



**Oswaldo Arede
dos Santos**

**Proposta de serviços Internet para suporte à
personalização de eAprendizagem**



**Oswaldo Arede
dos Santos**

**Proposta de serviços Internet para suporte à
personalização de eAprendizagem**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Ciências e Tecnologia da Comunicação, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Fernando Manuel dos Santos Ramos, Professor Catedrático do Departamento de Comunicação e Arte da Universidade de Aveiro.

O Júri

Presidente: Doutor **José Joaquim Costa Cruz Pinto**
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogais: Doutor **João Álvaro Brandão Soares de Carvalho**
Professor Catedrático da Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Doutor **Fernando Manuel dos Santos Ramos**
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (Orientador)

Doutor **Óscar Emanuel Chaves Mealha**
Professor Associado da Universidade de Aveiro

Doutor **Álvaro Pedro de Barros Borges Reis Figueira**
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Doutor **António Augusto de Freitas Gonçalves Moreira**
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

A realização deste trabalho deve muito a algumas instituições e pessoas, a quem eu gostaria de agradecer:

Aos meus Pais pelos sacrifícios que fizeram na vida para dar aos seus filhos as oportunidades de formação que eles próprios nunca tiveram.

Ao Estado Português e à União Europeia, que através do programa PRODEP contribuíram decisivamente para a realização deste trabalho.

À Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco, pela atribuição da dispensa de serviço docente.

À minha família, que teve a paciência para suportar um Marido e um Pai muitas vezes ausente da vida familiar.

Finalmente, gostaria de destacar o papel essencial do meu orientador, Prof. Doutor Fernando Ramos, que além da sua indispensável e sábia orientação científica, soube também motivar-me e apoiar-me nos momentos críticos, demonstrando qualidades humanas excepcionais.

A todos, muito obrigado.

Resumo

Esta tese propõe modelos para serviços Internet com a capacidade de personalizar experiências de eAprendizagem através da localização, selecção, recombinação e reutilização dinâmica de objectos de aprendizagem, tendo em consideração o perfil individual do formando, os objectivos de formação e o contexto em que o processo de aprendizagem se insere.

Os modelos de personalização são suportados por um modelo para a classificação de objectos de aprendizagem que permite representar áreas de conhecimento como uma rede de conceitos interrelacionados. Cada conceito é encapsulado num segmento de conhecimento com uma abrangência conceptual definida através de metadados. Os relacionamentos entre os diversos segmentos permitem modelar as relações, afinidades e dependências que existem entre os diversos conceitos. O modelo de classificação permite associar segmentos de conhecimento a objectos de aprendizagem, suportando a sua avaliação segundo critérios de qualidade e conformidade.

Os modelos de personalização usam as características individuais de cada formando como chave para a geração dinâmica de experiências de eAprendizagem adequadas às suas necessidades particulares. São propostos três serviços personalizados concretos que se baseiam nestes modelos. O serviço mais simples permite filtrar e ordenar os resultados de pesquisas de conteúdos de acordo com o perfil individual de cada utilizador. Um outro serviço, chamado "aconselhamento personalizado", permite a sugestão automática de planos de aprendizagem para revisão de conceitos, considerando os requisitos prévios do objectivo de aprendizagem e as dificuldades e competências do utilizador relativamente a esses requisitos.

O terceiro serviço, intitulado "geração dinâmica de planos de aprendizagem", permite criar automaticamente planos de aprendizagem personalizados, através da agregação dinâmica de objectos de aprendizagem independentes. É apresentado um método para a maximização da coerência dos planos de aprendizagem assim gerados.

Finalmente, é proposto um modelo para a integração dos conceitos de gestão de direitos digitais nos modelos anteriores, de modo a permitir a coexistência de conteúdos gratuitos e não gratuitos no mesmo plano de aprendizagem gerado dinamicamente.

Abstract

This thesis proposes models for Internet services with the ability to customize eLearning experiences by dynamically locating, selecting, recombining and reusing learning objects, considering individual profiles, learning goals and learning context.

The personalization services are supported by a classification model for learning objects, able to represent knowledge as a network of interrelated subjects. Each subject is encapsulated within a knowledge segment with a conceptual scope defined by metadata. These segments may be associated in order to model the relationships, affinities and dependencies that exist among their subjects. Furthermore, the classification model supports the association of learning objects to knowledge segments, enabling the assessment of learning objects according to quality and compliance criteria.

The personalization models use individual profiles as the key to dynamically generate personalized eLearning experiences, customized to each user's learning needs. Three different services have been built around these models. The first is able to filter and order search results of learning objects by its relevance concerning the user's profile. Another service that has been implemented has the capability to estimate the user's difficulties regarding a specific learning goal. Afterwards, it is able to dynamically create auxiliary learning courses to help the learner overcome those specific difficulties. The third, and most challenging service, can generate high-level courses by dynamically aggregating independent learning objects. It includes a method to maximize the coherence of the generated learning sequence.

The last model presented in the thesis aims to integrate digital rights management concepts into the personalization models, in order to support the coexistence of both commercial and free learning objects in the same dynamically generated course.

Índice

1	Introdução	19
1.1	Organização da dissertação	19
1.2	Contextualização	20
1.2.1	A sociedade do conhecimento	20
1.2.2	A aprendizagem na sociedade do conhecimento	22
1.2.3	O papel da eAprendizagem na sociedade do conhecimento	24
1.3	Objectivos do trabalho	28
1.3.1	Algumas questões em aberto	28
1.3.2	Objectivos concretos do trabalho	30
2	Tecnologias de suporte à eAprendizagem	33
2.1	O conceito de objecto de aprendizagem	33
2.2	Iniciativas e projectos	35
2.2.1	ARIADNE	35
2.2.2	LTSC	38
2.2.3	IMS	38
2.2.4	ADL	39
2.2.5	AICC	41
2.2.6	CEN/ISSS	41
2.2.7	GESTALT	42
2.2.8	PROMETEUS	42
2.2.9	EdNA	42
2.2.10	MERLOT	43
2.3	Normas e metadados	44
2.3.1	Metadados <i>Dublin Core</i>	44
2.3.2	Metadados ARIADNE	46
2.3.3	Metadados LOM	48
2.3.4	Metadados GEM	54
2.3.5	Metadados EdNA	56
2.3.6	Modelo de empacotamento de conteúdos IMS	57
2.3.7	Modelos de agregação de conteúdos SCORM	61
3	Classificação de objectos de aprendizagem	67
3.1	A importância da classificação de objectos de aprendizagem	67
3.2	Classificação com sistemas existentes	69
3.2.1	Os sistemas de classificação tradicionais	69
3.2.2	As limitações da visão LOM para a classificação de objectos	73
3.3	Proposta de modelo de classificação de objectos de aprendizagem	76
3.3.1	Os requisitos do modelo	77
3.3.2	A arquitectura do modelo proposto	80
3.3.3	Registo de objectos de aprendizagem	89
3.3.4	A construção de ontologias no âmbito do sistema de classificação	91
3.3.5	Estratégia de pesquisa	96
3.3.6	Os serviços do modelo de classificação	100
3.4	O protótipo implementado	101
3.4.1	Componentes principais do protótipo	102

3.4.2	Processamento dos pedidos	104
3.5	Avaliação do protótipo	107
3.6	Conclusões	112
4	eAprendizagem personalizada	115
4.1	Introdução.....	115
4.2	O modelo de personalização	117
4.2.1	Estrutura de base do modelo de personalização	117
4.2.2	Representação do perfil do formando.....	118
4.3	Pesquisa personalizada.....	123
4.4	Aconselhamento personalizado.....	128
4.5	Geração automática de planos de aprendizagem.....	133
4.6	O protótipo implementado	139
4.6.1	Módulo de pesquisa personalizada.....	141
4.6.2	Módulo de aconselhamento personalizado.....	144
4.6.3	Módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem	146
4.7	Resultados	148
4.7.1	Pesquisa personalizada	149
4.7.2	Aconselhamento personalizado	160
4.7.3	Geração dinâmica de planos de aprendizagem.....	163
4.8	Conclusões	169
5	Gestão da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem	173
5.1	Introdução.....	173
5.2	Protecção da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem	174
5.2.1	Os problemas da visão tradicional de protecção de direitos de autor.....	174
5.2.2	Gestão de direitos digitais.....	175
5.2.3	Requisitos específicos dos objectos de aprendizagem	176
5.3	O modelo proposto	178
5.3.1	Modelo conceptual	178
5.3.2	Modelo de licenciamento.....	182
5.4	Integração nos modelos de eAprendizagem personalizada.....	184
5.5	O protótipo implementado	185
5.6	Resultados	188
5.7	Conclusões	189
6	Conclusões.....	191
6.1	Introdução.....	191
6.2	O sistema de classificação.....	191
6.3	Os modelos de personalização	193
6.4	O modelo de protecção da propriedade intelectual	196
6.5	Conclusões gerais	197
6.6	Trabalho futuro.....	198
	Glossário.....	201
	Referências	203

Lista de figuras

Figura 1 – Opinião dos cidadãos Europeus sobre a importância da aprendizagem ao longo da vida	23
Figura 2 – Percentagem de população adulta em formação, em 2004 (Eurostat, 2005)	24
Figura 3 – Taxa de penetração de acessos à Internet na União Europeia, fonte: Eurostat ..	25
Figura 4 – Caracterização das competências tecnológicas na UE15 (fonte: CEDEFOP 2003).....	27
Figura 5 – Repositórios ARIADNE envolvidos nas demonstrações.....	36
Figura 6 – Interface de pesquisa avançada do sistema ARIADNE.....	37
Figura 7 – Componentes do modelo de empacotamento IMS	58
Figura 8 – Elementos do manifesto IMS	59
Figura 9 – Organização de conteúdos e relacionamento com recursos.....	63
Figura 10 – Exemplo de relacionamento implícito entre objectos	76
Figura 11 – Gestão distribuída dos segmentos de representação de conhecimento	78
Figura 12 – Os componentes fundamentais do modelo de classificação	81
Figura 13 – Estrutura de dados do segmento.....	82
Figura 14 – Exemplo de relacionamentos entre segmentos	87
Figura 15 – Modelo de metadados para o registo de objectos de aprendizagem	89
Figura 16 – Exemplo da definição de palavras-chave entre segmentos relacionados.....	93
Figura 17 – Efeitos da adição de um novo segmento	94
Figura 18 – Efeitos da subdivisão de um segmento anteriormente atómico	94
Figura 19 – Efeitos da eliminação de um segmento.....	95
Figura 20 – Efeitos de outras mudanças na estrutura da ontologia	95
Figura 21 – Exemplo da aplicação do algoritmo de pesquisa	97
Figura 22 – Outro exemplo da aplicação do algoritmo de pesquisa.....	98
Figura 23 – Modelo de componentes do protótipo.....	103
Figura 24 – Tabelas e relacionamentos da base de dados de ontologias.....	103
Figura 25 – Interface gráfica do protótipo do sistema de classificação.....	105
Figura 26 – Resultado do pedido de pesquisa de objectos em XML	106
Figura 27 –Estrutura de segmentos da ontologia <estcb_redes.ipv4.endereçamento>.....	107
Figura 28 – Atributos do segmento <estcb_redes.ipv4.endereçamento.sub_redes>.....	108
Figura 29 – Exemplo com a lista de objectos de aprendizagem registados num segmento	109
Figura 30 – Resultado da pesquisa usando a expressão “sub-redes”	109
Figura 31 – Resultado da pesquisa usando a expressão “subnetting”	109
Figura 32 – Resultado da pesquisa por termos de segmentos diferentes.....	110
Figura 33 – Outro exemplo da pesquisa por termos de segmentos diferentes	110
Figura 34 – Resultado da pesquisa por termos de ontologias diferentes.....	111
Figura 35 – Outro exemplo da pesquisa por termos de ontologias diferentes.....	111
Figura 36 – Pormenor dos metadados dos relacionamentos de um segmento	112
Figura 37 – Componentes principais do modelo de personalização	118
Figura 38 – Diagrama de actividades da personalização de pesquisas.....	124
Figura 39 – Estrutura usada como base para os exemplos de cálculo de distâncias semânticas.....	126
Figura 40 – Diagrama de actividades do modelo de aconselhamento personalizado	129
Figura 41 – Estrutura de segmentos que exemplifica a análise de dependências.....	130
Figura 42 – Exemplo de árvore de dependências	131

Figura 43 – Diagrama de actividades do processo de geração automática de planos de aprendizagem	134
Figura 44 – Diagrama de componentes do sistema de representação de perfis	140
Figura 45 – Diagrama de componentes do protótipo do sistema de personalização.....	141
Figura 46 – Diagrama de actividades do módulo de pesquisa personalizada	142
Figura 47 – Exemplo da interface gráfica do módulo de pesquisa personalizada	143
Figura 48 – Diagrama de actividades do módulo de aconselhamento	145
Figura 49 – Exemplo da interface do módulo de aconselhamento personalizado	146
Figura 50 – Diagrama de actividades do módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem	147
Figura 51 – Exemplo da interface do protótipo após a geração automática de um curso .	148
Figura 52 – Estrutura das ontologias usadas no teste dos modelos de personalização	149
Figura 53 – Resultados da avaliação dos objectos usados no primeiro teste de pesquisa personalizada.....	151
Figura 54 – Resultados da pesquisa personalizada dos vários utilizadores	151
Figura 55 – Efeitos da alteração das preferências de idiomas nos resultados finais.....	152
Figura 56 – Efeitos da alteração das preferências não eliminatórias nos resultados finais	154
Figura 57 – Lista de objectos que podem ser localizados com a palavra-chave “gravidade”	154
Figura 58 – Resultados da pesquisa do utilizador Pedro usando a palavra-chave “gravidade”.....	156
Figura 59 – Resultados da pesquisa do utilizador Joana usando a palavra-chave “gravidade”.....	156
Figura 60 – Resultados da pesquisa do utilizador Miguel usando a palavra-chave “gravidade”.....	156
Figura 61 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Pedro.....	158
Figura 62 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Joana.....	158
Figura 63 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Miguel	159
Figura 64 – Aconselhamento personalizado sugerido ao utilizador Miguel.....	160
Figura 65 – Estrutura de dependências do segmento gravidade relativamente ao utilizador Miguel	161
Figura 66 – Aconselhamento personalizado sugerido ao utilizador Joana	161
Figura 67 – Estrutura de dependências do segmento gravidade relativamente ao utilizador Joana.....	162
Figura 68 – Exemplo da utilização de um plano de aprendizagem personalizado	163
Figura 69 – Segmentos envolvidos no plano de aprendizagem	164
Figura 70 – Resultado da geração dinâmica, com 100% de tolerância de personalização	165
Figura 71 – Resultados da geração dinâmica com 25% de tolerância de personalização.	169
Figura 72 – Modelo fundamental das arquitecturas DRM.....	175
Figura 73 – Exemplo de integração de objectos de diferentes proveniências.....	177
Figura 74 – Diagrama de componentes do modelo proposto.....	178
Figura 75 – Diagrama de actividades do processo de transporte e protecção da chave de sessão.....	180
Figura 76 – Modelo de dados da licença.....	183
Figura 77 – Estrutura de dados dos ficheiros XCODE	186
Figura 78 –Encapsulamento de objectos xcode em páginas HTML.....	187
Figura 79 – Exemplo de tentativa de utilização de um objecto sem licença.....	187
Figura 80 – Interface gráfica do gestor de licenças.....	189

Lista de tabelas

Tabela 1 – As propriedades dos metadados <i>Dublin Core</i>	45
Tabela 2 – Lista de elementos do esquema de metadados ARIADNE	47
Tabela 3 – As categorias principais da colecção de metadados LOM	49
Tabela 4 – Lista de propriedades dos metadados LOM	53
Tabela 5 – Estrutura dos metadados GEM	56
Tabela 6 – Elementos adicionais dos metadados EdNA	57
Tabela 7 – Descrição dos elementos do manifesto IMS.....	61
Tabela 8 – Elementos LOM adoptados pela norma SCORM	65
Tabela 9 – Elementos LOM obrigatórios para cada tipo de recurso	66
Tabela 10 – As categorias principais do sistema LCC	70
Tabela 11 – Exemplo de subclasses LCC.....	71
Tabela 12 – As categorias principais do DDC	71
Tabela 13 – Exemplo de subclasses DDC	72
Tabela 14 – Exemplos de auxiliares UDC.....	72
Tabela 15 – Fragmento da estrutura do sistema CSS	73
Tabela 16 – Exemplo da classificação LOM de um objecto de aprendizagem.....	74
Tabela 17 – Exemplo de relacionamento LOM entre objectos de aprendizagem.....	75
Tabela 18 – Os elementos da categoria <Identificação>.....	83
Tabela 19 – Os elementos da categoria <Âmbito>	84
Tabela 20 – Descrição dos elementos da categoria <Conformidade>	85
Tabela 21 – Exemplo da aplicação da conjunção e disjunção de regras.....	85
Tabela 22 – Os elementos da categoria <Relacionamento>.....	86
Tabela 23 – Exemplo de metadados de relacionamento.....	88
Tabela 24 – Descrição dos metadados da associação de objectos a segmentos.....	90
Tabela 25 – Exemplos de expressões de pesquisa e respectivos resultados.....	98
Tabela 26 – Critérios de avaliação usados na filtragem	99
Tabela 27 – Critérios LOM usados na filtragem	100
Tabela 28 – Mensagens usadas para interagir com o sistema de classificação	101
Tabela 29 – Tecnologias usadas na construção do protótipo de sistema de classificação	102
Tabela 30 – Elementos principais do modelo de descrição de preferências PAPI.....	119
Tabela 31 – Lista de atributos de preferência usados no sistema de personalização	121
Tabela 32 – Codificação da importância e nível de preferência de cada atributo.....	122
Tabela 33 – Os elementos do registo de classificações PAPI	123
Tabela 34 – Exemplos de cálculos de distâncias semânticas	126
Tabela 35 – Lista de parâmetros eliminatórios.....	127
Tabela 36 – Ponderação dos parâmetros não eliminatórios	128
Tabela 37 – Exemplos do pós-processamento da árvore de dependências	132
Tabela 38 – Exemplo dos efeitos da percentagem de tolerância nas listas de objectos	137
Tabela 39 – Parâmetros usados no cálculo da coerência.....	138
Tabela 40 – Mensagens de interacção com o subsistema de representação de perfis	140
Tabela 41 – Configuração inicial dos perfis dos utilizadores de teste.....	150
Tabela 42 – Lista de objectos usados no primeiro teste de pesquisa personalizada.....	150
Tabela 43 – Valores dos componentes do cálculo da relevância	152
Tabela 44 – Efeitos da alteração das preferências de idiomas no componente PE	153
Tabela 45 – Alteração no perfil do utilizador Joana.....	153

Tabela 46 – Efeitos da alteração das preferências nos componentes do cálculo da relevância	154
Tabela 47 – Alguns atributos LOM dos objectos usados no teste da contextualização....	155
Tabela 48 – Perfis usados no teste de contextualização.....	156
Tabela 49 – Alterações nos perfis dos utilizadores de teste.....	157
Tabela 50 – Lista de objectos usados no teste de geração automática de planos de aprendizagem	165
Tabela 51 – Características dos objectos usados no teste	165
Tabela 52 – Listas ordenadas de objectos de acordo com a sua relevância relativa	166
Tabela 53 – Características da sequência determinada sem o algoritmo de coerência.....	166
Tabela 54 – Resultados da aplicação da função de estimação de coerência com tolerância zero	167
Tabela 55 – Atributos da sequência A2-B2-C2-D2	167
Tabela 56 – Atributos da sequência A3-B3-C4-D3	168
Tabela 57 – Objectos que obedecem à tolerância de 25%	168
Tabela 58 – Resultados da aplicação da função de estimação de coerência com tolerância 25%.....	168
Tabela 59 – Lista de objectos da sequência A2-B2-C4-D2	169
Tabela 60 – Descrição dos elementos da estrutura da licença	184

1 Introdução

Este capítulo pretende ser uma introdução geral à tese, descrevendo a organização do documento e resumindo sumariamente o conteúdo de cada secção. Basicamente é feita a contextualização do trabalho, são apresentadas algumas questões importantes por resolver na área da eAprendizagem¹ e são apresentados os objectivos do trabalho.

