função do número de combinações possíveis pode obter-se uma escala com uma amplitude maior.

CATEGORIA	OPERAÇÃO	PESO	RESULTADO	VALOR
Sobreposição	Soma	AA	2 (1+1)	1
		AB	3 (1+2)	2
		BB ou AC	4 (2+2, 1+3)	3
		BC	5 (2+3)	4
		CC	6 (3+3)	5
	Diferença	AA, BB ou CC	0 (1-1, 2-2, 3-3)	1
		AB, BC	1 (2-1, 3-2)	2
		AC	2 (3-1)	3
	Reclassificação	Maior	AA	1 (1/1)
AB, BB			2 (1/2, 2/2)	2
AC, BC ou CC			3 (1/3, 2/3, 3/3)	3
Menor		AA, AB ou AC	1 (1/1, 1/2, 1/3)	1
		BB ou BC	2 (2/2, 2/3)	2
		CC	3 (3/3)	3

Tabela 4.5. Pontuação das operações de álgebra de mapas para a hidrocinestoterapia

Para exemplificar, considere-se o seguinte cenário: após o tratamento dos dados recolhidos numa sessão de hidrocinestoterapia de um paciente, obteve-se um valor médio de frequência cardíaca superior a 120 batimentos/minuto, de frequência respiratória superior a 20

ciclos/minuto, de rotação da articulação da anca direita inferior a 30 graus e da esquerda e das demais articulações entre 31 e 60 graus (coluna, ombros e joelhos). Cada uma destas informações corresponde a uma camada de informação relacionada com o sistema/órgão esqueleto, cardíaco ou pulmonar, respectivamente. Com base no indicado na tabela 4.4, resultam os seguintes pesos/ pontuações: A/1 (anca direita), B/2 (anca esquerda), B/2 (ombro direito), B/2 (ombro esquerdo), B/2 (joelho direito), B/2 (joelho esquerdo), B/2 (coluna), F/3 (coração), I/3 (respiração). No caso de se desejar analisar as camadas relacionadas apenas com o esqueleto por sobreposição e soma, o resultado final seria ABBBBBB/13. Tendo em conta que o máximo e o mínimo em termos de pontuação seriam 21 e 7 respectivamente (se todas as articulações fossem pontuadas com 3 ou com 1), o resultado final indica que o paciente teve um desempenho dentro dos valores médios normais. No caso da análise ser por reclassificação para encontrar o menor, o resultado seria 1 indicando que uma articulação esteve muito pouco móvel. Em termos globais poder-se-ia dizer que durante a sessão o paciente conseguiu mover as suas articulações dentro de valores normais, apresentando entretanto alguma deficiência. Caso se deseje-se avaliar em conjunto os sistemas respiratório e cardíaco por diferença, resultaria em FI/0 indicando que ambos apresentaram performances bastantes próximas (neste caso, com valores elevados de batimento e frequência respiratória).

No caso do diagnóstico da artrose a etapa **Processamento de Camadas** integra e consolida as pontuações das heurísticas, obtendo um diagnóstico com base no resultado obtido. Isto equivale a aplicar operações de álgebra de mapas às diversas camadas de informação que contêm dados relevantes para o diagnóstico da artrose no joelho. Estas camadas estão representadas nas sub-camadas “**Fisiologia**” da camada “**Corpo**” (ver figura 4.18). As operações são do tipo sobreposição em que os operadores “OU” ou “E” são utilizados de forma a espelhar correctamente o fluxo da árvore de decisão utilizada pelo médico para o diagnóstico (ver figura 4.14). Como resultado destas operações, podem ser obtidos um ou mais diagnósticos (os diagnósticos parciais vão também sendo calculados). A operação de reclassificação é aplicada posteriormente aos resultados de forma a se obterem os diagnósticos presentes no conjunto final ordenados pelo seu grau de severidade. Uma característica interessante, é que embora as operações de álgebra de mapas sejam aplicadas nesta etapa ao nível das camadas de “**Fisiologia**” segundo o especificado nas heurísticas, a verdade é que implicitamente as mesmas já foram utilizadas ao nível das camadas “**Sistema**” e “**Órgão**”, na etapa de **Seleção de Dados**. Portanto, o modelo utiliza operações espaciais não só nesta etapa, mas logo no início do componente **Análise dos Dados**.

Na etapa **Interpretação de Resultados**, no caso das sessões de hidrocinestoterapia também, é necessário avaliarem-se as possíveis condições de risco para os pacientes. Para cada paciente são personalizadas as amplitudes máximas de valores das frequências cardíaca e/ou respiratória (na tabela **Pacientes**, na **Base de Dados Qualitativa**). Se estes valores forem ultrapassados em algum momento, deverá ser accionado um alarme visual e sonoro. Portanto, esta etapa também deve avaliar as frequências cardíacas e respiratórias durante a sessão (quando em tempo real), enviando para o componente de **Visualização de Resultados** a informação necessária para o accionamento de alarmes visuais e sonoros. Por último, com base nos resultados obtidos na etapa anterior, é fornecido o resultado da avaliação da operação de álgebra de mapas. Portanto, considerando o exemplo fornecido anteriormente, esta etapa é que efectivamente forneceria o significado de um resultado FI/0 para uma operação de sobreposição com diferença ou ABBBBB/11 para uma de sobreposição com soma.

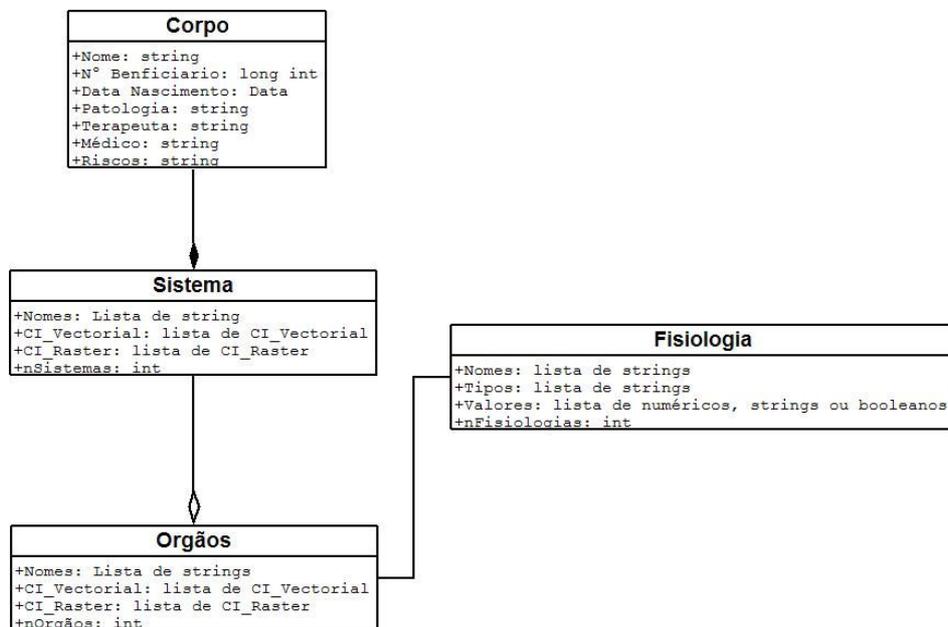


Figura 4.20. Camada de informação enviada para a Base de Dados Cartográfica

No caso do diagnóstico da artrose, com base no resultado obtido na etapa anterior, a **Interpretação de Resultados** avalia o grau de severidade e qual o peso percentual das diversas opções (das causas, sintomas e resultados de exames escolhidos pelo utilizador) que contribuíram para o diagnóstico. Com base no diagnóstico, esta etapa ainda sugere qual o conjunto de procedimentos terapêuticos a adoptar futuramente. Ao nível lógico, a camada **“Resultado”** é estruturada segundo camadas de informação que são evidenciadas na figura 4.20. A **“Resultado”** armazena tanto os resultados de operações de álgebra de mapas realizadas sobre as camadas de informação associadas com o diagnóstico da artrose do joelho ou com as sessões de hidrocinestoterapia. Isto é possível graças ao seu elevado grau de abstracção.

4.3.3.3. O componente Visualização de Resultados

Os dados presentes na **Base de Dados Estatística** descrevem séries de valores resultantes do cálculo de médias, desvios padrão, máximos, mínimos e regressões lineares de rotações de articulações e das frequências cardíaca e respiratória. A tabela 4.6 relaciona as situações previstas no CHUB com as respectivas técnicas de visualização a aplicar.

Para ser mais evidente a ideia e metáfora visual de camadas de informação, todas as partes do corpo humano que sejam visualizadas são listadas num grafo simples (árvore hierárquica), sendo possível que o utilizador active ou desactive a sua respectiva visualização ou ainda aplique cor e textura diferenciadas. Da mesma forma, é criado um grafo para a visualização dos procedimentos terapêuticos a adoptar após o diagnóstico.

SITUAÇÃO	TÉCNICA
Frequência Cardíaca	Gráfico de Linha
Frequência Respiratória	Gráfico de Linha
Distribuição de rotações de articulações	<i>Treemap</i> ou histograma
Rotações de articulações	Porco-espinho 3D
Distribuição de frequências	Histograma
Severidade do diagnóstico	Textura e pseudo-cor
Camadas de informação mapeadas	Transparência, pseudo-cor e textura
Procedimentos terapêuticos	Grafo

Tabela 4.6. Situação *versus* técnicas a aplicar

Os dados disponíveis na **Base de Dados Cartográfica**, relativos a resultados de avaliações, utilizam as técnicas de visualização propostas na tabela 4.6. Os avisos de alarme eventualmente recebidos do componente de **Análise de Dados** (ocorrência de uma situação de perigo, como por exemplo, uma frequência cardíaca acima do permitido para o paciente), são visualizados com o auxílio de técnicas apropriadas para captar rapidamente a atenção do utilizador: mensagem textual, efeito pisca-pisca e som.

4.4. Conclusões

Este capítulo constitui o núcleo central desta proposta de tese. Nele é apresentada a questão que norteia a investigação em curso, bem como a hipótese que lhe procura dar resposta. O capítulo apresenta também uma visão geral do modelo proposto e apresenta cenários exemplificativos da sua utilização. Posteriormente foram descritos, a um nível macroscópico, os componentes que o constituem. O capítulo termina apresentando os estudos de caso que serão utilizados para validar e averiguar a utilidade do modelo proposto, nomeadamente através do estudo de sessões de hidrocinésioterapia e do diagnóstico da artrose no joelho.

O processo de levantamento das heurísticas de diagnóstico da artrose no joelho foi bem mais complexo de realizar do que inicialmente se esperava. A árvore de decisão apresentada na figura 4.14 não foi de fácil realização e exigiu muita interação (e conseqüentemente tempo) com médico especializado na área.

Por último, em função dos levantamentos efectuados para propor este trabalho, foi possível constatar a ausência de modelos para a visualização e análise de dados do corpo humano na área de hidrocinésioterapia e do diagnóstico da artrose no joelho, bem como a de modelos orientados à visualização e análise do corpo humano com base em modelos cartográficos.

Capítulo 5

Avaliação do Modelo CHUB

Com base no modelo apresentado no capítulo anterior foi implementado um protótipo. As áreas utilizadas para a sua aplicação e avaliação estão associadas à análise de sessões de hidrocinesioterapia e ainda à área de ortopedia, com especial ênfase no diagnóstico da artrose no joelho.

No que diz respeito aos cenários para aplicação e avaliação do protótipo, e nomeadamente no que diz respeito ao levantamento de requisitos e dados contou-se com a colaboração de profissionais da área da saúde (médicos e fisioterapeutas) do Hospital da Prelada do Porto e da Clínica de Saúde Atlântica, no Estádio do Dragão, no Porto.

Este capítulo descreve todas as etapas que foram executadas para implementar um protótipo com base no modelo CHUB e efectuar a sua respectiva avaliação. Este capítulo começa por apresentar os requisitos identificados, seguindo-se uma breve descrição das funcionalidades implementadas e do ambiente de visualização.

5.1. Levantamento de Cenários e Requisitos

5.1.1. Sessões de Hidrocinesioterapia

No sentido de ajudar a perceber o grau de conhecimento de informática, sob o ponto de vista do utilizador, que médicos e terapeutas da área possuíam, bem como obter uma melhor percepção do modelo visual e funcional pretendido por eles, foi elaborado um questionário. Na primeira reunião, esse questionário foi preenchido e com base nas respostas obtidas, foi possível obter-se uma melhor caracterização da área e das suas necessidades técnicas. Por fim,

foram realizadas mais duas reuniões com os profissionais da área e o acompanhamento *in loco* de uma sessão de hidrocinésioterapia.

O cenário considerado como padrão para a realização de uma sessão de hidrocinésioterapia engloba os seguintes aspectos:

- A utilização pelo paciente de um fato aquático especial que integra diversos (neste caso um mínimo de 7 no total) sensores;
- Os sensores devem permitir auferir o grau de rotação das articulações das ancas, ombros e coluna vertebral, além da frequência cardíaca e respiratória;
- A execução das sessões dentro de uma piscina pelo paciente vestido com o fato;
- As leituras registadas pelos sensores são enviadas para um computador por rádio frequência em tempo real;
- A recepção via porta USB do computador dessas leituras e respectiva gravação em ficheiro ASCII;
- Um máximo de 10 fatos a serem utilizados em simultâneo;
- Distância máxima de 10 metros entre o receptor ligado à porta USB do computador e o fato com sensores;
- Sessões com duração máxima de 30 minutos;
- Eliminação de ruído ao nível de sensores.

Os principais requisitos identificados foram:

- Possibilidade de gravar as sessões de hidrocinésioterapia (de forma a ser possível mais tarde a sua análise e visualização) e de gerir esse repositório;
- Incluir uma BD para registar pacientes;
- Associar os fatos aos respectivos pacientes que executam a sessão;
- A capacidade de analisar a sessão em tempo real;
- Avaliar o histórico das sessões (um máximo de 10) do mesmo paciente (realizadas em momentos temporais diferentes) ou de apenas uma sessão (após o seu término);
- Analisar estatisticamente e matematicamente uma sessão ou várias sessões (temporalmente separadas);
- Emissão de alarme sonoro e visual no caso de perigo para o paciente, durante a execução de uma sessão;
- Utilização de senha de acesso;

- Visualização de resultados com técnicas visuais expressivas e significativas;
- Capacidade de rever a visualização de resultados (criação de filmes das visualizações resultantes);
- Possibilidade de gravar os resultados das análises estatísticas e matemáticas das sessões;
- Ambiente mono utilizador (pelo menos numa primeira versão);
- Capacidade de visualizar e analisar em simultâneo dados oriundos de até 10 fatos em simultâneo;
- Facilitar tarefas de *backup* e limpeza do disco (repositório de gravações de sessões e resultados, em especial);
- Indicação da carga da bateria do fato;
- Interface simples e intuitiva, pois os utilizadores são pouco ou nada familiarizados com a utilização de computadores (fácil utilização);
- Garantir a portabilidade e elevada fiabilidade de resultados.

Por último, com base nas respostas obtidas nos questionários, foi também possível constatar a total ausência de aplicações e/ou modelos orientados para esta área de aplicação, e principalmente, a inexistência de um modelo visual ou funcional estruturado por parte do utilizador. Os potenciais utilizadores estão habituados no máximo a visualizar gráficos em 2D oriundos de ferramentas do tipo folha de cálculo e não executam normalmente nenhum tratamento analítico/estatístico sobre os dados. Também se verificou a inexistência de qualquer BD digital disponível para os registos de dados sobre os pacientes.

5.1.2. Diagnóstico da Artrose no Joelho

Duas fases foram obrigatórias de forma a caracterizar de forma apropriada os requisitos necessários: a de identificar o que é o acto de diagnosticar para um médico e a de traduzir em termos lógicos como o diagnóstico da artrose no joelho é executado. Além da consulta de bibliografia apropriada, foi essencial a realização de várias entrevistas/reuniões com o médico especialista da área, de forma a se elaborar interactivamente o fluxograma que é evidenciado na figura 4.14 do capítulo anterior.

O diagnóstico que é elaborado pelo médico tem como base as seguintes etapas e pontos de apreciação do joelho [Russel2004]:

- *Dor*: deve ser avaliado se a dor é local ou irradiada, permanente ou intermitente, e ainda a sua duração e natureza. Se está associada à limitação da mobilidade, rigidez ou estabilidade.

Também devem ser verificados os factores que aliviam ou agravam a mesma e realizados testes apropriados para avaliar rupturas, quistos ou outras enfermidades.

- *Observação:* Exame visual que o médico faz ao joelho.
 - Presença ou ausência de alterações na pele, nomeadamente, calosidades, fistulas, cicatrizes ou alterações dermatológicas;
 - Se o joelho é varo, valgo, *recurvatum*³⁴ ou tem limitação de extensão/flexão;
 - Nas partes moles:
 - Desaparecem as concavidades ou depressões com sinovite³⁵ ou líquido intra-articular³⁶;
 - Distensão das concavidades supra rotulianas (acima da rótula);
 - Aumento do volume do joelho;
 - Aumento do cavado poplíteo³⁷;
 - Atrofia da coxa.
- *Palpação:* Exame físico feito pelo toque.
 - Aumento da temperatura;
 - Edema ou líquido intra-articular;
 - Palpação mole, tipo esponja de borracha;
 - Anomalias na forma óssea e seus contornos;
 - Aumento do volume global ósseo.
- *Cinésia do joelho:* Exame em que é verificada a capacidade de extensão ou flexão do joelho pelo paciente. Pode ser passiva (quando o movimento é efectuado pelo médico) ou activa.
 - Não faz extensão e/ou flexão e não tem traumatismo.
- *Testes Meniscais:* Servem para avaliar o estado do menisco do paciente.
 - Dor na interlinha articular com movimento de semi-flexão, com pé fixo e rotação;
 - Limitação de extensão, sensação de falência e fraca estabilidade interna;
 - Testes de MacMurray ou Appley [Russel2004] .
- *Estabilidade:* Avaliação do equilíbrio do paciente.
 - Testes de abdução e adução do joelho positivo e apresenta abertura (afastamento das pernas) significativa com a perna esticada;
 - Flectido a 20 graus e abdução com grande abertura;

³⁴ Deformidade óssea que causa uma curvatura acentuada da perna para trás.

³⁵ Inflamação da membrana sinovial do joelho.

³⁶ Líquido sinovial para lubrificação da articulação.

³⁷ Relativo à parte posterior do joelho.

- Estalido na altura da lesão;
 - Teste de gaveta posterior e anterior;
 - Teste de Lachman [Russel2004];
 - Teste *reverse pivot shift* [Mendes2006];
 - Teste *pivot shift* [Mendes2006].
- *Exames Complementares:*
 - Radiografia de frente e perfil em carga;
 - Radiografia axial da rótula a 30 graus;
 - Radiografia extra longa com carga;
 - Ecografia, TAC (Tomografia Axial Computorizada), RM (Ressonância Magnética) e cintigrafia podem também serem necessários;
 - Artroscopia, que também permite a cirurgia;
 - Análise de sangue: provas reumáticas;

Os principais requisitos identificados foram:

- Avaliação do diagnóstico da artrose no joelho do paciente, segundo a selecção de causas, sintomas ou resultados de radiografias pelo utilizador do protótipo;
- Cálculo percentual do peso do contributo das selecções efectuadas no diagnóstico final;
- Identificação de todos os diagnósticos parciais, caso existam;
- Apresentação de resultados por ordem de severidade;
- Indicação do conjunto de procedimentos terapêuticos a serem adoptados, mediante o diagnóstico auferido;
- Capacidade de visualizar a severidade do diagnóstico mapeada de forma conveniente;
- Possibilidade de interacção com a visualização e de realce de partes;
- Consulta visual aos RXs e RMs do paciente.

5.2. Implementação do Protótipo

Com base no levantamento realizado e nos objectivos propostos para este trabalho, foi desenvolvido um protótipo com base no modelo CHUB adaptado. Este protótipo atende tanto a análise e visualização de sessões de hidrocinesioterapia, bem como proporciona apoio ao diagnóstico da artrose no joelho do paciente.

Tendo como suporte os requisitos identificados em cada caso, procedeu-se à avaliação das possíveis ferramentas de código aberto para a implementação do protótipo. Da análise realizada, verificou-se que o VTK [VTK2007] e o KWWidgets [KWWidgets2007], ambos da Kitware Inc., seriam uma boa solução, dado o alto nível de abstracção desejado, além das características de visualização, portabilidade e baixo custo que estão garantidas de uma forma satisfatória.

O VTK é uma biblioteca de computação gráfica 3D para a visualização e processamento de imagem. O KWWidgets é uma biblioteca para o desenvolvimento de interfaces gráficas. Ambos utilizam o Tcl/Tk como linguagem script. Como se optou por orientar toda a implementação do protótipo para o paradigma orientado aos objectos, foi adoptado o C++ (Visual C++ 8.0™ da Microsoft) como linguagem de desenvolvimento.

Com base na arquitectura adaptada do modelo CHUB proposta na secção 4.3.2 do capítulo anterior, foi implementado um protótipo. As próximas subsecções apresentam o protótipo que foi implementado. A figura 5.1 ilustra um conjunto de visualizações disponíveis no protótipo.

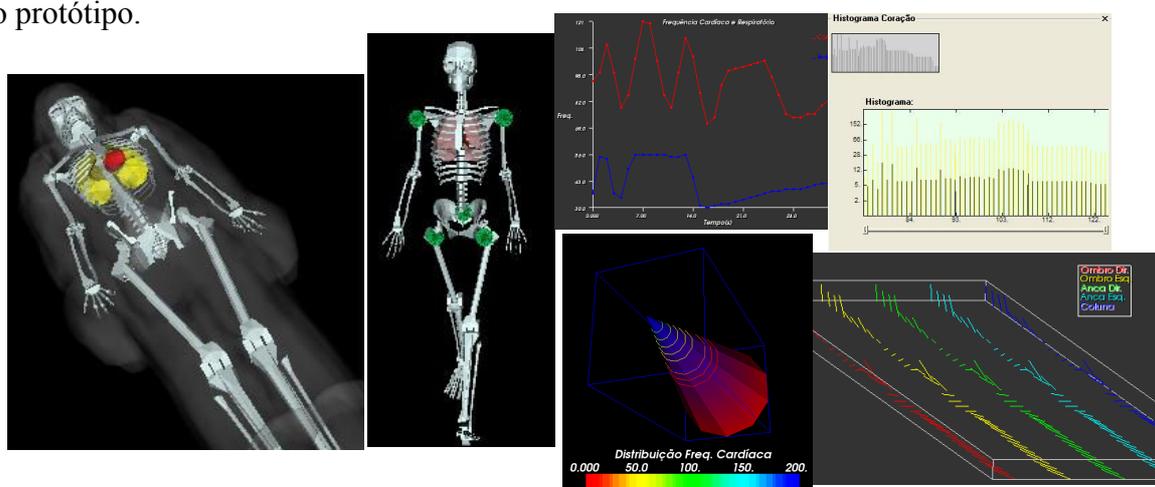


Figura 5.1. Visualizações criadas pelo protótipo

5.2.1. O Ambiente e a Interação

A janela da aplicação (figura 5.2) é composta por um menu de topo textual (1), uma barra de *status* (2) e está dividida por quatro separadores (3). Cada separador identifica uma camada diferente da janela: interação com a base de dados, análise de sessão ou histórico de sessões de hidrocinésioterapia e o diagnóstico da artrose no joelho. Em cada separador existem 3 áreas distintas: controlos e *widjets*³⁸ (4), área de visualização principal (5) e visualização

³⁸ Símbolo gráfico que permite a interação entre o utilizador e o computador.

secundária (6). Cada área é redimensionável com o auxílio do rato e corresponde a uma *frame*³⁹ que é utilizada como “pai” para a disposição de janelas, botões ou texto, por exemplo. O utilizador pode alternar facilmente entre separadores, tendo assim em simultâneo tabelas para edição ou consulta, visualização da análise de uma sessão gravada de hidrocinésioterapia, ou ainda o diagnóstico da artrose no joelho de um paciente. A figura 5.2 mostra a interface com as diversas zonas identificadas.

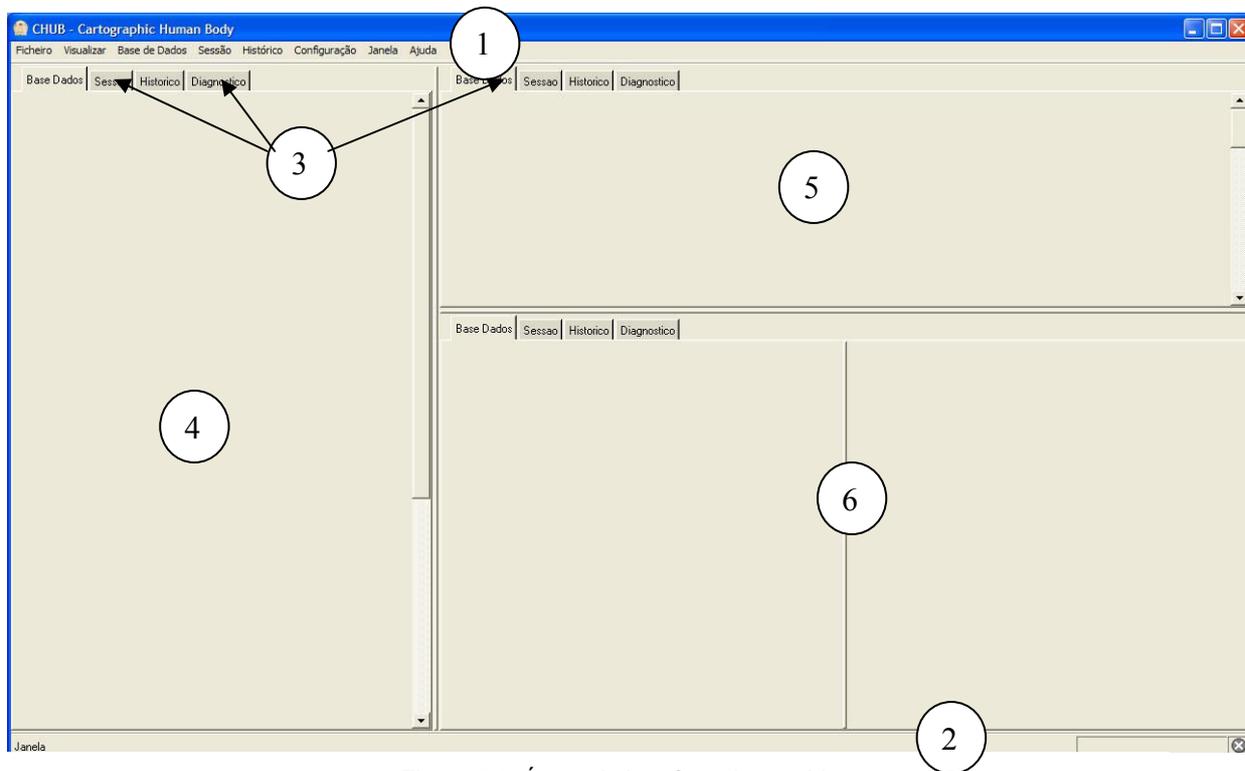


Figura 5.2. Áreas da interface do protótipo

O menu é textual e está localizado no topo da janela principal da aplicação. É através dele que o utilizador tem acesso a todas as funcionalidades disponíveis no protótipo. As seguintes opções estão disponíveis:

- Ficheiro – Fechar ou sair da aplicação.
- Visualizar – Definições da interface e edição destas.
- Base de Dados – Edição ou consulta de tabelas ou eliminação de gravações.
- Sessão – Gravar ou interromper a gravação. Análise e visualização de uma sessão.
- Histórico – Análise e visualização de várias sessões de forma comparativa.
- Configuração – Permite parametrizar alguns aspectos da gravação das sessões.
- Diagnóstico – Análise e visualização do diagnóstico da artrose no joelho (Sub-menu do menu Sessão).
- Janela – Gestão da visualização das diversas áreas que compõem a aplicação e consola de erros e Tcl/Tk.

³⁹ É um caixilho que é utilizado para compor e dispor toda a parte estrutural da interface.

- Ajuda – Apresentação geral sobre o protótipo.

A barra de *status* está localizada no fundo da janela e serve basicamente para enviar mensagens para o utilizador, que podem ser de alerta (em caso de erro), de ajuda (esclarecimento sobre as opções que estão a ser activadas pelo utilizador) ou ainda para indicar em termos percentuais o quão completa uma determinada tarefa que está a ser processada, ou se efectivamente está.

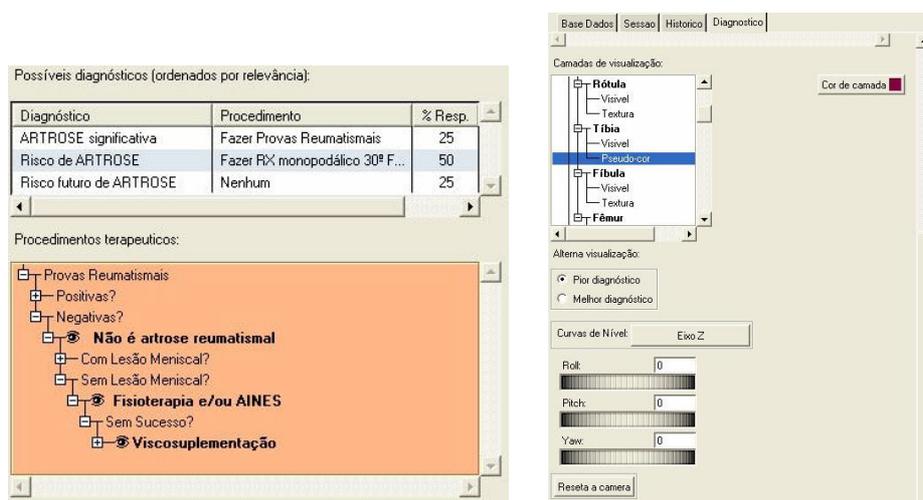


Figura 5.3. *Widgets* na área de controlos no diagnóstico da artrose no joelho

A área de controlos e *widgets*, consoante a opção activa, exige um conjunto diferenciado de controlos para permitir uma adequada interacção entre o utilizador e o protótipo. Esta área vai sendo continuamente actualizada e preenchida com variados *widgets* (*file browser*⁴⁰, botões, controles de cor, *tree browser*⁴¹, entre outros) segundo as exigências das tarefas que estão a decorrer na aplicação. No caso de operações com BD e de configuração do protótipo, esta área também é utilizada para apresentar as tabelas e não apenas os controlos (como ocorre nos demais casos). A figura 5.3 ilustra alguns *widgets* que ficam disponíveis no momento da execução do diagnóstico da artrose no joelho. À esquerda estão visíveis a tabela com os diagnósticos obtidos, ordenados em ordem decrescente de gravidade, e a árvore de decisão para os procedimentos terapêuticos a adoptar em função do pior diagnóstico. À direita estão *widgets* que permitem interagir com as representações do joelho disponíveis na janela principal de visualização da aplicação: um *tree browser* para facilitar a interacção com o modelo 3D do joelho; botões para alternar entre a visualização do melhor e pior diagnóstico; e o controlo para alterar entre curvas de nível orientadas segundo x, y ou z e potenciômetros para ajustar a posição da câmara virtual (*pitch*, *yaw* e *roll*⁴²).