1.1 Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos, cada um deles organizado em várias secções e subsecções. No início do documento encontram-se um resumo da dissertação, o índice, a lista de figuras e a lista de tabelas. No final, está disponível um glossário e a lista de referências.

O primeiro capítulo descreve a organização da dissertação, contextualiza o trabalho, identifica algumas questões importantes por resolver e apresenta os objectivos concretos deste trabalho.

No segundo capítulo é feita uma revisão da literatura, incidindo sobre aspectos relevantes para o trabalho proposto, identificando algumas das normas, tecnologias e iniciativas mais importantes na área da eAprendizagem.

O terceiro capítulo apresenta uma proposta de modelo para sistemas de classificação de objectos de aprendizagem, que é a base que suporta os serviços personalizados de eAprendizagem propostos nesta tese.

No capítulo quatro é exposta uma proposta de modelos para suporte de serviços personalizados de eAprendizagem, suportados no sistema de classificação, que permitem o uso do contexto de aprendizagem e do perfil do formando para seleccionar os conteúdos mais adequados a cada caso particular.

O capítulo cinco apresenta modelos para suportar a integração dos paradigmas de gestão da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem nos serviços personalizados do

¹ Este termo foi adoptado no documento, ao abrigo da tradução livre do termo em Inglês “*eLearning*”. O autor considera que outros termos que poderiam ser considerados, como “educação a distância” ou “ensino assistido por computador” não reflectem correctamente aquilo que é representado actualmente pelo termo “*eLearning*”, daí assumir o risco desta tradução livre.

capítulo quatro, de modo a permitir a agregação dinâmica de conteúdos gratuitos com conteúdos pagos.

Finalmente, o capítulo seis apresenta as conclusões de todo este trabalho, mencionando alguns dos seus pontos fortes e fracos. São também apontadas algumas questões para investigação futura.

1.2 Contextualização

Esta secção descreve o contexto em que o trabalho se insere, evidenciando a importância do conhecimento nas sociedades modernas e o papel da eAprendizagem na construção da sociedade do conhecimento.

1.2.1 A sociedade do conhecimento

Nunca como hoje o conhecimento foi tão importante para o desenvolvimento económico, social e humano das nações. À medida que as modernas economias entram na era pós-industrial, o conhecimento e a informação são o recurso mais importante das nações, das organizações e consequentemente, dos cidadãos [Bell, 1976]. Vários autores [Stehr & Ericson 1992; Drucker, 1993; Grant 1996; Conner & Prahalad 1996; Stewart, 1997] reforçam a ideia de que o conhecimento é a principal fonte estratégica de vantagens competitivas das modernas organizações.

Estas teses sobre a importância do conhecimento nas organizações do Séc. XXI são muitas vezes encaradas como algo novo, mas na realidade o conhecimento sempre esteve associado à ascensão das civilizações. Os sumérios, os egípcios, os gregos, os romanos, são apenas alguns exemplos de modelos civilizacionais que basearam o seu sucesso no conhecimento, na sua vertente científica, tecnológica, militar e social. No caso particular de Portugal, também uma das fases mais brilhantes da sua história se baseou na vantagem competitiva do conhecimento, neste caso particular sobre geografia, astronomia, construção de navios e navegação.

Pouco vale o conhecimento se este não puder ser preservado, melhorado e transmitido entre pessoas e organizações. Logicamente, a tecnologia associada à manipulação do conhecimento assume um papel fundamental no sucesso das civilizações. Até ao aparecimento da escrita simbólica, o conhecimento seria passado entre os humanos de forma gestual e/ou oral, o que não seria de todo eficaz, dada a curta esperança de vida das pessoas nessa época e a falta de meios de comunicação entre grupos dispersos.

A maioria dos autores aponta a pré-história como a época em que surgiram as primeiras manifestações de processos de transmissão de conhecimento através de representações gráficas, das quais as gravuras pintadas em grutas são um dos melhores exemplos. No entanto, só por volta do ano de 3100 A.C. terá surgido um sistema completo de escrita pictográfica, no Sul da Mesopotâmia. A escrita Mesopotâmica era bastante complexa, sendo composta por cerca de 2000 sinais cuneiformes. O suporte desta escrita era a argila mole, que depois de escrita e cozida era um suporte bastante durável para as ideias, leis, editais e contabilidade dos Sumérios.

Entretanto foram surgindo os sistemas silábicos e alfabéticos, bem como vários suportes para a escrita, como o papel, mas só no Séc. XV ocorreu outro acontecimento realmente revolucionário: a invenção do processo de impressão com caracteres móveis, ou tipografia, por Johannes Gutenberg. Esta invenção não teve repercussões imediatas no acesso ao conhecimento uma vez que a maior parte da população europeia nem sequer sabia ler. No entanto, até mesmo estas pessoas beneficiaram com a tipografia, pois massificou-se o costume de pessoas letradas lerem textos de livros famosos nas praças das localidades. Gradualmente, a tipografia permitiu produzir cada vez mais livros, cada vez mais baratos, permitindo que pessoas com menos posses os pudessem comprar, alimentando a necessidade e vontade de aprender a ler. Esta invenção foi sem dúvida uma das maiores contribuições para a difusão do conhecimento em larga escala na Europa renascentista.

Quando Jack Kilby, em 1958, criou o primeiro circuito integrado [Kilby, 1958] estaria longe de imaginar que a sua invenção iria contribuir decisivamente para mudar o mundo de forma tão profunda como a tipografia de Gutenberg. De facto, a rápida evolução e disseminação das tecnologias da informação e comunicação está na génese de uma autêntica revolução, que está a alterar a forma como vivemos, como trabalhamos e também como aprendemos. Esta transformação de uma sociedade industrial para a intitulada sociedade da informação [Bell, 1976], assenta em vários pilares, nomeadamente:

- O papel da informação como o recurso estratégico central do desenvolvimento económico e social [Stehr & Ericson 1992; Drucker, 1993; Grant 1996; Conner & Prahalad 1996; Stewart, 1997];
- O desenvolvimento de redes globais de comunicação, que servem de suporte à sociedade em rede [Castells, 1996] e à existência de corporações transnacionais;
- A rápida adopção de tecnologias de informação nos sectores mais importantes da economia, permitindo interacções em tempo real entre as forças económicas locais, regionais, nacionais e internacionais;
- A redução da importância da distância física entre as pessoas e as organizações, à medida que as economias dependem cada vez mais do transporte de bits em oposição ao transporte de átomos [Negroponte, 1995];
- A migração de trabalhadores das indústrias para funções onde manipulam unicamente informação, a que Drucker chama os ‘trabalhadores do conhecimento’ [Drucker, 1993].

Embora partilhe muitas características com a sociedade da informação, o conceito de sociedade do conhecimento [Stehr, 1994] aponta para um nível superior, onde a informação, acessível através da tecnologia, é transformada em conhecimento. Um dos vértices da sociedade do conhecimento, como aponta Stehr, é a crescente importância social, política e económica da ciência e tecnologia. Como já vimos, as grandes civilizações do passado também eram, sob determinados pontos de vista, sociedades do conhecimento, mas actualmente existem não só diferenças no tipo de conhecimento, cada vez mais científico e tecnológico, como também na importância desse conhecimento para o funcionamento global da sociedade, principalmente a nível económico. Hoje em dia, num

mundo parcialmente globalizado, o conhecimento é tido como um dos principais activos de uma empresa ou de um País.

Em 1962, Fritz Machlup foi um dos primeiros economistas a considerar o conhecimento como um bem equiparável a uma mercadoria, concluindo que a indústria do conhecimento valia 29% do produto interno bruto dos Estados Unidos da América [Machlup, 1962]. Este foi para muitos o ponto de viragem, que marcou o início da economia da informação, onde o conhecimento é considerado como algo que pode ser concebido, modificado, combinado, controlado e ajustado através de ferramentas de manipulação do conhecimento, tendo em vista a sua eventual certificação, licenciamento e venda [Fuller, 1992].

Estes conceitos interligam-se, confundem-se e complementam-se parcialmente, mas todos eles apontam o conhecimento como o factor fundamental que indubitavelmente moldará a sociedade do Séc. XXI.

1.2.2 A aprendizagem na sociedade do conhecimento

Durante a maior parte do Séc. XX, quase todos os Países desenvolvidos tornaram a educação fundamental acessível a todos, considerando-a como um direito individual de cada cidadão. O paradigma vigente dividia a vida dos cidadãos em duas fases distintas e independentes: a fase de aprendizagem, na infância, adolescência e eventualmente no início da vida adulta, e a fase de trabalho, no resto da vida activa. Este modelo vigorou até perto do último quarto do Séc. XX.

Consequentemente, a maior parte da população dos Países desenvolvidos, depois de entrar na fase de trabalho, não voltava a frequentar as instituições de ensino ou formação. Um aspecto que em muito contribuiu para este modelo foi a evolução relativamente lenta das tecnologias e acima de tudo dos métodos de trabalho. É ainda frequente encontrar actualmente pessoas que trabalharam toda a vida sempre no mesmo emprego, a realizar sempre a mesma tarefa, sempre da mesma forma.

Actualmente, está a ocorrer uma mudança de paradigma. De facto, a sociedade do conhecimento apresenta oportunidades mas também desafios. A ciência e tecnologia, seus pilares fundamentais, têm evoluído de forma tão rápida que obriga a que todos os actores desta nova sociedade se adaptem rapidamente a mudanças profundas, particularmente na vertente profissional, obrigando as pessoas a aprender regularmente novos conceitos, novas competências e novos métodos de trabalho. Nasceu assim um novo paradigma, a ‘aprendizagem ao longo da vida’ [CEC, 2000; SsfEE, 1998; Bentley, 1998], que, tal como o nome sugere, se refere aos processos de aprendizagem sistemática ao longo da vida, em paralelo com outras actividades, nomeadamente profissionais, de modo a melhorar e actualizar conhecimentos, competências ou destreza técnica.

Não existe nenhuma definição rígida para este conceito, pelo que o termo ‘aprendizagem ao longo da vida’ refere-se a um vasto leque de experiências educativas, formais e não formais, incluindo o ensino oficial desde o básico ao superior, educação de adultos, formação profissional e formação/treino informal. A aprendizagem pode ser feita individualmente, com objectivos muito específicos e pessoais, mas também em grupo, com objectivos mais gerais ou em determinados contextos sociais.

A União Europeia está consciente da importância da aprendizagem ao longo da vida, tanto a nível político como dos próprios cidadãos. A nível político, um dos marcos fundamentais desta estratégia foi a declaração de Lisboa no âmbito do conselho Europeu, em que a União Europeia se comprometeu a tornar-se na mais dinâmica e competitiva economia mundial baseada no conhecimento, capaz de um crescimento sustentado com mais e melhores empregos [Lisboa, 2000]. Para isso aposta claramente em várias frentes:

- Combate à info-exclusão, através de programas que promovam o acesso às tecnologias da informação e correspondente formação, de modo a garantir que ninguém seja excluído da sociedade do conhecimento;
- Programas de apoio à transição das empresas para a economia do conhecimento;
- Adaptação dos sistemas Europeus de educação e formação profissional às necessidades da sociedade do conhecimento, considerando o novo tipo de emprego, em que é exigido um nível mais elevado de competências e qualidade;
- Aproveitamento das oportunidades da sociedade do conhecimento para melhorar o nível de vida das populações, criando não só mais, mas também melhores empregos, mais gratificantes.

Os cidadãos Europeus estão também conscientes da importância deste novo paradigma. Segundo uma sondagem feita no início de 2003 nos Países da União Europeia [CEDEFOP, 2003], cujos resultados podem ser observados na Figura 1, cerca de oitenta e oito por cento dos cidadãos Europeus concordam que a aprendizagem ao longo da vida é importante.

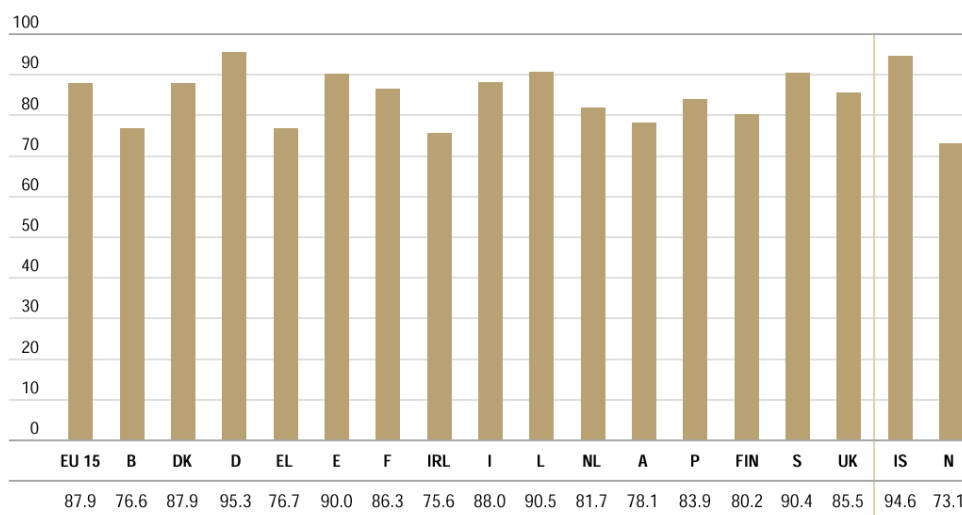


Figura 1 – Opinião dos cidadãos Europeus sobre a importância da aprendizagem ao longo da vida

No entanto, aparentemente os cidadãos Europeus estão longe de praticar a aprendizagem ao longo da vida, como pode ser observado na Figura 2, que representa a percentagem de cidadãos Europeus entre 25 e 64 anos envolvidos em acções de educação ou formação profissional durante o ano de 2004 [Eurostat, 2005].

Os resultados são desanimadores: apenas cerca de 10% dos Europeus participaram nalgum tipo de formação deste tipo. É particularmente preocupante a situação em Portugal, onde apenas um em cada vinte cidadãos se empenhou em acções de formação ou educação. É

assim necessário percorrer ainda um longo caminho para que a estratégia de Lisboa produza modificações relevantes na estrutura social e económica da Europa.

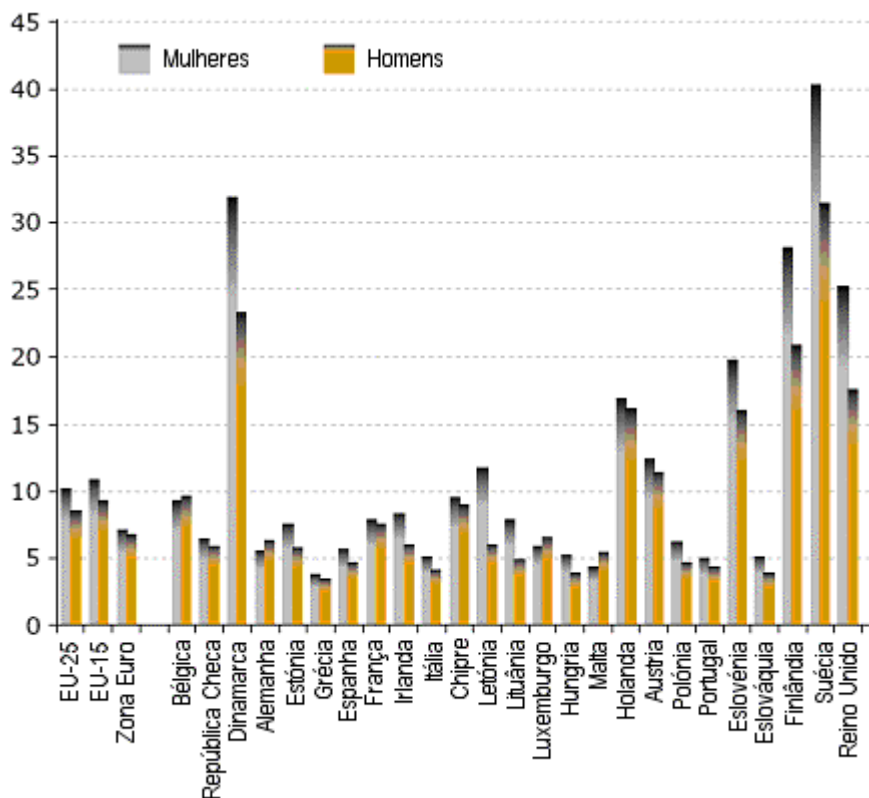


Figura 2 – Percentagem de população adulta em formação, em 2004 (Eurostat, 2005)

No caso Português, esta estratégia materializou-se politicamente no plano tecnológico do XVII Governo Constitucional, que pretende levar à prática um conjunto de políticas para “estimular a criação, difusão, absorção e uso do conhecimento, como alavanca para transformar Portugal numa economia dinâmica e capaz de se afirmar na economia global” [UCPT, 2005]. O plano está dividido em três eixos sendo o primeiro dedicado à qualificação dos Portugueses para a sociedade do conhecimento. A aprendizagem ao longo da vida não foi esquecida e merece destaque, estando previstas medidas estruturais para estimular uma aprendizagem abrangente e diversificada ao longo da vida.

1.2.3 O papel da eAprendizagem na sociedade do conhecimento

O desenvolvimento sem precedentes das tecnologias da informação e comunicação, cujo melhor exemplo é a Internet, encetou uma verdadeira revolução na forma de disponibilizar, difundir, procurar e ter acesso à informação. Paralelamente, a produção e venda em massa de dispositivos digitais pessoais têm permitido quedas constantes nos preços, promovendo a democratização do acesso a este tipo de tecnologias. Actualmente, nos Países desenvolvidos o computador já é visto como um vulgar electrodoméstico.

Paralelamente ao desenvolvimento dos dispositivos digitais pessoais, onde são incluídos os computadores pessoais, portáteis ou não, mas também os pequenos dispositivos móveis como os telefones celulares e PDAs, também as tecnologias de comunicação digital

evoluíram de forma dramática, permitindo que estes dispositivos se possam ligar em rede em praticamente qualquer lugar, e cada vez mais usando redes sem fios.

Os acessos particulares à Internet em banda larga, cada vez mais rápidos, fiáveis e acessíveis contribuem de forma decisiva para o desenvolvimento da sociedade em rede [Castells, 1996] potenciando o uso da Internet como meio de comunicação de massas. Por exemplo, de acordo com o Eurostat e como pode ser observado na Figura 3, em 2004 na União Europeia praticamente metade das residências já possuíam acesso à Internet e um em cada cinco acessos era em banda larga. A percentagem de empresas ligadas é bem superior, com nove em cada dez empresas a possuírem ligação à Internet, a grande maioria (85%) em banda larga.

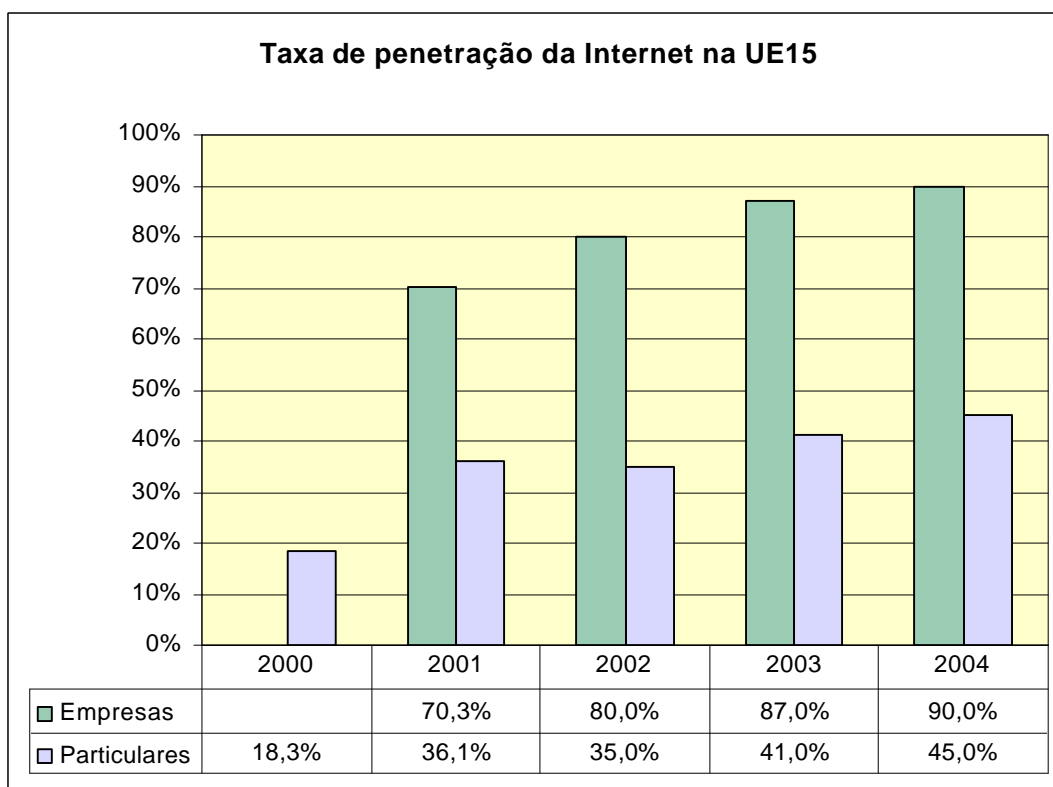


Figura 3 – Taxa de penetração de acessos à Internet na União Europeia, fonte: Eurostat

A utilização destas tecnologias como meio de promoção de processos de aprendizagem surge assim de uma forma natural, apoiada também em parte pela perspectiva de aproveitamento das novas e imensas potencialidades criadas pelos computadores e redes de comunicação de dados, nomeadamente a facilidade de transmissão de conteúdos digitais entre locais remotos e a capacidade de manipulação interactiva de informação multimédia destes novos dispositivos digitais. De entre as vantagens com impacto no ensino/aprendizagem, destacam-se as seguintes:

- Eliminação das barreiras geográficas e temporais que impedem em muitos casos a presença em acções de formação;
- Facilidade de distribuição e actualização de conteúdos digitais em larga escala, de uma forma muito mais rápida e barata que as tradicionais;

- Facilidade de criação de comunidades virtuais de alunos, professores e tutores, com capacidades de comunicação assíncrona e em tempo real, independentemente da localização física de cada um;
- Capacidade de integração no mesmo conteúdo de vários formatos digitais, tais como texto, som, imagem e vídeo;
- Capacidade de conceder ao aluno o controlo da progressão da assimilação do conhecimento, ajustando a formação ao seu ritmo individual, transformando-o no actor principal do processo de ensino/aprendizagem;
- Capacidade de criação de simulações e apresentações interactivas controladas pelo aluno.

Surgiu assim um conjunto de novas ferramentas e métodos de transmissão e formação de conhecimento, que os Países anglo-saxónicos designam por ‘*eLearning*’, que o autor traduziu para ‘eAprendizagem’, termo que é profusamente usado neste documento ao abrigo desta tradução livre, já explicada no início do documento.

Pode parecer um pouco estranho, mas aparentemente não existe nenhuma definição consensual para o que é a eAprendizagem. Perante esta falta de consenso e considerando a diversidade de definições, o autor atreve-se a sugerir uma definição que procura resumir e integrar as diversas tendências. Assim, neste documento, eAprendizagem é definida como “a utilização de tecnologias de informação e comunicação para mediar, suportar ou enriquecer processos de aprendizagem”.

Uma das grandes vantagens destas ferramentas é que podem ser modeladas e adaptadas para ambientes e contextos muito díspares, tanto em termos de público-alvo, como nível e tipo de ensino. Na maioria dos Países desenvolvidos já é normal encontrar acções de eAprendizagem em todos os níveis de ensino, desde o ensino básico e secundário [Hilliard, 2004; NACOL, 2004] até ao ensino superior [Wende & Ven, 2003; ClassesUSA, 2005; Lepori & Succi, 2003], incluindo também as acções de formação profissional [CEDEFOP, 2001; Cisco, 2005].

Embora seja possível encontrar acções totalmente baseadas em eAprendizagem, uma das formas mais eficazes de utilizar a eAprendizagem é como apoio ao ensino presencial tradicional ou num modelo misto, com acções presenciais complementadas por acções de eAprendizagem, num modelo chamado “aprendizagem combinada” [Thorne, 2003]. A utilização de simulações, laboratórios virtuais e apresentações multimédia pode de facto enriquecer e complementar acções de ensino presencial. No entanto, o valor acrescentado destes conteúdos, quando usados em combinação com sessões presenciais, pode ultrapassar largamente o seu valor intrínseco.

Por outro lado, alguns autores defendem que a eAprendizagem não pode ser vista apenas como uma ferramenta de entrega de conteúdos e só faz mesmo sentido em contextos sociais com abundância de experiências, actividades, cultura e interactividade humana [Figueiredo *et al*, 2002], considerando mesmo que a influência destes contextos pode ser mais importante que os próprios conteúdos.

A eAprendizagem adequa-se particularmente a cenários que requerem formação personalizada, nomeadamente no contexto da aprendizagem ao longo da vida, devido à grande vantagem de não exigir o cumprimento de horários rígidos nem a deslocação a um local próprio. Esta característica é fundamental para permitir que pessoas com vida activa e sem disponibilidade horária possam participar em acções de formação, indispensáveis na nova sociedade do conhecimento.

As vantagens da eAprendizagem são tão interessantes que a utilização deste tipo de ferramentas é mesmo considerada como uma das formas mais eficazes de responder aos desafios educativos do Séc. XXI [Dondi, 2002] e está a tornar-se numa área económica de elevado crescimento anual, que já representa muitos milhões de Euros anuais em todo o mundo [Moe & Blodget, 2000; IDC, 2003].

No entanto, assumir que a eAprendizagem se pode aplicar em qualquer situação, ou que é sempre uma boa solução, pode ser uma posição demasiado arriscada. Numa Europa em que em média quarenta por cento da população não sabe manusear um computador [CEDEFOP, 2003], como pode ser observado na Figura 4, seria ingenuidade pensar que a eAprendizagem se pode generalizar facilmente. O excesso de confiança relativamente ao sucesso da formação em regime de eAprendizagem tem provocado alguns dissabores, como por exemplo o prometedor mas falhado projecto ‘United Kingdom e-University’ [Garrett, 2004]. Por outro lado, factores como a desmotivação e o isolamento social provocado pela eAprendizagem são dos maiores problemas a resolver, na medida em que contribuem decisivamente para elevar as taxas de abandono de acções de eAprendizagem [Frankola, 2001; Rabak, 2004; Kumarawadu, 2004].

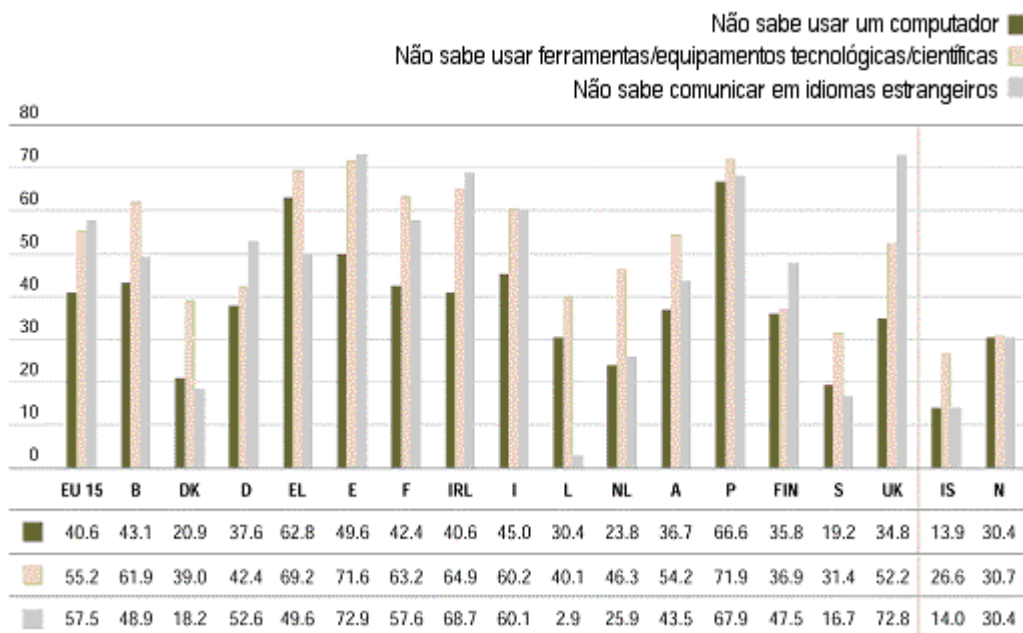


Figura 4 – Caracterização das competências tecnológicas na UE15 (fonte: CEDEFOP 2003)

Uma questão chave, geralmente aquela que mais desperta a atenção dos órgãos de gestão das instituições, relaciona-se com os custos da aplicação da eAprendizagem. A questão fundamental é saber se a eAprendizagem é mais cara ou mais barata que a formação

tradicional. Na realidade é muito difícil generalizar a resposta, pois o custo de uma acção de formação em regime de eAprendizagem depende de muitos factores. De uma forma geral, a eficiência de custos da formação em regime de eAprendizagem depende fortemente do número de formandos que frequentam as acções de formação e de uma questão chave com forte influência nos custos de desenvolvimento dos cursos: a reutilização de conteúdos.

1.3 Objectivos do trabalho

Esta secção começa por identificar as questões para as quais se pretende contribuir com propostas de solução, mostrando as razões da sua importância. Em seguida, são apresentados os objectivos concretos deste trabalho.

1.3.1 Algumas questões em aberto

Não pode existir eAprendizagem sem conteúdos e é fundamental que estes possam ser facilmente localizados e extraídos de forma a serem explorados. Esta necessidade abrange não só os utilizadores finais, ou seja, formandos à procura de módulos de formação prontos a usar, mas também integradores e autores de conteúdos, tendo em vista a reutilização de conteúdos já existentes.

De facto, o desenvolvimento de conteúdos de qualidade exige a colaboração de equipas multidisciplinares de especialistas, não só ao nível dos objectivos pedagógicos que se pretendem atingir, mas também nas próprias ferramentas e tecnologias usadas para produzir os conteúdos digitais. Consequentemente, a produção de conteúdos de raiz é cara e lenta, só sendo economicamente viável se a audiência para esses conteúdos for suficientemente vasta para permitir economias de escala.

É neste contexto que surge um dos principais chavões da área: reutilização. De facto, o próprio conceito de objecto de aprendizagem [LOM, 2002] está intimamente ligado a cenários de reutilização de conteúdos, e alguns autores [Wiley, 2000; Polsani, 2003; Barrit, 2001; Downes, 2001] consideram mesmo a reutilização como uma das suas características fundamentais. A iniciativa ADL [ADL, 2002] assume mesmo esta orientação na sua própria definição de objecto de aprendizagem, chamando-lhe “objecto de conteúdo partilhável”. Esta abordagem pode contribuir para que os criadores de conteúdos consigam reduzir os custos e tempo de desenvolvimento, reutilizando objectos de aprendizagem já existentes. A reutilização pode também ser vantajosa para os criadores de conteúdos ao nível financeiro, na medida em que podem eventualmente ser cobrados direitos de autor, que contribuam para amortizar os elevados custos de desenvolvimento, criando assim um mercado de objectos de aprendizagem.

A localização, extracção e avaliação de objectos de aprendizagem disponíveis na Internet, tendo em vista a sua reutilização num contexto particular, pode não ser uma empreitada trivial. Usar os motores de pesquisa tradicionais para localizar objectos de aprendizagem pode ser problemático, devido à sua natureza genérica. O facto de estas ferramentas serem insensíveis aos atributos educacionais dos conteúdos limita-lhes a capacidade de determinação da sua relevância ou irrelevância pedagógica face a uma determinada

pesquisa, pelo que a ordenação dos resultados dessa pesquisa tende a ser neutra relativamente à sua adequação pedagógica ao objectivo de aprendizagem por detrás da pesquisa.

Por outro lado, os motores de pesquisa só indexam a informação pública dos sítios Internet, pelo que os conteúdos não públicos, possivelmente os de melhor qualidade, escapam aos seus agentes. Os conteúdos que não se baseiam em texto, como vídeos, sons, simulações, animações, Applets JAVA [Thomas *et al*, 2004] e objectos Flash [Heins *et al*, 2002] também escapam à análise automática dos agentes dos motores de pesquisa. Esta questão ganha ainda mais importância na medida em que os conteúdos educacionais de alta qualidade se baseiam cada vez mais nestes formatos interactivos.

Mesmo com estas dificuldades, com alguma paciência e perícia é possível encontrar conteúdos adequados através destes motores de pesquisa. Uma das maiores dificuldades com que os utilizadores se deparam prende-se com a escolha dos parâmetros de pesquisa que possam maximizar a validade dos resultados. Normalmente, se as palavras-chave forem demasiado genéricas, os utilizadores arriscam-se a obter muitos resultados mas a maior parte desses resultados poderá não corresponder ao desejado, obrigando o utilizador a filtrar os resultados. De forma a restringir ao máximo os resultados da pesquisa a conteúdos relevantes, é necessária alguma habilidade na escolha de palavras-chave que possam traduzir os parâmetros pedagógicos, técnicos e científicos dos objectos pretendidos, como por exemplo o assunto, o contexto de aprendizagem, a abrangência dos conteúdos, a dificuldade de aprendizagem destes, a duração típica de aprendizagem ou as plataformas informáticas necessárias para usar o objecto.

Perante estas dificuldades de utilização dos sistemas genéricos de pesquisa para localizar conteúdos educativos, é evidente a necessidade de desenvolvimento de sistemas específicos para gerir a localização deste tipo de conteúdos, com a capacidade de usar os seus atributos característicos como chaves de pesquisa em múltiplas dimensões, tendo em vista a localização dos objectos mais adequados a um determinado contexto de utilização [Anido, 2002]. Quanto mais abrangente, multifacetada e precisa for a caracterização dos objectos de aprendizagem, melhor funcionará o serviço de localização. Esta caracterização é feita tipicamente através de metadados específicos para objectos de aprendizagem, sendo a norma *Learning Object Metadata - LOM* [LOM, 2002] do IEEE uma das mais utilizadas, directamente ou como base para outros esquemas de metadados. A secção 2.3 descreve em detalhe alguns dos esquemas de metadados usados com conteúdos de eAprendizagem.