⁴⁰ Lista os itens sequencialmente permitindo inclusive a selecção destes.

⁴¹ Lista os itens na forma de uma árvore hierárquica, onde existe claramente uma relação pai-filho, permitindo inclusive a selecção destes.

⁴² Ângulos que definem a orientação espacial no espaço 3D. Terminologia utilizada na aeronáutica.

As áreas de visualização principal e secundárias são dedicadas à apresentação de resultados na forma de gráficos, tabelas ou representações de modelos em 3D. No caso das representações em 3D, o utilizador pode alterar interactivamente com o auxílio do rato a posição da câmara virtual, efectuar o zoom ou o *panning* da representação gráfica, alterar para modo estereoscópico ou ainda entre a representação por pontos, *wireframe*⁴³ ou sólida do modelo (com o menu do botão direito do rato). A área secundária é composta de duas janelas distintas, enquanto que a principal, de apenas uma.

TABELA Configuração:	
DIRECTORIA:	
ODBC:	ic:
MAX_NUM_TERAPEUTAS:	Chub
MAX_NUM_MEDICOS:	50
MAX_NUM_PATOLOGIAS:	50
SZ_SEXO:	50
SZ_STATUS:	2
SZ_FACTOR_RISCO:	2
SZ_CAM_GRAV:	50
SZ_MORADA:	100
SZ_PACIENTE:	50
SZ_PATOLOGIA:	50
SZ_TERAPEUTA:	50
SZ_MEDICO:	50
MAX_NUM_WIDGETS:	50

Gravar e Sair Sair

Figura 5.4. Edição da tabela de configuração

Estas áreas podem apresentar os seguintes conteúdos em função da funcionalidade que esteja activa:

- Base de dados: mostram as tabelas para edição ou consulta. Cada uma delas fica dedicada a uma determinada tabela. Aliás, a própria área de controlos e *widgets*, também é utilizada para este fim, como já referido anteriormente. A figura 5.4 ilustra a edição da tabela de configuração da aplicação.

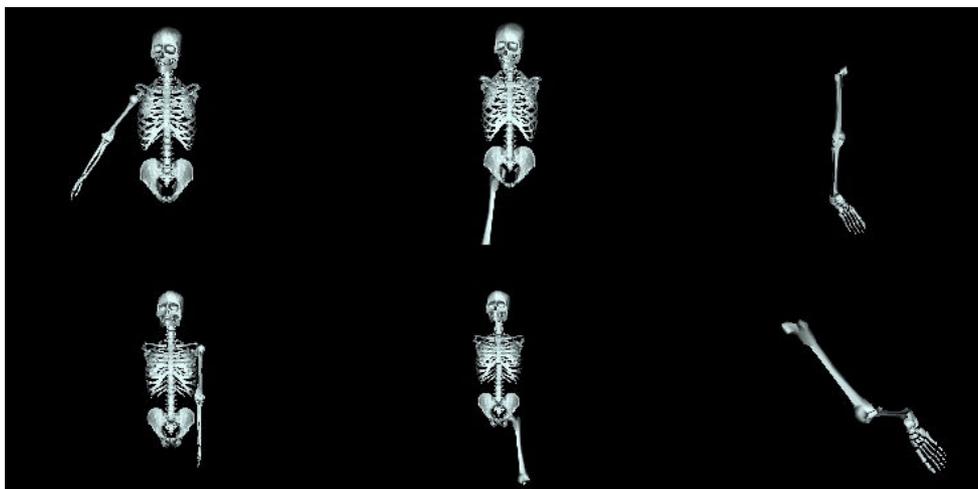


Figura 5.5. Janela principal de visualização na análise de sessão de hidrocinesioterapia

⁴³ Representação visual com linhas da malha que define um objecto.

- Sessão de hidrocinésioterapia e histórico – a janela principal é subdividida em seis visores (*viewports*)⁴⁴ e são representados os valores de rotação máximos, mínimos ou médios (conforme a opção do utilizador) obtidos nas articulações (ombros, ancas e joelhos), sendo estes mapeados num modelo em 3D do esqueleto humano fragmentado (ver a figura 5.5). Cada visor é totalmente autónomo e o utilizador pode interagir com cada um independentemente. A primeira janela secundária está subdividida em dois visores, sendo que no primeiro (ver figura 5.6) é representado o esqueleto de forma dinâmica (“*play*” da sessão gravada de hidrocinésioterapia) com a indicação da localização dos sensores (*glyphs* verdes) e no segundo a coluna mapeada com a rotação máxima, mínima ou média. A segunda janela secundária é utilizada para visualização do gráfico de linha do batimento cardíaco e frequência respiratória. A cor vermelha é utilizada para o coração enquanto que a azul para a respiração (figura 5.11).

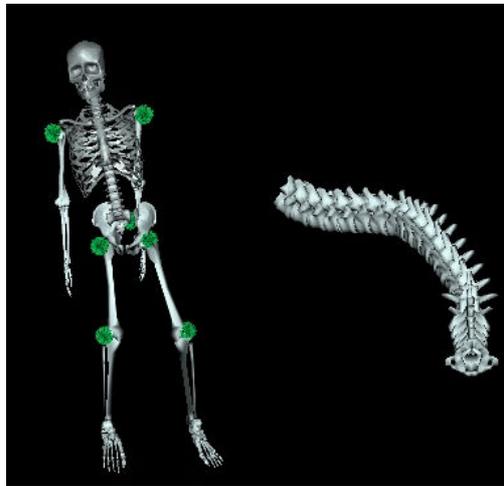


Figura 5.6. Janela secundária de visualização na análise de sessão de hidrocinésioterapia

- Diagnóstico: A janela principal é subdividida em dois visores. No primeiro visor é representado o joelho (com todas as suas partes constituintes) com cor e textura directamente associados à gravidade do diagnóstico e transparência a 80%, enquanto que na segunda o joelho é visualizado sem a pele e com curvas de nível a indicar a variação de x, y ou z (ver figura 5.7). Ao contrário do que ocorre na visualização de sessões de hidrocinésioterapia, estas duas janelas estão coordenadas entre si, ou seja, se o utilizador fizer por exemplo o zoom ou *panning* numa delas, automaticamente a outra também é actualizada. Cada janela secundária é subdividida em quatro visores. Nestes visores são mostrados os RXs ou RMs do paciente com saturação e intensidade variados de forma a salientar melhor os detalhes (ver figura 5.8).

⁴⁴ Corresponde à divisão de uma janela de visualização principal em outras janelas. Cada uma mostra uma porção diferente da informação.

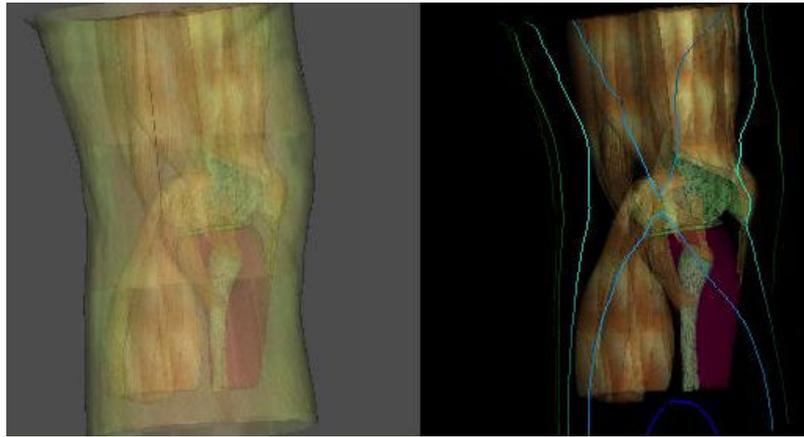


Figura 5.7. Janela principal na visualização do diagnóstico da artrose no joelho

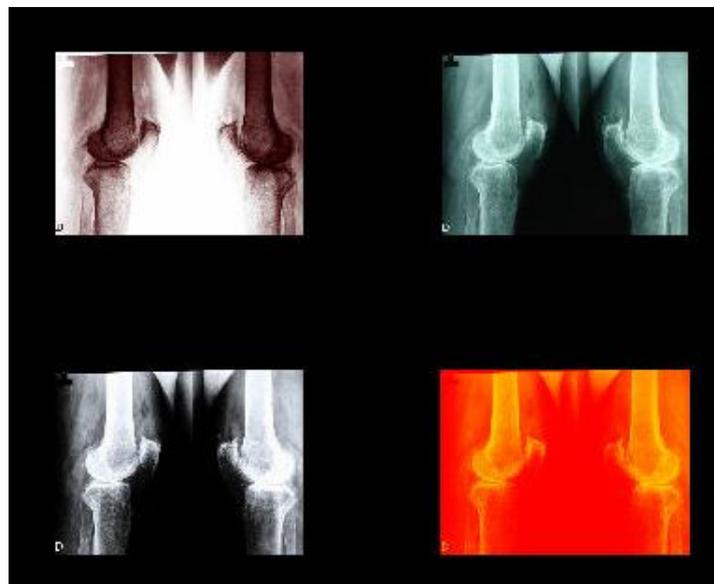


Figura 5.8. Janela secundária na visualização do diagnóstico da artrose no joelho

Em termos de manuseamento das funcionalidades do sistema, o utilizador deve sempre inicialmente accioná-las via menu principal. Quando este deseja executar a análise de uma ou várias sessões de hidrocinesioterapia, por exemplo, deve identificar o paciente e escolher qual(is) o(s) ficheiro(s) de gravação que devem ser considerados. Posteriormente é necessário indicar a granularidade, isto é, o nível de agregação que deve ser aplicado aos registos presentes no(s) ficheiro(s). Este procedimento é importante, pois uma sessão pode contar com algumas centenas de registos (o que tem impacto directo no desempenho da aplicação). Quando se trata do diagnóstico da artrose, também é necessário identificar o paciente e associar os sintomas, causas e exames que eventualmente existam. Após estas etapas, e em cada caso respectivamente, a interface é actualizada (no respectivo separador) e os resultados são apresentados. No caso da gestão das BDs, basta a identificação da tabela que o utilizador deseja editar/consultar para que esta seja disponibilizada no separador apropriado.

5.2.2. O componente Repositório de Dados

Em termos tecnológicos para a implementação da **Base de Dados Qualitativa e Heurística** recorreu-se a uma base de dados relacional, nomeadamente ao Microsoft Access™. As tabelas construídas são acedidas via ligações ODBC (*Open Database Connectivity*). Toda a interface com as tabelas, bem como a gestão dos registos (inserção, eliminação, alteração e consulta) é realizada com a utilização de comandos em SQL (*Structured Query Language*) invocados via C++. Neste momento é possível inserir, eliminar, alterar e consultar registos via interface do sistema em qualquer uma das quatro tabelas: **Paciente**, **Terapeuta**, **Médico** e **Patologia**. Foram também implementados mecanismos de validação de campos, para evitar erros de inconsistência, para além da criação de chaves. Além disso, é disponibilizada uma tabela para configuração do funcionamento do protótipo, sendo possível editá-la via interface da aplicação. A figura 5.9 ilustra a interface desenvolvida para interagir com estas tabelas.

As tabelas da **Base de Dados Heurística** foram criadas segundo o proposto na figura 4.17 do capítulo anterior, porém não apresentam uma interface externa com o utilizador. Esta opção deve-se ao facto de se estar a lidar com um protótipo, e no caso do diagnóstico da artrose, as tabelas devem apresentar um conteúdo estático e não passível de alteração por parte do utilizador final. A mesma situação ocorreu no caso das tabelas relacionadas com a hidrocinésioterapia. Em relação à tabela **AnaliseNumerica** apenas a versão orientada para a avaliação da média aritmética e valores máximos foram efectivamente implementadas, não sendo contempladas as situações de valores mínimos ou desvios padrão.

Para carregar a **Base de Dados Geométrica** da aplicação, foram importados um conjunto de modelos à partir do site do INRIA (*Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*) [INRIA2007], nomeadamente do coração, pulmões, esqueleto do corpo humano, e todas as partes constituintes do joelho (ligamentos, músculos, ossos, meniscos e pele). Todos os ficheiros estão no formato OBJ que é passível de leitura pelo VTK. Estes modelos, apesar de servirem os propósitos de avaliação do protótipo, não possuem rigor científico no que diz respeito à sua dimensão ou detalhe, nem possuem a mesma referência espacial. Para corrigir este problema, recorreu-se à implementação de métodos específicos para executar o alinhamento espacial e de escala, sempre que necessário (através de operações de transformação). Estes métodos estão incluídos dentro da classe que constitui parte fundamental deste componente (em especial, na **Gestão do Repositório de Dados**).

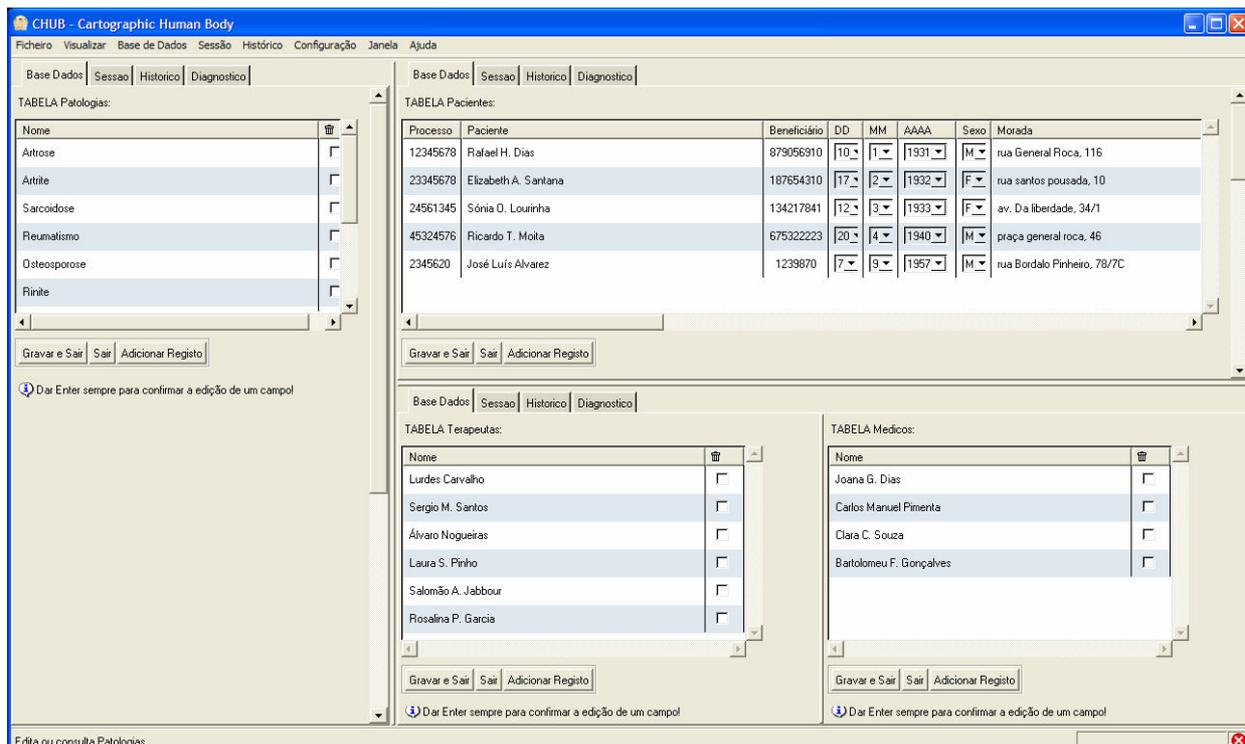


Figura 5.9. Interface com a Base de Dados Qualitativa no caso da hidrocinestoterapia

Os dados de sessões de hidrocinestoterapia estão a ser gravados em formato ASCII. Estes ficheiros compõem a **Base de Dados Quantitativa**. Para uma melhor gestão deste repositório foi definida uma árvore de directorias, cujas pastas têm como nome o número de beneficiário do paciente. Esta árvore é dinamicamente actualizada pela aplicação à medida que novos pacientes são inseridos ou eliminados. O caminho que aponta para a pasta do utilizador é armazenado na própria tabela **Paciente** num campo próprio. O nome do ficheiro é criado com a combinação do número de beneficiário e a data e hora da gravação. Nesta versão é também já possível ao utilizador apagar gravações de um determinado paciente. No caso do diagnóstico da artrose no joelho, a nível de resultados de exames de sangue ou ainda de radiografias, foram criadas tabelas para conter essa informação (tanto qualitativa como quantitativa). As mesmas não são passíveis de edição pois foram padronizadas e definidas segundo diversos graus de avaliação possíveis (graus de Ahlbäck e provas reumatismais). Esta informação é posteriormente utilizada como base para a identificação de resultados de exames (da BD **Heurística**) no momento do diagnóstico da artrose no joelho do paciente.

A **Base de Dados Raster** é um repositório de RXs e eventualmente, caso existam, RMs associadas aos pacientes. A ligação a esta BD é feita através de um endereço existente na tabela **Paciente**. As imagens encontram-se em formato JPEG (RXs) e DICOM (RMs).

5.2.3. O componente *Análise de Dados*

Ao nível deste componente, todas as etapas foram integralmente implementadas. Na **Seleção de Dados**, dependendo do caso, podem ser seleccionados pelo utilizador dados presentes em diferentes tabelas das BDs. Por exemplo, no caso da hidrocinesioterapia, o paciente (presente na tabela **Paciente** na BD **Qualitativa**) e uma das suas gravações (guardada no repositório de gravações que constitui a BD **Quantitativa**) têm que ser identificados pelo utilizador, para que qualquer análise possa ser efectuada. Quando se trata do diagnóstico da artrose, torna-se necessário escolher o paciente e identificar os sintomas, causas e exames realizados, acedendo respectivamente às tabelas **Paciente**, **Sintomas**, **Causas** e **Exames** (presentes nas BDs **Qualitativa** e **Heurísticas** respectivamente).

No caso da **Criação de Camadas**, como os modelos geométricos estão completamente desalinhados espacialmente (foram digitalizados com referências espaciais diferentes), foi necessário proceder à correcção desta situação, considerando o centróide do modelo do esqueleto como a base para o alinhamento e referência espacial comum. Os modelos geométricos tiveram que ser também corrigidos ao nível de escala. Essa correcção é efectuada no componente **Repositório de Dados**, como já referido anteriormente. As camadas são estruturadas internamente à aplicação segundo o proposto na figura 4.8 do capítulo anterior.

Em termos da etapa de **Tratamento de Dados** é possível identificar os valores máximos, mínimos e médios, o desvio padrão e a regressão linear globais e parciais (de acordo com a granularidade definida, são criados subconjuntos de dados dentro de uma mesma sessão) de uma ou várias sessões de hidrocinesioterapia seleccionadas. Os resultados são armazenados em estruturas internas à aplicação e gravados em ficheiros ASCII na pasta de sistema pertencente ao paciente em análise. O cabeçalho do ficheiro inclui o nome do paciente, a(s) data(s) de realização da(s) sessão(ões) considerada(s) para análise e o número de beneficiário, entre outras informações. Estes ficheiros são enviados para a **Base de Dados Estatística**.

Ao nível da etapa **Processamento de Camadas** apenas foi implementada a componente de diagnóstico da artrose no joelho. Esta opção deveu-se ao facto de se pretender validar em especial a utilização da álgebra de mapas para avaliar dados associados ao corpo humano. Esta situação é bem mais complexa que a proposta para a hidrocinesioterapia. Assim a validação deste cenário, assume-se, só por si, como um contributo satisfatório para se conseguir auferir a validade do modelo proposto.

Em termos da etapa **Interpretação de Resultados**, está implementada a análise em tempo real de situações de risco (alarmes) e a monitorização do batimento cardíaco, em simultâneo com a gravação de uma sessão de hidrocinesioterapia, a avaliação dos valores máximos e médios globais de toda a sessão e das amplitudes entre os valores médios, máximos, mínimos e médios ocorridos durante a sessão, assim como a criação da lista ordenada pela severidade do conjunto de possíveis diagnósticos auferidos, com indicação do peso total das entradas e procedimento terapêutico a adoptar em cada caso. Ao nível das radiografias, são avaliados os seus componentes de matiz, saturação e brilho, de forma a evidenciar os detalhes considerados relevantes.

5.2.4. O componente Visualização de Resultados

Com base no já implementado nos componentes anteriores foi possível a construção de um conjunto de visualizações, dando especial ênfase na área de visualização de informação. Algumas destas visualizações tiveram uma boa aceitação, enquanto que outras, após avaliação por parte dos médicos e terapeutas, foram rejeitadas (como as de porco-espinho ou cone, que cerca de 80% dos médicos e terapeutas identificou como “pouco intuitivas”).

A figura 5.10 evidencia uma das interfaces principais do protótipo implementado e que permite a análise de sessões de hidrocinesioterapia. Nesta janela é possível visualizar na área de controlos um conjunto de quatro tabelas (minimizadas) que contêm os valores globais médios do máximo, do mínimo, da média aritmética e do desvio padrão obtidos durante uma sessão de hidrocinesioterapia, os histogramas do batimento cardíaco e da frequência respiratória e um *widget* para criação de um vídeo em formato AVI a partir da visualização dinâmica na primeira janela secundária de visualização. Na janela de visualização principal estão visíveis os valores de rotação das articulações dos ombros, ancas ou joelhos mapeados directamente sobre o modelo em 3D do esqueleto humano. O utilizador pode alternar entre a visualização dos médios, máximos ou mínimos de rotação. Nas janelas secundárias estão a visualização dinâmica do esqueleto (executada com base nos registos de movimento da gravação), a coluna vertebral mapeada com o respectivo valor de rotação e os gráficos de linha do batimento cardíaco e frequência respiratória (estáticos).

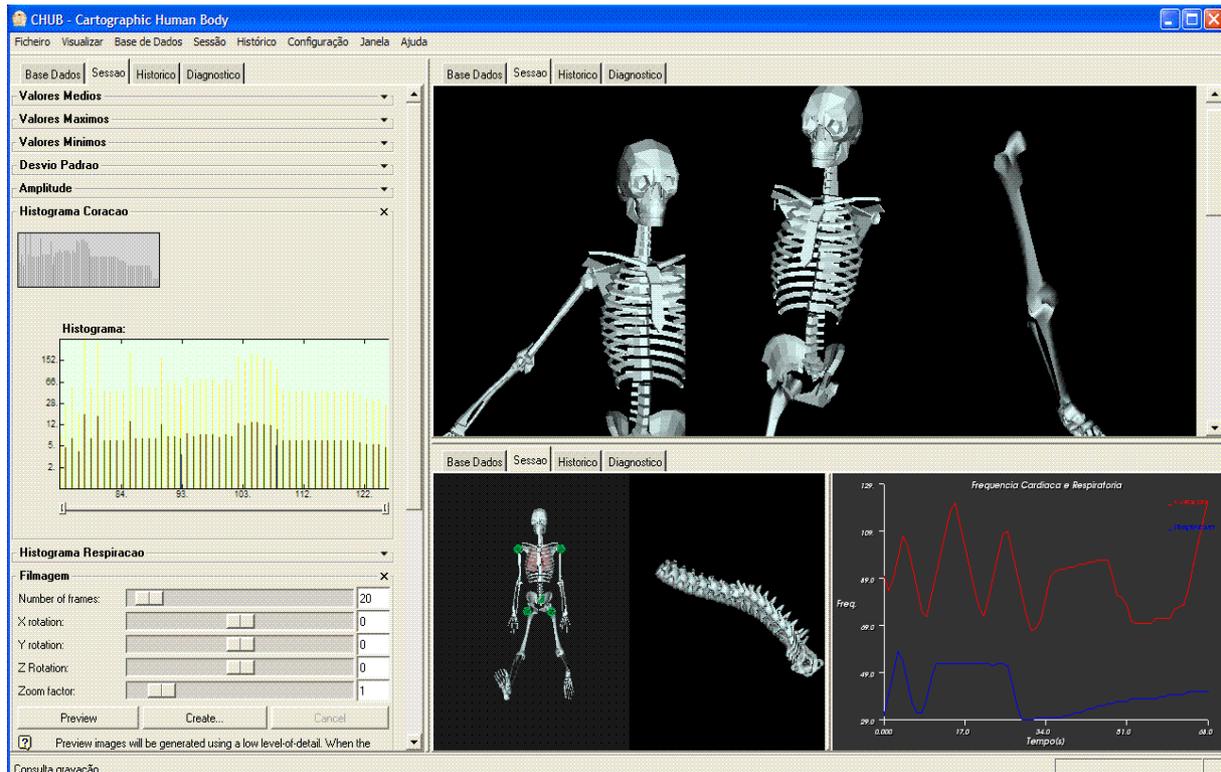


Figura 5.10. Análise de sessões de hidrocinestoterapia

No caso de estar a decorrer uma gravação, surge uma janela (ver figura 5.11) extra que mostra em tempo real o gráfico de linha do batimento cardíaco e a frequência respiratória do paciente. No caso de existirem vários pacientes em gravação é possível alternar a visualização entre cada um deles através da alteração do identificador do fato vestido. Se ocorrer alguma situação de risco é imediatamente aberta uma janela de aviso com o número do fato do paciente e é tocado continuamente um alarme sonoro. Durante a gravação, a aplicação continua disponível para executar todas as outras funcionalidades pois recorre-se a criação de *threads*⁴⁵ dedicados para gerir a gravação e visualização dinâmica.

Ao nível da visualização orientada para a área de cartografia, o protótipo permite executar a segmentação e sobreposição visual e ajustar a pseudo-cor ou/e texturas de camadas, avaliar as variações das coordenadas espaciais no corpo (segundo os eixos x, y ou z) com curvas de nível em 3D, avaliar os resultados de operações de álgebra de mapas com texturas mapeadas directamente no corpo e avaliar os resultados das pontuações atribuídas aos valores médios quantitativos tratados com pseudo-cor e textura. A figura 5.12 ilustra a visualização do diagnóstico do joelho com algumas destas técnicas aplicadas. Na parte superior da área de controlos está visível uma tabela com a descrição dos possíveis diagnósticos, ordenados decrescentemente por grau de severidade, com a indicação do peso do total de causas, sintomas

⁴⁵ É o processo de divisão de tarefas em programação de computadores. Estas são processadas de forma independente da aplicação principal.

e/ou resultados de exames que efectivamente contribuíram para aquele resultado e o procedimento a adoptar. Logo abaixo está uma árvore de decisão cuja raiz é o procedimento apontado pelo diagnóstico. Este *widget* serve para auxiliar a decisão do tratamento numa fase pós-diagnóstico. Por exemplo, no caso de artrose significativa, a etapa seguinte é a de determinar se as provas reumáticas deram ou não resultado negativo. Se deram, com certeza a artrose não tem base reumática e o próximo passo será o de identificar a existência ou não de lesões meniscais. O ícone de olho é utilizado para realçar uma conclusão significativa nesta árvore. Ainda nesta área de controlos é de realçar a presença de um *widget* do tipo *tree browser* que permite que o utilizador decomponha interactivamente o modelo 3D do joelho disponível na janela principal de visualização, para além de alterar texturas ou cor de uma determinada camada da representação visual do joelho. A visualização do joelho mapeado com texturas e cor consoante a gravidade do diagnóstico pode ainda ser alternada entre as situações mais e menos graves (de forma a ficar clara a diferença entre os diagnósticos mais e menos positivos) ou o desenho de curvas de nível para uma melhor percepção da profundidade ou variações espaciais nas direcções x ou y da representação visual.

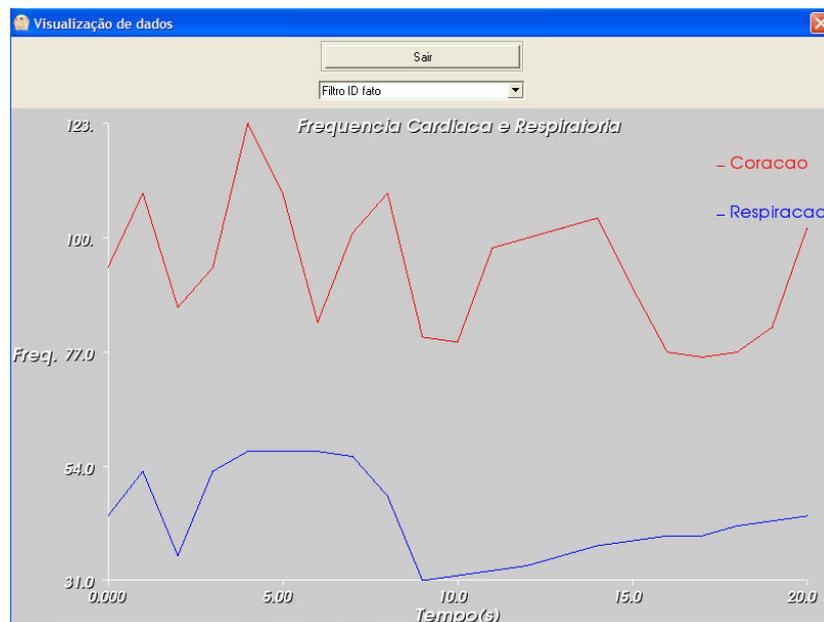


Figura 5.11. Monitorização de sessões de hidrocinesioterapia

O protótipo implementado permite a visualização das seguintes informações:

- Frequência cardíaca e respiratória – textual, histograma e gráfico de linha;
- Rotação das articulações – gráfico porco-espinho em 3D;
- Corpo humano – coração, pulmões e esqueleto com pseudo-cor ou textura, em 3D, dinâmico e com efeito estéreo. Possibilidade de alterar a escala, girar sobre

x, y ou z, alterar as propriedades atribuídas ao material⁴⁶ dos modelos e efectuar gravações no formato MPEG;

- Joelho cartográfico – 3D, com texturas, transparência, segmentação e curvas de nível;
- Procedimentos terapêuticos – grafo simples;
- Partes constituintes do joelho – grafo simples;
- Realce de alguma parte do joelho – pseudo-cor;
- Radiografias mapeadas com variações de matiz, saturação e brilho;
- Sensores – representação por símbolos, directamente sobre o esqueleto.
- Rever as gravações das sessões.

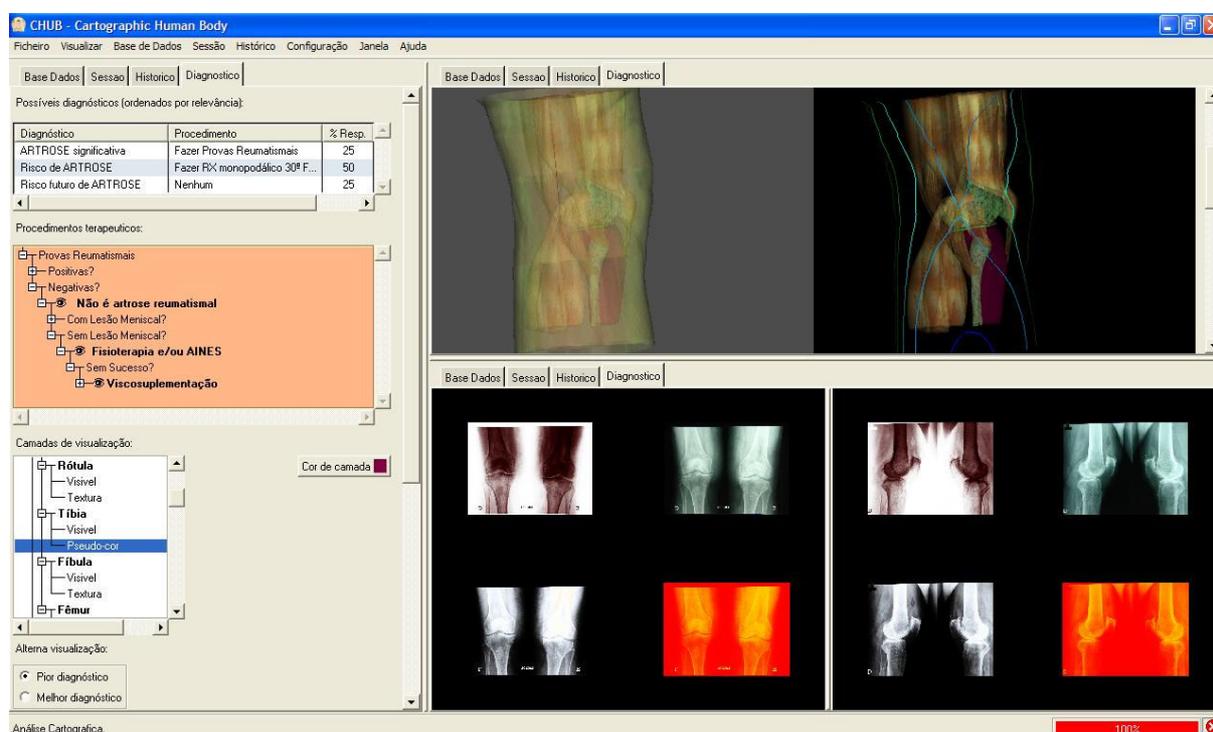


Figura 5.12. Diagnóstico do joelho

Com base no exposto anteriormente, resume-se de seguida o conjunto de funcionalidades disponíveis ao utilizador no protótipo:

- Gestão de registos de pacientes;
- Gestão do repositório de gravações de sessões e de análises estatísticas/matemáticas de sessões;
- Análise de sessão após esta ter terminado e de histórico (várias sessões), obtendo-se o desvio padrão, a média aritmética, a regressão linear, a distribuição, os máximos e mínimos;

⁴⁶ É a definição do material de que é feito um objecto a ser representado (por exemplo, madeira ou mármore). Implica na definição da cor, da textura, do brilho/opacidade, entre outras características do material.

- Possibilidade de criar subconjuntos de dados dentro de uma mesma sessão;
- Execução de operações de álgebra de mapas sobre as camadas de dados quantitativos tratados e pontuados;
- Visualizações dos resultados da análise de uma sessão ou do histórico;
- Diagnóstico da artrose no joelho do paciente;
- Identificação do conjunto possível de diagnósticos ordenados por grau de severidade;
- Cálculo do peso percentual das escolhas no diagnóstico;
- Indicação dos procedimentos terapêuticos a adoptar de acordo com o diagnóstico;
- Visualizações do diagnóstico da artrose orientadas segundo uma aproximação cartográfica – curvas de nível, visualizações por camadas e texturas;
- Visualização das radiografias com realce de detalhes.

5.3. Conclusões

Neste capítulo foi apresentado o protótipo implementado para o modelo CHUB. Este teve como base de desenvolvimento os requisitos identificados na secção 5.1 e o modelo adaptado proposto no capítulo 4. As opções tecnológicas foram norteadas por soluções de baixo ou nulo custo, elevada qualidade gráfica, e garantia de boa portabilidade, em detrimento do esforço adicional em termos de programação e complexidade de implementação.

Inicialmente foram identificados os cenários e principais requisitos para as sessões de hidrocinésioterapia e o diagnóstico da artrose no joelho. Em seguida, procedeu-se à apresentação pormenorizada do protótipo ao nível do seu ambiente e interacção, das suas funcionalidades e da correspondência entre o que foi efectivamente implementado e dos componentes descritos (nomeadamente o **Repositório de Dados, Análise de Dados e Visualização de Resultados**) na secção 4.3.2. do capítulo 4.

Em termos gerais, os testes executados mostraram um desempenho satisfatório e *fault tolerance*⁴⁷. A interface é bastante simples, intuitiva e atende às principais exigências de uma boa interacção entre o utilizador e o protótipo. Por fim, o protótipo oferece um conjunto de funcionalidades que satisfazem totalmente os requisitos identificados nos dois casos de estudo, uma comunicação de resultados clara e permite auxiliar de forma satisfatória a análise e visualização de sessões de hidrocinésioterapia e apoiar e despistar o diagnóstico da artrose no joelho dos pacientes.

⁴⁷ É a capacidade de um sistema ou aplicação computacional continuar operacional após a falha de alguns de seus componentes.

Capítulo 6

Validação do Modelo CHUB

A validação é o processo de julgar o valor de um processo, método ou modelo. Representa uma reflexão crítica sobre todos os factores que intervêm no modelo a fim de determinar quais podem ser, estão a ser ou foram, os resultados do mesmo. No caso do CHUB, a validação deve focar a utilização de um modelo orientado à cartografia para a visualização e análise do corpo humano. É importante realçar que o cerne da validação, neste caso, não se prende a questões de usabilidade, mas sim à validação do modelo empírico utilizado para representar e processar dados aplicados a procedimentos de diagnóstico médico ou à análise de sessões de hidrocinésioterapia tendo como base a utilização do modelo CHUB (e em especial, a álgebra de mapas). Existem actualmente um conjunto de metodologias orientadas para a validação do procedimento de visualização científica e de imagens médicas que podem, na medida do possível, ser adaptadas para aplicar ao CHUB e permitir sua validação. Um outro aspecto de interesse, que embora não seja o foco central da validação do CHUB, é o da validação das funcionalidades, das representações visuais e dos aspectos de interacção oferecidos em termos globais pelo protótipo.

Como o protótipo foi implementado tendo como base dois casos de estudo, são adoptadas duas estratégias diferentes de validação, de forma a se conseguir inferir os dois aspectos referidos no parágrafo anterior. Uma das estratégias é totalmente baseada na utilização de uma metodologia apropriada para a validação do modelo orientado à cartografia subjacente ao CHUB. A outra aproximação é mais informal (sem a aplicação do rigor de testes de usabilidade ou de alguma metodologia específica, por exemplo) e tem como base a recolha das impressões e opiniões directamente junto dos utilizadores do protótipo.

Este capítulo inicialmente contextualiza e enquadra a metodologia que foi utilizada para a validação do CHUB segundo a primeira estratégia proposta, bem como os factores que orientaram esta opção. Em seguida, esta é descrita em termos gerais e apresentados e discutidos os resultados obtidos na sua aplicação. Por fim, e igualmente para a segunda estratégia proposta, é também feito o enquadramento do que foi realizado e as principais conclusões e resultados apurados.

6.1. Metodologia de Validação

Santos e Dillenseger [Santos2005] propõem uma taxionomia de métodos para a validação da visualização médica. Segundo os autores, existem tipos diferentes de validações, correspondendo aos seguintes três pares de questões:

A1 – O modelo empírico se aproxima do fenómeno físico a ser compreendido?

A2 – A visualização abstracta do objecto representa o modelo empírico?

A3 – O objecto de visualização é criado através de primitivas gráficas que produzem a imagem final?

E o quão útil é para o utilizador poder compreender o fenómeno subjacente e executar as suas tarefas:

B1 – A construção de um modelo empírico específico à partir dos dados?

B2 – A selecção de uma forma esquemática de representação?

B3 – A imagem gerada?

MÉTODOS	DIMENSÃO			
	Quantitativo/ Qualitativo	Subjectivo/ Objectivo	SVH filtrado/ Não filtrado	Cognitivo/ Visual
Observadores humanos	X / X	X /	X /	X / X
Índices de qualidade	/ X	/ X	/ X	- / -
Observadores digitais	X / X	/ X	X /	? / X

Tabela 6.1. Taxionomia para validação de métodos (“-” indica “não aplicável”, “?” indica “teoricamente possível contudo de difícil execução”)

Os métodos de validação podem ser divididos em 3 tipos: os que envolvem observadores humanos, os que utilizam índices de qualidade e os que utilizam observadores digitais⁴⁸. Em termos de dimensão, os métodos de validação podem ainda ser classificados como: qualitativos/quantitativos, subjectivos/objectivos, filtrados/não filtrados pelo sistema visual humano (SVH) e visual/cognitivo. Na tabela 6.1 pode-se constatar que a utilização de observadores humanos é sempre possível em métodos cuja dimensão seja quantitativa, qualitativa, subjectiva, filtrada pelo SVH, cognitiva ou ainda visual. Para os observadores

⁴⁸ A observação e a avaliação dos aspectos visuais da imagem são efectuados com o auxílio de programas computacionais.

digitais, não é possível a sua utilização em métodos cuja dimensão seja subjectiva, não filtrado pelo SVH e embora teoricamente possível, a complexidade envolvida pode ser um factor impeditivo no caso cognitivo. A tabela 6.2 relaciona os métodos de validação aplicáveis a cada tipo de apreciação. Por exemplo, para dar resposta à questão A1 (O modelo empírico se aproxima do fenómeno físico a ser compreendido?) devem ser utilizados somente métodos que apliquem índices de qualidade cuja dimensão seja qualitativa, objectiva ou não filtrado pelo SVH. Para a questão B1 (o quanto a construção de um modelo específico empírico a partir dos dados auxilia efectivamente o utilizador a compreender o fenómeno subjacente?) podem ser considerados métodos que utilizam observadores humanos ou digitais.

	OBSERVADORES HUMANOS	ÍNDICES DE QUALIDADE	OBSERVADORES DIGITAIS
A1		X	
B1	X		X
A2	X		?
B2	X		
A3		X	
B3	X		X

Tabela 6.2. Métodos de validação aplicáveis a cada tipo de validação (“?” indica “teoricamente possível porém de difícil execução”)

No caso do CHUB é de especial interesse aplicar validações do tipo A1 e B1, pois estas centram-se mais no modelo empírico. Por outro lado, a utilização de observadores digitais pode exigir uma maior complexidade na execução. Em função disso, segundo o proposto na tabela 6.2, os métodos que podem e devem ser utilizados são os que envolvem observadores humanos ou os que consideram índices de qualidade. Tendo em conta estes factos, além da especificidade de ser utilizado como casos de estudo a área de medicina para aplicação do modelo, será adoptado como base de referência metodológica de validação o GEM – Modelo Genérico de Validação, proposto por Buvat e al. [Buvat1999]. Este modelo foi construído com base num estudo bibliográfico detalhado dos procedimentos praticados na validação do processamento de imagem e visualização na área de medicina e tem sido amplamente utilizado [Jannin2006] e com bastante sucesso [Jannin2002]. O GEM inclui a noção de uma validação hierárquica, identificando os componentes que devem ser sempre definidos no desenho do protocolo de validação e mostra as relações existentes entre esses componentes. É um modelo aberto que pode ser utilizado como guião para a estruturação de uma validação. Segundo este modelo, existem seis níveis de validação que devem ser considerados:

- Nível 1 – é designado de validação técnica da eficácia;
- Nível 2 – é designado de validação da eficácia da precisão do diagnóstico do método/modelo;

- Nível 3 – é designado de validação da eficácia da interpretação do diagnóstico na validação das tecnologias de imagem;
- Nível 4 – corresponde à validação da eficácia terapêutica da imagem e/ou visualização a testar;
- Nível 5 – corresponde à validação dos resultados em termos clínicos do paciente;
- Nível 6 – é a validação da eficácia a nível mais abrangente, nomeadamente ao nível social.

O GEM propõe também ainda um conjunto de regras que devem ser observadas no desenho de um protocolo para a validação do processamento de imagem e visualização na área da medicina. As 22 regras estão agrupadas segundo ênfases diferenciadas. As regras 1 e 2 têm um enfoque geral e inicial no processo de definição do protocolo de validação. A regra 3 refere-se ao modelo a utilizar. As regras 4, 5, 6, 7 e 8 centram-se nas questões relacionados com os dados de entrada, enquanto que a 9, nas tarefas a serem executadas. As regras 10, 11, 12, 13 e 14 focam as questões relacionadas com o observador enquanto que as 15, 16 e 17 abordam questões pertinentes à definição de referências (os resultados considerados ideais). A regra 18 refere-se a definição de índices de qualidade para a validação, e por último, as regras 19, 20, 21 e 22 ao teste da hipótese. Segue-se um resumo de cada uma das regras:

- 1: Antes de se iniciar a validação deve ser salvaguardado o facto de que deve ser considerado um nível de validação de cada vez;
- 2: Definir todos os componentes de contexto da forma mais precisa possível;
- 3: Mencionar explicitamente os valores subjacentes ao modelo e como eles foram determinados – se são valores padrão ou otimizados;
- 4: Definir o tipo de dados que serão utilizados: *in silico*, *in vitro* ou *in vivo*;
- 5: Determinar a composição da amostra, especialmente se a amostra é homogénea e em que contexto não o é.
- 6: Certificar-se de que é fornecida informação suficiente aos outros investigadores⁴⁹ de forma a criar uma amostra de composição similar;
- 7: Declarar se existe algum tipo de *bias* (desvio), pois uma amostra nunca é ideal;
- 8: Utilizar o máximo de informação para estimar o tamanho da amostra que será apropriada para o estudo;
- 9: Definir a(s) tarefa(s) de forma precisa e clara;

⁴⁹ Neste contexto, os investigadores são o grupo de pessoas envolvidas na aplicação da metodologia GEM.

- 10: Definir o observador. Se humanos, determinar se são especialistas ou “observadores normais” que serão considerados. Se especialistas é definido em que sentido eles o são;
- 11: Determinar a informação que será disponibilizada para o observador, isto é, a condição em que o mesmo actuará;
- 12: Para um observador humano, verificar se o estudo é prospectivo ou retrospectivo. Referir se o observador está ciente que a sua avaliação terá ou não impacto em termos da análise clínica final do paciente;
- 13: Definir claramente todos os resultados possíveis especialmente o que ocorrerá para os casos considerados mais periféricos ao cerne da validação;
- 14: Dar resultados tendo em conta a intra e inter variabilidade do observador;
- 15: Definir a referência que é dependente do resultado produzido pelo método e do resultado fornecido pelo observador;
- 16: Verificar se o lapso de tempo não falseia a relevância da referência;
- 17: Associar um nível de confiança com a referência;
- 18: Escolher com cuidado os índices de qualidade para a hipótese a ser testada e utilizar se necessário a combinação desses índices. Ter consciência dos limites a serem considerados para os índices de qualidade;
- 19: Escolher um teste de hipótese compatível com as propriedades do índice de qualidade;
- 20: Utilizar um teste paramétrico se os pressupostos subjacentes ao teste são verdadeiros. Em caso contrário, dar preferência à utilização de testes não paramétricos ou uma aproximação *bootstrap*⁵⁰;
- 21: Utilizar testes cruzados se possível;
- 22: Esclarecer as múltiplas comparações, se necessário.

Com base no exposto acima, a validação do CHUB segundo esta metodologia foi subdividida em 6 níveis. Como caso de demonstração, será considerado o segundo caso de estudo, que foi o do diagnóstico da artrose no joelho. Portanto, a ênfase desta validação centrou-se no paradigma da utilização de um modelo cartográfico, utilizado pelo CHUB, para a análise e visualização de dados associados ao corpo humano, nomeadamente, no diagnóstico da artrose no joelho.

⁵⁰ Em estatística, *bootstrapping* significa uma aproximação moderna, flexível, com a utilização intensiva de recursos computacionais para execução de inferências estatísticas através de métodos analíticos.

No caso do CHUB o nível 1 corresponde à demonstração de que a utilização de operações cartográficas (espaciais) sobre camadas “humano-referenciadas” de informação (em diversos níveis), permite que o diagnóstico de uma dada doença seja realizado de forma correcta e eficaz. É considerado que este nível é um pré-requisito para os restantes. O nível 2 corresponde à utilização de diferentes combinações entre causas, sintomas e resultados de exames como base de entrada para o modelo obter um diagnóstico de uma dada doença correctamente (incluindo a localização, o nível de gravidade e o peso nas entradas para o diagnóstico final auferido) e visualização correspondente do órgão afectado. O nível 3 equivale a validar se é uma mais-valia para um profissional de saúde (médico, enfermeiro, entre outros.) a visualização segundo diferentes camadas anatómicas do órgão afectado por uma dada doença (geometrias em 3D representadas com técnicas de pseudo-cor e textura segundo a gravidade do diagnóstico) e dos exames radiológicos (com níveis de saturação e matiz variáveis). O nível 4 corresponde a auferir se o modelo CHUB consegue dar suporte eficaz ao diagnóstico de uma dada doença, servindo como uma ferramenta de apoio e despiste. O nível 5 equivale a verificar se a utilização do modelo CHUB efectivamente facilita o diagnóstico de uma dada doença, através da utilização de modelação cartográfica nas camadas de informação. O nível 6 corresponde a validar se essa facilidade pode ser expandida para todas as doenças que afectam os mais variados órgãos.

Para cada nível, serão aplicadas as seguintes considerações, em termos de validação:

Nível 1:

- **Hipótese:** A utilização de operações cartográficas sobre camadas “humano-referenciadas” de informação, permite diagnosticar uma artrose no joelho.
- **Dados de entrada:** Combinações diferentes entre as 10 causas, 16 sintomas e 5 resultados de exames fornecidos ao protótipo do CHUB, sendo estes considerados do tipo *in vitro* e *in vivo*.
- **Método:** Segundo as combinações escolhidas como entrada, é calculada a taxa de sucesso nas respostas obtidas, ou seja, se é artrose ou não. Os parâmetros de entrada são considerados como padrão e são compostos pelas listas de valores possíveis para as causas, sintomas e resultados de exames radiológicos.
- **Tarefa:** É uma tarefa de caracterização. O observador fornece ao CHUB um determinado conjunto de causas, sintomas e exames radiológicos para verificar se existe artrose ou não.
- **Índice de qualidade:** A taxa de sucesso no acerto do diagnóstico da artrose.

- **Referência:** Artrose localizada no joelho é a resposta esperada e correcta, sendo dada com uma taxa de acerto total de cerca de 90%.
- **Observador:** Especialistas na área de ortopedia e fisioterapia ortopédica.

Nível 2:

- **Hipótese:** A utilização de operações cartográficas sobre camadas “humano-referenciadas” de informação, permite que o diagnóstico de uma artrose no joelho seja auferido de forma detalhada incluindo a indicação do grau de gravidade, procedimento a adoptar e o peso total dos sintomas, causas e exames a corroborar nesse diagnóstico.
- **Dados de entrada:** Combinações diferentes entre as 10 causas, 16 sintomas e 5 resultados de exames fornecidos ao protótipo do CHUB, sendo estes considerados do tipo *in vitro* e *in vivo*.
- **Método:** Segundo as combinações escolhidas como entrada, é calculada a taxa de sucesso nas respostas obtidas, ou seja, se é artrose no joelho ou não, o grau de gravidade desta, o procedimento adoptar, e o peso total das entradas nesta conclusão. Os parâmetros de entrada são considerados como padrão e são compostos pelas listas de valores possíveis para as causas, sintomas e resultados de exames radiológicos que indicam artrose no joelho.
- **Tarefa:** É uma tarefa de caracterização. O observador fornece ao CHUB um determinado conjunto de causas, sintomas e exames radiológicos para verificar se existe artrose ou não no joelho, e se houver, qual grau de gravidade e o peso das entradas na conclusão.
- **Índice de qualidade:** A taxa de sucesso no acerto do diagnóstico da artrose no joelho (localização espacial, grau de severidade, procedimento a adoptar, peso em função das entradas).
- **Referência:** Artrose localizada no joelho, com a indicação clara do grau de gravidade, procedimento a adoptar e peso total das entradas para esse diagnóstico é a resposta esperada e correcta. Taxa de acerto global em torno de 90% dos casos é a ideal.
- **Observador:** Especialistas na área de ortopedia e fisioterapia ortopédica.

Nível 3:

- **Hipótese:** É uma mais-valia na interpretação visual do diagnóstico auferido para um profissional de saúde a visualização do joelho com artrose segundo diferentes camadas anatómicas (coloridas/preenchidas com pseudo-cor e textura segundo a gravidade do

diagnóstico) e dos exames radiológicos com níveis de saturação e matiz variáveis (visualizando melhor pormenores da imagem).

- **Dados de entrada:** Respostas fornecidas pelo utilizador a perguntas do tipo “sim” ou “não” a um questionário apropriado para a validação desta hipótese.
- **Método:** Segundo a opinião expressa pelos observadores às perguntas do questionário, é calculada a taxa de satisfação. Os parâmetros de entrada são as características cognitivas e visuais dos observadores.
- **Tarefa:** É uma tarefa de detecção. O observador responde perguntas do tipo “sim” ou “não”, indicando a satisfação ou não da visualização em termos de interpretação do diagnóstico.
- **Índice de qualidade:** nível de satisfação do observador em termos visuais da interpretação do diagnóstico.
- **Referência:** Cerca de 80% das respostas são positivas em nível de satisfação, logo, a hipótese é válida.
- **Observador:** Especialistas na área de ortopedia e fisioterapia ortopédica.

Nível 4:

- **Hipótese:** O modelo CHUB consegue dar suporte eficaz ao diagnóstico da artrose no joelho, servindo como uma ferramenta de apoio e despiste.
- **Dados de entrada:** Diagnósticos fornecidos por um especialista mediante um dado conjunto de causas, sintomas e resultados, em relação à artrose no joelho e diagnósticos fornecidos pelo protótipo do CHUB mediante o mesmo conjunto de dados de entrada.
- **Método:** É avaliada a diferença entre os diagnósticos e calculada a taxa de divergência. Os parâmetros de entrada são as listas de causas, sintomas e resultados de exames. A validação deste nível pode ser derivada a partir das respostas obtidas para o nível 1 e 2.
- **Tarefa:** É uma tarefa de quantificação. O observador diagnostica a artrose no joelho mediante uma lista de causas, sintomas e resultados de exames. O observador fornece a mesma lista como entrada ao protótipo CHUB. Por fim, é calculada a taxa de divergência média entre as respostas obtidas.
- **Índice de qualidade:** a taxa de divergência média entre o diagnóstico do CHUB e a do especialista.
- **Referência:** O diagnóstico do especialista, sendo que a taxa de divergência nos resultados não deve ser superior a 10%.
- **Observador:** Especialistas na área de ortopedia e fisioterapia ortopédica.

Nível 5:

- **Hipótese:** A utilização do modelo CHUB efectivamente facilita o diagnóstico da artrose no joelho através da utilização de modelação cartográfica dos dados subjacentes.
- **Dados de entrada:** Respostas dadas pelos observadores a essa questão específica, após a utilização do protótipo do CHUB.
- **Método:** É obtida a classificação média da opinião obtida junto aos observadores, através de questionário apropriado. O questionário é composto por questões de escolha múltipla, cada uma indicando o nível de utilidade com um grau específico.
- **Tarefa:** É uma tarefa de classificação. O observador classifica a utilização do CHUB em termos de ferramenta de apoio ao diagnóstico da artrose no joelho (“*inútil*”, “*é útil*”, “*é bastante útil*”). Por fim, é calculada a classificação média obtida nas diversas respostas.
- **Índice de qualidade:** a opinião sobre a utilidade do modelo CHUB como ferramenta de apoio ao diagnóstico da artrose no joelho.
- **Referência:** 80% das classificações indicarem que é útil.
- **Observador:** Especialistas na área de ortopedia e fisioterapia ortopédica.

Nível 6:

- **Hipótese:** O modelo CHUB pode ser aplicado com sucesso para o apoio e despiste ao diagnóstico de outras doenças que possam acometer o joelho, entre outros órgãos ou sistemas do corpo humano.
- **Dados de entrada:** As respostas obtidas nos níveis 1 e 4 servem de entrada para a validação da hipótese deste nível.
- **Método:** É avaliado se as respectivas referências foram efectivamente alcançadas em cada nível.
- **Tarefa:** É uma tarefa de quantificação. O observador quantifica quantos casos no nível 1 e 4 atingiram as respectivas referências propostas.
- **Índice de qualidade:** a validação da efectividade e fiabilidade do modelo CHUB para apoio ao diagnóstico de doenças.
- **Referência:** A quantidade em cada nível (1 e 4) seja superior a 80%.
- **Observador:** não é necessário alguém com características técnicas especiais, já que é uma tarefa de cálculo estatístico do resultado geral dos outros níveis.

Como dados de entrada foram considerados um total de 30 diagnósticos realizados por médicos e associados a 30 quadros clínicos de pacientes. Cada um deles poderia ou não indicar artrose no joelho, e no caso de existir essa doença, possuir graus de severidade bastante variados. Nos níveis de validação em que é utilizado um valor percentual para indicar a referência de qualidade, a escolha da amplitude deste teve sempre como objectivo garantir um grau de exigência elevado (diferenças entre o objectivo ideal e aceitável de no máximo 20%) tendo em conta o número total de amostras que são consideradas (30, o que equivale a uma taxa de insucesso de apenas 6 casos no máximo). Daí que em situações onde, por exemplo, o valor de 100% seria o objectivo ideal, é considerado como válido o resultado geral do nível se este for no mínimo de 80%. Em alguns casos, é mesmo considerado um mínimo de 90% (insucesso de apenas 3 casos no total de 30).

6.1.1. Validação das Hipóteses Formuladas

Tendo como base a metodologia proposta na secção 6.1, foi estruturado um questionário para o levantamento de informação e foram realizados testes ao protótipo do CHUB. Estes testes permitiram recolher resultados significativos que auxiliaram numa validação objectiva do modelo proposto nesta tese, e em especial, da sua eficácia como ferramenta de apoio à análise e diagnóstico médico. As respostas facultadas ao questionário pelos médicos, além de servirem de suporte para os testes ao protótipo, também permitiram recolher resultados relevantes em relação ao modelo e respectivo protótipo. O questionário visou recolher respostas às seis hipóteses propostas para a validação do modelo CHUB.

A relação existente entre as questões e as hipóteses a validar é mostrada na tabela 6.3. Estas relações foram identificadas com base nas referências de qualidade definidas para cada uma das hipóteses. Como pode se observar, quase todas as hipóteses estão relacionados com mais de uma questão, sendo que a hipótese 6 é a que depende do maior número de questões. O questionário está disponível no anexo I desta tese.

QUESTÕES	HIPÓTESES					
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª
1	X	X			X	X
2		X		X	X	X
3				X		X
4					X	
5			X			X
6					X	
7						X

Tabela 6.3. Dependência entre a avaliação das hipóteses e as questões do questionário

Como as questões presentes no questionário também englobam aspectos visuais do protótipo, o preenchimento deste foi realizado em duas fases distintas. Numa primeira, os

médicos responderam apenas à parte do questionário relacionada com o levantamento do estado de saúde do paciente (causas, sintomas e exames) e o respectivo diagnóstico dado pelo mesmo. O levantamento foi feito presencialmente com o paciente durante a consulta ou por consulta directa à BD deste (nos casos disponíveis de artrose sintomática). Foram considerados 30 pacientes no total, com artrose sintomática ou não no joelho, como sendo uma amostra suficientemente expressiva para a validação do modelo como ferramenta de suporte ao diagnóstico. Numa segunda fase, foi disponibilizado o protótipo aos médicos de forma a permitir a visualização e interacção com os resultados obtidos, momento em que foram respondidas as questões pendentes associados a estes dois factores.

Os gráficos nas figuras 6.1 e 6.2 mostram os resultados obtidos para cada uma das questões do questionário. As perguntas podem ser classificadas segundo o conjunto de opções disponíveis em dois grandes grupos: do tipo “sim” ou “não”, ou do tipo “bastante”, “suficiente” ou “pouco”. As perguntas de 1 a 4 são do tipo “sim” ou “não” enquanto que as 5 a 7 possuem 3 graus de satisfação ou aceitação por parte do utilizador (pouco, suficiente ou bastante). No eixo vertical de cada gráfico está a quantidade de respostas obtidas em cada uma das situações.