Alguns sistemas experimentais de repositório digital para conteúdos educativos, como por exemplo o GESTALT [GESTALT] ou o *Knowledge Pool* do projecto ARIADNE [ARIADNE], usam metadados para suportar pesquisas baseadas nos aspectos que estes permitem caracterizar. Estes sistemas permitem desta forma refinar o processo de pesquisa, mas ainda não são capazes de lidar com uma série de questões relevantes para o processo de aprendizagem, sendo a contextualização uma das mais importantes. De facto, um serviço de localização de objectos de aprendizagem poderá ser capaz de devolver resultados mais úteis e relevantes se usar informação de contexto como uma das chaves da selecção de objectos. A informação de contexto pode incluir informação extraída do perfil

dos utilizadores, do objectivo da formação ou até mesmo o ambiente em que a formação se insere. Na prática isto significa que a mesma chave de pesquisa poderá devolver resultados completamente diferentes, se os respectivos contextos forem suficientemente divergentes.

A possibilidade de personalizar os processos e conteúdos de aprendizagem à medida das preferências, interesses, dificuldades e competências de cada utilizador é outra vertente que poderá melhorar o processo individual de aprendizagem [Bloom, 1984; Graesser et al, 1994]. Uma das formas de materializar este conceito será a concepção de serviços com a capacidade de, considerando o perfil do formando, o respectivo contexto e o objectivo de formação, agregar dinâmica e automaticamente objectos de aprendizagem em unidades coerentes de alto nível, adequadas ao objectivo particular de cada formação, de acordo com as preferências e características individuais do formando.

Existe um outro problema que deriva do crescimento desenfreado da Internet. De facto, a disponibilidade quase instantânea de cada vez mais informação reforça a necessidade de se saber algo sobre o seu valor e relevância [Earl, 1996]. Esta questão é particularmente importante quando a informação é usada para eAprendizagem, pelo que é essencial que os repositórios possam de alguma forma classificar os conteúdos em termos de valor, neste caso, valor pedagógico e científico. Desta forma, os diversos modelos a propor no âmbito deste trabalho, deverão considerar a questão da credibilidade e qualidade dos conteúdos.

Outra questão importante a considerar é o suporte à gestão da propriedade intelectual dos objectos de aprendizagem. Como já foi referido, a reutilização de objectos de aprendizagem é uma boa solução para reduzir custos e tempo de desenvolvimento. No entanto, devido aos elevados custos de produção, muitas entidades estarão interessadas em salvaguardar os seus direitos de autor, permitindo a reutilização dos seus objectos apenas com contrapartidas financeiras e de forma protegida. Os serviços de repositório, pesquisa e agregação de conteúdos deverão assim estar preparados para lidar com este tipo de conteúdos.

1.3.2 Objectivos concretos do trabalho

O objectivo principal deste trabalho é a concepção, implementação e avaliação de modelos para a concepção de serviços de eAprendizagem com a capacidade de promover experiências personalizadas de aprendizagem, através da selecção, recombinação e reutilização dinâmica de objectos de aprendizagem, tendo em consideração o perfil individual do formando, o objectivo da formação, o contexto em que a aprendizagem se insere e a propriedade intelectual dos conteúdos a usar.

Este objectivo genérico foi dividido em três grandes etapas: a concepção de um modelo para a classificação de objectos de aprendizagem, a concepção de modelos capazes de suportar serviços personalizados de eAprendizagem e um modelo que permita a integração de suporte de gestão da propriedade intelectual dos objectos de aprendizagem nos serviços de eAprendizagem resultantes dos modelos anteriores.

O sistema de classificação é o pilar fundamental de toda a estrutura dos serviços de eAprendizagem personalizada. Deverá ser capaz de representar de forma estruturada e granular determinadas áreas de conhecimento, permitindo o registo, localização, pesquisa,

avaliação e certificação de objectos de aprendizagem associados a essas áreas de conhecimento. O modelo deverá suportar métodos para divulgar os requisitos necessários para que um determinado objecto de aprendizagem possa ser registado e certificado numa determinada zona da estrutura de conhecimento. O modelo deverá ter também a capacidade de ser usado como referência para a representação de conhecimento em aplicações externas, por exemplo para representar o conhecimento e competências adquiridos pelos formandos.

Sobre estes sistemas de classificação deverão ser concebidos modelos para serviços personalizados de eAprendizagem, com a capacidade de, perante um objectivo particular de aprendizagem, considerar o perfil do formando e o contexto em que a aprendizagem se insere, para fornecer os resultados mais adequados a cada caso individual. O objectivo mais ambicioso para estes modelos é que sejam capazes de suportar a concepção de serviços com a capacidade de criar dinamicamente planos personalizados de aprendizagem e respectivos conteúdos, de forma coerente e adequada ao perfil individual de cada utilizador. Estes serviços deverão ser capazes de, a partir do perfil do formando, do contexto de formação e do objectivo de aprendizagem, seleccionar, agregar e sequenciar objectos de aprendizagem adequados, de forma coerente e automática, mesmo que não exista qualquer relação previamente estabelecida entre eles.

Finalmente, deve ser proposto um modelo que permita integrar os conceitos da gestão de direitos digitais nos serviços personalizados de eAprendizagem, considerando as propriedades específicas dos objectos de aprendizagem. O principal objectivo é estudar métodos que permitam integrar no mesmo curso objectos gratuitos e objectos com restrições de utilização, com a máxima transparência para sistemas e utilizadores, sem deixar de garantir a protecção da propriedade intelectual dos conteúdos não gratuitos.

Todos os modelos devem ser validados através da implementação e teste de protótipos, mas o objectivo do trabalho não é conceber aplicações completas e totalmente funcionais. Serão implementadas apenas as partes que permitam validar os conceitos mais relevantes dos modelos propostos.

2 Tecnologias de suporte à eAprendizagem

Este capítulo apresenta uma revisão dos principais conceitos, iniciativas e projectos relacionados com os objectivos deste trabalho.

2.1 O conceito de objecto de aprendizagem

Um dos conceitos fundamentais nesta área é o conceito de objecto de aprendizagem, pelo que será interessante referir como surgiu e se desenvolveu. Uma das primeiras tentativas sérias de conceber conteúdos digitais de aprendizagem como uma agregação de componentes individuais foi feita na década de setenta por Merrill e seus colegas do projecto TICCIT [Bunderson, 1973], que originou a “*Component Display Theory*” [Merrill, 1983], a qual evolui mais tarde para a “*Instructional Transaction Theory*” [Merrill, 1996], que usava “objectos de conhecimento” como componentes individuais de instrução.

O termo “objecto de aprendizagem” foi tornado popular por Hodgins em 1994, quando, no âmbito da CedMa [CEDMA, 2005], chamou a um grupo de trabalho “Arquitecturas de aprendizagem e objectos de aprendizagem”. Curiosamente, Hodgins começou a pensar na organização de conteúdos educativos como agregações de objectos individuais mais simples ao observar os seus filhos a brincar com peças da LEGO, metáfora que usou mais tarde para descrever o conceito de objecto de aprendizagem [Wiley, 2000].

Entretanto, o termo ganhou popularidade e foi adoptado por diversos grupos de trabalho. Na primeira parte da década de noventa, além da CedMa também um grupo de trabalho do NIST [NIST, 2005], intitulado “*Learning Object Metadata Group*” estava a estudar os objectos de aprendizagem, nomeadamente nas questões de modularidade e descrição dos objectos através de metadados. Em meados da década de noventa muitos outros grupos de trabalho, designadamente o IEEE, o IMS [IMS] e o projecto ARIADNE, começaram a estudar os objectos de aprendizagem com o intuito de estabelecer normas para a sua caracterização.

Por esta altura, dois dos pioneiros dos objectos de aprendizagem, Tom Kelly e Chuck Barrit, trabalhavam na Oracle numa ferramenta de autor, chamada OLA - *Oracle Learning Application*, que usaria o conceito de objecto de aprendizagem. Entretanto, mudaram-se para a Cisco Systems e continuaram o seu trabalho, que originou o célebre artigo “objectos de aprendizagem reutilizáveis” [Barrit, 2001] em 1998. Este artigo, conjuntamente com o

trabalho dos grupos de normalização, contribuiu decisivamente para o actual interesse generalizado nos objectos de aprendizagem.

Esse trabalho pioneiro teve consequências práticas e actualmente a Cisco Systems, através do seu programa “Academia de Redes” [Cisco, 2005], é uma das principais instituições a usar activamente objectos de aprendizagem em acções de formação em larga escala. De facto, nas suas mais de 10,000 Academias espalhadas por mais de 150 Países, já mais de 1,6 milhões de alunos usaram a sua plataforma de eAprendizagem e adquiriram competências técnicas com recurso a objectos de aprendizagem.

Durante vários anos os grupos de trabalho que se debruçam sobre esta área do conhecimento tentaram chegar a um consenso sobre uma definição formal para “objecto de aprendizagem” mas na realidade existem actualmente quase tantas definições como grupos de trabalho. Uma das definições mais respeitadas é a do comité LTSC do IEEE, que define objecto de aprendizagem como “um módulo granular que pode ser usado, reutilizado ou referenciado em sessões de aprendizagem suportadas por tecnologias telemáticas” [LTSC 2001]. De qualquer forma, à medida que o conceito foi sendo apreendido e adoptado, a necessidade de uma definição comum foi perdendo importância, pois na realidade as características fundamentais são semelhantes nas diversas definições.

Um dos objectivos principais subjacentes a este conceito é a promoção da reutilização de conteúdos, ou seja, a utilização dos mesmos objectos de aprendizagem em diferentes unidades educativas de alto nível, mesmo em contextos diferentes. De facto, após o desenvolvimento inicial dos conteúdos digitais, a sua replicação praticamente não envolve custos, ao contrário do que acontece com os conteúdos tradicionais de aprendizagem, pelo que existe todo o interesse em maximizar a reutilização de objectos de aprendizagem. Este tipo de abordagem está em sintonia com a conhecida estratégia de “economia de escala” usada largamente no mercado de bens tangíveis, permitindo diluir os elevados custos de desenvolvimento nos milhares ou mesmo milhões de unidades produzidas.

Para que a reutilização seja uma realidade, os objectos têm que partilhar algumas características comuns de interface, de modo a permitir a sua manipulação por sistemas diferentes. A interoperabilidade assume-se assim como uma condição fundamental para a reutilização, e tem sido alvo de muita atenção por parte das organizações de normalização. O estabelecimento de normas para essa interface permite que os objectos e as aplicações que os manipulam possam ser desenvolvidos de forma totalmente independente.

A vantagem de organizar os conteúdos de alto nível como uma agregação de objectos de aprendizagem modulares reside na possibilidade de estes poderem ser extraídos, reutilizados e recombinados noutros cursos. A granulosidade dos objectos de aprendizagem pode ter um espectro muito vasto e um objecto de aprendizagem tanto pode ser uma colecção de páginas HTML que representam um capítulo inteiro de um curso como um simples gráfico ou tabela.

Uma característica essencial para que se possa caracterizar uma colecção de dados como um objecto de aprendizagem é a sua capacidade de modularidade. Uma regra de ouro da modularidade é que um objecto de aprendizagem só deve conter um único conceito,

independentemente do seu nível de granulosidade. Por exemplo, um conjunto de objectos com informação sobre os protocolos de comunicação IP e UDP não seria um bom objecto de aprendizagem. A melhor estratégia seria dividir esses dados em dois objectos, um com informação sobre o protocolo IP e outro sobre o protocolo UDP. Por outro lado, um conjunto de objectos sobre a pilha protocolar TCP/IP, que até poderia incluir os anteriores, já seria um bom candidato a objecto de aprendizagem, porque abordaria um único conceito, apesar de conter muito mais informação.

Os objectos de aprendizagem, além de modulares devem também ser autónomos, ou seja, devem poder ser usados de forma independente de outros objectos. Se esta condição for cumprida, os objectos poderão ser extraídos de um curso de alto nível sem necessidade de verificar eventuais dependências. A modularidade e autonomia são assim essenciais para permitir a reutilização.

Estas características têm uma grande influência sobre o desenvolvimento de conteúdos baseados em objectos de aprendizagem. Assim, a primeira fase do trabalho deve consistir na divisão do conhecimento que se pretende transmitir em blocos autónomos e modulares, de forma hierárquica e com vários níveis de granulosidade. Seguidamente, cada objecto deve ser criado e desenvolvido de forma independente, como se os outros simplesmente não existissem. Esta estratégia tem uma outra vantagem: facilita o desenvolvimento em paralelo dos conteúdos por autores diferentes, sem necessidade de muita interacção entre eles.

Normalmente os conteúdos de eAprendizagem são desenvolvidos com um objectivo específico, num contexto particular. Apesar de ser difícil, os autores devem tentar ignorar esse objectivo e o respectivo contexto, desenvolvendo os conteúdos da forma mais abstracta possível, concentrando-se nos conceitos que se pretendem transmitir. Desta forma garante-se que os objectos são independentes de objectivos de formação e contextos de utilização específicos, maximizando assim a sua capacidade de reutilização. Estas regras são essenciais para garantir que o resultado final será uma agregação de verdadeiros objectos de aprendizagem, e são estas regras que separam um objecto de aprendizagem de mera informação. Obviamente, as arquitecturas de serviços para eAprendizagem devem considerar estas características dos objectos de aprendizagem.

2.2 Iniciativas e projectos

2.2.1 ARIADNE

Uma das iniciativas mais importantes da União Europeia na área da eAprendizagem consistiu no projecto ARIADNE - *Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe* [ARIADNE], iniciado em 1996 no âmbito do projecto Europeu “*Telematics for Education and Training*”. O seu principal objectivo foi o desenvolvimento de ferramentas e metodologias para produzir, gerir e reutilizar elementos pedagógicos baseados em tecnologias de informação e comunicação.

A visão ARIADNE para a eAprendizagem baseia-se num sistema Internacional de repositórios de informação interligados em rede, chamados KPs – *Knowledge Pools* [Duval

et al, 2001]. Foram desenvolvidos protótipos das ferramentas e metodologias para manter e explorar os KPs, em todas as suas possíveis utilizações: ensino clássico, formação contínua, ensino aberto, ensino a distância e formação profissional.

A validação dos conceitos e ferramentas produzidos no seio desta iniciativa ocorreu em diversas instituições de ensino superior em vários Países Europeus. Os protótipos foram testados na primeira fase do projecto, que decorreu de 1996 a 1998, demonstrando claramente a importância das características de interoperabilidade e reutilização. Na segunda fase do projecto, entre 1998 e 2000, os modelos e ferramentas foram totalmente validados através de demonstrações em larga escala. A Figura 5 mostra as instituições envolvidas nas demonstrações, localizando-as geograficamente.

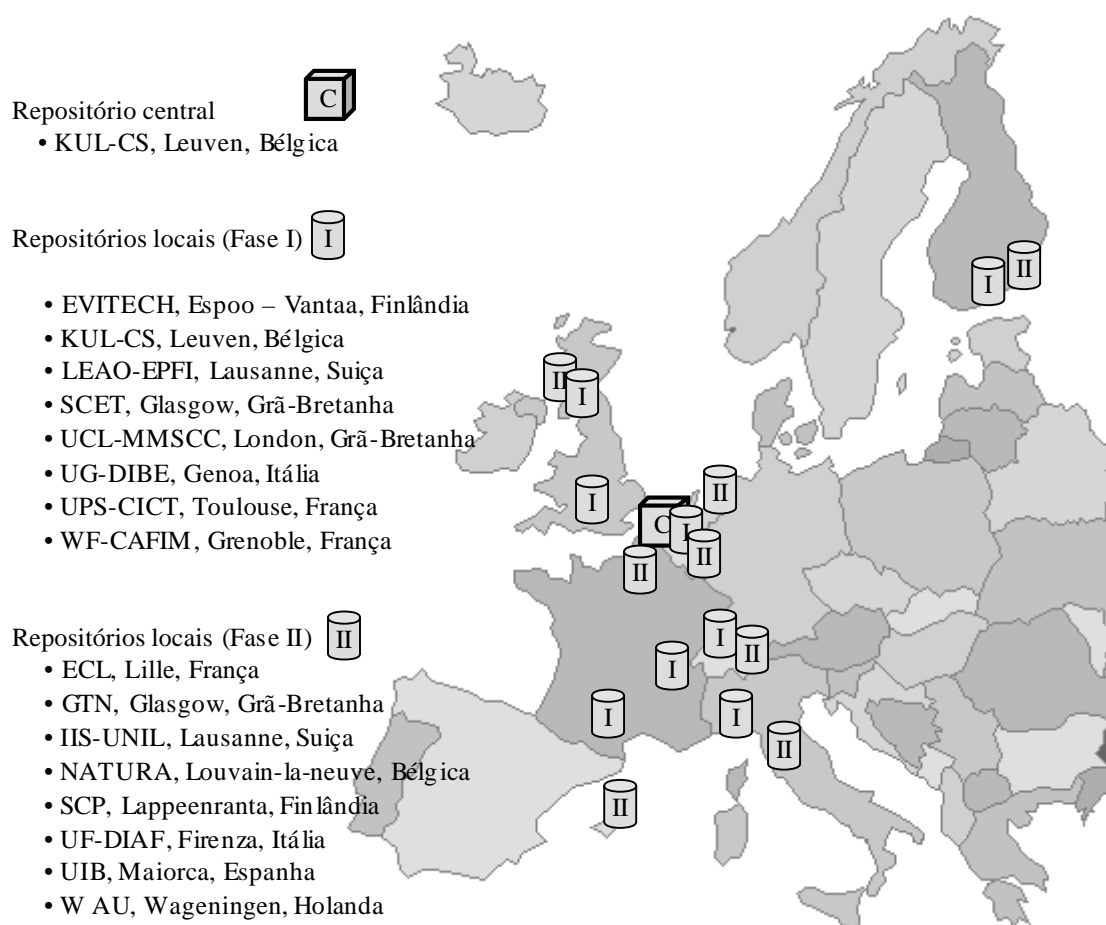


Figura 5 – Repositórios ARIADNE envolvidos nas demonstrações

Uma das principais contribuições deste projecto foi o conjunto de metadados desenvolvidos para caracterizar os recursos educativos [Forte *et al*, 1999], descritos em detalhe na secção 2.3.2. Estes metadados são usados nos KPs para descrever detalhadamente os recursos aí existentes. A descrição envolve as suas características gerais, os tópicos abordados, as características pedagógicas, aspectos técnicos, informação de indexação e anotações.