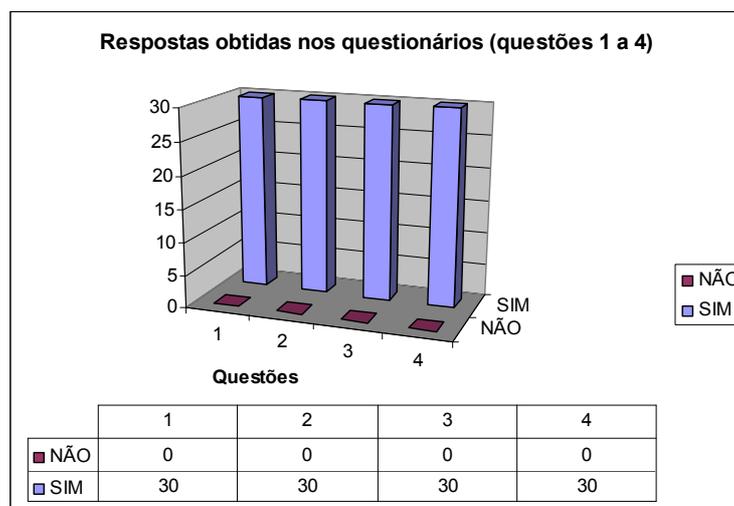


Figura 6.1. Distribuição de respostas da categoria “sim” ou “não”

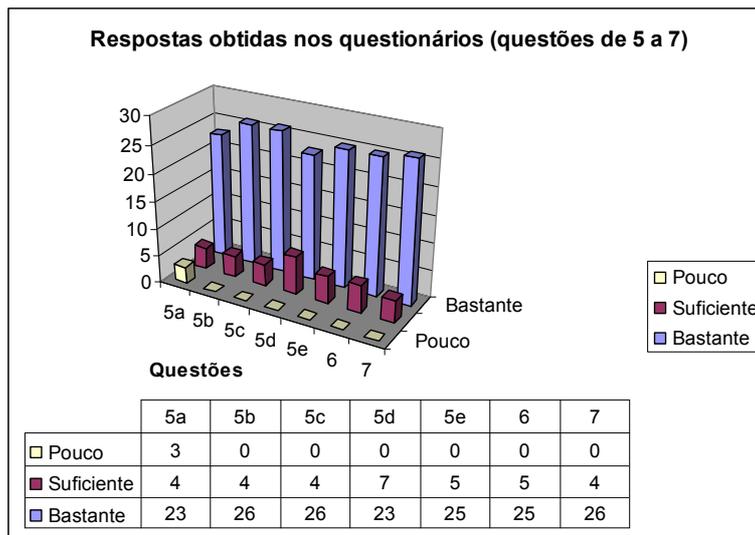


Figura 6.2. Distribuição de respostas da categoria “pouco”, “suficiente” e “bastante”

Os gráficos na figura 6.3 mostram em termos percentuais os totais de respostas obtidos em cada categoria. Como se pode observar, as perguntas do tipo “sim” foram as escolhidas na íntegra, indicando com isso, que o protótipo diagnosticou correctamente todos os 30 pacientes em termos de artrose no joelho, além de indicar também correctamente, o procedimento a adoptar e o total percentual dos sintomas, causas ou resultados dos exames que contribuiu para esse diagnóstico. Por outro lado, o “bastante” é visivelmente predominante nas perguntas com esta opção.

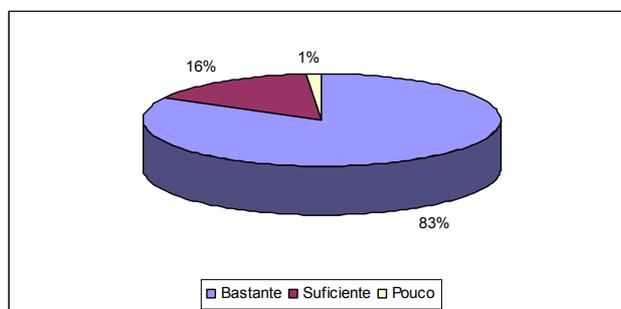


Figura 6.3. Totais de respostas da categoria “sim” ou “não” e “bastante”, “suficiente” e “pouco”

6.1.1.1. Pontuação

Para ser possível calcular a pontuação individual de cada hipótese é necessário em primeiro lugar atribuir pesos a cada uma das opções disponíveis para as perguntas do questionário. Como todas as questões foram estruturadas de forma à resposta mais positiva (como o “sim” ou o “bastante”) identificar e contribuir claramente na afirmação de uma hipótese, é possível definir-se facilmente uma escala crescente de pesos segundo a “positividade” da resposta. A tabela 6.4 mostra o valor dos pesos a atribuir a cada opção das

respostas. A utilização do valor 1.0 para o peso máximo tem como objectivo a simplificação aritmética no cálculo final, ou seja, aplicar peso “1.0” equivale a contar as opções “sim” ou “bastante”.

CATEGORIAS		PESO
“sim” ou “não”	Sim	1
	Não	0
“bastante”, “suficiente” ou “pouco”	Bastante	1
	Suficiente	0.5
	Pouco	0

Tabela 6.4. Pesos a atribuir as respostas

Efectuando o cruzamento da informação das tabelas 6.3 e 6.4, obtemos os resultados totais indicados na tabela 6.5. Por exemplo, para a hipótese 2, a pontuação realizada corresponde ao somatório de todas as opções “sim” das questões 1 e 2. No caso da hipótese 5, esse valor é calculado em função do somatório do total de opções “sim” para as questões 1, 2 e 4 e “bastante” para a questão 6, e da metade do total de opções “suficiente” para esta última respectivamente (o peso é 0.5). O objectivo ideal corresponde a situação mais positiva possível, ou seja à pontuação máxima a obter caso só opções “sim” e “bastante” respectivamente fossem escolhidas nos 30 questionários. Por exemplo, para a hipótese 2 o objectivo ideal possui valor 60 pois isto corresponderia a todas as opções “sim” terem sido escolhidas nas questões 1 e 2 dos 30 questionários. No caso da hipótese 5, o objectivo ideal corresponderia a um total de 120, pois todos as opções “sim” das questões 1, 2 e 4 e o “bastante” da questão 6 teriam que ter sido escolhidos nos 30 questionários. A última coluna indica em termos percentuais o quanto a pontuação realizada satisfaz o objectivo ideal. Os gráficos nas figuras 6.4 e 6.5 ilustram com maior detalhe estes resultados.

HIPÓTESES	DEPENDE DAS QUESTÕES	PONTUAÇÃO REALIZADA	OBJECTIVO IDEAL	OBJECTIVO IDEAL REALIZADO
1	1	30	30	100,0%
2	1 e 2	60	60	100,0%
3	5	123	150	82,0%
4	2 e 3	60	60	100,0%
5	1, 2, 4 e 6	118	120	97,9%
6	1, 2, 3, 5 e 7	253	270	93,7%

Tabela 6.5. Total de pontuações obtidas

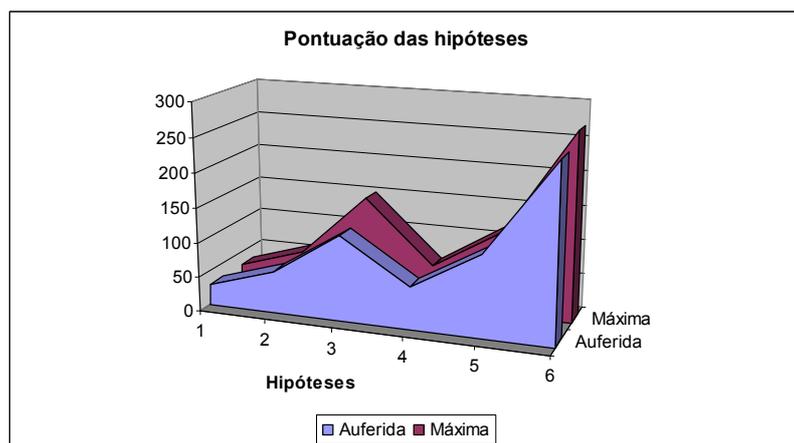


Figura 6.4. Pontuação total auferida nas hipóteses e valores máximos possíveis

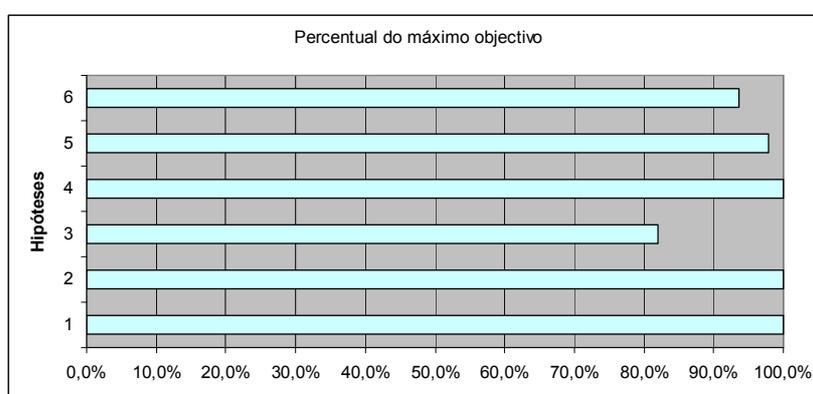


Figura 6.5. Percentagem do máximo ideal alcançado por cada uma das hipóteses

6.1.1.2. Apreciação das Referências de Qualidade e Resultados

Apesar do gráfico apresentado na figura 6.5 mostrar claramente o quanto cada hipótese atingiu em relação ao objectivo máximo ideal, é necessário proceder-se a uma outra ponderação adicional, que visa avaliar o quanto foi a diferença entre o objectivo máximo ideal alcançado pela hipótese e a sua respectiva referência. Para cada hipótese foi definido um índice de qualidade e uma referência quantitativa mínima para validar o grau alcançado, como pode ser visto na secção 6.1. A referência indica o quanto do objectivo ideal deve ser efectivamente atingido para que a hipótese seja dada como válida. A tabela 6.6 mostra a relação entre as hipóteses, as referências e a diferença entre estas e o objectivo ideal alcançado (da tabela 6.5). As diferenças nulas e positivas são uma indicação de que a hipótese está satisfeita, enquanto que as negativas informam exactamente o contrário. O valor da diferença é um indicador do grau de satisfação alcançado. Por exemplo, para as hipóteses 1 e 2 a diferença é de 10%, indicando que elas são totalmente alcançadas, e com grau de satisfação superior ao pretendido (10% do objectivo pretendido). A hipótese 5 é significativamente satisfeita com um grau de

satisfação bastante elevado (18% acima do objectivo pretendido). Por fim, a diferença entre as médias dos respectivos valores é de 11%.

HIPÓTESE	REFERÊNCIA	OBJECTIVO IDEAL REALIZADO	DIFERENÇA
1	90,0%	100,0%	10%
2	90,0%	100,0%	10%
3	80,0%	82,0%	2%
4	90,0%	100,0%	10%
5	80,0%	97,9%	18%
6	80,0%	93,7%	14%
Média	85,0%	95,6%	11%

Tabela 6.6. Diferença entre as referências de qualidade e o objectivo ideal realizado

Com base nos resultados referidos no parágrafo anterior pode-se concluir que existiu aceitação integral das hipóteses, sendo que a 5 e a 6 obtiveram um grau de satisfação significativamente positivo (18% e 14% respectivamente). As hipóteses 1, 2 e 4 tiveram uma aceitação ligeiramente menor que as anteriores, porém também significativa (10%). No âmbito global as hipóteses foram totalmente aceites, pois o resultado da média aponta para um valor positivo de 11%, sendo este valor indicador de que no geral todas as hipóteses são confirmadas positivamente e com uma aceitação superior ao mínimo esperado (o que equivaleria ao zero).

Tendo como referência estes resultados podemos afirmar que o CHUB é capaz de diagnosticar convenientemente os casos de artrose, podendo inclusive ser aplicado com sucesso como ferramenta de diagnóstico de outras doenças, bem como a utilização da modelação cartográfica ser neste caso uma mais-valia no modelo. Esta conclusão tem como base as 6 hipóteses que permitem afirmar que:

- A utilização de operações cartográficas sobre camadas “humano-referenciadas” de informação possibilita diagnosticar a artrose no joelho de um paciente de forma precisa, bem como evidenciando poder ser aplicada a outras doenças que possam acometer outros sistemas e órgãos do corpo humano;
- As representações visuais baseadas em metáforas cartográficas facultam uma compreensão intuitiva do resultado mapeado no corpo humano;
- Uma aplicação que seja implementada com base no modelo CHUB consegue evidencialmente dar suporte e apoio satisfatórios ao despiste e diagnóstico de doenças, bem como à análise de dados relacionados com o corpo humano;
- O modelo CHUB pode ser utilizado como referência de desenvolvimento e implementação de software orientado para a análise e visualização de dados

relacionados com o corpo humano, bem como de outros organismos vivos (por exemplo, outros mamíferos) cujos dados também apresentem uma forte interdependência espacial.

6.2. Validação dos Aspectos mais Genéricos do Modelo

Em relação ao primeiro caso de estudo, nomeadamente as sessões de hidrocinesioterapia (referido na secção 5.1.1 do capítulo anterior), foi adoptada uma aproximação para validação que não seguiu nenhum modelo ou formalismo específico. Inicialmente, foi estruturado um questionário que visou validar o grau de aceitação do utilizador em relação as funcionalidades disponibilizadas para a hidrocinesioterapia, bem como as características de interacção e as representações dos resultados neste caso. Este questionário está disponível no Anexo II deste trabalho e focou nomeadamente os seguintes pontos:

- Ter uma noção clara do perfil do utilizador em termos de utilização de aplicações informáticas;
- Verificar o grau de aceitação das funcionalidades estatísticas para análise de uma ou mais sessões, para gestão dos dados e monitorização das sessões de hidrocinesioterapia em tempo real;
- Verificar o grau de compatibilidade e satisfação entre as funcionalidades disponibilizadas pelo protótipo e o esperado pelo utilizador ao nível das representações visuais para comunicação de resultados;
- Avaliar a ordem de importância e relevância nos dados disponibilizados para o utilizador;
- Identificar a aceitação global do protótipo.

Em seguida, facultou-se o questionário e o protótipo para teste e utilização aos 9 fisioterapeutas do Hospital da Prelada, no Porto. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a maior parte (cerca de 63%) dos fisioterapeutas utiliza menos de 3 vezes por semana um computador e possui conhecimentos básicos de informática. Para além disto, poucos (10%) utilizam alguma aplicação informática especializada para a execução do seu trabalho e muito menos recorre (apenas 5%) a qualquer tipo de visualização especializada (por exemplo, um gráfico 2D) para interpretação ou análise de resultados. Em relação ao protótipo, o grau de aceitação foi bastante elevado por parte dos fisioterapeutas que o utilizaram. Esta aceitação traduziu-se tanto ao nível das funcionalidades, da interacção, bem como, das representações visuais oferecidas. Os gráficos nas figuras 6.6, 6.7 e 6.8 mostram a distribuição de respostas

obtidas nas questões 1, 2 e 3 da segunda parte do questionário. Esta parte do questionário visava avaliar o grau de aceitação das principais características disponíveis no protótipo facultado.

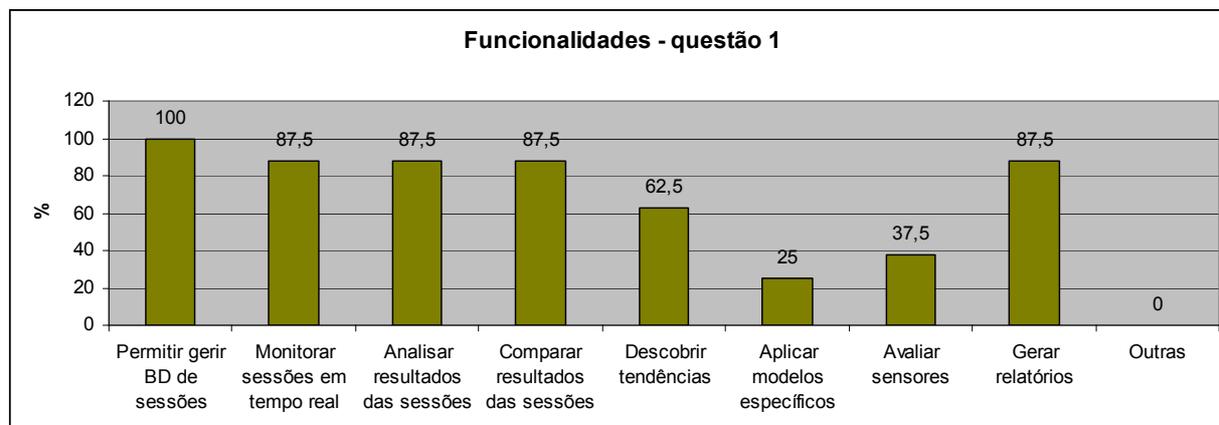


Figura 6.6. Distribuição percentual das respostas para a questão 1 da 2ª parte do questionário

Como pode se verificar no gráfico da figura 6.6, em relação às funcionalidades, a de gestão da BD de pacientes e sessões de hidrocinestoterapia foi indicada como uma das de maior interesse (100%), enquanto que a possibilidade de aplicar modelos matemáticos específicos sobre os dados foi apontada como sendo de pouca utilidade (apenas 25%, ou seja, 3 fisioterapeutas). Nenhum fisioterapeuta sugeriu alguma “outra” funcionalidade (0%), além das listadas, como sendo de importância para a aplicação. Em termos de análise de apenas uma sessão (gráfico na figura 6.7), a média aritmética (100%) foi escolhida como sendo a de maior interesse, enquanto que no caso do histórico (gráfico na figura 6.8) de sessões (várias sessões do mesmo paciente em análise comparativa), o desvio padrão (100%) foi o preferido dos fisioterapeutas.

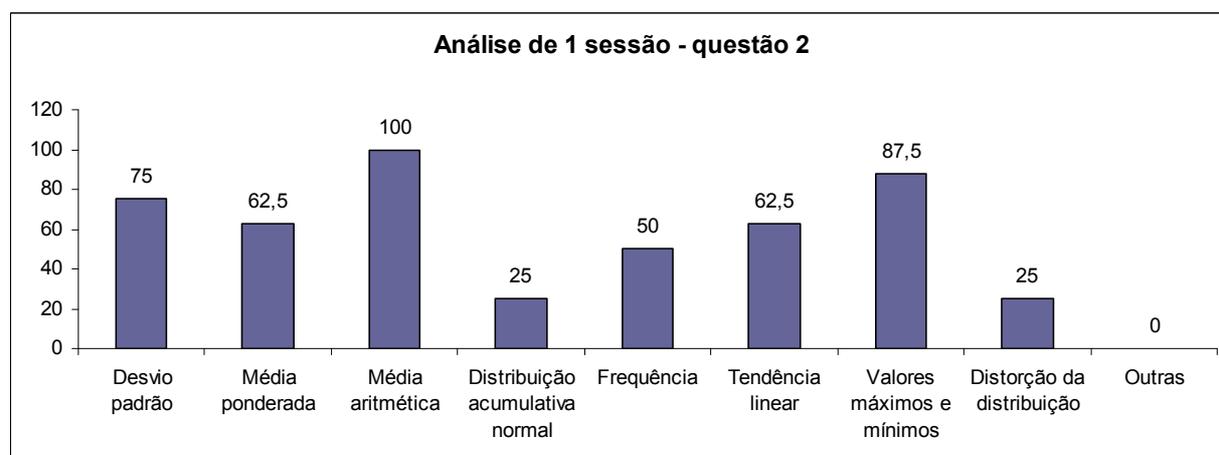


Figura 6.7. Distribuição percentual das respostas para a questão 2 da 2ª parte do questionário

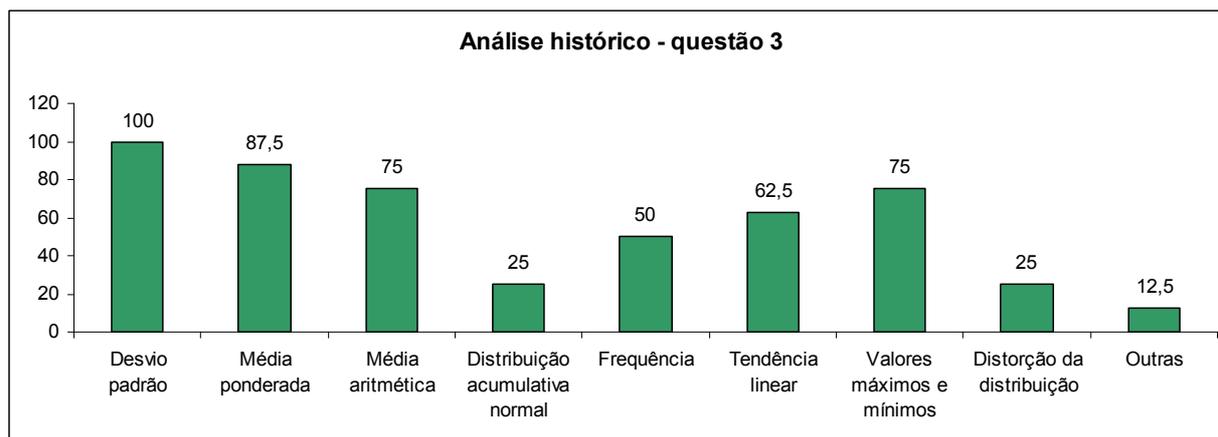


Figura 6.8. Distribuição percentual das respostas para a questão 3 da 2ª parte do questionário

Em termos da importância da informação facultada pela aplicação, como pode ser visto no gráfico da figura 6.9, a frequência cardíaca e a respiratória foram consideradas as mais importantes (100% dos inquiridos escolheram estas duas), seguidas da rotação da coluna vertebral do paciente (75%). Este gráfico está relacionado com a questão 9 da segunda parte do questionário.

Por último, o gráfico ilustrado na figura 6.10 mostra os resultados obtidos junto aos fisioterapeutas em relação a escolha do tipo de representação gráfica a utilizar para visualizar as frequências cardíacas e respiratória, bem como as rotações nas articulações do coração. As opções analisadas pelo gráfico referem-se a questão 10 da segunda parte do questionário. Esta questão visava avaliar o quanto os tipos de representação gráfica presentes no protótipo (nomeadamente gráficos 2D, 3D e animação) estavam de acordo com o esperado pelos utilizadores. Como se verifica, os fisioterapeutas escolheram os gráficos 3D (63% aproximadamente) como sendo o de maior interesse para eles. Em contrapartida, nenhum interesse foi demonstrado em relação a possibilidade de gráficos interactivos ou ainda o som. Em relação a visualização, foram ainda sugeridas algumas melhorias, como a inclusão de eixos de orientação na visualização das rotações e a eliminação do gráfico porco-espinho.

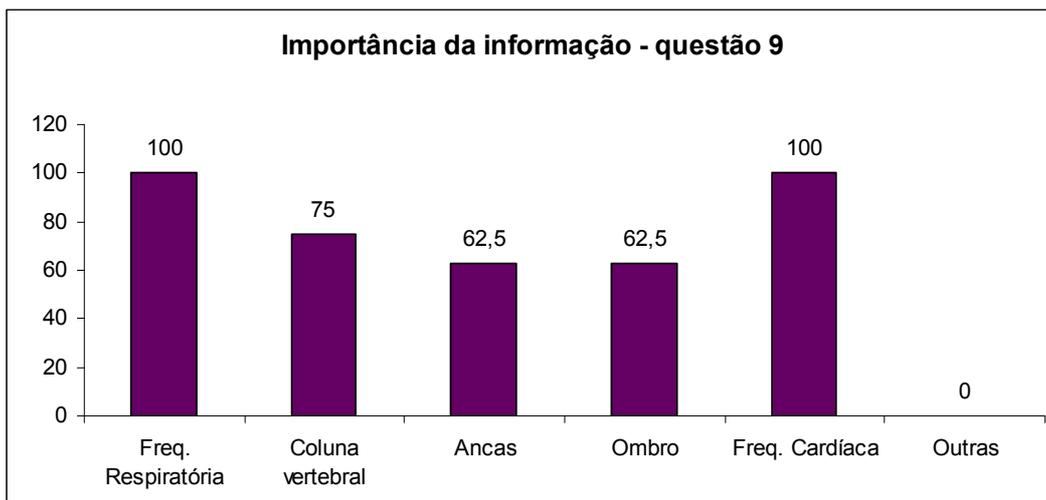


Figura 6.9. Distribuição percentual das respostas para a questão 9 da 2ª parte do questionário

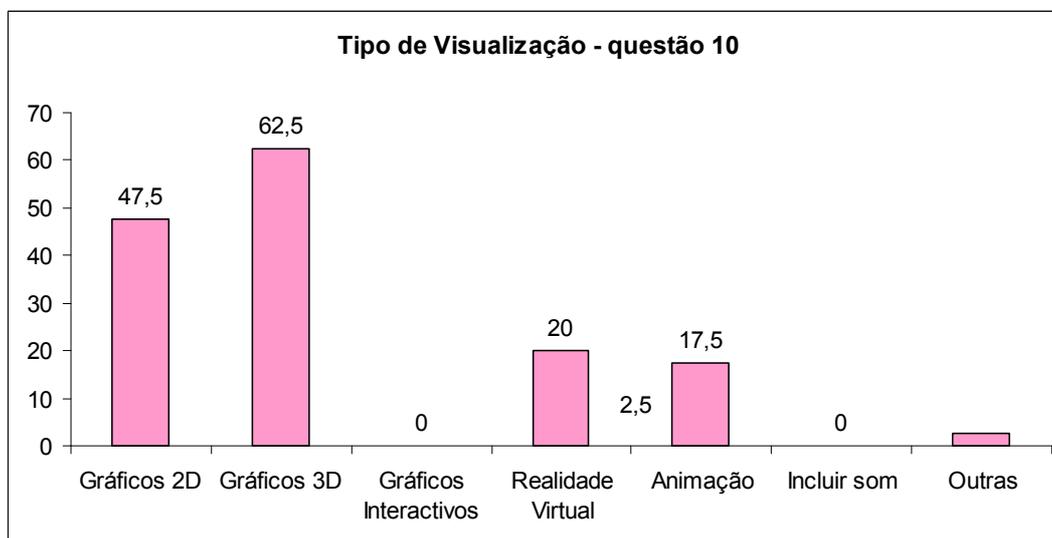


Figura 6.10. Distribuição percentual das respostas para a questão 10 da 2ª parte do questionário

6.3. Conclusões

Para a validação do protótipo implementado recorreu-se a duas aproximações. A primeira teve como ênfase a validação mais importante e fundamental do CHUB, isto é, o da utilização da modelação cartográfica como elemento chave para o mecanismo de análise de informação “humano-referenciada” executada pelo modelo. Pela sua importância, utilizou-se o GEM como modelo de referência para estruturar as hipóteses e respectivas validações.

O GEM, para além de ser orientado para a área da medicina e visualização, é suficientemente versátil para servir de apoio ao desenvolvimento de qualquer estratégia de avaliação/validação de modelos que pertençam inclusive a outras áreas, e que tenham a visualização como elemento fulcral. Com base nos princípios propostos pelo GEM, foram

elaboradas e enquadradas seis hipóteses para a validação da utilização do paradigma da modelação cartográfica no CHUB e elaborado um questionário para a avaliação do protótipo. Todas as hipóteses tiveram como referência o caso de estudo relacionado com o diagnóstico da artrose no joelho. Pretendeu-se com esta validação dar resposta às questões levantadas na secção 4.1.2 do capítulo 4 deste trabalho.

A segunda aproximação focou os aspectos mais gerais do protótipo implementado, tais como as suas funcionalidades, as características de interacção ou a eficácia das representações gráficas oferecidas. Sem ser considerado o aspecto da usabilidade em si, esta segunda aproximação visou obter uma clara noção do grau de satisfação dos utilizadores em relação ao protótipo disponibilizado e na solução global introduzida pelo CHUB.

Para concluir este capítulo, tendo como base os resultados referidos nas secções 6.1.2.2 e 6.2 respectivamente, pode-se afirmar que:

- A incorporação do paradigma da modelação cartográfica no CHUB permitiu tratar de forma satisfatória os dados relacionados com o corpo humano e “humano-referenciados”;
- A utilização do paradigma da modelação cartográfica é uma mais-valia no CHUB;
- O modelo CHUB consegue funcionar como uma ferramenta de apoio ao diagnóstico e despiste de doenças, bem como uma ferramenta analítica para sessões de hidrocinésioterapia;
- O modelo CHUB pode ser utilizado como referência e base para o desenvolvimento e implementação de aplicações ou sistemas que foquem o tratamento de dados relacionados com o corpo humano, e conseqüentemente, com outros organismos vivos, tais como os animais;
- Os utilizadores do protótipo do CHUB apresentam um grau de satisfação positivo em relação às funcionalidades, às características de interacção e às representações visuais dos resultados. Este facto é um indicador significativo de que o nível de abstracção introduzido pelo modelo é razoável, permitindo uma fácil adaptação deste, de acordo com o contexto da sua aplicação/utilização;
- A utilização de metáforas cartográficas na visualização de resultados relacionados com as camadas de informação associadas ao corpo humano auxilia positivamente a compreensão destes pelo utilizador.

Capítulo 7

Conclusões

Este capítulo culmina a descrição do trabalho realizado ao longo deste projecto, apresentando uma síntese dos resultados e contribuições obtidas, atendendo à finalidade e aos objectivos inicialmente propostos ao mesmo. Este capítulo inclui ainda a identificação de projectos de trabalho futuro, cujo objectivo é dar continuidade ao trabalho aqui iniciado. Finalmente, são tecidas algumas considerações finais sobre este projecto tendo como base os resultados da análise numérica efectuada aos resultados auferidos nos testes ao protótipo.

7.1. Síntese

A existência de ferramentas de apoio ao diagnóstico, análise e visualização de dados humanos é de elevada importância em especial para os profissionais de saúde. Além de auxiliarem um diagnóstico mais seguro e preciso, permitem que os especialistas de saúde alcancem um nível de interacção e compreensão muito mais elevado em relação aos dados dos seus pacientes. Os benefícios que daí podem advir englobam aspectos sociais, humanos, bem como económicos.

No entanto, a maior parte das ferramentas que têm sido desenvolvidas com este objectivo assentam em modelos que não contemplam devidamente o aspecto espacial inerente aos dados relacionados com o corpo humano. De um modo geral, estas ferramentas também não reflectem devidamente o raciocínio espacial que o próprio médico aplica quando realiza o diagnóstico de uma doença. Esses modelos baseiam-se numa divisão fragmentada e estanque do corpo humano, pois não são orientados à análise espacial dos dados.

A investigação nas áreas da visualização em conjunto com a modelação cartográfica tem evoluído consideravelmente, permitindo a criação de ferramentas informáticas que integram em sintonia as vastas vantagens que ambas as áreas oferecem. A visualização científica ou de informação tem se demonstrado ao longo dos anos como uma mais-valia irrefutável na investigação e estudo dos mais diversos domínios do conhecimento. A modelação cartográfica assenta em princípios que são essenciais para o tratamento e análise de dados com uma forte caracterização e dependência espacial. No início, a sua aplicação era praticamente apenas orientada e restrita a dados de origem tipicamente geográfica, porém a abrangência do seu domínio tem vindo a expandir-se e a comprovar-se útil em outras áreas do conhecimento e das ciências.

Foi definida como finalidade deste trabalho, a concepção, implementação e validação de um modelo orientado à cartografia que permita a visualização e análise de dados relacionados com o corpo humano. Como características, o modelo deveria utilizar mecanismos indirectos de referenciação espacial, basear-se em estratégias de raciocínio espacial (álgebra de mapas) e utilizar a visualização científica e/ou de informação (em especial as metáforas cartográficas) como elemento fulcral para a comunicação de resultados.

O CHUB, designação adoptada para o modelo proposto, inclui capacidades como a criação de camadas de informação, a “humano-referenciação” dos dados relacionados com o corpo humano e a análise numérica destes, a realização de operações algébricas espaciais entre as camadas para inferência de diagnósticos ou ainda a visualização exploratória dos resultados e imagens radiográficas ou de tomografias. Os princípios defendidos neste trabalho, e nos quais é baseada a concepção do modelo CHUB, representam uma nova abordagem à análise de dados relacionados com o corpo humano.

Atendendo à finalidade deste trabalho, foi possível formular um conjunto de sete objectivos a atingir, cuja satisfação permitiu a obtenção dos resultados e contributos esperados para este projecto. As próximas subsecções sintetizam os diversos objectivos, realçando os resultados e contributos conseguidos com a realização de cada um dos mesmos.

7.1.1. O Estado da Arte da Visualização

A proposta do modelo CHUB assenta na visualização científica e de informação como sendo uma peça chave para a comunicação de resultados visuais, sendo a sua componente *Visualização de Resultados* baseada inteiramente neste pressuposto. O domínio da área da

visualização representa uma porção fundamental deste trabalho, disponibilizando conceitos e princípios utilizados ao longo do mesmo. Tal justifica que o primeiro e segundo objectivos a alcançar estivessem associados com a revisão teórico/bibliográfica dos diversos conceitos relacionados com este domínio e utilizados neste projecto.

O enquadramento teórico realizado à área da visualização visou essencialmente três sub-áreas:

- O enquadramento conceptual do domínio. A este nível clarificaram-se vários conceitos importantes nesta área e a ter em consideração no desenho de um modelo que utilize a visualização como ferramenta de comunicação de resultados:
 - O processo de visualização, ou seja, como deve ser estruturado e quais os componentes que são fundamentais para o seu bom funcionamento;
 - A modelação dos dados e a relevância do conhecimento destes ao nível de tipo, natureza, dimensão, domínio ou ainda distribuição, além do objectivo de visualização subjacente;
 - A necessidade de uma correcta caracterização do utilizador, das tarefas a serem executadas, seus objectivos e dos atributos de interesse para a visualização.
- As técnicas de visualização existentes e como estas devem ser aplicadas para se obterem visualizações úteis e eficazes. Ao nível das técnicas foram descritos os seguintes pontos:
 - As considerações mais significativas a se ter em conta no mapeamento das técnicas, considerando os diversos tipos de representação visual e a dependência directa ou indirecta com a estrutura dos dados;
 - Os aspectos gerais e específicos da interacção com os dados que devem ser contemplados pelas técnicas a serem utilizadas no mapeamento dos dados.
- A caracterização das áreas de visualização de informação e de visualização científica, considerando em especial os pontos e aspectos em que elas convergem e divergem. Nesta caracterização também foram identificadas as principais ferramentas e tecnologias disponíveis para o desenvolvimento e implementação de aplicações para cada uma destas áreas.

Em resumo, além do enquadramento teórico resultante da execução destes objectivos, apresenta-se como uma das contribuições deste trabalho, a utilização de metáforas cartográficas na visualização de dados relacionados com o corpo humano e no suporte ao diagnóstico de doenças. Além disso, o modelo contempla de forma satisfatória os princípios básicos de uma visualização eficaz, simples, funcional e intuitiva.

7.1.2. Modelos Cartográficos

A modelação cartográfica representa uma outra área de conhecimento fundamental neste trabalho, e cuja revisão teórica/bibliográfica consta do terceiro objectivo inicialmente definido.

O enquadramento conceptual elaborado permitiu sistematizar os princípios associados a esta área de conhecimento, dos quais foi dada particular importância:

- À caracterização da análise espacial como instrumento de avaliação, pesquisa e combinação de dados. Esta caracterização incluiu a apresentação dos principais conceitos envolvidos, a descrição do processo de análise espacial, as operações algébricas de mapas e os tipos de dados que estão normalmente presentes.
- À estruturação necessária dos dados para que estes possam ser devidamente tratados espacialmente a um nível qualitativo, quantitativo e lógico.
- Às potencialidades e limitações da utilização de mapas como paradigma para a análise de informação em áreas de cariz não necessariamente geográfico.
- Ao enquadramento e definição de modelos cartográficos e objectos geográficos. À importância destes fora do universo identificado como tipicamente oriundo da Geografia.
- À identificação das diversas fases e etapas que são necessárias para a construção de modelos cartográficos, bem como as dificuldades e exigências inerentes.
- Às ferramentas de software disponíveis no mercado para o tratamento rápido de dados cartográficos.

A compreensão destes conceitos e considerações pertinentes à modelação cartográfica foi essencial para a formulação da proposta de grande parte das etapas presentes no componente *Análise de Dados* do modelo, bem como para a estruturação de algumas das bases de dados disponíveis no componente *Repositório de Dados* (nomeadamente as “humano-referenciadas”).

O modelo CHUB utiliza a modelação cartográfica como elemento fundamental e principal para análise dos dados do corpo humano e tem, neste ponto, um aspecto inovador e de realce em relação aos demais modelos que são normalmente utilizados como base para a implementação de ferramentas de software com este mesmo objectivo. Portanto, o enquadramento e aprofundamento teórico/prático resultante da execução deste objectivo é, sem dúvida, uma das contribuições mais significativas para os objectivos finais deste trabalho.

7.1.3. Modelo Conceptual

A concepção do modelo CHUB, representa o quarto objectivo definido neste trabalho. Ao nível da concepção, destaca-se a definição da arquitectura do sistema, a qual é baseada em mecanismos de “humano-referenciação” da informação, os quais são complementados com estratégias de operações com base em álgebra de mapas, que permitem a inferência de informação desconhecida a nível do corpo humano, como por exemplo o diagnóstico de doenças.

A arquitectura do modelo CHUB agrega três componentes principais: *Repositório de Dados*, *Análise de Dados* e *Visualização de Resultados*. O *Repositório de Dados* é responsável pelo armazenamento e gestão dos dados directamente ou não relacionados com o corpo humano. Este integra um total de cinco bases de dados:

- Uma *base de dados Qualitativa* que armazena informação desta natureza, ou seja, dados ordinais ou nominais como por exemplo, registos de pacientes (morada, sexo, data de nascimento, entre outros).
- Uma *base de dados Quantitativa* que contém informação que descreve quantidades (como por exemplo, resultados de exames com descrições quantitativas ou gravações de sessões de hidrocinestoterapia).
- Uma *base de dados Geométrica* para o armazenamento das geometrias que descrevem as várias partes do corpo humano.
- Uma *base de dados Raster* para imagens de exames relacionados com o corpo humano, como radiografias e tomografias computadorizadas.
- Uma *base de dados Heurística* que contém regras que definem como os resultados de operações algébricas de mapas ou de métodos estatísticos/matemáticos devem ser avaliados, gerados ou eventualmente pontuados. Esta base de dados também contém informação que serve de suporte para que a “humano-referenciação” dos dados possa ser executada.

O componente *Análise de Dados* é composto por cinco etapas: selecção de dados, tratamento dos dados, criação de camadas de informação, processamento de camadas e interpretação de resultados. Estas etapas efectuam o tratamento da informação disponível no componente *Repositório de Dados*. Permitem executar tarefas sobre os dados tais como a selecção e filtragem, análise matemática e estatística, “humano-referenciação” e estruturação

segundo diferentes camadas de informação. Além destas tarefas, também são executadas operações de álgebra de mapas sobre as camadas estruturadas de dados.

O componente de *Visualização dos Resultados* permite o armazenamento nas *bases de dados Cartográfica e Estatística* dos resultados obtidos no componente anterior. Além de permitir a gestão dos dados contidos nessas bases de dados, esta fase é também responsável pela visualização, incluindo todas as tarefas que facultam o mapeamento de dados e respectivos resultados com diferentes técnicas de visualização.

A documentação das estruturas de dados utilizados pelo CHUB, nomeadamente das base de dados que o integram, e do modo de funcionamento do modelo, foi conseguida utilizando o UML, mais precisamente, os diagramas de classes e os diagramas de casos de uso. Estes últimos revelaram-se de particular importância na definição das interacções existentes entre os diversos actores e o modelo.

7.1.4. Avaliação do Modelo CHUB

A implementação do modelo CHUB representa o quinto objectivo definido neste trabalho. Em termos tecnológicos, o modelo CHUB foi implementado recorrendo:

- À linguagem de programação C++ para a criação de todas as classes e objectos necessários à implementação do modelo CHUB. Foi utilizado como ambiente de desenvolvimento inicialmente o Microsoft Visual Studio 6.0 e posteriormente o 2005.
- A uma base de dados relacional, nomeadamente o Microsoft Access, no qual foram construídas ou mantidas várias bases de dados do CHUB. Destaca-se que poderia ter sido utilizado outro sistema de base de dados relacional, desde que o mesmo disponibilizasse ligações ODBC para acesso aos dados.
- A uma biblioteca gráfica para a visualização científica de código aberto, nomeadamente o VTK da Kitware Inc., para a implementação de todas as visualizações gráficas de resultados que são facultadas pelo protótipo.
- A uma biblioteca gráfica para o desenvolvimento e criação de interfaces de código aberto, neste caso o KWidgets igualmente da Kitware Inc., para a implementação da interface gráfica com o utilizador (botões, janelas, *widgets*, entre outros).

O protótipo do CHUB oferece um ambiente versátil, flexível, com um bom nível de portabilidade, *fault tolerance* e performance que permite ao utilizador gerir registos de

pacientes, terapeutas e médicos, gravar e analisar sessões de hidrocinésioterapia, visualizando os resultados obtidos ou ainda rever os movimentos efectuados pelo paciente, diagnosticar se o paciente sofre ou não de artrose, o grau de gravidade (se for o caso de sofrer) com a indicação da terapêutica a adoptar consoante a situação, além da visualização por camadas das zonas afectadas ou ainda das radiografias com níveis de saturação variado.

É importante salientar que o protótipo reflecte todas as características inovadoras que foram propostas para este trabalho, e portanto, o ambiente que oferece é único, permitindo que o utilizador execute todas as etapas previstas no modelo, e em especial, as fases da análise de dados com a modelação cartográfica. Na sua vertente visual, a totalidade das considerações básicas propostas no modelo foram contempladas, tendo inclusive algumas sido já rectificadas (como por exemplo, a eliminação da visualização do gráfico porco-espinho), em função das sugestões recebidas pelos potenciais utilizadores durante a realização dos testes.

7.1.5. Validação do Modelo CHUB

A validação do modelo CHUB representa o sexto objectivo definido neste trabalho. Esta assentou em duas aproximações: a utilização do paradigma da modelação cartográfica como elemento chave pelo modelo CHUB e os aspectos gerais de interacção, de funcionalidades e comunicação de resultados. A primeira aproximação é considerada a mais relevante e essencial para a validação do modelo CHUB, enquanto que a segunda assume um papel mais complementar em termos de validação, mas igualmente de interesse. Como o protótipo teve como base dois casos de estudo, optou-se por utilizar o do diagnóstico da artrose no joelho como base de teste para a primeira aproximação e o de análise de sessões de hidrocinésioterapia, para a segunda.

Para a primeira aproximação, foram elaboradas seis hipóteses para serem validadas. Estas hipóteses foram definidas com base no proposto pelo GEM de Buvat et al. [Buvat1999] e serviram de referência para a estruturação de um questionário. Este questionário foi posteriormente preenchido por médicos na consulta de um total de 30 pacientes da Clínica de Saúde Atlântica, no Porto e após a interacção com o protótipo.

Para a segunda aproximação, foi estruturado um questionário mais geral que visou medir o conhecimento informático e o grau de satisfação do utilizador a nível de utilização do protótipo (funcionalidades, interacção e visualização de resultados). Este questionário foi

posteriormente preenchido pelos 17 fisioterapeutas do Hospital da Prelada, no Porto, a quem tinha sido disponibilizado o protótipo para utilização e teste.

As respostas obtidas foram tratadas numericamente e como conclusões directas tendo como suporte estes resultados, constatou-se que:

- O modelo CHUB é capaz de funcionar como uma ferramenta de apoio ao diagnóstico da artrose no joelho, e é passível de ser expandido/aplicado ao diagnóstico de outras doenças;
- O modelo CHUB é capaz de funcionar como uma ferramenta de apoio à análise de sessões de hidrocinésioterapia;
- O facto de ser um modelo orientado à modelação cartográfica é uma mais-valia na análise de dados “humano-referenciados” do corpo humano. Graças a esta característica é possível colmatar falhas na análise de dados desta natureza, causadas normalmente por questões de dependência espacial;
- O modelo é robusto e suficientemente flexível de forma a dar suporte conveniente à análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano;
- O CHUB apresenta um nível de abstracção que se mostrou adequado para os dois estudos de caso que foram analisados;
- A utilização de metáforas cartográficas facilita a compreensão por parte do utilizador na visualização dos resultados de diagnósticos e consequentemente produzidos pela aplicação de operações algébricas de mapas;
- O modelo CHUB pode ser utilizado como base e referência para a implementação de aplicações que foquem a análise e visualização de dados relacionados com o corpo humano (em especial na área de medicina), ou com outros organismos vivos.

A utilização do CHUB nestes estudos de caso culmina a validação efectuada ao modelo, confirmando a satisfação da finalidade deste trabalho, a concepção, implementação e validação do modelo CHUB, e a realização do principal contributo desta tese de doutoramento.

7.1.6. Projectos de Trabalho Futuro

O sétimo e último objectivo deste projecto está associado com a formulação e proposta de projectos de trabalho futuro, que visem a evolução do modelo CHUB e que promovam a sua utilização.

O trabalho apresentado neste documento descreve as opções estruturais e tecnológicas que permitiram chegar ao modelo CHUB. A sua validação facultou a identificação de um conjunto de situações que podem ser optimizadas, com vista ao aumento do desempenho global do modelo. As situações identificadas estão associadas com opções estruturais e com opções tecnológicas. Ao nível estrutural, estas visam essencialmente a maior abrangência da aplicação da modelação cartográfica na análise dos dados do corpo humano, com inclusão de mais operações de álgebra de mapas e alargamento de situações de estudo de caso. Ao nível tecnológico, na implementação do modelo CHUB, pretende-se avaliar as vantagens e desvantagens da adopção de ferramentas avançadas de visualização científica em conjunto com as de SIG em detrimento de bibliotecas gráficas de código aberto e uma solução totalmente baseada na adopção de um paradigma lógico de programação.

A abordagem cartográfica utilizada pelo CHUB sugere que os princípios de modelação subjacentes aos SIGs tradicionais sejam explorados, com as devidas adaptações e especializações, com o objectivo de avaliar as vantagens e desvantagens que podem decorrer da sua utilização. Além disso, como a visualização é considerada como um elemento fundamental para a comunicação de resultados, possivelmente a utilização de ferramentas mais avançadas para a criação de ambientes desta natureza (como o AVS ou Íris Explorer, por exemplo) poderá aumentar sensivelmente e rapidamente o conjunto de técnicas visuais disponíveis (imersividade, por exemplo). Portanto, numa nova implementação, o protótipo poderia agregar estas ferramentas e minorar a parte que se baseia no paradigma lógico de programação.

Ao nível estrutural sugerem-se as seguintes melhorias:

- Incorporação de novas operações de álgebra de mapas (operações espaciais). Como o protótipo focou o diagnóstico da artrose, apenas as operações necessárias para avaliar estes diagnósticos foram efectivamente implementadas. Entretanto, o universo de operações desta natureza é bem mais abrangente, e em outras situações de análise dos dados do corpo humano certamente será necessário a existência de um leque muito maior de operações e respectivamente operadores algébricos de mapas;
- Inclusão de novas heurísticas para diagnóstico de outras doenças do foro ortopédico. As existentes estão orientadas para o apoio ao diagnóstico da artrose, e em especial, na zona do joelho. Seria muito interessante que várias outras doenças fossem incorporadas e novos casos de estudo realizados;

- Melhoria da estrutura de dados interna ao modelo. Apesar desta ser bastante versátil, abrangente e abstracta, é possível que ao aplicar o modelo à análise de outras situações relacionadas com os dados do corpo humano, seja necessário incorporar alguma nova consideração.

7.2. Considerações Finais

A utilização hoje em dia de ferramentas informáticas para apoio às diversas áreas da medicina é bastante usual. Como base comum a todas elas estão sempre dados relacionados com o corpo humano. No entanto, em grande parte dos casos, essas ferramentas focam e centram-se muito no processamento digital de imagens (como radiografias e tomografias), e menos ou quase nada nos dados efectivamente relacionados com o corpo humano do paciente (em termos quantitativos, qualitativos ou espaciais, por exemplo).

O raciocínio médico bem como a própria natureza e características dos dados relacionados com o corpo humano apresentam uma forte conotação espacial. O diagnóstico é claramente um acto que reflecte em grande parte uma análise lógica e espacial da informação fornecida por resultados de exames ou transmitida pelo próprio paciente. Qualquer aplicação informática que pretenda maximizar a sua capacidade analítica de informação desta natureza deve considerar este detalhe.

A modelação cartográfica é uma aproximação que tem sido desde há muito tempo utilizada com grande sucesso na análise de dados espaciais. A agregação desta a qualquer modelo que objective dar suporte ao desenvolvimento de aplicações orientadas à visualização e análise de dados relacionados com o corpo humano é um factor a não menosprezar. Desta forma, está garantida a possibilidade de espelhar correctamente a interdependência espacial inerente a este tipo de dados e até mesmo, a do raciocínio médico.

A investigação na área da visualização e modelação cartográfica tem vindo a evoluir sensivelmente. Actualmente, muitas áreas do conhecimento que não são consideradas tipicamente como “geográficas”, beneficiam de soluções conceptuais híbridas que procuram o melhor da visualização aliada à potencialidade da álgebra de mapas.

A concepção, implementação e validação do modelo CHUB, permitiu a construção de um protótipo “humano-referenciado”, que utiliza a modelação cartográfica como base para análise e metáforas visuais cartográficas para comunicação de resultados. Os princípios adoptados pelo CHUB representam uma nova abordagem na análise de dados relacionados com o corpo humano. Por exemplo, o mecanismo de determinação dos diagnósticos é totalmente

baseado na validação de heurísticas com a aplicação de operações de álgebra de mapas. Além disso, o modelo é suficientemente abrangente e abstracto para atender às mais variadas exigências em termos de análise e visualização de dados desta natureza.

A concepção do modelo CHUB foi iniciada com a definição da arquitectura deste, a qual integra três componentes principais: O *Repositório de Dados*, a *Análise de Dados* e a *Visualização de Resultados*. O *Repositório de Dados* é o responsável pelo armazenamento dos dados utilizados pelo modelo e das heurísticas que permitem inferir diagnósticos.

O componente de *Análise de Dados* integra cinco etapas de análise consideradas pelo modelo CHUB, as quais permitem que os dados sejam “humano-referenciados”, que sejam aplicadas operações de álgebra de mapas e que os dados sejam analisados numericamente/estatisticamente.

Os resultados podem ser armazenados e re-utilizados nas bases de dados disponíveis no componente de *Visualização de Resultados*. Além disso, várias técnicas de visualização, inclusive metáforas cartográficas, estão disponíveis neste componente para executar o mapeamento de resultados ou da informação.

Em termos tecnológicos, o protótipo foi implementado recorrendo-se a uma linguagem orientada à objectos (Microsoft Visual C++ 2005), a bibliotecas de código aberto para a visualização e desenvolvimento de interfaces (VTK e KWWidgets) e a uma base de dados relacional (Microsoft Access). Esta solução teve custos nulos e apresenta excelente nível de portabilidade, flexibilidade, performance, *fault tolerance* e extensão.

A validação técnica efectuada possibilitou a utilização do CHUB como ferramenta de visualização e análise de sessões de hidrocinesioterapia e de apoio ao diagnóstico. A abordagem cartográfica adoptada pelo modelo permite de forma conveniente combinar informação “humano-referenciada” do paciente (que descreve sintomas, causas e exames), e extrapolar através da combinação espacial desta o conjunto de possíveis diagnósticos e graus de severidade. A utilização de técnicas de visualização cartográficas, auxiliou os especialistas de saúde a alcançar um nível de compreensão e percepção do estado do órgão do paciente de uma forma simples, intuitiva, e em termos gerais, adequada. Por outro lado, no caso da hidrocinesioterapia, os utilizadores indicaram um bom grau de aceitação e satisfação em relação às funcionalidades disponíveis, as características de interacção e as representações visuais de resultados do protótipo.

Confirmada a utilidade do modelo CHUB na visualização e análise de dados relacionados com o corpo humano, resta referir que este modelo constitui o principal contributo desta tese de doutoramento. Os seus princípios representam uma nova abordagem na análise de dados “humano-referenciados”, que aliás, é também um conceito inovador introduzido neste trabalho.

Sistematizados os principais contributos desta tese, concluiu-se com satisfação este trabalho e com a constatação de que o mesmo atingiu na totalidade os objectivos inicialmente propostos.

Referências Bibliográficas

[Abram1995] G.Abram e L.Treinish, "An Extended Data-Flow Architecture for Data analysis and Visualization", Computer Graphics, Volume 29, nº 2, pgs. 17-21, 1995.

[Ahrens1997] Ahrens, J., McCormick, P., Bossert, J., Reisner, J. e Winterkamp, J. , "Case Study: WildFire Visualization", proceedings IEEE Visualization 97', Phoenix, Arizona, EUA, ISBN 0-8186-8262-0, pgs. 451-457, Outubro-1997.

[Aris2005] Aleks Aris, Ben Shneiderman, Catherine Plaisant, Galit Shmueli e and Wolfgang Jank, "Representing Unevenly-Spaced Time Series Data for Visualization and Interactive Exploration", Proceedings of INTERACT 2005, Roma, Itália, Ed. Springer Verlag, ISBN 978-3-540-28943-2, pgs. 835-846.

[AVS2007] AVS, <http://www.avs.com/> (visitado em 19-11-07)

[Baehrecke2004] Eric Baehrecke et al., "Visualization and Analysis of Microarray and Gene Ontology Data with Treemaps", BMC Bioinformatics 2004, volume 5, Junho-2004, <http://www.biomedcentral.com/1471-2105/5/84> (visitado em 2-12-2007).

[Bache1993] R. Bache e G. Bazzana, "Software Metrics for Product Assessment", McGraw Hill, ISBN 9780077079239, 1993.

[Bailey1996] Bailey, T. e Gatrell, A., "Spatial Data Analysis by Example", Prentice Hall, ISBN 978-0582244931, 1996.

[Beale2006] Beale, R., Hendley, R., Pryke, A., Wilkins, B., "Nature Inspired Visualization of Similarity and Relationships in Human Systems and Behaviours", Information Visualization, volume 5, nº 4, Palgrave Macmillian Ltda., páginas 260-270, 2006.

[Bederson2003] Benjamin B. Bederson, Aaron Clamage, Mary P. Czerwinski e George G. Robertson, "A Fisheye Calendar Interface for PDAs: Providing Overviews for Small Displays", Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems, Fort Lauderdale, Florida, EUA, ISBN 1-58113-630-7, Abril-2003, pgs. 618-619.

[Bertin1991] Jacques Bertin, "Sémiologie graphique: Les diagrammes - Les réseaux - Les cartes", Ed. de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences, ISBN 978-271-321-277-2, Janeiro-1991.

[BGL2007] The Boost Graph Library, <http://www.boost.org/libs/graph/doc/index.html> (visitado em 2-12-2007).

[Bonneau2005] George-Pierre Bonneau, Thomas Ertl e Gregory Nielsen, "Scientific Visualization: The Visual Extraction of Knowledge from Data (Mathematics and Visualization)", Ed. Springer-Verlag, ISBN 978-354020660, Dezembro-2005.

[Brodlie1992] K. Brodlie, Laura Carpenter e R. Earnshaw, "Scientific Visualization", Ed. Springer Verlag, ISBN 978-0387545653, Janeiro-1992.

[Blodlie1992a] K.W. Brodlie, L.A. Carpenter, R.A. Earnshaw, J.R. Gallop, R.J. Hubbard, A.M. Mumford, C.D. Osland e P. Quarendon, "Scientific Visualization - Techniques and Applications", Ed. Springer-Verlag, ISBN 0-387-54565-4, 1992

[Bryson1993] Steve Bryson, "Virtual Reality in Scientific Visualization", Computer & Graphics, volume 17, nº 6, pgs. 679-685, 1993.

[Bryson1994] S. Bryson, "Real Time exploratory Scientific Visualization and Virtual Reality", em Scientific Visualization, Advances and Challenges, Eds. L. Rosenblum, R.A. Earnshaw, J. Encarnação, H. Hagen, A. Kaufman, S. Klimenko, G. Nielson, F. Post e D. Thalmann, Academic Press, 1994.

[Bryson1996] S. Bryson, "Virtual Reality in Scientific Visualization", Communications of the ACM, Volume 39, nº 5, pgs. 62-71, Maio-1996.

[Buono2005] Buono, Paolo, Aris, Aleks, Plaisant, Catherine, Khella, Amir e Shneiderman, Ben, "Interactive Pattern Search in Time Series", Visualization and Data Analysis 2005, Ed. Erbacher, Robert F., Roberts, Jonathan C., Gröhn, Matti T.; Börner, Katy, Proceedings of the SPIE, Volume 5669, pgs. 175-186 (2005), Janeiro-2005.

- [Buvat1999] Irene Buvat et al., "The need to develop guidelines for evaluation of medical image processing procedures", Proceedings da SPIE Medical Imaging 1999, San Diego, Califórnia, EUA, pgs. 1466-1477, Fevereiro-1999.
- [Câmara2007] Gilberto Câmara, Clodoveu Davis e Antônio Miguel Vieira Monteiro, "Introdução à Ciência de Geoinformação", <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/> (visitado em 5-12-2007).
- [Cailleteau1999] Laurent Cailleteau, "Interfaces for Visualizing Multi-Valued Attributes: Design and Implementation Using Starfield Displays", HCIL Technical Report n° 99-20, Setembro-1999.
- [Card1996] Stuart K. Card, George G. Robertson, e William York, "The WebBook and Web Forager: an information workspace for the WWW", Proceedings of SIGCHI conference on Human factors in computing systems: common ground, ACM press, Abril-1996.
- [Carmo1997] Carmo, M. B. e Cunha, J., D. " Visualization of Large Volumes of Information Using Different Representations", Proceedings IEEE Conference on Information Visualization -IV'97, Londres, Inglaterra, pgs 101-105, Agosto-1997.
- [Carvalho2006] Elizabeth S. Carvalho, Adérito F. Marcos e Maribel Y. Santos, "Desenvolvimento de uma Aplicação para a Visualização de Sessões de Hidrocinesioterapia", In Actas de Interação 2006 - 2ª Conferência Nacional de Interação Pessoa-Máquina, Braga, GPCG editor, ISBN: 972-98464-7-2, pp.213-216, 16-12 Outubro 2006.
- [Carvalho2007] Elizabeth S. Carvalho, Adérito F. Marcos e Maribel Y. Santos, Paulo M. Brito, "Analysing and Visualizing a Human Body Cartographically", Proceedings do 15º Encontro Português de Computação Gráfica, ISBN 972-98464-8-0, Portugal, pp. 9-18, 10-13 de Outubro/2007.
- [Carvalho2007a] Elizabeth S. Carvalho, Maribel Y. Santos, Adérito F. Marcos, "CHUB - Cartographic Human Body", Proceedings da IADIS - Multi Conference on Computer Science and Information Systems, ISBN 978-972-8924-37-9, Lisboa, Portugal, pp. 27-34, 5-7 Julho/2007.
- [Carvalho2008] Elizabeth S. Carvalho, Adérito F. Marcos, Maribel Y. Santos, João Espregueira-Mendes, "Medical Diagnoses with a Cartographic Oriented Model", Proceedings da AGILE 2008, Girona, Espanha, 5-8 Maio 2008.
- [Carvalho2008a] Elizabeth S. Carvalho, Adérito F. Marcos, Maribel Y. Santos, João Espregueira-Mendes e Rogério B. Pereira, "Using a Cartographic Oriented Model to Visualize Medical Diagnoses", Proceedings do CARS - Computer Assisted Radiology and Surgery 2008, Barcelona, Espanha, 25-28 Junho 2008.
- [Carvalho2008b] Elizabeth S. Carvalho, Adérito F. Marcos, Maribel Y. Santos, João Espregueira-Mendes e Rogério B. Pereira, "Using a Cartographic Model to Assist Medical Diagnoses", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Ed. Springer Berlin/Heidelberg, ISSN 1861-6410, Abril/2008.
- [Chi2000] Ed H. Chi, "A Taxonomy of Visualization Techniques using the Data State Reference Model", Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000, IEEE - Computer Society, Salt Lake City, Utah, EUA, pgs. 69-76, Outubro-2000.
- [Chintalapani2004] Gouthami Chintalapani, Catherine Plaisant e Ben Shneiderman, "Extending the Utility of Treemaps with Flexible Hierarchy", Proceedings 8th International Conference on Information Visualization, Londres, Inglaterra, Julho-2004, pgs. 335-344.
- [Chuah1997] Chuah, M. C., Roth, S. F., e Kerpedjiev, S., "Sketching, Searching, and Customizing Visualizations: A Content-based approach to design retrieval", em Intelligent Multimedia Information Retrieval, MIT Press, ISBN 0-262-63179-2, pgs. 83-111, 1997.
- [Cignoni1994] Paolo Cignoni, C. Montani e R. Scopigno, "MagicSphere: an insight tool for 3D data visualization", Computer Graphics Forum, volume 13, n° 3, pgs. 317-328, 1994.
- [Cleveland1985] Cleveland, W. S. e McGill, R., "Graphical Perception and Graphical Methods for Analysing Scientific Data", em Science, Volume 229, pgs. 828-833, 1985.
- [Cleveland1987] Cleveland, W. S. e McGill, R., "An Experiment in Graphical Perception", International Journal of Man-Machine Studies, Volume 25, n° 5, pgs. 491-500, Novembro-1987.
- [Committee2006] Committee on the Support for the Thinking Spatially, "Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum", Committee on the Support for the Thinking Spatially: The Incorporation of Geographic Information Science Across the K-12 Curriculum, Committee on Geography, National Research Council, Ed. The National Academic Press, Washington DC, EUA, ISBN 978-0-309-09208-1, 2006.
- [Conklin1987] Conklin, J., "Hypertext: An Introduction and Survey", IEEE Computer, volume 20, n° 9, pgs. 17-41, Setembro-1987.
- [Cowell2006] Cowell, A. et al., "Understanding the dynamics of collaborative multi-party discourse", Information Visualization, volume 5, n° 4, Palgrave MacMillian Ltda, pgs. 250-259, 2006.