Os KPs são formados por colecções de unidades de conteúdos chamados “elementos pedagógicos”, constituídos por um “documento pedagógico”, que contém os conteúdos propriamente ditos, e por um “cabeçalho pedagógico” que descreve esses conteúdos através dos metadados referidos anteriormente [Anido *et al*, 2001]. Os cabeçalhos pedagógicos são armazenados, indexados e geridos em bases de dados relacionais, o que permite realizar pesquisas usando os elementos dos metadados como chave. A Figura 6 mostra a interface de pesquisa avançada do sistema, onde são visíveis vários campos que correspondem a elementos dos metadados ARIADNE.

ARIADNE

Welcome to the Ariadne Knowledge Pool

Search

Simple Search **Advanced Search** Federated Search

Document Title

Usage Rights

Author First Name Last Name

Main Concept

less..

Language

Publication Date After Before

Science Type

Main Discipline

Sub-Discipline

Other Concept(s)

User Type

Document Type

Document Format

Pedagogic Duration (minutes) Greater than Less than

Main File Name

Media (MIME) Type(s)

Operating System (OS)

File Size (kB) Greater than Less than

Header Creation Date After Before

Header Author First Name Last Name

Header identifier

Figura 6 – Interface de pesquisa avançada do sistema ARIADNE

Os documentos pedagógicos podem ser tratados como ficheiros comuns, armazenados num sistema de ficheiros, ou integrados na base de dados. Os repositórios ARIADNE foram implementados de uma forma distribuída, tendo em vista a diminuição da carga dos

servidores de modo a melhorar a qualidade de serviço. A rede tem a topologia estrela, com o servidor central localizado em Leuven, na Bélgica. Os elementos pedagógicos podem ser replicados nos vários servidores, desde que as características de propriedade intelectual o permitam. A introdução de elementos pedagógicos nos KPs passa por um processo prévio de análise, validação e indexação.

Esta iniciativa teve uma importante contribuição para a normalização Internacional, através do conjunto de metadados que foi desenvolvido para caracterizar os recursos educativos, que mais tarde serviu de base à criação da norma LOM do LTSC. Após o fim dos projectos ARIADNE I e II, em 2000, foi criada a fundação ARIADNE, sem fins lucrativos, com a missão de explorar e desenvolver os resultados e ferramentas concebidos no âmbito dos projectos. A fundação tem actualmente mais de meia centena de membros, incluindo universidades e empresas de todo o mundo.

2.2.2 LTSC

O IEEE, sendo uma das organizações com maior peso e credibilidade na normalização de tecnologias de comunicação e informação, cedo percebeu a necessidade de modelos normalizados na área da eAprendizagem, e formou o grupo de trabalho *Learning Technology Standards Committee* [LTSC] com vários objectivos de normalização, nomeadamente sobre a definição de competências, localização, sequenciação de objectos, gestão computadorizada do processo de aprendizagem, perfis de formandos e metadados para caracterização de objectos de aprendizagem.

Ao longo dos anos, cumprindo o seu papel de instituição credível de normalização, este comité do IEEE criou diversas normas referenciais, produto de uma política de abertura e geração de consensos entre os diversos actores chave nesta área. Uma dessas normas, oficialmente reconhecida como tal em 2002, é o LOM - *Learning Objects Metadata* [LOM, 2002], uma colecção extensiva de metadados desenvolvida especificamente para caracterizar objectos de aprendizagem. Esta norma, descrita em detalhe na secção 2.3.3, define os atributos necessários para descrever objectos de aprendizagem segundo várias vertentes, bem como a sintaxe e a semântica dos metadados.

2.2.3 IMS

O consórcio IMS – *Instructional Management Systems*, Global Learning Consortium [IMS] é provavelmente uma das entidades mais conhecidas nesta área. O consórcio integra Empresas, Universidades e Institutos muito conhecidos, nomeadamente a IBM, Cisco, Apple, Microsoft, Oracle, Sun, BlackBoard, WebCT, Universidade Carnegie Mellon, Universidade da California e muitas outras instituições de prestígio.

O IMS desenvolve e promove especificações abertas para o suporte de actividades distribuídas de eAprendizagem, como por exemplo a localização e uso de conteúdos educativos, registo da evolução da aprendizagem e avaliação dos formandos, partilha e troca de registos com informação sobre os formandos, metadados, empacotamento de conteúdos, modelos para questionários e linguagens de modelação para eAprendizagem.

O consórcio tem dois objectivos chave:

- Definição de especificações técnicas para garantir a interoperabilidade entre aplicações e serviços usados na eAprendizagem distribuída;
- Promoção da incorporação destas especificações em produtos e serviços.

Tal como no caso de outras especificações, a ideia geral é tornar os produtos, serviços e conteúdos compatíveis entre si, através da implementação comum de especificações formais. O consórcio IMS, tal como o projecto ARIADNE, teve um papel fundamental na especificação da norma LOM.

2.2.4 ADL

Em 1997, o Departamento de Defesa Americano conjuntamente com o gabinete de Ciência e Tecnologia da Casa Branca criaram a iniciativa ADL - *Advanced Distributed Learning* [ADL]. O seu objectivo principal é promover especificações que maximizem a interoperabilidade de conteúdos e sistemas educacionais baseados nas tecnologias da informação e comunicação, com particular incidência na aprendizagem baseada na *Internet*. Esta iniciativa evoluiu em torno de quatro requisitos fundamentais:

- **Acessibilidade:** a capacidade de entrega de componentes educacionais em múltiplas localizações a partir de repositórios remotos;
- **Interoperabilidade:** a capacidade de manipulação dos mesmos componentes educacionais em locais diferentes, com ferramentas diferentes, em plataformas diferentes;
- **Durabilidade:** a capacidade de utilização de componentes educacionais ao longo do tempo sem qualquer intervenção na sua estrutura ou código, mesmo quando as tecnologias e plataformas mudam;
- **Reutilização:** a capacidade dos componentes educacionais para serem integrados em múltiplas aplicações sem qualquer alteração na sua estrutura ou código.

O trabalho da ADL está em sintonia e incorpora trabalho de outras organizações, principalmente o LTSC, IMS, ARIADNE e AICC, e um dos resultados mais importantes dessa colaboração é o modelo SCORM - *Sharable Content Object Reference Model* [ADL, 2004], cuja última versão se intitula “SCORM 2004 – *2nd edition*”. O SCORM é basicamente uma colecção de especificações e normas definidas por outros organismos, com directivas sobre a sua utilização, agrupadas em livros que abordam uma determinada área técnica. Actualmente são contempladas três grandes áreas: sequenciação e navegação, agregação de conteúdos e ambientes de exploração.

O modelo de sequenciação e navegação baseia-se no trabalho do consórcio IMS e define métodos para estabelecer o comportamento de sequenciação dos conteúdos em função de eventos do utilizador ou do sistema de gestão de aprendizagem. A sequência de conteúdos e actividades é tipicamente definida durante a concepção dos pacotes. Este modelo suporta uma linguagem comum de definição destas sequências, que permite aos sistemas de gestão de aprendizagem entregar os conteúdos aos utilizadores da forma previamente definida pelos seus criadores. As sequências de aprendizagem podem depender da interacção

específica com os utilizadores, permitindo a apresentação dinâmica dos conteúdos em função das suas necessidades individuais.

Os modelos de agregação de conteúdos baseiam-se integralmente nas normas propostas pelo LTSC, IMS e AICC e o seu objectivo fundamental é a definição da forma como os componentes usados em sessões de eAprendizagem são empacotados e transferidos entre sistemas heterogéneos. Estes modelos identificam e classificam os componentes, descrevem a forma como devem ser empacotados e definem os métodos a usar para os descrever de modo a facilitar a sua pesquisa. Abrangem também a definição dos percursos lógicos de aprendizagem dentro dos pacotes, através de regras lógicas de sequenciação dos componentes. Estes modelos são descritos com mais pormenor em 2.3.7.

Os modelos para os ambientes de exploração têm como objectivo fundamental garantir a interoperabilidade entre conteúdos e sistemas de gestão de aprendizagem, independentemente das tecnologias e ferramentas usadas. Para atingir este objectivo, estes modelos definem formas normalizadas para lançar os conteúdos e métodos para a comunicação entre os conteúdos e os sistemas de gestão de aprendizagem. São também definidos formatos de dados usados para trocar informações entre conteúdos e sistemas de gestão de aprendizagem durante a fase de utilização dos conteúdos. Estes modelos baseiam-se nas normas IEEE 1484.11.1 e 1484.11.2, que definem respectivamente modelos para a comunicação com conteúdos e interfaces de programação que podem ser usadas pelos conteúdos para comunicar com serviços oferecidos pelos sistemas de gestão de aprendizagem.

Todos estes modelos assumem a interoperabilidade como um dos objectivos principais, tendo em vista a maximização do potencial educativo dos conteúdos através da reutilização. A iniciativa ADL promove a implementação prática das suas especificações e disponibiliza formas de testar a conformidade com as normas, com particular incidência nas questões de interoperabilidade. Para isso dispõe de vários laboratórios onde podem ser testados conteúdos e aplicações. O primeiro destes laboratórios, intitulado “*Advanced Distributed Learning (ADL) Co-Laboratory (Co-Lab)*” foi criado em 1999 em Alexandria, Virgínia, com o objectivo de desenvolver e avaliar protótipos de aplicações e conteúdos relacionados com a iniciativa ADL. Foram entretanto criados três novos laboratórios deste género, formando uma rede que partilha investigação, conhecimento, ferramentas e conteúdos no âmbito da iniciativa ADL. Adicionalmente foram estabelecidas parcerias com a Universidade de Wolverhampton, Reino Unido e com o Departamento de Defesa do Canadá, no sentido da promoção e desenvolvimento de normas para a eAprendizagem.

Esta rede de laboratórios é responsável pelos testes e avaliação de produtos ADL, incidindo particularmente na sua capacidade relativamente aos quatro requisitos fundamentais da iniciativa: reutilização, interoperabilidade, durabilidade e acessibilidade. Os testes simulam casos reais e envolvem a análise da interoperabilidade através da movimentação de conteúdos entre sistemas diferentes, reutilização de conteúdos em plataformas e ambientes heterogéneos, capacidade de localização de conteúdos através dos seus metadados e conformidade de ferramentas que criam ou manipulam conteúdos SCORM.

Inicialmente os modelos desta iniciativa teriam como função principal servir de base para o Departamento de Defesa Americano criar e operar os ambientes de eAprendizagem do futuro, de modo a que todos os ramos das forças armadas possam usar, partilhar, gerir e reutilizar conteúdos, independentemente da sua origem. No entanto, os requisitos do Departamento de Defesa Americano coincidem com as necessidades de aplicações civis, pelo que o modelo SCORM rapidamente extravasou o âmbito militar e é actualmente uma das principais referências quando o objectivo é garantir interoperabilidade entre sistemas de eAprendizagem. Os vários anos de testes demonstraram que o modelo SCORM atingiu já uma maturidade estável e esta é uma das razões para a sua crescente popularidade.

2.2.5 AICC

A sigla AICC significa *Aviation Industry CBT Committee* [AICC] e designa uma associação Internacional de profissionais ligados ao treino e formação baseados em tecnologia, criada em 1988. Esta associação desenvolve directivas para a indústria aeronáutica na área do desenvolvimento, fornecimento e avaliação de acções de treino baseadas em tecnologias de informação. Os seus objectivos consistem em:

- Orientar os operadores aeronáuticos no desenvolvimento de directivas que promovam a implementação efectiva e economicamente viável de treino baseado em computador;
- Desenvolver directivas para promover a interoperabilidade;
- Promover a discussão pública de temas relacionados com treino e formação baseados em tecnologias da informação.

Apesar de inicialmente focar o seu trabalho apenas no âmbito da indústria aeronáutica, os longos anos de trabalho produziram especificações relevantes relativamente à aprendizagem baseada em computadores. Consequentemente, as especificações produzidas no seio da AICC começaram a ser objecto de atenção por parte de outras organizações, que acabaram por adoptar muitas das directivas desenvolvidas nesta associação. Por exemplo, a AICC está activamente envolvida na iniciativa ADL.

Um dos princípios estratégicos da AICC relaciona-se com a parte financeira da aprendizagem. Com efeito, um dos principais interesses dos associados é o de reduzir os respectivos custos de treino e formação. Obviamente, uma forma de o conseguir é garantir a interoperabilidade de conteúdos e aplicações educativas, o que permite que os produtores de conteúdos tenham um público-alvo muito mais vasto sem necessidade de modificar os conteúdos. A economia de escala faz o resto.

2.2.6 CEN/ISSS

O Sistema de Normalização da Sociedade da Informação ISSS - *Information Society Standardization System* [CEN/ISSS] é um sub-comité do Comité Europeu de Normalização [CEN], fundado em 1961 pelas entidades nacionais de normalização dos Países da Comunidade Europeia e da EFTA.

As actividades principais do ISSS no âmbito da eAprendizagem realizam-se no *Learning Technologies Workshop* [CEN/ISSS/LT], cujos objectivos principais se relacionam com as

questões de interoperabilidade e reutilização de conteúdos, eAprendizagem colaborativa, metadados para conteúdos educativos e qualidade do processo de aprendizagem, tendo sempre em consideração a diversidade cultural da Europa.

2.2.7 GESTALT

O projecto Europeu GESTALT - *Getting Educational Systems Talking Across Leading edge Technologies* [GESTALT], tal como o ARIADNE, foi financiado ao abrigo do IV programa da Comissão Europeia. Como sucede com as outras entidades, o seu objectivo principal foi o desenvolvimento de modelos e metodologias para a criação de sistemas de eAprendizagem heterogéneos, expansíveis e distribuídos, mas ao mesmo tempo compatíveis entre si.

O trabalho concentrou-se na parte de localização de recursos educativos, integrando modelos de acesso aos objectos e gestão da infra-estrutura de rede.

2.2.8 PROMETEUS

O projecto Europeu PROMETEUS - *PROMoting Multimedia access to Education and Training in EUropean Society* [PROMETEUS] foi lançado em 1999 pela Comissão Europeia com o objectivo de promover a utilização de conteúdos multimédia em acções de educação e treino na sociedade Europeia.

O projecto envolve mais de 400 instituições empenhadas em contribuir para a definição de normas que regulem a aprendizagem baseada em tecnologias de informação e comunicação. O trabalho baseia-se nas normas produzidas pelo LTSC, procurando adaptá-las de forma a integrar-lhes os aspectos relacionados com as diversas culturas e contextos Europeus.

A ideia fundamental é promover o acesso generalizado ao conhecimento, educação e formação profissional a todos os Europeus, independentemente da sua localização geográfica, idioma, idade, posição social ou emprego. Neste contexto, é feita a promoção de:

- Soluções e plataformas acessíveis, baseadas em aplicações abertas;
- Repositórios públicos de conhecimento com grande interoperabilidade;
- Estratégias para suporte a soluções multiculturais e em múltiplos idiomas;

2.2.9 EdNA

O objectivo inicial da organização Australiana EdNA - *Education Network Australia* [EdNA] foi a promoção da Internet como uma ferramenta essencial de suporte à aprendizagem na comunidade educativa Australiana, ligando os diversos actores: escolas secundárias, escolas profissionais, fornecedores de conteúdos e instituições de ensino superior.

Para implementar esta estratégia, o primeiro passo foi o desenvolvimento de metodologias e modelos conceptuais que facilitassem o acesso a serviços e conteúdos educativos. O modelo resultante é hoje conhecido por EdNA *Online Data Model*, que permite por

exemplo que a pesquisa de conteúdos seja limitada a um determinado contexto. O projecto prevê a caracterização exaustiva dos recursos, recorrendo a metadados desenvolvidos especificamente para o projecto [EdNA, 2002] e informação semântica na forma de vocabulários controlados.

O projecto evoluiu e cresceu muito além dos objectivos iniciais, sendo hoje em dia uma plataforma nacional para colaboração e cooperação entre todos os níveis de ensino da comunidade educativa Australiana, incluindo professores, alunos, grupos comunitários, associações profissionais, grupos consultivos de sectoriais e comités Ministeriais [Mason, 1999].

2.2.10 MERLOT

O projecto MERLOT - *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching* [MERLOT] é o resultado da cooperação Internacional de várias Universidades, associações profissionais, empresas e outras instituições ligadas ao ensino superior de diversos Países, particularmente dos EUA. A face mais visível do projecto é o portal aberto de objectos de aprendizagem com o mesmo nome, que se destina principalmente a instituições e alunos do ensino superior. O portal é um ponto de entrada comum para vários repositórios distribuídos de conteúdos, com capacidades avançadas de pesquisa.

O ponto de partida para esta iniciativa foi o projecto "*Authoring Tools and an Educational Object Economy*" [EOE], que começou em 1994 com o intuito de desenvolver e distribuir ferramentas para promover a formação de comunidades envolvidas na construção de repositórios partilhados de conteúdos digitais. Em 1997, após o desenvolvimento de algumas ferramentas e a integração de diversos conteúdos, o *California State University Center for Distributed Learning* [CSU-CDL] abriu e promoveu o acesso livre ao portal MERLOT.

A partir de 1998, reconhecendo as vantagens da cooperação, juntaram-se ao projecto várias dezenas de Universidades e outras instituições ligadas ao ensino superior, que permitiram expandir consideravelmente as colecções de objectos disponíveis no portal. Adicionalmente, foram desenvolvidos processos de avaliação e revisão dos conteúdos, que permitiram acrescentar algum controlo da qualidade dos objectos de aprendizagem. Actualmente o portal permite o acesso a mais de 10,000 recursos diferentes, divididos em sete categorias diferentes: Artes, Gestão, Educação, Humanidades, Matemática, Ciência e Tecnologia e Ciências Sociais.

O trabalho cooperativo assume uma importância vital para a manutenção da coerência e qualidade dos conteúdos e conseqüentemente para o sucesso global da iniciativa. Desta forma, existem várias comunidades distintas que se ocupam de disciplinas específicas, cujas tarefas principais são adicionar e rever conteúdos nas respectivas áreas. Cada disciplina é coordenada por uma comissão editorial, com a responsabilidade de expandir e gerir a colecção de objectos da respectiva disciplina, gerir o processo de revisão através da política de revisão pelos pares e promover a utilização dos conteúdos nas comunidades de ensino relacionadas com a respectiva disciplina.