- [Cressie1994] Cressie, N. e Hoef, J., "Multivariate spatial prediction", *Mathematical Geology Journal*, volume 26, nº 2, pgs. 273-275, 1994.
- [Cuccu1993] Fabrizio Cuccu e Laura Molto, "Texture Mapping for Scientific Visualization Environments", *IEEE - CG&A*, volume 17, nº 2, pgs. 131-136, 1993.
- [Dang2001] Gunjan Dang, Chris North e Ben Shneiderman, "Dynamic Queries and Brushing on Choropleth Maps", *Proceedings of the 5th International Conference on Information Visualization*, Londres, Inglaterra, Julho-2001, pgs. 757-761.
- [DeMers2001] Michael DeMers, "Gis Modelling in Raster", Ed. Wiley, ISBN 978-0-471-31965-8, 2001.
- [DeMers2007] DeMers, M., "Basic of Geographical Information System", Ed. John Wiley & Son Inc., ISBN 9780471152156, 2007.
- [Druck2004] Druck, S., Carvalho, M. S., Câmara e G., Monteiro, "Análise Espacial de Dados Geográficos", A. V. M. (eds), Brasília, EMBRAPA, ISBN: 85-7383-260-6, 2004.
- [Dyer1990] D. Scott Dyer, "A Dataflow Toolkit for Visualization", *IEEE - CG&A*, volume 10, nº 4, pgs. 60-69, Julho-1990.
- [Dykes2005] J. Dykes, A. MacEachren e M. Kraak, "Exploring Geovisualization", MacEachren, Alan et al. , Ed. Pergamon, ISBN 978-0080445311, 2005.
- [Earnshaw1991] R. A. Earnshaw, "Tools and Techniques for Scientific Visualization", em *New Trends in Animation and Visualization*, Eds. Nadia Thalmann e Daniel Thalmann, John Wiley & Sons Inc., ISBN 978-0471930204, pgs. 107-114, Julho-1991.
- [Earnshaw1992] R. A. Earnshaw e N. Wiseman, "Introductory Guide to Scientific Visualization", Ed. Springer Verlag, 1992.
- [Earnshaw1993] R. A. Earnshaw, "Interdisciplinary Techniques, Toolkits and Models for Scientific Visualization", em *Graphics Modeling and Visualization in Science and Technology*, Eds. M. Gobel e J. C. Teixeira, Springer Verlag, pgs. 1-21, 1993.
- [Eaton2003] Eaton, C., Plaisant, C. e Drizd, T., "The Challenge of Missing and Uncertain Data", *Proceedings of the 14th IEEE Visualization Conference*, Seattle, Washington, EUA, pg. 100-108, Outubro-2003.
- [Eaton2005] Cyntrica Eaton, Catherine Plaisant e Terence Drizd, "Visualizing Missing Data: Classification and Empirical Study", *Proceedings of INTERACT 2005*, Roma, Itália, Setembro-2005.
- [Eick2000] Stephen Eick, "Visualizing Multi-Dimensional Data", *SIGGRAPH Computer Graphics Newsletter*, February-2000.
- [Eick2000] Stephen Eick, "Visualizing Multi-Dimensional Data", *ACM SIGGRAPH*, volume 34, nº 1, Fevereiro-2000.
- [Eick2005] Eick, Stephen, "Information Visualization at 10", *Computer Graphics and Applications*, Volume 25, nº 1, ISBN 0272-1716/05, pgs. 12-14, Janeiro-Fevereiro 2005.
- [Fekete2002] Jean-Daniel Fekete e Catherine Plaisant, "Interactive Information Visualization of a Million Items", *Proceedings of IEEE Symposium on Information Visualization 2002*, Outubro-2002, pgs. 117-124.
- [Fiorelli2002] Fiorelli, A. e Arca, E., "Hidrocinoterapia: princípios e técnicas terapêuticas", *Coleções Plural*, EDUSC, Brasil, ISBN: 85-7460-139-X, 2002
- [Fisheye2007] Fished Eyes Menu, <http://www.cs.umd.edu/hcil/fisheyemenu/> (visitado em 2-12-2007).
- [Freundschuh1997] Freundschuh, Scott e Egenhofer, Max, "Human Conceptions of Space: Implications for Geographic Information Systems", *Transactions in GIS*, Volume 2, nº 4, pgs. 361-375, 1997.
- [Fujishiro2000] Fujishiro, I., Ichikawa, Y., Furuhashi, R. e Takeshima, Y., "GADGET/IV: A Taxonomic Approach to Semi-Automatic Design of Information Visualization Applications Using Modular Visualization Environment", *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2000*, Salt Lake City, Utah, EUA, pgs. 77-86, Setembro-2000.
- [Gahegan2003] Mark Gahegan, Xiping Dai, James Macgill, Sachin Oswal e William Pike, "From Concepts to Data and Back Again: Connecting Mental Spaces with Data and Analysis Methods", *Proceedings of the 7th International Conference on GeoComputation*, Southampton, Inglaterra, Setembro-2003.
- [Gandhi2000] Rajiv Gandhi, Benjamin B. Bederson, Girish Kumar e Ben Shneiderman, "Domain Name Based Visualization of Web Histories in a Zoomable User Interface", *Proceedings of 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, Londres, Inglaterra, pgs. 591-598, Setembro-2000.

- [Gillispie2000] Gillispie, Charles C (editor), "Dictionary of Scientific Biography", Ed. Charles Scribner's Sons, 1970-1990, 18 volumes, ISBN 978-0684806310, Outubro-2000.
- [Gitlin1995] Carole S. Gitlin et al., "Techniques for Visualizing 3D Unstructured Meshes", Departamento de Ciências da Computação, Universidade de Utah, Salt Lake City, UT 84112 USA, Janeiro-1995.
- [Globus1994] Al Globus e Eric Raible, "Fourteen Ways to Say Nothing with Scientific Visualization", IEEE - Computer, pgs. 86-87, vol. 27, nº 7, julho-1994.
- [Gogien2003] Joseph Gogien, "Scientific Visualization and Semiotic Morphisms", <http://www.cs.ucsd.edu/users/goguen/papers/sm/vzln.html>, Março-2003 (visitado em 2-12-2007).
- [Golub2003] Evan Golub e Ben Shneiderman, "Dynamic Query Visualizations on World Wide Web Clients: A DHTML Solution for Maps and Scattergrams", International Journal of Web Engineering and Technology, Volume 1, nº 1, 2003.
- [Good2001] Lance Good e Ben Bederson, "CounterPoint: Creating Jazzy Interactive Presentations", Technical Report HCIL-TR-2001-03, Março-2001.
- [Gordon2004] I. E. Gordon, "Theories of Visual Perception", Ed. Psychology Press, 3ª edição, ISBN 9781841693835, 2004.
- [Graphvis2007] Graphvis, <http://www.graphviz.org/> (visitado em 2-12-2007).
- [Guan1999] Guan, Y. e Moorhead, R. J., "Compression of Arbitrary Cutting Planes", Proceedings of Data Compression Conference, Snowbird, Utah, EUA, pgs.528-536, Março-1999.
- [Haber1990] R. B. Haber e D. A. McNabb, "Visualization Idioms: A conceptual Model for Scientific Visualization Systems", em Visualization in Scientific Computing, R. B. Haber e D. A. McNabb, Eds. G. Nielson e B. Shriver, IEEE Press, 1990.
- [Halasz1988] "Reflections on NoteCards: Seven Issues for the Next Generation of Hypermedia Systems", Halasz, F.G, Communications of the ACM, vol. 31, nº 7, pgs. 836-852, Julho-1988.
- [Harmon2003] Harmon, J. e Anderson, S., "The Design and Implementation of Geographic Information Systems", Ed. Wiley, ISBN 978-0471204886, 2003.
- [Harris1999] Harris, Chanda, Allen, Robert B.; Plaisant, Catherine e Shneiderman, Ben, "Temporal Visualization for Legal Case Histories", Technical Report HCIL-TR-1999-18, Junho-1999.
- [Havre2002] Susan Havre et al., "ThemeRiver: Visualizing Thematic Changes in Large Document Collections", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, volume 8, nº1, Janeiro-Março 2002.
- [Healey1997] Christopher G. Healey, "On the Use of Perceptual Cues and Data Mining for Effective Visualization of Scientific Datasets", EECS Department, University of California at Berkeley, 1997.
- [Herman2000] Herman, I.; Melancon, G.; Marshall, M.S., "Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey", IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, Volume 6, nº 1, pgs. 24-43, Jan-Mar 2000.
- [Hibbard1994] William Hibbard, David A. Santek, M. Martinez, C. Dyer, A. Battaiola e Brian Paul, "Interactive Visualization of Earth and Space Science Computation", IEEE - Computer, pp. 65-72, vol. 27, nº 7, Julho-94.
- [Hinneburg1999] Alexander Hinneburg, Daniel A. Keim, e Markus Wawryniuk, "HD-Eye: Visual Mining of High Dimensional Data", IEEE - Computer Graphics and Applications, volume 19, nº 5, pgs. 22- 31, Setembro-Outubro 1999.
- [Hochheiser2000] Harry Hochheiser e Ben Shneiderman, "Coordinating Overviews and Detail Views of WWW Log Data", Proceedings of New Paradigms in Information Visualization and Manipulation, Washington D. C., E.U.A, Novembro-2000.
- [Hochheiser2000] Harry Hochheiser, "Browsers with Changing Parts: a Catalog Explorer for Philip Glass' Website", Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems: processes, practices, methods and techniques, Nova York, EUA, pgs. 105-115, Agosto-2000.
- [Hochheiser2001] Harry Hochheiser e Ben Shneiderman, "Using Interactive Visualizations of WWW Log Data to Characterize Access Patterns and Inform Site Design", Journal of the American Society for Information Science Technology, Volume 52, nº 4, pgs. 331-343, 2001.
- [Hochheiser2004] Harry Hochheiser e Ben Shneiderman, "Dynamic Query Tools for Time Series Dates Sets: Timebox Widgets for Interactive Exploration", Information Visualization (2004) 3, 1-18. Palgrave Macmillian Ltd., 2004.

- [Holub1992] Richard A. Holub, Gary W. Meyer e Philip K. Robertson, "Color versus Black and White in Visualization", IEEE - CG&A, volume 12, nº 4, pgs. 20-22, Julho-1992.
- [Hornbaek2002] Kasper Hornbaek, Benjamin B. Bederson e Catherine Plaisant, "Navigation Patterns and Usability of Overview+Detail and Zoomable User Interfaces for Maps", ACM Transaction on Computer-Human Interaction, volume 9, pgs. 362-389, Dezembro-2002.
- [IBMDDataExplorer] IBM Data Explorer, <http://www.opendx.org/> (visitado em 19-11-07).
- [Ignatius1996] Ignatius, E., Senay, H., Heller R., "Perceptual Guidance for Visualization Design", Thomson Multimedia Resource, Edição 1996, Thomson Technology Labs, ISBN 0-534-50719-0, 1996.
- [ILOG2007] ILOG, <http://www2.ilog.com/preview/Discovery/> (visitado em 2-12-2007).
- [Improvise2007] Improvise, <http://www.personal.psu.edu/cew15/improvise/introduction.html> (visitado em 2-12-2007).
- [InfoVis2005] InfoVis Toolkit, <http://ivtk.sourceforge.net/> (visitado em 1-12-2007).
- [INRIA2007] INRIA - Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, <http://www.inria.fr> (visitado em 4-12-2007).
- [Iris2007] Iris Explorer, http://www.nag.co.uk/Welcome_IEC.asp (visitado em 19-11-07)
- [Isenhour1997] Philip L. Isenhour, James Bo Begole, Winfield S. Heagy e Clifford A. Shaffer, "Sieve: A Collaborative Interactive Visualization Environment", Proceedings of IEEE Visualization '97 Late Breaking Hot Topics, Phoenix, Arizona, EUA, pgs, 13-16, Outubro-1997.
- [IVC2007] IVC Software Framework, <http://iv.slis.indiana.edu/sw/>, (visitado em 1-12-2007).
- [Jannin2002] Pierre Jannin et al., "Validation of Medical Image Processing in Image-Guided Therapy", IEEE Transactions on Medical Imaging, volume 21, nº 12, pgs. 1445- 1449, Dezembro-2002.
- [Jannin2006] Pierre Janin, Christopher Grova e Calvin Maurer Jr., "Model for defining and reporting reference-based validation protocols in medical image processing", CARS 2006, Osaka, Japão, Springer-Verlag, pgs. 63-73, Junho-2006.
- [Johnson1999] Christopher Johnson, Steven Parker, Charles Hansen, Gordon Kindlmann e Yarden Livnat, "Interactive Simulation and Visualization", IEEE - Computer, volume 32, nº 12, pg. 59-65, Dezembro-1999.
- [Johnson2004] Johnson, Cris, "Top Scientific Visualization Research Problems", Computer Graphics and Applications, Volume 24, nº 4, ISBN 0272-1716/04, pgs. 13-17, Julho-Agosto 2004.
- [Jung2007] JUNG - Java Universal Network Graph Framework, <http://jung.sourceforge.net/>, (visitado em 1-12-2007).
- [Keahey1998] T. Alan Keahey, "The Generalized Detail-In-Context Problem", Advanced Computing Laboratory, Los Alamos National Laboratory, MMS B287, Los Alamos, NM 87545, Outubro-1998.
- [Keahey1999] T. Alan Keahey, "Visualization of High-Dimensional Clusters Using Nonlinear Magnification", Proceedings of SPIE Visual Data Exploration and Analysis VI, São José, California, volume 3643, pgs. 228-235, Março-1999.
- [Keller1993] Peter Keller e Mary Keller, "Visual Cues", IEEE Society Press, 1993.
- [Khoros2007] Khoros, <http://www.idi.ntnu.no/~bilde/download/khoros/> (visitado em 19-11-07).
- [Korte2000] Korte, G., "The GIS Book", Ed. OnWord Press, ISBN 978-0766828209, 2000.
- [Kules2003] B. Kules, B. Shneiderman, e C. Plaisant, "Data Exploration with Paired Hierarchical Visualizations: Initial Designs of Pair Trees", Proceedings of 2003 National Conference Government Research, Boston, Massachusetts, EUA, pgs. 255-260, Maio-2003.
- [Kunni1991] Toshiyasu L. Kunni e Yoshihisa Shinagawa, "Visualization Modeling: Making Visualization a Creative Discipline", em New Trends in Animation and Visualization, Eds. Nadia Thalmann, Daniel Thalmann, John Wiley & Sons Inc., ISBN 978-0471930204, pgs. 117-133, Julho-1991.
- [KWWidgets2007] "KWWidgets", Kitware Inc., <http://www.kwwidgets.com> (visitado em 4-12-2007).
- [Lentorp1999] Lentorp, B., "Time-geography at the end of its beginning", Geojournal, Ed. Springer, volume 48, nº 3, pgs. 155-158, 1999.
- [Lifelines2007] Lifelines, <http://www.cs.umd.edu/hcil/lifelines/>, (visitado em 30-11-07).

- [Lindland1994] Odd Lindland, G. Sindre e A. Solvberg, "Understanding Quality in Conceptual Modeling", IEEE - Software, vol. 11, nº 2, pgs. 42-49, Março-1994.
- [MacDonald1999] Lindsay W. MacDonald, "Using Color Effectively in Computer Graphics", IEEE - Computer Graphics and Applications, pgs. 20- 34, Julho-Agosto 1999.
- [MacEachren2003] MacEachren, A. M., Gahegan, M., e Pike, W., "Visualization for Constructing and Sharing Geo-scientific Concepts", Proceedings da the National Academy of Science, artigo convidado pelo Sackler Colloquium on Mapping Knowledge Domains, Irvine, Califórnia, EUA, pgs. 5279-57286, Maio-2003.
- [MacEachren2004] MacEachren, A., "How Maps Work: Representation, Visualization and Design", Ed. Guilford Press, Nova York, EUA, ISBN 978-1572300408, 2004.
- [MacGuire2005] MacGuire, David et al, "Gis, Spatial Analysis and Modeling", ESRI Press, ISBN 978-1589481305, 2005.
- [MacRae1996] Ronald McRae e Andrew W.G. Kinninmonth, "Orthopaedics and Trauma", ISBN 978-044-305-135-7, pgs. 122-129, 1996.
- [Marcus1991] Aaron Marcus e Andries Van Dam, "User Interface Developments for the Nineties", IEEE CG&A, pgs. 49-56, Setembro-1991.
- [McCormick1996] Patrick .McCormick, Ji Qiang e Robert D. Ryne, "Visualizing High-Resolution Accelerator Physics", IEEE - Computer Graphics and Applications, volume 19, nº 5, pgs. 11- 13, Setembro-Outubro 1999.
- [Mendes2006] Espregueira-Mendes J. and Pessoa P., "O Joelho", Ed. Lidel, Portugal, ISBN 972-757-418-1, Junho-2006.
- [Miller1998] Nancy Miller, Pak Chung Wong, Mary Brewster e Harlan Foote, "Topic Islands™ - a Wavelet-Based Text Visualization System", Proceedings of the Conference on Visualization '98, Research Triangle Park, North Carolina, EUA, pgs. 189-196, Outubro-1998.
- [Munz2003] Richard Munz et al., "IT Roadmap to a GeoSpatial Future", Committee on Intersections Between Geospatial Information and Information Technology, National Research Council, Ed. The National Academic Press, ISBN 0-309-08738-4, 2003.
- [Nagy1994] George Nagy, "Terrain Visibility", Computer & Graphics, volume 18, nº 6, pgs. 763-773, 1994.
- [Nielsen1994] Gregory M. Nielson, Pere Brunet, Markus Gross e S.V. Klimenko, "Research Issues in Data Modeling in Scientific Visualization", IEEE - CG&A, volume 14, nº2, pgs. 70-72, Março-1994.
- [Nielsen2000] Jakob Nielsen, "Designing Web Usability", Indianapolis: News Riders Publishing, ISBN 1-56205-810-X, 2000.
- [Nielson1991] Gregory M. Nielson, Thomas Foley, B. Hammann e D. Lane, "Visualizing and Modeling Scattered Multivariate Data", IEEE - CG&A, vol. 11, nº 3, pgs. 47-54, Maio-1991.
- [Nielson1994] Gregory M. Nielson e Thomas A. Foley, "Modeling of Scattered Multivariate Data", Eds. C. Giertsen e P. Frevang, Eurographics Technical Report, pgs. 38-55, 1994.
- [Nielson1997] Gregory M. Nielson, Hans Hagen e Heinrich Müller, "Scientific Visualization: Overviews, Methodologies e Techniques", IEE Computer Society, ISBN 0-8186-7777-5, 1997.
- [Nooruddin2003] Nooruddin, F. S. e Turk, G., "Simplification and Repair of Polygonal Models Using Volumetric Techniques", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 9, nº 2, pgs. 191-205, Abr-Jun 2003.
- [Norman2003] Kent Norman et al., "Dynamic Query Choropleth Maps for Information Seeking and Decision Making", Proceedings of 10th International Conference on Human-Computer Interaction, Creta, Grécia, Junho-2003.
- [North2000] Christopher Loy North, "A User Interface for Coordinating Visualizations based on Relational Schemata: Snap Together Visualization", Dissertação para obtenção do grau de doutor em Filosofia, Universidade de Maryland, Departamento de Ciências da Computação, 2000.
- [North2004] Stephen North at al., "Frameworks in Support of InfoVis/Perceptualization", Proceedings of IEEE Symposium on Information 2004 Visualization (InfoVis), Austin, Texas, EUA, , Outubro-2004.
- [Okada1996] Arthur Okada e David Lane Kao, "Enhanced Line Integral Convolution with Flow Feature Detection", Proceedings IS&T/SPIE Electronic Imaging'97, pgs. 206-217, 1997.
- [Otllet1990] Otllet, P, "Something about Bibliography", em Rayward, W.B. The International Organization and Dissemination of Knowledge: Selected Essays of Paul Otllet, Ed. Elsevier, Amesterdão, 1990.

- [Paiva2001] Paiva, D. M. e Nunes, M. G., "Avaliação de um Sistemas de Autoria Hipermídia Educacional", Proceedings da Conferência Internacional de Tecnologia de Software, Anais da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil, pgs. 153-161, Dezembro-2001
- [ParaView2007] ParaView, <http://www.paraview.org/New/index.html> (visitado em 19-11-07).
- [Parr2003] Cynthia Sims Parr, Bongshin Lee, Dana Campbell e Benjamin B. Bederson, "TaxonTree: Visualizing Biodiversity Information", HCIL Technical Report n° 2003-40, ACM Press, 2003.
- [Parr2004] Parr, C.S., B. Lee, D. Campbell, and B. Bederson, "Visualizations for taxonomic and phylogenetic trees", Oxford University Press, Bioinformatics, volume 20, n° 17, pgs. 2997-3004, Junho-2004.
- [Perer2005] Adam Perer e Ben Shneiderman, "Beyond Threads: Identifying Discussions in Email Archives", Interactive Poster of the Proceedings of InfoVis 05 Minneapolis, Minnesota, EUA, ISBN 0-7803-9464-X, Outubro-2005.
- [Peuquet1988] Donna Peuquet, "Representations of Geographic Space: Toward a Conceptual Synthesis", Annals of the Association of American Geographers, Volume 78, n° 3, pgs. 375-394, Setembro-1988.
- [Peuquet2002] Peuquet, D., "Representations of Space and Time", Ed. The Guilford Press, ISBN 978-1572307735, 2002.
- [Peuquet2005] Peuquet, D. e Kraak, M., "Geobrowsing: Creative Thinking and Knowledge Discovery using Geographic Visualization", Information Visualization, Volume 1, n° 1, pgs. 80-91, Março-2002.
- [Piccolo2007] Piccolo Toolkit, <http://www.cs.umd.edu/hcil/piccolo/>, (visitado em 1-12-2007).
- [Plaisant2002] Catherine Plaisant, Jesse Grosjean e Benjamin B. Bederson, "SpaceTree: Supporting Exploration in Large Node Link Tree, Design Evolution and Empirical Evaluation", Proceedings of InfoVis 2002, Boston, Massachusetts, pgs. 57-64, Outubro-2004.
- [Plaisant2004] Catherine Plaisant, "The Challenge of Information Visualization Evaluation", Proceedings of Advanced Visual Interfaces 2004, Gallipoli, Itália, pgs. 109-116, Maio-2004.
- [Plaisant2005] Catherine Plaisant, "Information Visualization and the Challenge of Universal Usability", J. Dykes, A.M. MacEachren e M.-J. Kraak (Editores), Exploring Geovisualization, Elsevier, Capítulo 3, 2005.
- [PLOT3D2007] PLOT3D, <http://www.plot3d.net/> (visitada em 19-11-07).
- [Post1996] Post, F. J., van Waltsum, T., Post, F. H., Silver, D., "Feature Extraction and Iconic Visualization", IEEE - Transactions on Visualization and Computer Graphics, volume 2, n° 2, pgs. 111-119, Junho-1996.
- [Prefuse2007] Prefuse Toolkit, <http://prefuse.sourceforge.net/>, (visitado em 1-12-2007).
- [Preim2007] Bernhard Preim e Dirk Bartz, "Visualization in Medicine, Theory, Algorithms and Applications", The Morgan Kaufman Series in Computer Graphics, Ed. Elsevier, ISBN 978-0-12-370596-9, 2007.
- [Pummar1997] M. A. Pumar, "Zooming of Terrain Imagery Using Fractal-Based Interpolation", Computer & Graphics, volume 20, n° 1, Eds. Elsevier Science Ltda, pgs. 171-176, 1996.
- [Pv32007] Pv3, <http://raphael.mit.edu/pv3/pv3.html> (visitado em 19-11-07).
- [PVWave2007] PV-Wave, <http://www.vni.com/> (visitada em 19-11-07).
- [Ranjan1994] Vishwa Ranjan e Alain Fournier, "Volume Models for Volumetric Data", IEEE - Computer, vol. 27, n° 7, pgs. 28-36, Julho-1994.
- [Rayward1994] ", Rayward, W.B., "Visions of Xanadu: Paul Otlet (1868-1944) and Hypertext", Journal of the American Society for Information Science, vol. 45, páginas 235-250, 1994.
- [Rettig1992] Marc Rettig, "Interface Design When You Don't Know How", Communications of the ACM, vol. 35, n° 1, pgs. 29-34, Janeiro-1992.
- [Rhyne2000] Theresa Maria Rhyne e Lockheed Martin, "Two Stepping Information Technology with Visualization", ACM SIGGRAPH, volume 34, n° 1, Fevereiro-2000.
- [Rhyne2000] Theresa Marie Rhyne, "Scientific Visualization in the Next Millenium", IEEE - Computer Graphic and Applications, volume 20, n°1, pgs. 20-21, Janeiro-Feveireiro 2000.
- [Rhyne2003] Theresa Rhyne, "Information and Scientific Visualization: Separate but Equal or Happy Together at Last", IEEE Visualization 2003, pgs. 611-614, Outubro-2003.
- [Ribarsky1994] Ribarsky, W. Ayers, E. Eble, J. e Mukherjea, S., "Glyphmaker: Creating Customized Visualizations of Complex Data", IEEE - Computer, volume 27, n° 7, pgs. 57-64, Julho-1994.

- [Ribarsky1999] William Ribarsky, Jochen Katz, Frank Jiang, and Aubrey Holland, "Discovery Visualization Using fast Clustering", IEEE - Computer Graphics and Applications, volume 19, n° 5, pg. 32- 39, Setembro-Outubro 1999.
- [Robertson1991] "A Methodology for Choosing Data Representations", Philip K. Robertson, pgs. 56-67, IEEE - CG&A, vol. 11, n° 3, Maio-1991.
- [Robertson1994] Philip Robertson et al., "Research Issues in Foundations of Visualization", IEEE - CG&A, volume 14, n°2, pgs. 73-76, Março-1994.
- [Rohher1997] Randall Rohher e Edward Swing, "Web-Based Information Visualization", Computer Graphics IEEE, volume 17, n° 4, pgs. 52-59, Julho-Agosto 1997.
- [Rosenblum1992] Lawrence J. Rosenblum e Bruce E. Brown, "Guest Editors' Introduction:Visualization", IEEE - CG&A, volume 12, n°4, pgs. 18-20, Julho-1992.
- [Rouet1991] Rouet, P., "Les donnés dans les systèmes d'information géographique", Traités de Nouvelles Technologies, série Géographie assisté par ordinateurs, Ed. Hèrmes, ISBN : 2-86601-295-X, 1991.
- [Russel2000] Russel, M. Taylor II, "New Visualization Techniques", ACM SIGGRAPH, vol. 34, n° 1, Fevereiro-2000.
- [Russel2004] R. Russel, Normam Williams e Christopher Bulstrode, "Bailey & Love's Short Practice of Surgery", 24ª edição, Ed. Hodder Arnold, ISBN 0-340-808-19-5, Capítulo 25, pgs. 308-312, Abril-2004.
- [Sanchez2005] J.A. Sánchez, M.B. Twidale, D.M. Nichols e N.N. Silva, "Experiences with Starfield Visualizations for Analysis of Library Collection", Proceedings of the Conference on Visualization and Data Analysis (VDA 2005), IS&T/SPIE Electronic Imaging, SPIE Volume 5669, San Jose, California, Janeiro, pgs. 215-225, 2005.
- [Santos2005] Beatriz Sousa Santos e Jean Louis Dillenseger, "Quality Evaluation in Medical Visualization: some issues and a taxonomy of methods", Medical Imaging 2005: Proceedings of SPIE Medical Imaging 2005, vol. 5034, Image Perception, Observer Performance and Technology Assessment, Eds. M. Eckstein e Y. Jiang, San Diego, pgs. 484-495, Fevereiro-2005.
- [Sato2001] Sato, Mitsuru, "Making a Human Body Map", NatureInterface, n° 4, pgs. 56-59, 2001.
- [Scaletti1991] Carla Scaletti e Alan Craig, "Using Sound to Extract meaning from complex Data", Proceedings of the SPIE, Conference 1459, São José, Califórnia, EUA, 1991.
- [Schroeder2004] Will Schroeder, Ken Martin e Bill Lorensen, "The Visualization Toolkit: An object-oriented Approach", 3ª edição, Kitware Inc., ISBN 1-930934-12-2, 2004.
- [Senay1994] Hikmet Senay e Eve Ignatius, "A Knowledge-Based System for Visualization Design", IEEE - CG&A, volume 14, n° 6, pgs. 36-47, Novembro-1994.
- [Senay1999] Hikmet Senay e Eve Hignatius, "Rules and Principles of Scientific Data Visualization", The George Washington University, 1999, <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/percept/visrules.htm> (visitado em 4-12-2007).
- [Sendra2000] Sendra, J. B., "Sistemas de Información Geografica", 3ª edição, Ed. Rialp S. A., Madrid, 2000.
- [Seo2004] Jinwook Seo e Ben Shneiderman, "A Rank-by-Feature Framework for Unsupervised Multidimensional Data Exploration Using Low Dimensional Projections", Proceedings of InfoVis 2004, Austin, Texas, EUA, pgs. 65-72, Outubro-2004.
- [Seo2005] Jinwook Seo e Ben Shneiderman, "Knowledge Discovery in High Dimensional Data: Case Studies and a User Survey for an Information Visualization Tool", The Institute for Systems Research, Technical Report n° 2005-100, 2005.
- [Seo2005a] Jinwook Seo e Ben Shneiderman, "A Knowledge Integration Framework for Information Visualization", Springer LNCS, vol. 3379, pgs. 207-220, ISBN 978-3-540-24551-3, Janeiro-2005.
- [Sharma2006] Sharma, C. Bolinger, L. Ryner, L., "A Hybrid Data Analysis and Mesh Refinement Paradigm for Conformal Voxel Spectroscopy", 3rd IEEE International Symposium in Biomedical Imaging: Macro to Nano, Arlington, Virginia, EUA, pgs. 6-9, Abril-2006.
- [Shneiderman1997] Ben Shneiderman, "Designing the User Interface", Ed. Addison Wesley, ISBN 978-020169970, Julho-1997.
- [Shneiderman2000] Ben Shneiderman e Hyunmo Kang, "Direct Annotation: A Drag-and-Drop Strategy for Labelling Photos", Proceedings of the International Conference on Information Visualization, Londres, Inglaterra, pgs. 88-90, Julho-2000.
- [Shneiderman2001] Ben Shneiderman, "Inventing Discovery Tools: Combining Information Visualization with Data Mining", Proceedings of Discovery Science 2001 Conference, Washington DC, E. U. A, Novembro-2001.

- [Shneiderman2001a] Ben Shneiderman e Martin Wattenberg, "Ordered Treemap Layouts", Proceedings of INFOVIS 2001, San Diego, California, EUA, pgs. 73-78, Outubro-2001.
- [Skupin2000] Andre Skupin, "From Metaphor to Method: Cartographic Perspectives on Information Visualization", Proceedings IEEE InfoVis 2000, Utah, EUA, pgs. 91-97, Outubro-2000.
- [Skupin2002] Andre Skupin, "A Cartographic Approach to Visualizing Conference Abstracts", IEEE CG&A, Volume 22, n° 1, pgs. 50-58, Janeiro-Fevereiro 2002.
- [Skupin2002] Andre Skupin, "On Geometry and Transformation in Map-Like Information Visualization", Lecture Notes in Computer Science, Volume 2539, ISBN 3-540-00247-2, pgs. 161-170, 2002.
- [Slocum2004] Terry A. Slocum, Robert B McMaster, Fritz C. Kessler e Hugh H. Howard, "Thematic Cartography and Geographic Visualization", Ed. Prentice Hall, ISBN 978-0130351234, 2004.
- [Sluter2001] Sluter, R., "New Theoretical Research Trends in Cartography", Revista Brasileira de Cartografia, n° 53, n° 1, pgs. 29-37, Dezembro-2001.
- [Small1996] D. Small, "Navigating Large Bodies of Text", IBM Systems Journal, vol. 35, n° 3 & 4, pgs. 514-525, 1996.
- [Spire2007] Spire, <http://in-spire.pnl.gov/> (visitado em 5-12-2007).
- [SpotFire2007] SpotFire, <http://spotfire.tibco.com/index.cfm> (visitado em 2-12-2007).
- [Steiger1998] Peter Steiger, "Evaluation of Some New Techniques for Visualization of Highdimensional Dynamical Systems", www.cg.tuwien.ac.at/~steiger/eval/index.html, Maio-1998 (visitado em 4-12-2007).
- [STV2007] Snap-Together Visualization Toolkit, <http://dude.cs.vt.edu/snap/>, (visitado em 2-12-2007).
- [Tanin2000-1] Tanin, E., Plaisant, C., Shneiderman, B., "Broadening Access to Large Online Databases by Generalizing Query Previews", Proc. of the Symposium on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation - CIKM, pgs. 80-85, 2000.
- [Tanin2007] Egemen Tanin, Ben Shneiderman e Hairuo Xie, "Browsing Large Online Data Tables Using Generalized Query Previews", Volume 32, n° 3, Ed. Elsevier, pgs. 402-423, Maio-2007.
- [TclTk2008] Tcl/Tk, <http://tcl.sourceforge.net/> (Visitado em 20-2-2008).
- [Tobler1970] Tobler, W. R., "A computer model simulation of urban growth in the Detroit region", Economic Geography, Volume 46, n° 2, pgs. 234-240, 1970.
- [Treinish1995] Lloyd A. Treinish, "Visualization of Scattered Meteorological Data", IEEE - CG&A, volume 15, n° 4, pgs. 20-26, Julho-1995.
- [Tufte2001] Edward Tufte, "Principles of Information Display for Visualization Practitioners", Ed. Graphic Press, ISBN 978-0961392147, Maio-2001.
- [txtkit2007] "txtkit - Visual Text Mining Tool", <http://sourceforge.net/projects/textkit>, visitado em 30-11-2007.
- [Upson1989] Craig Upson et al., "The Application Visualization System: A Computational Environment for Scientific Visualization", IEEE - CG&A, volume 9, n°4, pgs. 30-41, Julho-1989.
- [Utting1989] Utting, K., and Yankelovich, N., "Context and Orientation in Hypermedia Networks", ACM Transactions on Information System, vol. 7, n° 1, pgs. 58-64, Janeiro-1989.
- [UVP2007] UVP - Universal Visualization Platform, <http://www.masstechportal.org/IP382.aspx> (visitado em 2-12-2007).
- [Vesalius2007] "Andrea Vesalius", http://pt.wikipedia.org/wiki/Andreas_Vesalius, (visitado em 9-12-2007).
- [Viscovery2007] Viscovery Somine, <http://www.somine.info/> (visitado em 5-12-2007).
- [VisibleHuman2007] Visible Human Project, <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/> (visitado em 2-12-2007).
- [VisualLiteracy2007] www.visual-literacy.org, "Visual Literacy: An E-Learning Tutorial on Visualization for Communication, Engineering and Business", http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html (visitado em 5-12-2007).
- [VolView2007] VolView, <http://www.volview.org/> (visitado em 19-11-07).
- [VTK2007] VTK - Visualization Toolkit, <http://www.vtk.org> (visitado em 4-12-2007).
- [VxInsightII2007] VxInsightII, http://www.cs.sandia.gov/~dkjohns/IIIS/Vx_Intro.html (visitado em 2-12-2007).
- [Wald2005] Wald, D. et al., "Faster Isosurface Ray Tracing Using Implicit KD-Trees", IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, Volume 11, n° 5, pgs 562-572, Set-Out. 2005.

- [Walsum1994] Theo Walsum e Frits Post, "Selective Visualization of Vector Fields", Eurographics '94, Eds. Daehlen e Kjellidahl, Blackwell Publ., pgs. 339-347, 1994.
- [Wang2005] Wang, D., Tian, Y., Yong, G. e Lun, W., "A New Method of Generating Grid DEM from Contour Lines", Proceedings of IGARSS '05, 2005 IEEE International, Seoul, Coreia do Norte, pgs. 4-10, Julho-2005.
- [Ward2006] Richard Ward, Line Pouchard, Barbara Beckerman e Stewart Dickson, "The Hotbox: a visual user interface to medical data", Information Visualization, Special issue on visual analysis of human dynamics, Ed. Palgrave Macmilliam, Volume 4, n° 4, ISSN 1473-8716, pgs. 290-295, 2006.
- [Ware2004] Colin Ware, "Information Visualization: Perception for Design (Interactive Technologies)", Ed. Morgan Kaufman, ISBN 978-1558608191, Abril-2004.
- [Werner1997] Werner Purgathofer e Helwig Löffelmann, "Selected New Trends in Scientific Visualization", Vienna University of Technology, Computer Graphics, Visualisation and Animation Group, Setembro-1997.
- [Wild2000] Wild, C. e Seber, G., "Chance Encounters: A First Course in Data Analysis and Inference", Ed. John Wiley and Sons, ISBN 0-471-32936-3, 2000.
- [WilmaScope2007] Wilma Scope 3D Graph Visualization System, <http://wilma.sourceforge.net/> (visitado em 2-12-2007).
- [Wong2000] Pak Chung Wong, Wendy Cowley, Harlan Foote, Elizabeth Jurrus, e Jim Thomas, "Visualizing Sequential Patterns for Text Mapping", Proceedings IEEE Information Visualization 2000, Salt Lake City, Utah, EUA, Outubro-2000.
- [Wood1997] Wood J., Wright H., Brodie K., "Collaborative Visualization", Proceeding of Visualization 97', Phoenix, Arizona, EUA, pgs. 253-259, Outubro-1997.
- [Wren1998] Wren C. e Pentland A., "Dynamic Models of Human Motion", Proceedings of PG'98, IEEE, Mara, Japão, pgs. 120-128, Abril-1998.
- [Wright1997] William Wright, Nahym Gershon e Stephen Eick, "Information Visualization Applications in the Real World", Information Visualization Business Notes, IEEE Computer Graphics and Applications, pgs. 66-70, Julho-Agosto 1997.
- [Yu1995] Chong Ho Yu e John T. Behrens, "Applications of multivariate visualization to behavioral sciences". Behavior Research Methods, Instruments and Computers, volume 27, n° 2, pgs. 264-71, 1995.
- [Zelkowitz1998] M. Zelkowitz e D. Wallace, "Experimental Models for Validating Technology", IEEE Computer, Volume 31, n° 5, pgs. 23-31, Maio-1998.
- [Zhang2006] Zhang, K. Chen, S.-C. Singh, P. Saleem, K. Zhao, N., "A 3D Visualization System for Hurricane Storm-Surge Flooding", IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 26, n° 1, pgs. 18-25, Jan-Fev 2006.
- [Zhangcai2005] Yin, Zhangcai, "A Multi-Scale Gis Database Model Based on Petri Net", Proceedings da ISPRS Workshop on Service and Application of Data Infrastructure, Hangzhou, China, pgs. 271-276, 14-16 Outubro-2005.
- [Zhao2002] Haixia Zhao e Ben Shneiderman, "Image-based Highly Interactive Web Mapping for Geo-referenced Data publishing", The Institute for Systems Research, Technical report n° TR 2005-35, Dezembro-2002.

Anexos

Anexo I

Questionário para a validação 1

Formação profissional do Observador:

Idade:

Sexo:

Avaliação:

Esta avaliação tem como objectivo analisar o modelo CHUB (*Cartographic Human Body*) em seis níveis distintos.

- 1) Deverá escolher no protótipo a lista de causas, sintomas e exames que devem ser considerados como base para o diagnóstico. Com base nas suas escolhas, marque com um X as opções que foram fornecidas.

Causas	Foi seleccionada?
Mais de 45 anos	
Doenças Inflamatórias	
Uso prolongado de corticoides	
Ruptura do Menisco	
Joelho Varo	
Joelho Valgo	
Osteonecrose	
Ruptura Ligamentar	
Desvio rotuliano	
Lesão cartilaginosa	

Sintomas	Foi seleccionada?
Dor na Articulação após Esforço	
Dor na Articulação após Sobrecarga	
Dor na Articulação após Subir/Descer Escadas	
Dor na Articulação após Uso Prolongado	
Dor na Articulação quando Ajoelhado	
Dor na Articulação quando de Cócoras	
Dor na Interlinha Articular do Joelho	
EXAME OBJECTIVO indica alteração da mobilidade	
EXAME OBJECTIVO indica alteração flexão-extensão	
EXAME OBJECTIVO indica instabilidade	
OBSERVAÇÃO Atrofia da Perna ou Coxa	
OBSERVAÇÃO indica Derrame	
OBSERVAÇÃO indica Joelho varo ou valgo	
PALPAÇÃO indica Artrito e/ou Crepitação	
PALPAÇÃO indica Derrame	
PALPAÇÃO indica Dor na Interlinha Art. F-P ou F-T	

Exames Clínicos	Foi seleccionada?
RX não indica Pinçamento Articular	
RX grau 0	
RX grau 1	
RX grau 2	
RX grau 3	

A resposta que obteve estava certa (acusa ou não a existência de artrose no joelho)?

SIM NÃO

2) Em caso de artrose, a resposta que obteve indica correctamente o grau de severidade?

SIM NÃO

3) A resposta indica correctamente o procedimento a adoptar para o diagnóstico proposto?

SIM NÃO

4) O peso total das opções de entrada que induzem a essa resposta está correcto?

SIM NÃO

5) Em termos de visualização, classifique os seguintes pontos:

5a) A visualização por camadas que constituem o joelho é:

bastante útil é útil pouco útil

5b) A utilização de cores e texturas diferentes para reflectir a gravidade do diagnóstico é:

bastante útil é útil pouco útil

5c) A visualização de imagens de RX com diferentes ênfases visuais de cor e detalhe, é:

bastante útil é útil pouco útil

5d) A interacção em geral, é:

bastante simples é simples pouco simples

5e) A visualização apresentada permite uma boa percepção do diagnóstico?

bastante suficiente pouco

6) A utilização do modelo CHUB para diagnosticar a artrose no joelho é:

bastante útil é útil pouco útil

7) Em sua opinião, seria útil a aplicação deste modelo para o diagnóstico de doenças de outro tipo?

bastante útil é útil pouco útil

8) Se desejar, dê as suas sugestões, sob o ponto de vista de um profissional de saúde a utilizar o modelo:

OBRIGADA PELA PARTICIPAÇÃO!

Anexo II

Questionário para a validação 2

Caracterização do utilizador:

As perguntas a seguir, visam obter o perfil do utilizador em termos de prática e utilização de aplicativos computacionais e computador em suas tarefas diárias.

1. Utiliza o computador como ferramenta de trabalho com que frequência?

- Todos os dias
- Pelo menos 3 vezes por semana
- Menos de 3 vezes por semana
- Nunca

2. É utilizador com um nível de conhecimento:

- Nenhum
- Básico
- Médio
- Avançado

3. Utiliza algum aplicativo em especial para executar seu trabalho?

- Sim
- Não

Se respondeu SIM, indique qual: _____

4. Utiliza a visualização gráfica da informação para facilitar a apreensão de seu trabalho?

- Sim Não

Se respondeu SIM, qual tipo de visualização costuma utilizar (pode marcar mais de uma opção):

- Gráficos em 2D
- Gráficos em 3D
- Realidade Virtual
- Outros

Se respondeu OUTROS, indique qual: _____

Está satisfeito com as visualizações que o aplicativo permite gerar?

- Sim Não

Indique porque: _____

Se o aplicativo que utiliza para visualizar não é o mesmo que referiu em (3), indique-o:

Utilização do protótipo CHUB

Considera-se que quando um paciente realiza uma sessão de hidrocinesioterapia com o fato, a informação captada pelos sensores existentes na roupa, é processada em tempo real por um aplicativo computacional. Tendo como base esse cenário, e o protótipo que lhe foi disponibilizado, responda por favor as perguntas abaixo.

1. Sob o ponto de vista de utilizador, quais funcionalidades deve ter um aplicativo computacional para trabalhar os dados oriundos do fato Pellisaquae (pode seleccionar mais de uma opção)?

- Permitir criar e gerir uma base de dados de sessões de pacientes
- Monitorar as sessões em tempo real
- Diagnosticar os resultados de sessões
- Comparar resultados das sessões realizadas pelo mesmo paciente (em datas diferentes)
- Descobrir tendências nos dados obtidos nas várias sessões
- Aplicar modelos específicos para analisar as sessões
- Avaliar sensores individualmente
- Geração de relatórios
- Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

2. Em termos de análise de dados de uma sessão, quais funções estatísticas/matemáticas devem ser utilizadas (pode seleccionar mais de uma)?

- Desvio padrão
- Média ponderada
- Média aritmética
- Distribuição acumulativa normal
- Frequência
- Tendência Linear
- Máximos e mínimos
- Distorção da distribuição
- Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Se existe algum modelo matemático ou estatístico específico, descreva melhor: _____

3. Em termos de comparações de dados entre uma ou mais sessões, quais funções estatísticas/matemáticas devem ser utilizadas (pode seleccionar mais de uma)?

- Desvio padrão
- Média ponderada
- Média aritmética
- Distribuição acumulativa normal
- Frequência
- Tendência Linear
- Máximos e mínimos
- Distorção da distribuição
- Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Se existe algum modelo matemático ou estatístico específico, descreva melhor: _____

4. Em termos de visualização gráfica, ela deve ser utilizada em especial para (pode seleccionar mais de uma opção):

- Monitorar a sessão
- Diagnosticar a sessão
- Analisar resultados da sessão
- Comparar resultados entre sessões
- Avaliar sensores individualmente
- Outros

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

5. Em termos de Monitorização, julga que a visualização deve ser composta por:

- Gráficos 2D
- Gráficos 3D
- Gráficos interactivos
- Realidade Virtual (imersiva)
- Animação
- Incluir som
- Outros

Se respondeu OUTROS, descreva melhor: _____

6. Em termos de Análise e diagnóstico, julga que a visualização deve ser composta por:

- Gráficos 2D
- Gráficos 3D
- Gráficos interactivos
- Realidade Virtual (imersiva)
- Animação
- Incluir som
- Outras

Se respondeu OUTROS, descreva melhor: _____

7. Em termos de comparação de resultados entre sessões, julga que a visualização deve ser composta por:

- Gráficos 2D
- Gráficos 3D
- Gráficos interactivos
- Realidade Virtual (imersiva)
- Animação
- Incluir som
- Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

8. Em termos de relatórios, quais situações julga que seriam de interesse:

- Um relatório para os resultados de monitorização da sessão
- Um relatório para os resultados da análise e diagnóstico da sessão
- Um relatório para a comparação entre sessões (avaliação da evolução histórica)
- Relatórios apenas conterem texto
- Relatórios incluírem gráficos além de textos
- Relatórios apenas conterem representações gráficas

Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

9. Em termos de informação colhida na sessão, quais julga serem mais relevantes para tratamento:

Frequência respiratória

Curvatura da coluna vertebral

Movimento da articulação da anca

Movimento da articulação do ombro

Frequência cardíaca

Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

10. Em termos de visualização de cada tipo de informação, que tipo de representação julga ser mais conveniente:

Frequência respiratória:

Gráficos 2D Gráficos 3D Gráficos interactivos Realidade Virtual (imersiva) Animação Incluir som Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Curvatura da Coluna Vertebral:

Gráficos 2D Gráficos 3D Gráficos interactivos Realidade Virtual (imersiva) Animação Incluir som Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Movimento da Articulação de Ombro:

Gráficos 2D Gráficos 3D Gráficos interactivos Realidade Virtual (imersiva) Animação Incluir som Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Movimento da Articulação de Anca:

Gráficos 2D Gráficos 3D Gráficos interactivos Realidade Virtual (imersiva) Animação Incluir som Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

Frequência Cardíaca:

Gráficos 2D Gráficos 3D Gráficos interactivos Realidade Virtual (imersiva) Animação Incluir som Outras

Se respondeu OUTRAS, descreva melhor: _____

11. Outras sugestões para o aplicativo computacional e o seu grau de satisfação com o oferecido pelo protótipo (funcionalidades, visualização, características, entre outros):

Anexo III

Exemplos de Ferramentas e Projectos na área de Visualização da Informação

São analisadas algumas aplicações, projectos, ferramentas e sistemas de Visualização de Informação neste anexo. Para classifica-los, serão considerados oito tipos de dados básicos subjacentes a estes: unidimensional, bidimensional, tridimensional, multi-dimensional, temporal, hierárquico, rede e *workspace*.

III.1. Unidimensionais

O *txtkit* [txtkit2007] é uma ferramenta de código (figura III-1) aberto para a exploração de grandes quantidades de texto escrito em vários idiomas. É uma aplicação multi-utilizador que foca em especial o processo de leitura e propõe soluções como uma série de decisões e eventos. Para expandir uma determinada vista de actividade o *txtkit* agrupa todos os dados oriundos de todas as pesquisas dos utilizadores e os utiliza para criar um mecanismo de sugestões automáticas de conteúdo, através da filtragem dessa informação. O software corre em MAC OS X 10.3 e requer acesso a Internet.

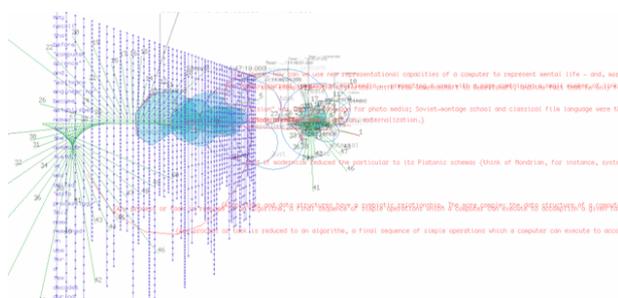


Figura III-1. txtkit

O *Virtual Shakespeare* [Small1996] permite que o utilizador navegue por vários textos de peças escritas por Shakespeare, visualizando-os de forma bastante variada e interessante. Uma única visualização pode conter mais de 100 mil palavras. A este nível, as palavras

(figura III-2) são ilegíveis, mas os padrões e a estrutura geral de cada peça é perceptível. Através da alteração escala, detalhes, como o a frequência de caracteres e tamanho dos diálogos, o tamanho relativo de cada acto ou o diálogo legível da peça, podem ser visualizados em diferentes momentos.

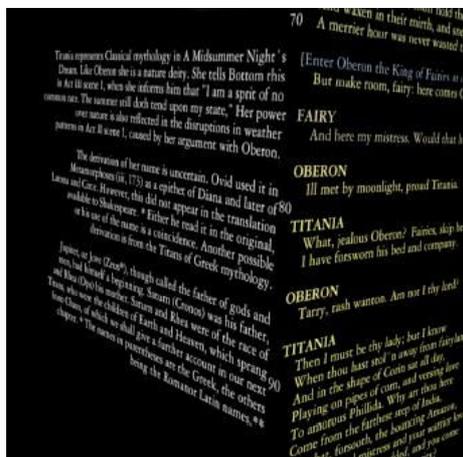


Figura III-2. Virtual Shakespeare

Pak Wong e al. [Wong2000], do Pacific Northwest National Laboratory, propõem um sistema (Figura III-3) de visualização que se baseia na utilização de técnicas de prospecção e extracção de dados para a descoberta de padrões sequenciais em grandes conjuntos de dados. Um padrão sequencial, na prospecção de dados, é uma série finita de elementos como $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$, onde A, B, C e D são elementos do mesmo domínio. A prospecção de padrões sequenciais é executada para encontrar eventos discretos, que ocorrem frequentemente segundo um determinado padrão ao longo do tempo. Da mesma forma que a associação e o agrupamento, a prospecção de padrões sequenciais, é uma das técnicas mais populares de busca de informação, que utiliza avaliações estatísticas para extrair informação útil à partir de grandes conjuntos de dados.

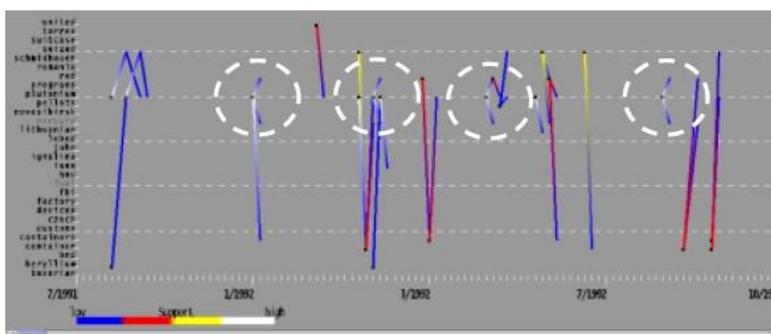


Figura III-3. Sistema de Visualização por padrões sequenciais

TOPIC-OF-GRAPHY™ [Miller1998] aplica *wavelets*⁵¹ ao sinal digital construído a partir das palavras existentes num determinado documento. O resultado da transformação

⁵¹ São ondas pequenas com determinadas propriedades que as tornam adequadas a servirem de base para decomposição de outras funções.

obtida pela aplicação das *wavelets*, é utilizado para analisar as características do fluxo da narrativa no domínio da frequência, tal como as alterações de tema, que podem ser comparadas ao restante tema com o auxílio de métodos estatísticos. As características temáticas de um documento podem ser analisadas com diferentes graus de detalhe, desde partições de texto do tamanho de secções, até partições com apenas poucas palavras. Com base nesta tecnologia está a ser desenvolvido um protótipo designado de *TOPIC ISLANDS*™ (Figura III-4) para analisar texto. O protótipo permite a criação de sumários com níveis de detalhe diferenciados (de acordo com os interesses do utilizador), pesquisa do conteúdo do texto, entre outras coisas.

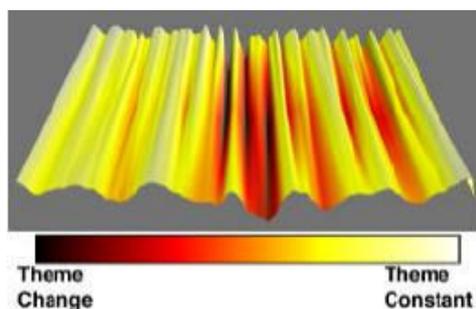


Figura III-4. TOPIC ISLANDS™

ExpO é uma interface flexível, baseada [Tanin2007, Tanin2000-1] num browser hierárquico, que permite pré-visualizar resultados de pesquisas em grandes bases de dados *on-line*. Este browser permite, ao contrário dos normalmente existentes, que o utilizador possa percorrer todos os atributos e relações existentes na base de dados. Todos os atributos da base de dados (que sejam apropriados para tal) podem ser utilizados para mostrar a distribuição da informação (fig. III-5). As visualizações incluem gráficos de barra e há possibilidade de serem expandidas. Para depurar e percorrer os dados antes de efectivamente lê-los, são utilizados os metadados disponíveis. Com isto, há uma redução drástica do tempo gasto em acessos remotos.

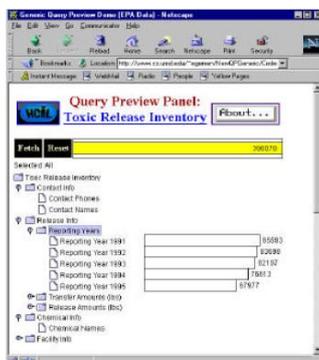


Figura III-5. ExpO

A visualização no *ThemeRiver* [Havre2002], tem como objectivo principal, evidenciar as variações temáticas ao longo do tempo, em grandes colecções de documentos. As alterações são mostradas dentro de um contexto temporal e relacionadas com os eventos externos correspondentes. O foco na alteração temática dentro de um contexto temporal permite que o utilizador consiga detectar padrões e tendências. Por exemplo, uma alteração abrupta na intensidade temática seguida de um evento externo pode ser um indício de uma relação causal. O fluxo (fig. III-6) da esquerda para a direita é interpretado como um movimento ao longo do tempo e a distância horizontal entre dois pontos no “rio” define um intervalo de tempo. Em qualquer ponto temporal, a distância vertical, ou a largura do “rio” indica a expressividade colectiva dos temas seleccionados. As “correntes” coloridas que flúem pelo “rio” representam temas individuais. A largura vertical de uma “corrente” alarga ou estreita de forma a indicar a expressividade individual do tema.

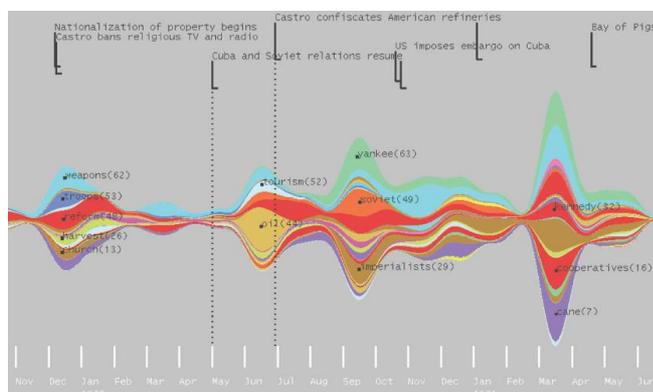


Figura III-6. ThemeRiver

III.2. Bidimensionais

O PhotoFinder [Shneiderman2000] é uma aplicação orientada a anotação de fotos digitais. A anotação é uma tarefa que consome bastante tempo, tediosa e com grande probabilidade de erro. Em função disso, boa parte das pessoas que possuem bibliotecas digitais de fotos, acabam por não o fazer. Permitir que o utilizador possa simplesmente arrastar (figura III-7) nomes a partir de uma lista e os largar directamente sobre a foto a ser etiquetada, facilita em muito esse tipo de actividade. Desde que os nomes sejam introduzidos numa base de dados, a procura de todas as fotos de uma determinada pessoa é dramaticamente simplificada.



Figura III-7. PhotoFinder

O *GeoVista Studio* [Gahegan2003] é um ambiente de desenvolvimento de código aberto, orientado para dados de natureza geo-referenciada. É possível construir com rapidez aplicações para a visualização e processamento de dados geográficos, bastando desenvolver o código apropriado. O objectivo fundamental deste projecto é melhorar a análise geocientífica, criando um ambiente totalmente operacional, que inclui uma vasta gama de ferramentas de análise, em especial, visuais e (figura III-8) estatísticas.