2.3 Normas e metadados

Para que possam ser usadas todas as potencialidades dos objectos de aprendizagem é fundamental conhecer as suas propriedades, agrupadas nas diversas dimensões ou facetas. Essas propriedades podem ser deduzidas ou avaliadas observando o próprio objecto, mas esse não é um procedimento prático, pelo que o ideal será que essas propriedades possam ser descritas de uma forma estruturada, normalizada e independente do próprio objecto.

Desta forma, será possível usar essa descrição para analisar, pesquisar e classificar os objectos de aprendizagem independentemente do seu conteúdo efectivo. É esta informação multifacetada sobre os objectos que pode transformar mera informação em conteúdos educativos com valor.

A caracterização digital recorre tipicamente a metadados, que são entendidos genericamente como “informação sobre informação”. Este conceito refere-se normalmente a uma linguagem estruturada que permite descrever objectos através de um conjunto preestabelecido de propriedades e atributos dessa classe de objectos. Logicamente, esta será a ferramenta ideal para a comprovada necessidade de caracterização das propriedades dos objectos de aprendizagem.

2.3.1 Metadados *Dublin Core*

Uma das mais conhecidas e referenciadas estruturas de metadados é o *Dublin Core* [Weibel *et al*, 1998], que consiste num conjunto de quinze propriedades que podem ser usadas para descrever conteúdos digitais. O desenvolvimento destes metadados começou em 1995 e teve como objectivo melhorar a capacidade de localização e descoberta de conteúdos digitais, tendo recebido contributos de bibliotecários, investigadores da área de bibliotecas digitais, especialistas de conteúdos e peritos em linguagens de metadados.

Este trabalho tornou-se necessário devido ao crescimento brutal da quantidade de informação acessível através da Internet. Apesar do aparecimento de motores de busca com capacidades de indexação notáveis em termos de quantidade de informação indexada, as suas capacidades de descrição facetada de conteúdos eram (e ainda são) muito fracas, daí a necessidade de caracterizar os conteúdos de forma mais exhaustiva.

Os requisitos que levaram ao desenvolvimento da estrutura *Dublin Core* são:

- Simplicidade de criação e gestão;
- Semântica universalmente compreensível;
- Conformidade com normas existentes e emergentes;
- Âmbito e aplicação universal;
- Fácil expansibilidade;
- Interoperabilidade entre sistemas de indexação.

Alguns destes requisitos tendem a excluir-se mutuamente, pelo que grande parte do trabalho consistiu em minimizar as relações de exclusão. A estrutura de metadados resultante consiste em quinze propriedades, divididas em três grandes grupos. A Tabela 1

enumera essas propriedades e explica resumidamente o papel de cada uma na descrição de objectos.

Relativamente ao conteúdo do objecto	
◆ <i>Title</i>	Nome do objecto, atribuído pelo autor ou pelo editor;
◆ <i>Subject</i>	Assunto do objecto, normalmente descrito como um conjunto de palavras-chave, preferencialmente pertencentes a um vocabulário controlado;
◆ <i>Description</i>	Descrição textual do conteúdo do objecto;
◆ <i>Type</i>	Tipo de objecto, por exemplo relatório, poema, artigo, etc.;
◆ <i>Source</i>	Informação acerca de um segundo objecto do qual este deriva;
◆ <i>Relation</i>	Identificação de um segundo objecto e da sua relação com este objecto;
◆ <i>Coverage</i>	Abrangência espacial ou temporal do objecto;
Relativamente à propriedade intelectual do objecto	
◆ <i>Creator</i>	Pessoa ou organização que é a principal responsável pela criação da propriedade intelectual do objecto;
◆ <i>Publisher</i>	Entidade responsável pela publicação do objecto;
◆ <i>Contributor</i>	Pessoa ou organização que, não sendo o Autor, contribuiu de forma significativa para a propriedade intelectual do objecto;
◆ <i>Rights</i>	Declaração de direitos de autor;
Relativamente à versão do objecto	
◆ <i>Date</i>	Data associada com a criação ou publicação do objecto;
◆ <i>Format</i>	Formato de dados e opcionalmente as suas dimensões;
◆ <i>Identifier</i>	Código alfanumérico único que permita identificar o objecto de forma não ambígua;
◆ <i>Language</i>	Idioma usado no texto do objecto;

Tabela 1 – As propriedades dos metadados *Dublin Core*

A utilização desta estrutura é altamente flexível. Todos os elementos são opcionais e podem ser usados de forma múltipla. Isto significa que alguns elementos podem não aparecer na descrição de um objecto e outros podem aparecer várias vezes, com valores diferentes. Também não existe qualquer regra sobre a ordem pela qual os elementos devem aparecer, e não é boa ideia que as aplicações usem essa ordem para representar algum tipo de hierarquia ou ordem.

A norma nada diz sobre o vocabulário a usar dentro de cada elemento. Assume-se a utilização de vocabulários controlados externos, de forma a garantir um mínimo de interoperabilidade. A codificação desta estrutura pode ser feita usando a linguagem RDF / XML [Kokkeliink & Schwänzl, 2002], através de meta elementos HTML / XHTML ou usando a linguagem XML [Powell & Johnston, 2003].

A colecção de metadados Dublin Core, dada a sua natureza genérica, procura abranger todo o tipo de documentos e não se preocupa com especificidades de determinadas aplicações particulares, como é o caso dos conteúdos para eAprendizagem.

Consequentemente, os metadados *Dublin Core* são insuficientes para caracterizar facetas específicas dos objectos de aprendizagem, imprescindíveis para os manipular do ponto de vista educativo.

2.3.2 Metadados ARIADNE

O projecto ARIADNE produziu um dos primeiros esquemas de metadados específicos para objectos de aprendizagem. Os metadados foram agrupados em seis categorias diferentes de acordo com a sua função:

- *General (1.x)*: agrupa informação que descreve as características gerais do objecto de aprendizagem, como por exemplo o título, o idioma, etc.;
- *Semantics (2.x)*: agrupa os elementos que descrevem o conteúdo semântico do objecto de aprendizagem, incluindo a área científica, disciplina principal, sub-disciplina, etc.;
- *Pedagogical (3.x)*: agrupa os elementos que descrevem as características pedagógicas e educacionais do objecto de aprendizagem, como por exemplo a densidade semântica, nível de interactividade, etc.;
- *Technical (4.x)*: agrupa os elementos que descrevem os requisitos técnicos e características do objecto de aprendizagem, incluindo a versão do sistema operativo, espaço em disco mínimo, etc.;
- *Indexation (5.x)*: agrupa os elementos que descrevem os próprios metadados, incluindo o seu identificador, data de criação, autor, etc.;
- *Annotations (6.x)*: agrupa os elementos que descrevem notas de pessoas ou organizações sobre o objecto de aprendizagem.

A Tabela 2 apresenta a lista completa dos elementos do esquema de metadados ARIADNE, com uma breve descrição da função de cada um deles.

Elemento	Descrição
1.1 <i>title</i>	Título do objecto de aprendizagem;
1.2 <i>language</i>	Idioma usado no objecto de aprendizagem;
1.3 <i>date</i>	Data de criação do objecto de aprendizagem;
1.4 <i>usage rights</i>	Indicação sobre a necessidade de pagamento;
1.5 <i>usage remarks</i>	Indicações suplementares sobre as condições de utilização do objecto de aprendizagem;
1.6 <i>restrictions</i>	Indicação da existência ou não de direitos de autor;
1.7 <i>version information</i>	Indicação do recurso do qual este objecto de aprendizagem é uma versão;
1.8 <i>authors</i>	Autores do objecto de aprendizagem;
1.9 <i>source</i>	Indicação do recurso sobre o qual este objecto de aprendizagem está baseado;
1.10 <i>description</i>	Descrição textual do objecto de aprendizagem;
2.1 <i>science type</i>	Área científica do objecto de aprendizagem;
2.2 <i>main discipline</i>	Disciplina dentro da área científica, do objecto de aprendizagem;

Elemento	Descrição
2.3 <i>sub discipline</i>	Sub-disciplina dentro da disciplina, do objecto de aprendizagem;
2.4 <i>main concept</i>	Tópico do objecto de aprendizagem;
2.5 <i>concept synonyms</i>	Sinónimos do conceito abordado pelo objecto de aprendizagem;
2.6 <i>other important concepts</i>	Outros conceitos relacionados com o tópico do objecto de aprendizagem;
3.1 <i>user type</i>	Tipo de utilizador ao qual este objecto de aprendizagem se destina;
3.2 <i>document type</i>	Tipo de interactividade suscitada pelo objecto de aprendizagem;
3.3 <i>document format</i>	Tipo de documento relativamente ao formato pedagógico;
3.4 <i>interactivity level</i>	Nível de interactividade do objecto de aprendizagem;
3.5 <i>semantic density</i>	Densidade semântica do objecto de aprendizagem;
3.6 <i>pedagogical duration</i>	Duração típica da utilização do objecto de aprendizagem;
3.7 <i>difficulty level</i>	Nível de dificuldade dos conteúdos do objecto de aprendizagem;
3.8 <i>didactical context</i>	Tipo e nível de formação ao qual o objecto de aprendizagem se adequa;
3.9 <i>granularity</i>	Nível de granulosidade do objecto de aprendizagem;
4.1 <i>main file name</i>	Nome do ficheiro com o objecto de aprendizagem;
4.2 <i>media types</i>	Formato técnico do objecto de aprendizagem;
4.3 <i>operating system</i>	Sistema operativo necessário para usar o objecto de aprendizagem;
4.4 <i>required disk space</i>	Tamanho do ficheiro que contém o objecto de aprendizagem;
4.5 <i>operating system version</i>	Versão mínima necessária do sistema operativo;
4.6 <i>installation notes</i>	Notas suplementares sobre a instalação do objecto de aprendizagem;
4.7 <i>other constraints</i>	Outros requisitos necessários para usar o objecto de aprendizagem;
5.1 <i>header creation</i>	Data de criação dos metadados;
5.2 <i>header author</i>	Autor dos metadados;
5.3 <i>validation date</i>	Data de validação dos metadados;
5.4 <i>validator</i>	Identificação da entidade que valida os metadados;
5.5 <i>identifier</i>	Identificador dos metadados no catálogo ARIADNE;
5.6 <i>last modified date</i>	Data da última modificação dos metadados;
5.7 <i>language</i>	Idioma usado nos metadados;
6.1 <i>creation date</i>	Data da criação da anotação;
6.2 <i>language</i>	Idioma usado em cada anotação;
6.3 <i>annotation</i>	Conteúdo de cada anotação;
6.4 <i>annotator</i>	Autor de cada anotação;

Tabela 2 – Lista de elementos do esquema de metadados ARIADNE

Relativamente ao *Dublin Core* nota-se uma maior riqueza na caracterização de recursos, com especial incidência na sua vertente educacional. No entanto, o acréscimo da

informação descritiva resulta do aumento considerável do número de elementos, que é praticamente o triplo do *Dublin Core*, o que pode tornar o preenchimento dos metadados numa tarefa pouco prática.

A categoria “*Semantics*” permite fazer uma classificação do assunto dos objectos de aprendizagem em quatro níveis diferentes, desde a área científica até ao tópico específico, possibilitando a inclusão de elementos suplementares para melhor caracterizar os seus tópicos. Com esta categoria pretende-se claramente promover a pesquisa de conteúdos por tópico de aprendizagem.

Na categoria “*Pedagogical*” foram agrupados vários elementos que permitem caracterizar os conteúdos de acordo com os seus atributos relacionados com o processo de aprendizagem. Esta informação permite seleccionar os conteúdos mais adequados a um determinado contexto, objectivo de aprendizagem, nível de dificuldade ou perfil individual de utilizador. Os elementos desta categoria são uma mais valia considerável, na medida em que introduzem as questões do processo de aprendizagem na caracterização dos conteúdos. Por outro lado, esta caracterização é difícil de fazer e pode tornar-se demasiado subjectiva.

A secção “*Technical*” é um pouco limitada e nota-se claramente que está orientada para a instalação dos conteúdos em sistemas operativos. Numa época em que se assume claramente que os conteúdos de eAprendizagem devem ser suportados na Internet, esta categoria parece estar claramente desactualizada.

Parte dos atributos caracterizados por estes metadados são usados como chave de pesquisa no modo de pesquisa avançada dos KPs ARIADNE, como pode ser facilmente constatado na Figura 6. Actualmente, dada a prevalência dos metadados LOM (descritos na secção seguinte), os metadados ARIADNE estão a ser migrados para um perfil LOMv1 e foram concebidas ferramentas [Najjar *et al*, 2003] para a transformação automática de metadados ARIADNE para metadados compatíveis com a norma LOMv1.

2.3.3 Metadados LOM

Os metadados LOM foram desenvolvidos pelo LTSC de forma a responder à necessidade crescente de normalizar a caracterização de objectos de aprendizagem, de forma a promover a sua interoperabilidade entre sistemas diferentes. A norma inspirou-se parcialmente nos metadados Dublin Core e foi inicialmente desenvolvida em torno do trabalho do projecto ARIADNE, que em 1995 tinha já concebido uma recomendação para metadados de recursos educativos.

Em 1998, o projecto ARIADNE e o consórcio IMS, que em 1997 tinha também algum trabalho desenvolvido nesta área, fizeram uma proposta comum ao LTSC no sentido do desenvolvimento de uma norma Internacional que unificasse as estruturas e os métodos de caracterização dos objectos de aprendizagem, de maneira a:

- Permitir a alunos ou instrutores a pesquisa, análise, aquisição e utilização de objectos de aprendizagem;
- Permitir a partilha e troca de objectos de aprendizagem através de qualquer sistema de gestão de aprendizagem, independentemente da sua tecnologia;

- Permitir o desenvolvimento de objectos de aprendizagem em unidades capazes de ser agregadas e desagregadas;
- Permitir que aplicações possam construir dinamicamente planos de aprendizagem personalizados à medida dos alunos individuais;
- Contribuir para a promoção de uma economia de objectos de aprendizagem, incluindo todas as formas de distribuição, com ou sem fins lucrativos;
- Permitir que organizações de ensino e formação, governamentais, públicas ou privadas, possam exprimir as características pedagógicas dos seus conteúdos, independentemente dos próprios conteúdos;
- Definir uma norma simples e extensível para múltiplos domínios e jurisdições, para que possa ser rapidamente adoptada a uma escala global.

Após vários anos de discussão e enriquecimento com as contribuições de diversas organizações, em 2002 o IEEE aprovou e adoptou o LOMv1, ou IEEE 1484.12.1, como norma para a descrição estruturada de objectos de aprendizagem. A norma LOMv1 é a referência Internacional para a caracterização de objectos de aprendizagem e é largamente usada, não só directamente em aplicações de eAprendizagem mas também como referência para perfis de metadados mais específicos. Esta colecção de metadados está organizada em nove categorias principais, que podem ser observadas na Tabela 3.

Categoria	Descrição
◆ <i>General</i>	Descreve as características gerais do objecto;
◆ <i>Lifecycle</i>	Descreve as alterações e contribuições feitas para o objecto ao longo do seu tempo de vida;
◆ <i>Meta-Metadata</i>	Descreve a informação sobre os metadados usados para descrever o objecto;
◆ <i>Technical</i>	Descreve os requisitos técnicos e as características técnicas deste objecto;
◆ <i>Educational</i>	Descreve as características pedagógicas e educacionais deste objecto;
◆ <i>Rights</i>	Descreve as características de propriedade intelectual e condições de uso do objecto;
◆ <i>Relation</i>	Descreve as relações existentes entre o objecto e outros objectos;
◆ <i>Annotation</i>	Comentários sobre a utilização deste objecto;
◆ <i>Classification</i>	Descreve a classificação deste objecto num sistema de classificação;

Tabela 3 – As categorias principais da colecção de metadados LOM

A Tabela 4 contém a lista de todos os elementos de cada uma das categorias dos metadados LOM, com uma breve descrição da sua função.