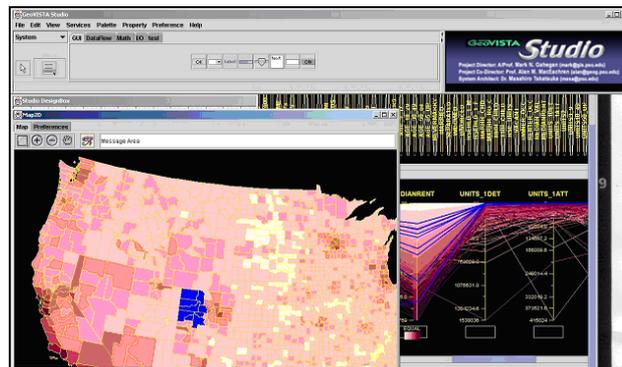


Figura III-8. GeoVista Studio™

Counterpoint [Good2001] é uma ferramenta de apresentação, que oferece graus diferenciados de zoom. Ela suporta a construção de apresentações no estilo *slide show*, com o conteúdo disposto num espaço de dimensão 3.5. Como no caso de outras interfaces que permitem a variação do zoom, *CounterPoint* possibilita navegações na apresentação, com a inclusão de efeitos animados, conforme ocorrem transições entre as visualizações. A ferramenta suporta ainda, a execução de caminhos sequenciais automatizados de visualizações durante uma apresentação, bem como interactivas. Também podem ser definidos múltiplos (fig. III-9) caminhos dentro de um ambiente único de apresentação.

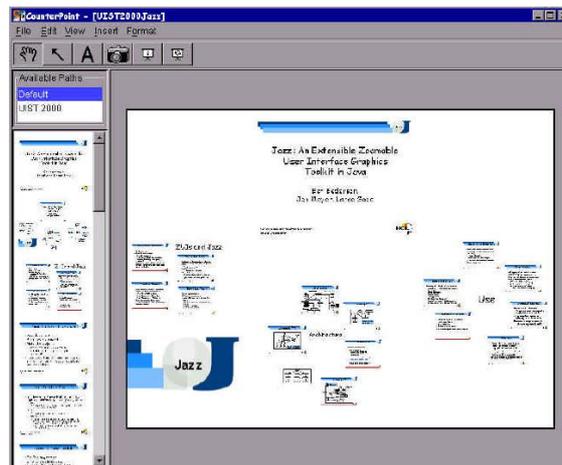


Figura III-9. CounterPoint

Dynamaps [Dang2001, Zhao2002] é uma ferramenta generalista de visualização de mapas, que permite pesquisar e analisar dinamicamente dados geográficos, representados segundo mapas de cores (*choropleth maps*). O utilizador pode utilizar as cores para codificar as variações em cada região geográfica e filtrar as áreas, que não atendem a um determinado critério desejado. *Dynamaps* permite visualizar as distribuições dos dados, além dos seus detalhes e, ao mesmo tempo, obter vistas genéricas. É possível relacionar dados estatísticos e geográficos, descobrindo as tendências e os seus limites. Outro projecto muito similar a este é o *YMap* [Norman2003]. Este, porém, permite a visualização simultânea de várias alternativas (fig. III-10).

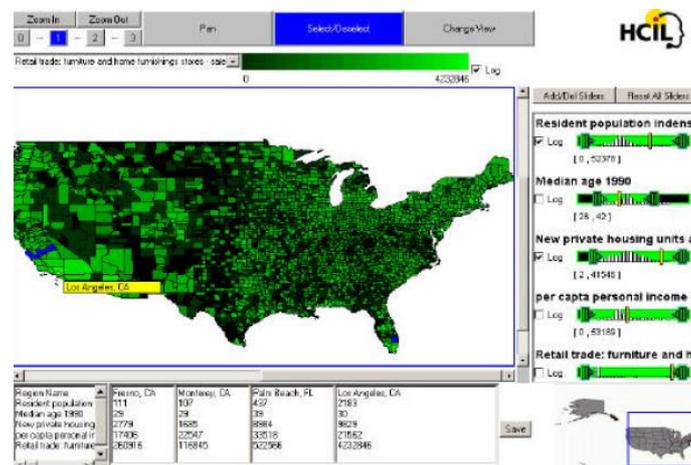


Figura III-10. YMap

III.3. Tridimensionais

A *VxInsight* [VxInsight2007] é uma aplicação que combina técnicas de visualização científica com as de informação. É passível de uma fácil padronização e extensão. É uma ferramenta para análise das relações existentes em grandes bases de dados (figura III-11). O objectivo principal é revelar a estrutura implícita dos dados, facilitando a descoberta de padrões e ligações e/ou dependências. Na próxima versão, irá incorporar várias outras técnicas como o mapa de contornos e o mapa de árvores.

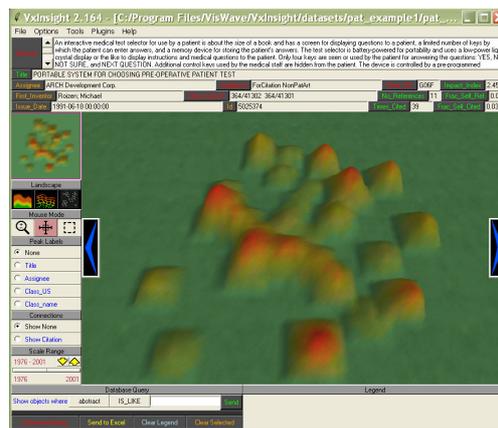


Figura III-11. VxInsight

WilmaScope [WilmaScope2007] é uma aplicação em JAVA3D capaz de criar animações tridimensionais de grafos em tempo real. Ela permite (fig. III-12) a visualização 3D de grafos, a criação rápida de protótipos a partir de algoritmos, a produção de imagens estáticas 3D com alta resolução, a modelação do tipo grupo-grafo, o controlo de luz ambiente e movimentos, a criação de extensões personalizadas com interface através da sua API (*Application Programming Interface*), a navegação interactiva, entre outras coisas.

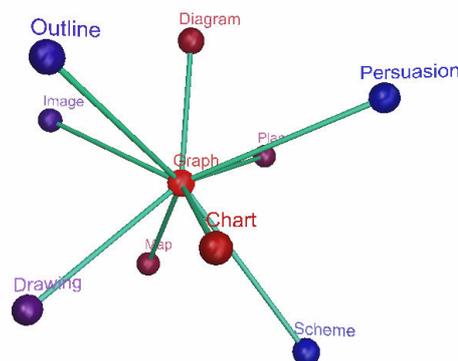


Figura III-12. WilmaScope

III.4. Multi-dimensionais

O HCE - *Hierarchical Clustering Explorer* [Seo2005] utiliza o algoritmo hierárquico para criação de grupos sem um número pré-definido. Os utilizadores podem definir os grupos, com total feedback visual (dendograma e mosaico colorido), além de controlarem dinamicamente as pesquisas. O HCE (figura III-13) implementa quatro técnicas genéricas, que podem ser utilizadas interactivamente na exploração dos grupos resultantes: visão global, combinada ou em detalhe do conjunto de dados, controles para pesquisas dinâmicas (com controlo de número de grupos visíveis por vez), visualizações coordenadas entre si e comparações entre os grupos. O HCE também utiliza projecções de reduzida dimensão para facilitar a visualização e utiliza como base a técnica escalonamento por características.

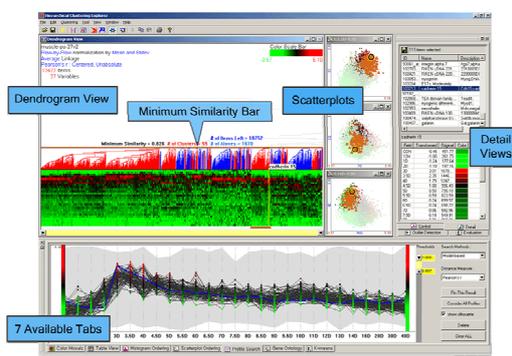


Figura III-13. HCE

O *GlassEye* [Hochheiser2000] é um browser criado para explorar o site que contém todo o catálogo musical das composições de Philip Glass (é um conteúdo tipicamente multimédia - música, vídeos, letras, entre outros). O protótipo (figura III-14) foi construído tendo como base a combinação de técnicas como o campo estrelado, a possibilidade de execução de pesquisas dinâmicas, e interfaces ZUI (*Zoomable User Interfaces*), além de outras técnicas de interacção e complementares de visualização (som e imagem).



Figura III-14. GlassEye

A *Snap Together Visualization* [STV2007] é uma ferramenta que permite a criação e publicação na Internet de múltiplas vistas padronizadas de bases de dados relacionais e das suas relações. Existe sempre a coordenação entre as várias visualizações, pois tem como base conceptual a utilização da técnica que lhe dá o nome (STV): vistas dos esquemas relacionais das bases de dados, diagramas dos esquemas das interfaces com o utilizador, entre outros. O *Snap Together Visualization* (figura III-15) permite a combinação de múltiplas base de dados em simultâneo, disponibiliza uma API simplificada para integração de componentes, corre como uma *applet*⁵² em browsers, permite a filtragem e pesquisa de dados, entre outras coisas.

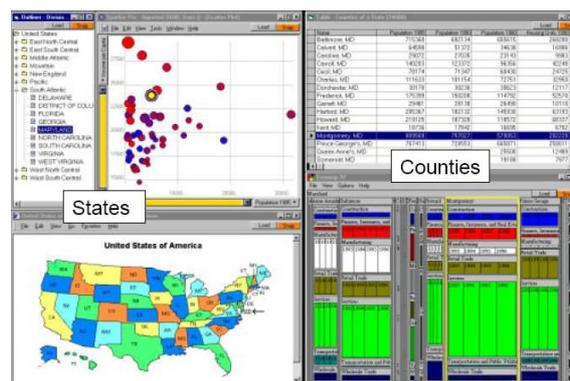


Figura III-15. Snap Together Visualization

O *ADVIZOR/2000* [Eick2000] é uma ferramenta que explora as técnicas de visualização para analisar base de dados de multi-dimensão. A metáfora visual e conceptual utilizada é a de cubos de dados. Os cubos podem ser visualizados segundo três perspectivas distintas: única, múltipla e ancorada (fig. III-16). Cada uma delas combina tipos de gráficos e grau de dimensão diferentes. Para correr o *ADVIZOR/2000*, basta o utilizador criar uma tabela Pivot em Excel. Os dados podem ter origem numa folha de dados do Excel, numa base de dados relacional ou num cubo OLAP (*On-line Analytical Processing*).

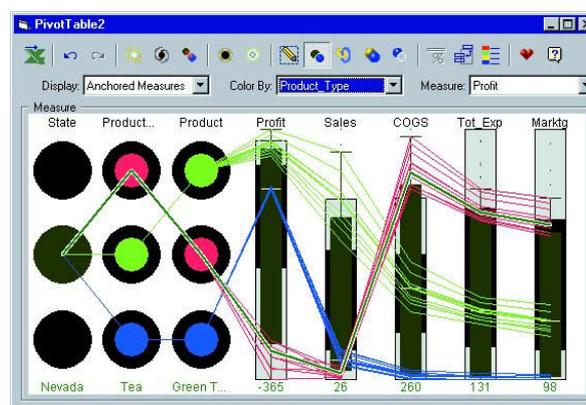


Figura III-16. ADVIZOR/2000 - Perspectiva ancorada

⁵² É um software aplicativo que é executado no contexto de outro programa.

III.5. Hierárquicos

O *Treemap 4.1.1* [Shneiderman-1] é uma aplicação orientada para a visualização de estruturas hierárquicas, e que tem a técnica que lhe dá o nome. Ela é muito efectiva na visualização dos atributos dos nós, utilizando a cor e o tamanho para expressar valores. Esta aplicação permite que o utilizador compare os nós e ramos percorrendo em profundidade a árvore, de forma a evidenciar padrões e excepções. O *Treemap* (figura III-17) foi inicialmente proposto por Ben Shneiderman durante os anos 90, e desde então, foram desenvolvidas várias versões que têm sido utilizadas em diferentes áreas do conhecimento.

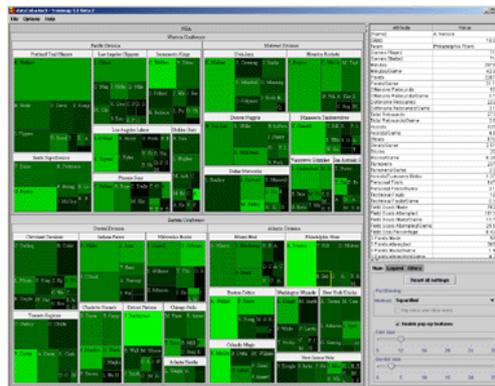


Figura III-17. Treemap 4.1.1

O *Domain Tree Browser (DTB)* [Gandhi2000] é uma ferramenta de visualização do histórico de páginas *web* visitadas pelo utilizador. O objectivo é ser utilizado como complementar ao browser. Ele recebe os eventos do browser, toda a vez que uma hiper ligação é seleccionada na página, e utiliza esses eventos para manter um historial das visitas as páginas. Ela constrói uma hierarquia conforme o utilizador atravessa as ligações. O DTB (fig. III-18) mantém automaticamente o histórico das páginas visitadas, com o menor esforço por parte do utilizador. A ferramenta organiza as URLs (*Uniform Resource Locator*) visitadas com base nos domínios dos *websites*. É uma interface passível de zoom, sendo automaticamente redimensionável, de forma a garantir que todos os *thumbnails*⁵³ caibam na janela.

⁵³ São versões reduzidas de imagens, utilizadas para tornar mais fácil o processo de as procurar e reconhecer.



Figura III-18. DBT

Space Tree [Plaisant2002] é um browser de árvores que cria visualizações baseadas nos diagramas convencionais para árvores (mapas de árvores, grafos, hiperbólica, entre outros). Ele permite a alteração de escala dinamicamente, garantindo sempre um bom enquadramento e aproveitamento do espaço disponível no ecrã. Para esse propósito, também é utilizada a pré-visualização com ícones como sumário da topologia, pesquisa e filtragem integradas e alteração do ponto de (fig. III-19) vista.

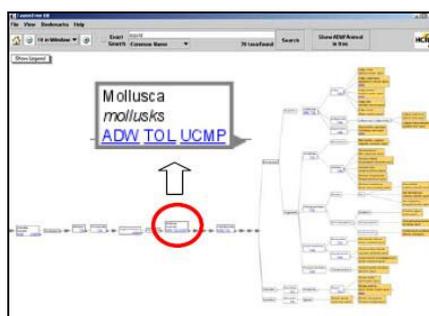


Figura III-19. Space Tree

TaxonTree [Parr2004, Parr2003] é uma aplicação para visualizar a hierarquia existente na taxinomia dos nomes de animais. Ela inclui facilidades para pesquisa e filtragem, que não exigem que o utilizador tenha um profundo conhecimento da área ou das palavras-chave para poder organizar os dados. O objectivo básico desta aplicação é o de determinar padrões de busca de informação em assuntos relacionados com o domínio da biodiversidade (figura III-20).

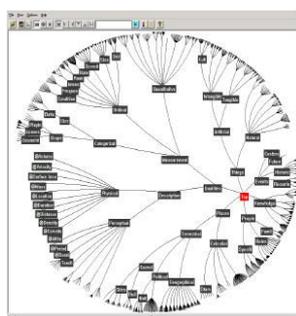


Figura III-20. TaxonTree

O ChAT (*Conversation Analysis Tool*) [Cowell2006] é um ambiente de teste experimental orientado para o desenvolvimento de linguística computacional que permite os utilizadores facilmente identificarem tópicos ou pessoas de interesse dentro de conversas com vários participantes, incluindo quem falou para quem, quando, assuntos que foram discutidos, entre outros. O protótipo RACE (*Retrospective Analysis of Communication Events*), tendo como (fig. III-21) base muitos dos componentes do ChAT, é uma aplicação que foca a combinação dos diferentes tipos de dados presentes numa comunicação, de forma que a mensagem base pode ser identificada numa forma temporalmente eficiente.



Figura III-21. RACE

III.6. Redes

BOOST Graph Library (BGL) [BGL2007] é uma biblioteca aberta, de alta performance, escrita em C++, especialmente concebida para o processamento de grafos. Parte dela é uma interface genérica que permite acesso à estrutura de grafos, escondendo entretanto, os detalhes da implementação. Os algoritmos permitem operar facilmente qualquer estrutura de dados do tipo hierárquico. O BGL tem sido utilizado como base de muitas aplicações orientadas para a visualização de redes, e não possui nenhuma interface para interacção.

O *Graphvis* [Graphvis2007] é um software de código aberto para a visualização de grafos. Ele inclui programas para criar vários *layouts*⁵⁴ de redes/grafos. Ele também possui uma interface gráfica (fig. III-22) interactiva, ferramentas auxiliares e bibliotecas. Os programas para desenho de *layouts* do *Graphviz* utilizam descrições textuais dos grafos para criar vários diagramas em diferentes formatos, além disso, é possível alterar atributos visuais como a cor, forma dos nós, estilos de linhas, entre outros.

⁵⁴ É um esboço mostrando a distribuição física, tamanhos e pesos de elementos como texto, gráficos ou figuras num determinado espaço.

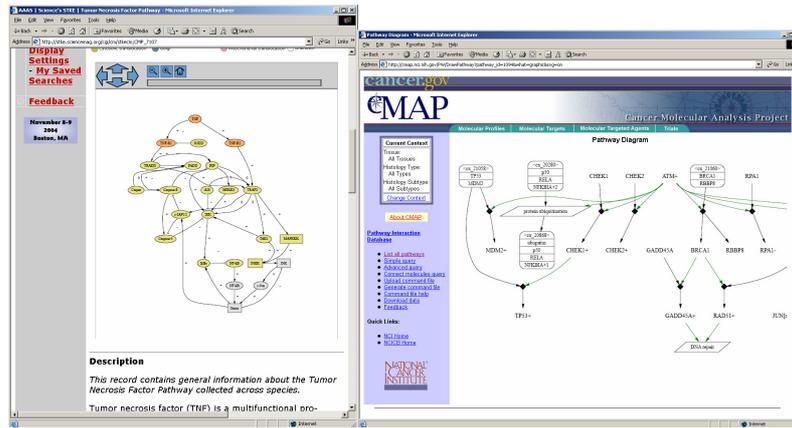


Figura III-22. Graphvis

A *JUNG* [Jung2007] é uma biblioteca de código aberto (escrita em JAVA) que funciona como um *framework* comum para análise e visualização de grafos e/ou redes. Para a visualização, a *framework* permite uma fácil construção de ferramentas interactivas para a exploração dos dados. Vários algoritmos estão disponíveis para desenho dos grafos segundo diferentes *layouts*, além de haver a possibilidade que o utilizador crie o seu próprio. A *JUNG* inclui também mecanismos para a filtragem, permitindo que o utilizador ou os algoritmos utilizados, foquem apenas uma determinada parte do grafo. Não possui interface gráfica, como no caso do BOOST.

III.7. Espaços de Trabalho

O *ILOG Discovery* [ILOG2007] é uma ferramenta potente de visualização, que além de permitir uma manipulação fácil de janelas – não permite a sobreposição e minimiza automaticamente sendo possível ter acesso a um número ilimitado de vistas, o que inclui uma série de potencialidades que o classificariam também em outras categorias de visualização (fig. III-23). Ela permite, entre outras coisas: suporte a vários formatos de dados, visualizações de histogramas, distribuições, grafos, mapas de dados e hierarquias, análise paralela, navegação e execução de macros. Utiliza como base conceptual o modelo de visualização de dados linear.

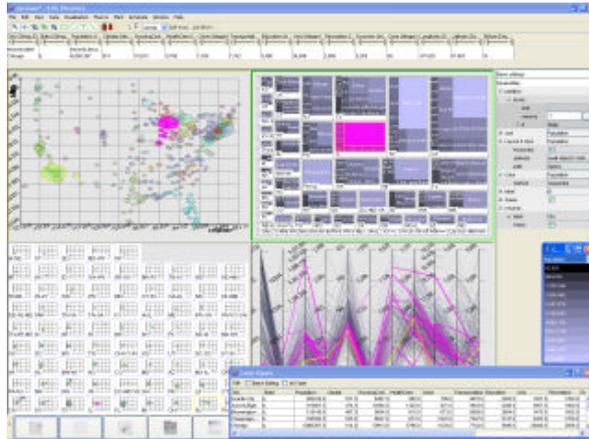


Figura III-23. ILOG Discovery

O *Improvise* [Improvise2007] possui três níveis distintos de funcionalidade: browser (navegação e selecção), construção (edição de pesquisas coordenadas e de *layouts*) e meta visualização (visualização *in situ* de coordenadas e outras estruturas). Ele suporta vistas hierárquicas utilizando uma variedade de gestores de *layout* (equivalente ao do JAVA AWT), utiliza editores gráficos para vistas, pesquisas e *layouts*, cria, elimina, modifica e interliga dinamicamente todos os objectos e salva/lê uma visualização armazenada em documento XML. É uma aplicação auto-suficiente que mostra uma ou mais visualizações, cada uma, numa janela própria. Cada janela contém um painel *desktop*⁵⁵ com multi-páginas (figura III-24). É também um caso que poderia ser classificado em outra categoria, além desta.

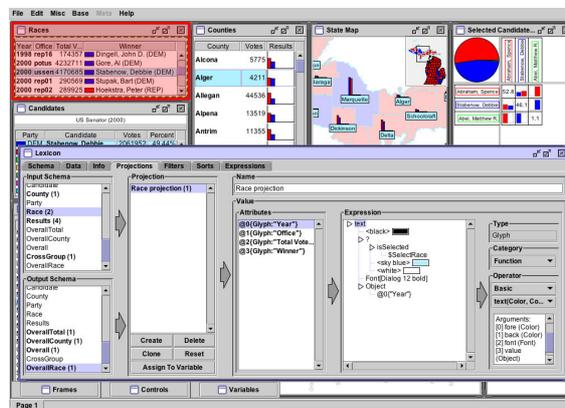


Figura III-24. Improvise

A análise do *Web Server Log* permite que os gestores de sites obtenham informação sobre os utilizadores de um site. Com a aplicação de multi-visualizações [Hochheiser2001] coordenadas dos dados da *web log*, com granularidade diferente e complementadas com informação contextual, é possível melhorar bastante esta análise. Hochheiser

⁵⁵ Ambiente gráfico adequado ao utilizador, onde ele possa abrir algumas janelas de programas e efectuar operações básicas sobre as janelas abertas e sobre o ambiente em si.

[Hochheiser2000] propôs uma aplicação (figura III-25) onde a utilização da técnica STV desempenha papel fundamental para a análise desse tipo de informação.

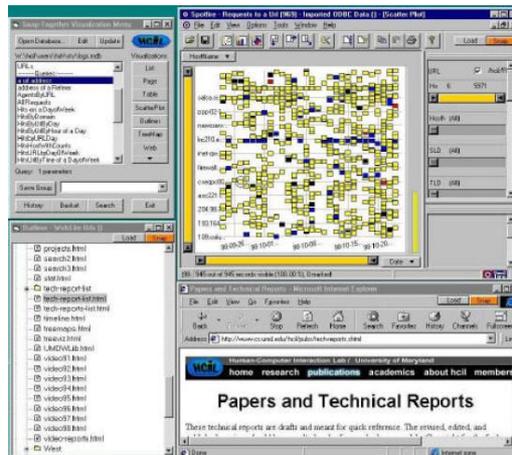


Figura III-25. Análise da Web log data

O *InfoVis Toolkit* [InfoVis2005] é uma ferramenta gráfica interactiva escrita em Java que permite o desenvolvimento de aplicações e componentes para a visualização da informação. A estrutura de dados básica é uma tabela com colunas, sendo que cada coluna contém objectos homogêneos. As árvores e grafos são derivados a partir das tabelas. Permite a filtragem interactiva (pesquisas dinâmicas) de dados, pois se baseia num conjunto unificado de componentes. Além disso, oferece uma grande variedade de técnicas de visualização de (fig. III-26) informação.

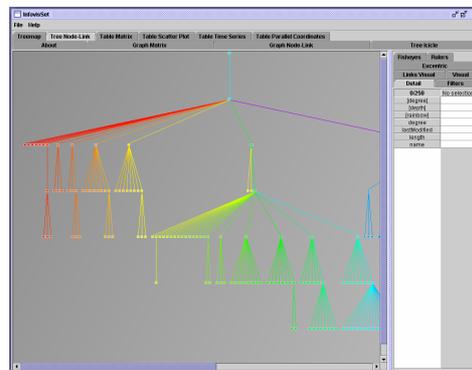


Figura III-26. InfoVis Toolkit

O *Spotfire* [SpotFire2007, Cailleteau1999] é um sistema de visualização que inclui uma vasta gama de ferramentas para visualizar e analisar diferentes tipos de informação. É um ambiente multi-janelas, que utiliza várias técnicas de visualização, gráficos, metáforas, entre outros. Pode ser utilizado para vários propósitos e graças a sua API, permite facilmente a sua extensão (fig. III-27). É mais um caso que pode pertencer a mais de uma categoria.

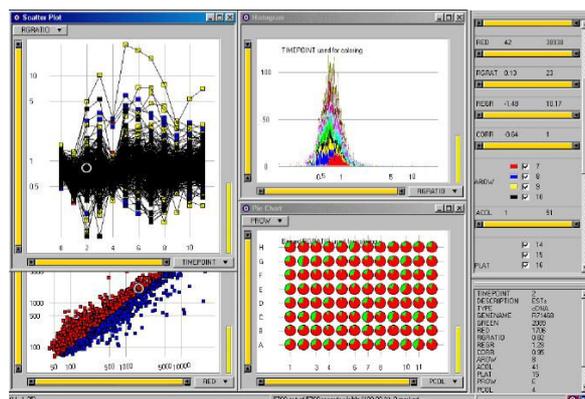


Figura III-27. SpotFire

III.8. Temporais

Timesearcher [Buono2005] é um protótipo desenvolvido com o objectivo de permitir a pesquisa interactiva e a exploração em séries temporais. As caixas temporais (*timeboxes*) (Fig. III-28) são utilizadas para criar pesquisas – é uma metáfora gráfica de manipulação directa que permite definir pesquisas nos conjuntos de séries temporais, além de auxiliar na triagem da informação. As caixas temporais suportam formulação e modificação interactiva de pesquisas. O protótipo inclui janelas para a pesquisa e visualização de resultados. Este protótipo foi desenvolvido com o *Piccolo Toolkit* [Piccolo2007]. Alek Aris et al. desenvolveram quatro métodos para avaliar séries temporais com distribuições não uniformes no *Timesearcher* [Aris2005].

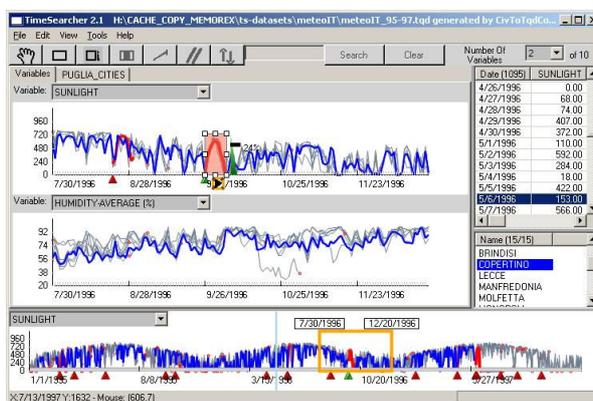


Figura III-28. Timesearcher

Adam Perer [Perer2005] desenvolveu uma visualização interactiva que ajuda a percepção do contexto de discussões por e-mail. A visualização permite aos utilizadores acompanharem uma discussão ao longo do tempo, visualizando a lista de intervenientes em cada momento. A extensão (fig. III-29) da linha de tempo no eixo horizontal fornece a duração de tempo decorrido desde a entrada da mensagem de e-mail na linha de discussão. Os pontos mais a esquerda, são as mensagens mais antigas, ocorrendo o oposto nas que estão situadas a direita.

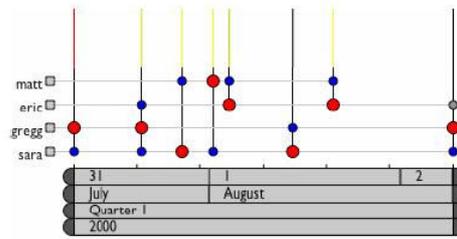


Figura III-29. Discussão de e-mails

FishCal [Bederson2003] é uma interface em forma de calendário para PDA. Ela permite o planeamento e análise de tarefas utilizando representações visuais do tipo olho de peixe das datas e da informação associada. Desta forma, é possível se obter desde visualizações genéricas como compactas de toda a informação presente no calendário. Da mesma forma, o utilizador consegue facilmente navegar e procurar informação, além de descobrir padrões e valores (fig. III-30) limites.

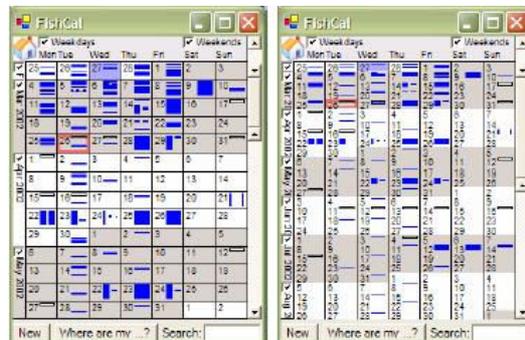


Figura III-30. FishCal

Lifelines [Lifelines2007] é uma ferramenta para visualização temporal de informação, tendo sido já utilizada em diversas áreas. Chanda Harris e al. [Harris1999] utilizaram esta ferramenta para visualizar casos legais na justiça. O objectivo foi o de explorar visualmente a ligação existentes entre o caso original e as histórias directas e indirectas afins. Por exemplo, se o utilizador desejar saber como as regras e estatutos foram modificados ao longo de um determinado caso, ele pode analisa-los numa única visualização. Com a utilização da linha do tempo, o utilizador também pode seleccionar em qual momento temporal deseja começar a analisar o caso (figura III-31).

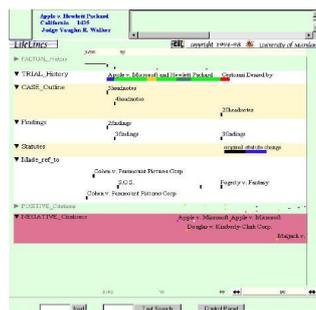


Figura III-31. Lifelines em casos legais