1 General	
1.1 <i>Identifier</i>	Identificação única e global do objecto;
1.1.1 <i>Catalog</i>	Nome ou designação do esquema de catalogação desta entrada;
1.1.2 <i>Entry</i>	Identificador que identifica este objecto no esquema de catalogação;
1.2 <i>Title</i>	Título do objecto;
1.3 <i>Language</i>	Lista dos idiomas principais usados pelo objecto para comunicar com os utilizadores;
1.4 <i>Description</i>	Descrição textual do conteúdo do objecto;
1.5 <i>Keyword</i>	Lista de palavras-chave que caracterizam o assunto tratado pelo objecto;
1.6 <i>Coverage</i>	O período, região, cultura ou religião à qual o conteúdo do objecto se aplica;
1.7 <i>Structure</i>	Define o tipo de estrutura em que o objecto está inserido, por exemplo, "atómico", "coleção", "rede", "hierarquia" ou "linear";
1.8 <i>Aggregation Level</i>	A granulosidade funcional deste objecto, começando em "1" para objectos atómicos, "2" para uma coleção de objectos de nível 1 que representem uma aula, "3" para uma coleção de objectos de nível 2 que representem um curso e finalmente o nível "4" para um conjunto de objectos de nível "3" ou "4" que possuam dimensão capaz de conferir uma certificação académica ou profissional;
2 Life Cycle	
2.1 <i>Version</i>	A versão deste objecto;
2.2 <i>Status</i>	O estado ou condição deste objecto em termos de finalização;
2.3 <i>Contribute</i>	As entidades que contribuíram para o estado actual do objecto, ao longo do seu ciclo de vida;
2.3.1 <i>Role</i>	Tipo de contribuição, por exemplo "autor", "editor", "consultor", etc;
2.3.2 <i>Entity</i>	A identificação da entidade que fez esta contribuição;
2.3.3 <i>Date</i>	A data desta contribuição;
3 Meta-Metadata	
3.1 <i>Identifier</i>	Identificador único e global para estes metadados;
3.1.1 <i>Catalog</i>	Nome ou designação do esquema de catalogação desta entrada;
3.1.2 <i>Entry</i>	Identificador que identifica estes metadados no esquema de catalogação;
3.2 <i>Contribute</i>	As entidades que contribuíram para o estado actual destes metadados, ao longo do seu ciclo de vida;
3.2.1 <i>Role</i>	Tipo de contribuição, por exemplo "criador", "certificador";

3.2.2 <i>Entity</i>	A identificação da entidade que fez esta contribuição;
3.2.3 <i>Date</i>	A data desta contribuição;
3.3 <i>Metadata Schema</i>	Nome e versão do esquema de metadados usado nesta ocorrência;
3.4 <i>Language</i>	O idioma usado nesta ocorrência de metadados;
4 Technical	
4.1 <i>Format</i>	Formato técnico do objecto, expresso como tipos MIME;
4.2 <i>Size</i>	Tamanho do objecto, em octetos;
4.3 <i>Location</i>	Identificador, por exemplo URL ou URI, que permite aceder ao objecto;
4.4 <i>Requirement</i>	Requisitos para a correcta utilização do objecto;
4.4.1 <i>OrComposite</i>	Agrupamento de vários requisitos, onde basta que um deles seja satisfeito;
4.4.1.1 <i>Type</i>	A tecnologia que é necessária para usar o objecto, em termos de hardware, software, rede, etc;
4.4.1.2 <i>Name</i>	Enumeração do modelo da tecnologia, por exemplo se o Tipo for "sistema operativo", o Nome poderá ser "Windows XP", "Unix", "Linux 8.0", etc;
4.4.1.3 <i>Minimum Version</i>	Versão mínima da tecnologia necessária para usar o objecto;
4.4.1.4 <i>Maximum Version</i>	Versão máxima da tecnologia necessária para usar o objecto;
4.5 <i>Installation Remarks</i>	Descrição da forma de instalar este objecto;
4.6 <i>Other Platform Requirements</i>	Informação sobre outros requisitos de hardware ou software;
4.7 <i>Duration</i>	Duração da visualização do objecto; relevante para vídeos, sons e animações;
5 Educational	
5.1 <i>Interactivity Type</i>	Tipo de interactividade suportada pelo objecto, que pode ser "activo" quando existe interactividade, "expositivo" quando não existe interactividade, ou "combinado" quando existe material activo e expositivo no mesmo objecto;
5.2 <i>Learning Resource Type</i>	Modo predominante de formato pedagógico do objecto, por exemplo "exercício", "simulação", "questionário", "exposição", "vídeo", "animação", etc.;
5.3 <i>Interactivity Level</i>	O grau de interactividade do objecto, expresso em cinco níveis diferentes: "muito baixo", "baixo", "médio", "elevado" e "muito elevado";
5.4 <i>Semantic Density</i>	O grau de concisão do objecto, expresso em cinco níveis: "muito baixo", "baixo", "médio", "elevado" e "muito elevado";
5.5 <i>Intended End User Role</i>	Lista de categorias e papéis para as quais este objecto foi concebido, por exemplo "aluno", "autor", "professor", "gestor";

5.6 <i>Context</i>	O ambiente para o qual o objecto foi concebido e é suposto ser utilizado, por exemplo "primeiro ciclo", "segundo ciclo", "ensino superior", "formação profissional", etc.;
5.7 <i>Typical Age Range</i>	Gama típica de idades para o qual o objecto foi concebido, por exemplo "7-11", "0-5", "18-", etc.;
5.8 <i>Difficulty</i>	Grau de dificuldade de aprendizagem com o objecto, considerando o público para o qual foi concebido, representado em cinco níveis: "muito fácil", "fácil", "médio", "difícil", "muito difícil";
5.9 <i>Typical Learning Time</i>	Tempo típico necessário para usar o objecto para o fim para que foi concebido, considerando a sua audiência provável;
5.10 <i>Description</i>	Comentários sobre a forma como o objecto deve ser usado;
5.11 <i>Language</i>	O idioma humano usado pelo utilizador típico previsto para este objecto;
6 <i>Rights</i>	
6.1 <i>Cost</i>	Indica se a utilização do objecto requer ou não pagamento;
6.2 <i>Copyright and Other Restrictions</i>	Indica se se aplicam direitos de autor ou outras restrições ao objecto;
6.3 <i>Description</i>	Comentários sobre as condições de utilização do objecto;
7 <i>Relation</i>	
7.1 <i>Kind</i>	Natureza do relacionamento entre este objecto e outro objecto externo, por exemplo "é parte de", "tem parte", "é versão de", "tem versão de", "é formato de", "tem formato de", "referencia", "é referenciado por", "é baseado em", "requer", "é requerido por", etc.;
7.2 <i>Resource</i>	O objecto externo referenciado por este relacionamento;
7.2.1 <i>Identifier</i>	Identificador único e global para o objecto externo;
7.2.1.1 <i>Catalog</i>	Nome ou designação do esquema de catalogação desta entrada;
7.2.1.2 <i>Entry</i>	Identificador que identifica este objecto no esquema de catalogação;
7.2.2 <i>Description</i>	Descrição do objecto externo;
8 <i>Annotation</i>	
8.1 <i>Entity</i>	Nome da entidade que criou esta anotação;
8.2 <i>Date</i>	Data de criação desta anotação;
8.3 <i>Description</i>	O conteúdo da anotação;
9 <i>Classification</i>	

9.1 <i>Purpose</i>	A faceta do objecto que se pretende classificar, tal como "disciplina", "ideia", "pré-requisito", "objectivo educacional", "acessibilidade", "restrições", "nível educacional", "nível de perícia", "nível de segurança" ou "competência";
9.2 <i>Taxon Path</i>	Um termo que classifica o objecto numa determinada posição num sistema de classificação
9.2.1 <i>Source</i>	O nome do sistema de classificação, por exemplo "LCC", "UDC", "MESH", "ACM", "ARIADNE", etc.;
9.2.2 <i>Taxon</i>	Um termo particular dentro do sistema de classificação que representa a posição do objecto nesse sistema;
9.2.2.1 <i>Id</i>	O identificador da entrada taxonómica, que é normalmente um código com letras e número, por exemplo "BF180";
9.2.2.2 <i>Entry</i>	A designação textual da entrada taxonómica, por exemplo "ciências médicas";
9.3 <i>Description</i>	Descrição textual do objecto relativamente ao declarado em 9.1;
9.4 <i>Keyword</i>	Palavras e expressões chave que descrevem o objecto relativamente ao declarado em 9.1.

Tabela 4 – Lista de propriedades dos metadados LOM

Estes metadados podem ser usados para descrever não só objectos de alto nível, ou seja, cursos completos sobre um determinado tema, como também objectos atómicos de baixo nível, como uma simples imagem, em conformidade com a perspectiva de agregação múltipla de objectos de aprendizagem independentes com vários níveis de granulosidade. Normalmente estes metadados são codificados em XML, existindo uma norma do LTSC [LOM_XML, 2005] que define a forma como esta codificação deve ser implementada.

Como é visível, esta norma possui um número de atributos muito superior à norma *Dublin Core* ou *ARIADNE*, e como seria de esperar tem uma grande percentagem de atributos a caracterizar aspectos específicos de conteúdos educativos. Desta forma, a norma LOM tem uma capacidade superior para caracterizar os atributos de um objecto relacionados com o processo de ensino/aprendizagem. A contribuição dos metadados *ARIADNE* é também claramente visível.

No entanto, esta vantagem da norma LOM é também um dos maiores problemas para a sua implementação prática. De facto, existiu uma grande preocupação em caracterizar exaustivamente os objectos de aprendizagem nas suas diversas facetas, o que se traduz na existência de várias dezenas de elementos. Como o preenchimento de tantos campos obriga a um esforço considerável e é pouco prático, a norma não define quais os elementos obrigatórios, sendo todos os elementos opcionais. Esta não obrigatoriedade pode originar problemas de falta de informação, pelo que tipicamente os esquemas de metadados que se baseiam no LOM definem quais os elementos mínimos obrigatórios.

Os metadados LOM são indiscutivelmente a referência Internacional para a caracterização de objectos de aprendizagem, sendo a base de vários esquemas de metadados, incluindo o

SCORM, o CanCore [CanCore], os metadados GEMSTONES [Foster *et al*, 2000] e o UK LOM Core [UKLOMCORE, 2004].

2.3.4 Metadados GEM

O projecto “*Gateway to Educational Materials*” [GEM] foi lançado em 1996 com o patrocínio do Departamento Americano da Educação e o seu objectivo é o de facilitar a localização rápida e simples de recursos educativos acessíveis através da Internet.

A equipa de desenvolvimento do projecto chegou à conclusão que para permitir uma localização precisa seria necessário caracterizar com algum detalhe os recursos educativos, pelo que iniciaram o desenvolvimento de uma estrutura própria de metadados [GEMM, 2004]. A Tabela 5 ilustra essa estrutura.

Elemento	Descrição
Título	O título associado ao recurso;
Alternativa	Qualquer forma do título usada como substituto ou alternativa;
Identificador	Uma referência única do recurso num determinado contexto;
CitaçãoBibliográfica	Referência bibliográfica do recurso;
IDPublico	Qualquer designação pública reconhecida usada para identificar o recurso;
sid	Identificador único atribuído pelo GEM a um conjunto de recursos;
sdn	Identificador único atribuído pelo GEM ao recurso;
Assunto	O assunto do recurso;
Tipo	Natureza ou tipo do recurso;
Autor	A entidade responsável pela criação do recurso;
Data	Data associada a um evento no ciclo de vida do recurso;
Disponível	Data de disponibilidade do recurso;
Criação	Data de criação do recurso;
DataAceitação	Data de aceitação do recurso;
DataCopyright	Data da declaração de copyright;
DataSubmissão	Data de submissão do recurso;
Publicação	Data de publicação do recurso;
Modificado	Data de modificação do recurso;
ColocadoInternet	Data de publicação na Internet;
CriaçãoRegisto	Data de criação do registo de metadados;
Validade	Data de validade do recurso;
Descrição	Descrição do conteúdo do recurso;
Sumário	Sumário do recurso;
Índice	Índice com a estrutura do recurso;
Audiência	Entidades a quem o recurso é dirigido ou útil;
Idade	A idade esperada da audiência;
Beneficiário	Tipo de audiência para a qual foi desenvolvido o recurso;

Elemento	Descrição
NívelFormação	Descrição do contexto educativo para o qual o recurso foi desenvolvido;
Mediador	Entidade que media o acesso ao recurso;
Pré-requisitos	Conhecimentos, perícia ou hábitos necessários para usar este recurso;
Catálogoação	Informação sobre a entidade que criou o registo GEM;
OrganizaçãoCatálogoação	Nome da organização responsável pela criação dos metadados;
FerramentaCatálogoação	Nome e versão da ferramenta que gerou os metadados;
Catálogoador	Nome da pessoa responsável pela criação dos metadados;
Contribuidor	Entidades que contribuíram para este recurso;
Anotador	A pessoa que tirou notas;
Artista	A pessoa que concebeu trabalho artístico original usado no recurso;
Autor	Entidade responsável pela criação da propriedade intelectual do recurso;
Cartógrafo	Pessoa responsável pela criação de material cartográfico;
Compositor	Pessoa responsável pela criação de trechos musicais do recurso;
Criador	O mesmo que Autor;
Editor	Editor do recurso;
Entrevistado	Pessoa entrevistada no recurso;
Entrevistador	Pessoa que entrevistou o entrevistado;
Narrador	Identifica o narrador do recurso;
Fotógrafo	Identifica o fotógrafo autor das fotos usadas no recurso;
Revisor	Identifica o revisor do recurso;
Patrocinador	Identifica o patrocinador do recurso;
Âmbito	O âmbito do conteúdo do recurso;
Espacial	Características espaciais do conteúdo intelectual do recurso;
Temporal	Características temporais do conteúdo intelectual do recurso;
Duração	O tempo ou número de sessões recomendadas para usar o recurso efectivamente;
RecursosEssenciais	Lista de recursos extra que um professor deverá usar para usar efectivamente este recurso;
Formato	O formato físico ou digital do recurso;
Meio	O suporte físico do recurso;
Extensão	Duração ou tamanho do recurso;
Plataforma	Plataforma computacional do recurso;
MétodoInstrução	Métodos de ensino, avaliação, e pré-requisitos do recurso;
Avaliação	Designação do método de avaliação;

Elemento	Descrição
Grupo	Designação do grupo de alunos;
MétodosEnsino	Designação do método de ensino;
Idioma	O idioma do recurso;
Custódia	Registo de mudança de custódia do recurso;
Editor	Entidade responsável por publicar o recurso;
EditorInternet	Entidade que fornece o acesso Internet ao recurso;
Relação	Referência a um recurso relacionado com este;
ConformidadeCom	Referência a uma norma com a qual o recurso é conforme;
TemInformaçãoBibliográficaEm	Referência a um serviço que contém informação bibliográfica sobre este recurso;
TemFormato	Referência ao mesmo recurso noutro formato;
TemParte	Referência a um recurso contido;
TemVersão	Referência a um recurso que tem uma versão deste;
ÉFilhoDe	Referência a um recurso hierarquicamente superior;
ÉClassificado	Referência a uma classificação deste recurso;
ÉDadosPara	Providencia dados para outro recurso;
ÉDerivadoDe	Referência a um recurso do qual é derivado;
ÉFormatoDe	Referência a um recurso do qual este é cópia noutro formato;
.....
Direitos	Informação sobre direitos associados ao recurso;
DireitosAcesso	Informação sobre quem pode aceder ao recurso;
Licença	Documento legal que permite o acesso ao recurso;
CódigoPreço	Código que descreve se é necessário pagamento para usar o recurso ou não;
DetençãoDireitos	Entidade que detém ou gere os direitos do recurso;
Origem	Recurso a partir do qual este recurso foi derivado;
Normas	Normas associadas ao recurso;

Tabela 5 – Estrutura dos metadados GEM

Como se pode deduzir da estrutura destes metadados, a sua criação teve por base a resolução de um problema específico de localização de recursos e consequentemente os níveis de abstracção e de generalização são muito baixos, tornando-os pouco adequados para utilização genérica em aplicações de eAprendizagem. Tendo em consideração a forma elegante, estruturada e altamente genérica da norma LOM, não parece existir nenhuma razão para optar por estes metadados.

2.3.5 Metadados EdNA

Esta colecção de metadados foi desenvolvida no âmbito da iniciativa EdNA com o objectivo de promover a interoperabilidade entre todos os sectores da educação e formação profissional da Austrália, principalmente nos métodos de gestão e pesquisa de conteúdos.

O esquema de metadados EdNA baseia-se na estrutura *Dublin Core* e é consistente com o “serviço de localização do governo Australiano” [AGLS, 2002], uma norma governamental para a caracterização de documentos genéricos através de metadados. A

versão 1.0 da norma foi publicada em 1998 e a versão actual, versão 1.1, foi ratificada em 2000.

A norma é constituída por um conjunto de elementos caracterizadores dos conteúdos e por recomendações relativamente à sua utilização. A caracterização de conteúdos baseia-se claramente no *Dublin Core*, herdando os seus quinze elementos, que são complementados por oito elementos adicionais. A Tabela 6 mostra esses elementos e o seu significado.

Nome do elemento	Descrição
<i>EDNA.Audience</i>	A categoria dos utilizadores para os quais o recurso é adequado. Este elemento pode ser refinado de modo a incluir o sector e/ou nível de formação, usando um vocabulário controlado definido para o efeito;
<i>EDNA.Approver</i>	Endereço de correio electrónico da pessoa ou entidade que aprova a inclusão do recurso no sistema EdNa online;
<i>EDNA.CategoryCode</i>	Um código numérico extraído das tabelas da base de dados que suporta a classificação do recurso por categorias no modo de directório;
<i>EDNA.Entered</i>	Usado para efeitos de gestão dos recursos, indica a forma como o recurso foi introduzido na base de dados;
<i>EDNA.Indexing</i>	Indica até que nível deve o sistema de agentes EdNA seguir as hiperligações deste recurso;
<i>EDNA.Review</i>	Avaliação realizada por uma entidade externa, que pode ser um bloco de texto ou um URL que aponta para uma revisão mais formal;
<i>EDNA.Reviewer</i>	Nome da pessoa ou entidade responsável pela avaliação anterior;
<i>EDNA.Version</i>	Versão dos metadados EdNa usados na descrição;

Tabela 6 – Elementos adicionais dos metadados EdNA

Este conjunto de metadados tem alguns problemas evidentes. Por um lado não possui elementos suficientes para caracterizar com precisão as diversas facetas dos conteúdos educativos. Do ponto de vista conceptual também não são muito claros, misturando a caracterização dos recursos com aspectos de gestão interna da informação do sistema EdNA e até mesmo com registos de avaliação externa dos recursos.

2.3.6 Modelo de empacotamento de conteúdos IMS

O modelo de empacotamento de conteúdos IMS [IMS, 2004] descreve estruturas de dados que promovem a interoperabilidade entre conteúdos educativos baseados na Internet e ferramentas de edição, sistemas de gestão de aprendizagem e ambientes de exploração. Estas estruturas permitem que os conteúdos possam ser importados, exportados, agregados e desagregados de forma normalizada, garantindo a sua consistência e interoperabilidade através das diversas tecnologias e ferramentas utilizadas, actuais e futuras.

O consórcio IMS vem propondo várias evoluções deste modelo, estando actualmente a trabalhar na versão 1.2. A versão aqui apresentada é a versão 1.1.4, que é a versão aprovada mais recente. A Figura 7 mostra um diagrama com os elementos principais do modelo conceptual de empacotamento IMS. No diagrama são visíveis duas áreas distintas:

os conteúdos, que são representações digitais das unidades educativas a entregar aos utilizadores e o manifesto, que consiste na declaração das características e estrutura desses conteúdos.

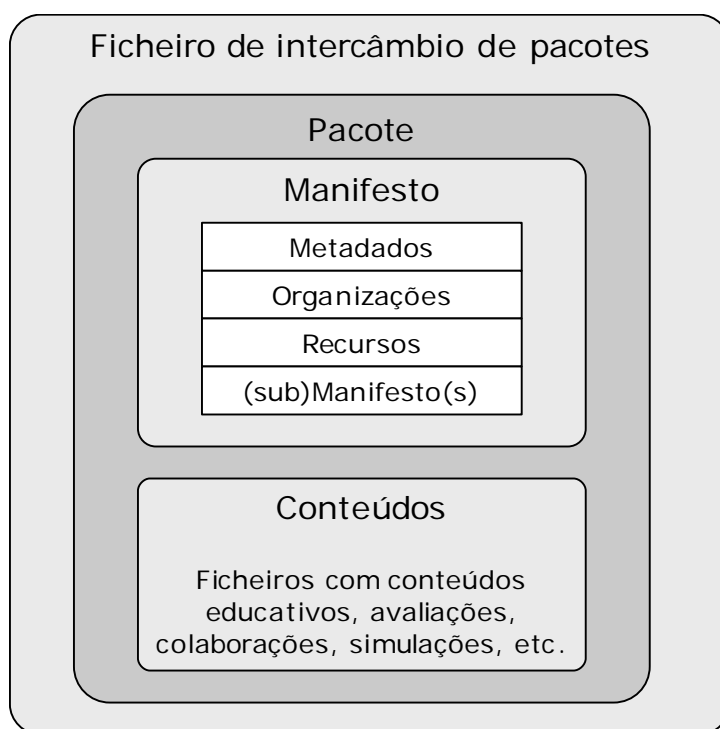


Figura 7 – Componentes do modelo de empacotamento IMS

O ficheiro de intercâmbio de pacotes é o suporte físico de toda esta informação, sendo recomendada a utilização de um ficheiro único por cada pacote, no formato .zip, .jar ou .cab. Desta forma, só é necessário um único ficheiro para transferir colecções de informação estruturada e interrelacionada.

O pacote é uma estrutura lógica dentro do ficheiro de intercâmbio de pacotes, tipicamente uma directoria, que contém uma unidade de conteúdos que pode ser usada e reutilizada de forma independente. Não existem restrições relativamente ao seu tamanho e um pacote pode ser uma pequena parte de um curso, um curso completo ou até mesmo uma colecção de cursos. Os pacotes são constituídos pelos ficheiros que contêm os conteúdos e por uma secção chamada “manifesto” que contém a descrição das características e organização desses conteúdos.

O manifesto do pacote é representado num ficheiro XML, que deve ser colocado obrigatoriamente na raiz do ficheiro de intercâmbio de pacotes com o nome “imsmanifest.xml”. A ausência deste ficheiro significa que o pacote não respeita a norma e não deve ser processado. O diagrama da Figura 8 representa o modelo de metadados do manifesto.

Ao longo da dissertação são apresentados vários esquemas de metadados através de representações gráficas com uma notação específica, com o objectivo de tornar a sua estrutura mais evidente. Nessa notação, cada um dos elementos é representado como um

rectângulo com cantos ligeiramente arredondados, com o nome do elemento escrito no centro. As linhas que nascem a partir desses rectângulos pela zona inferior conduzem aos subelementos desse elemento. O primeiro rectângulo do diagrama, com uma espessura de linha superior, representa o elemento principal da estrutura ou o conceito que se pretende caracterizar pelos metadados.

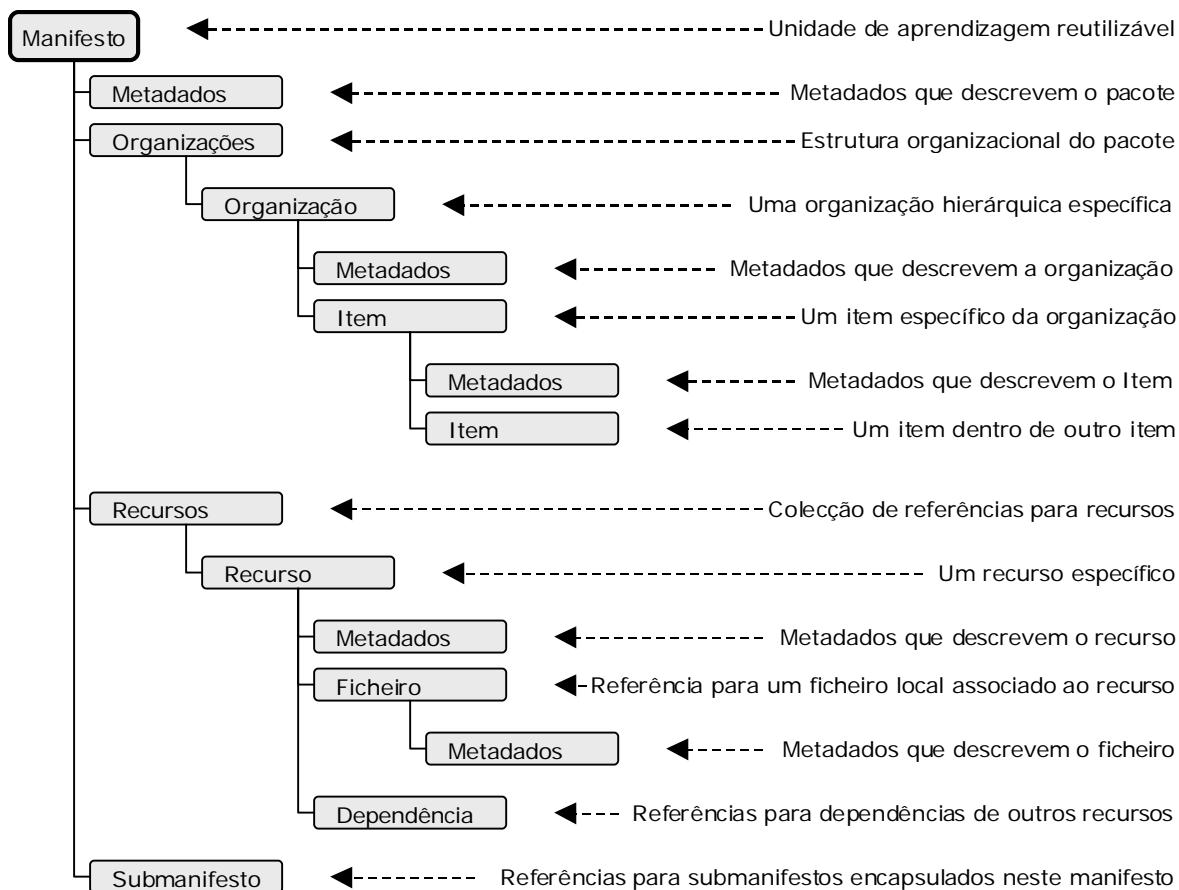


Figura 8 – Elementos do manifesto IMS

O manifesto contém basicamente um inventário estruturado do conteúdo do pacote, incluindo informação sobre a sua organização. Este modelo de dados permite representar estruturas hierárquicas com níveis de complexidade muito díspares, desde objectos de aprendizagem simples até cursos completos. A Tabela 7 descreve em detalhe cada um dos elementos do manifesto IMS, indicando também a informação sobre a sua obrigatoriedade e multiplicidade, na coluna '#’.

Elemento	#	Descrição
1 Manifest	1	Contentor para o manifesto;
1.1 Identifier	1	Identificador único dentro do manifesto;
1.2 Version	0..1	Versão do manifesto, por exemplo 1.0;
1.3 Xml:base	0..1	Define o caminho relativo onde se encontram os ficheiros com os conteúdos;

Elemento	#	Descrição
<i>1.4 Meta-data</i>	0..1	Contentor para os metadados que descrevem o manifesto;
<i>1.4.1 Schema</i>	0..1	Descreve o esquema XML que define e controla a estrutura do manifesto;
<i>1.4.2 SchemaVersion</i>	0..1	Descreve a versão do esquema XML, por exemplo 1,1;
<i>1.4.3 {Meta-Data}</i>	0..n	Aqui são introduzidos os metadados, usando um modelo de dados apropriado;
<i>1.5 Organizations</i>	1	Contentor para as organizações neste pacote;
<i>1.5.1 Default</i>	0..1	Indica qual é a organização por omissão;
<i>1.5.2 Organization</i>	0..n	Contentor para uma organização particular;
<i>1.5.2.1 Identifier</i>	1	Identificador para a organização, único no manifesto;
<i>1.5.2.2 Structure</i>	0..1	Define o tipo de estrutura da organização, que por omissão é hierárquica;
<i>1.5.2.3 Title</i>	0..1	Contém o título da organização;
<i>1.5.2.4 Item</i>	1..n	Item da estrutura;
<i>1.5.2.4.1 Identifier</i>	1	Identificador para o item, único no manifesto;
<i>1.5.2.4.2 IdentifierRef</i>	0..1	Referência para um identificador na secção de recursos;
<i>1.5.2.4.3 Title</i>	0..1	Título do item;
<i>1.5.2.4.4 isVisible</i>	0..1	Indica se este item deve ser ou não mostrado quando a estrutura do pacote é visualizada;
<i>1.5.2.4.5 Parameters</i>	0..1	Parâmetros estáticos a passar aos recursos durante o seu lançamento;
<i>1.5.2.4.6 Item</i>	0..n	Um sub-item dentro deste item (recursivo);
<i>1.5.2.4.7 Meta-Data</i>	0..1	Contentor para metadados que descrevem este item;
<i>1.5.2.4.7.1 {Meta-Data}</i>	0..n	Aqui são introduzidos os metadados, usando um modelo de dados apropriado;
<i>1.5.2.4.8 Meta-Data</i>	0..1	Contentor para metadados que descrevem esta organização;
<i>1.5.2.4.8.1 {Meta-Data}</i>	0..n	Aqui são introduzidos os metadados, usando um modelo de dados apropriado;
<i>1.6 Resources</i>	1	Contentor para a parte dos metadados associados aos recursos;
<i>1.6.1 Xml:base</i>	0..1	Define o caminho relativo onde se encontram os ficheiros com os conteúdos;
<i>1.6.2 Resource</i>	0..n	Referência para um recurso particular;

Elemento	#	Descrição
<i>1.6.2.1 Identifier</i>	1	Identificador para o recurso, único no manifesto;
<i>1.6.2.2 Type</i>	1	Indica o tipo de recurso;
<i>1.6.2.3 Href</i>	0..1	Referência para o URL que permite lançar o recurso;
<i>1.6.2.4 Xml:base</i>	0..1	Caminho relativo para os ficheiros com conteúdos;
<i>1.6.2.5 Meta-Data</i>	0..1	Contentor para metadados que descrevem este recurso;
<i>1.6.2.5.1 {Meta-Data}</i>	0..n	Aqui são introduzidos os metadados, usando um modelo de dados apropriado;
<i>1.6.2.6 File</i>	0..1	Contentor para a lista de ficheiros de que este recurso depende;
<i>1.6.2.6.1 Href</i>	1..n	Localização do ficheiro;
<i>1.6.2.6.2 Meta-Data</i>	0..1	Metadados que descrevem este ficheiro;
<i>1.6.2.6.2.1 {Meta-Data}</i>	0..n	Aqui são introduzidos os metadados, usando um modelo de dados apropriado;
<i>1.6.2.7 Dependency</i>	0..n	Identifica um recurso de cujos ficheiros este recurso depende;
<i>1.6.2.7.1 IdentifierRef</i>	1	Referência para um identificador na secção de recursos;
<i>1.7 Manifest</i>	0..n	Contentor para outros manifestos;

Tabela 7 – Descrição dos elementos do manifesto IMS

O manifesto principal pode conter estruturas aninhadas, sob a forma de outros manifestos. Os itens que fazem parte da estrutura da organização referenciam tipicamente recursos da secção 1.6 mas podem também referenciar manifestos. Neste caso, as aplicações devem replicar a organização do manifesto na posição do item.

O modelo de empacotamento IMS é uma das principais referências usadas para o empacotamento e distribuição de conteúdos. Além de ter sido totalmente integrado no modelo SCORM é também uma das bases usadas pelo grupo do LTSC responsável por propor uma norma para o empacotamento de conteúdos.

2.3.7 Modelos de agregação de conteúdos SCORM

Os modelos de agregação de conteúdos SCORM [ADL, 2004] abrangem as responsabilidades, requisitos e métodos para a concepção de conteúdos e organizações de conteúdos com diferentes níveis de granulosidade. Estes modelos foram agregados num livro, que contém directivas sobre a criação de pacotes de conteúdos, metadados descritores dos seus componentes e informação sobre a sequenciação e navegação entre os componentes. O objectivo fundamental é a promoção da interoperabilidade entre sistemas e conteúdos heterogéneos, maximizando assim o potencial de reutilização dos pacotes de conteúdos e seus componentes. A adopção destes modelos permite também que as organizações de conteúdos tenham um comportamento similar em sistemas de gestão de aprendizagem diferentes.

Este livro SCORM abrange quatro grandes temas:

- Modelo de conteúdos: descreve a organização de conteúdos como uma agregação de componentes e define uma terminologia comum;
- Empacotamento de conteúdos: descreve os métodos e requisitos para a agregação de componentes em pacotes de conteúdos;
- Metadados: inclui os métodos e requisitos para a descrição dos componentes das organizações de conteúdos;
- Sequenciação e navegação: descreve métodos e requisitos para a definição da informação de sequenciação e navegação das actividades dentro dos pacotes de conteúdos.

O modelo de conteúdos classifica os componentes como “recurso básico”², “objecto com conteúdo partilhável” e “organização de conteúdos”. Os recursos básicos são a forma mais simples de recurso de aprendizagem e consistem numa representação digital de informação na forma de texto, imagem, som, objecto de avaliação ou qualquer outra forma capaz de ser visualizada num *browser* Internet. Os recursos básicos podem ser agrupados para formar outros recursos básicos de nível superior. Normalmente fazem parte de outros componentes, mas também podem ser usados directamente como parte da experiência de aprendizagem. Os recursos básicos podem ser caracterizados dentro dos pacotes de conteúdos através de metadados, facilitando assim a sua pesquisa e eventual reutilização.

A forma principal de recurso que este modelo prevê é designada objecto com conteúdo partilhável, que é basicamente uma colecção de um ou mais recursos básicos que formam uma unidade pedagógica única, que pode ser lançada no sistema de gestão de aprendizagem para cumprir um determinado objectivo de aprendizagem. De acordo com o modelo de exploração SCORM, o objecto com conteúdo partilhável é o recurso de menor granulosidade que pode ser usado num sistema de gestão de aprendizagem. O modelo não impõe qualquer restrição relativamente ao tamanho dos objectos com conteúdo partilhável. No entanto, estes devem ser unidades pequenas e descontextualizadas para que seja maximizado o seu potencial de reutilização através de múltiplos contextos e aplicações. Tal como acontece com os recursos básicos, os objectos com conteúdo partilhável podem ser caracterizados através de metadados para facilitar a sua pesquisa e reutilização.

A grande diferença entre um objecto com conteúdo partilhável e um recurso básico é mesmo a sua capacidade de interacção com sistemas de gestão de aprendizagem, através da interface de programação IEEE ECMAScript [ECMA, 2004]. Os objectos são obrigados a localizar esta interface de programação e a invocar pelos menos os métodos de iniciação e terminação, que indicam ao sistema de gestão de aprendizagem quando foi iniciada e terminada a sua utilização.

O terceiro componente definido pelo modelo de conteúdos, chamado organização de conteúdos, é basicamente um mapa que representa o uso esperado dos conteúdos. Os

² *Asset*, no original. Embora a tradução mais correcta seja “activo”, neste contexto foi considerado que “recurso básico” traduz melhor o que se pretende representar com o termo original.

conteúdos são associados a unidades de instrução chamadas actividades, que são interrelacionadas no mapa. O mapa de actividades é normalmente uma estrutura em árvore com uma raiz e várias actividades, em que cada actividade pode ser ela própria constituída por outras actividades. As actividades que não são compostas por outras actividades têm associado um recurso, que pode ser um recurso básico ou um objecto com conteúdo partilhável. A Figura 9 ilustra esta organização, usando a notação original usada nos documentos da ADL.

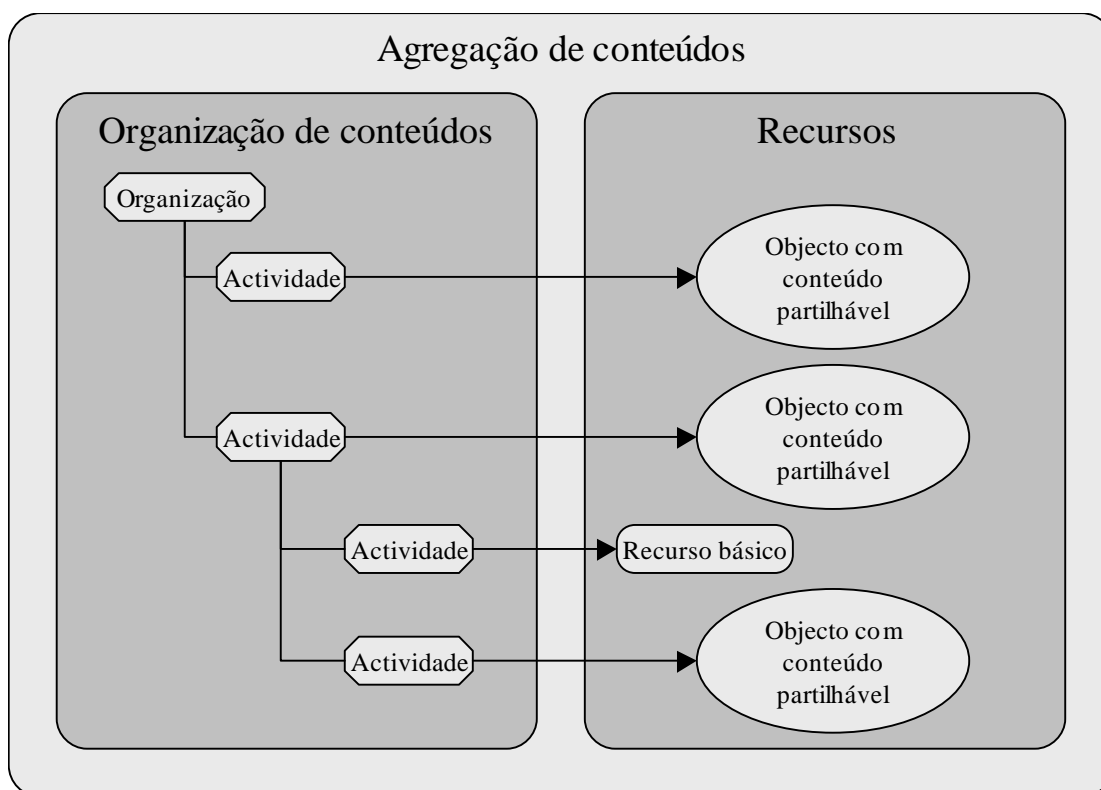


Figura 9 – Organização de conteúdos e relacionamento com recursos

Um requisito omnipresente no modelo de conteúdos SCORM é a facilitação da pesquisa de informação, pelo que as actividades e as organizações de conteúdos, tal como os recursos, também podem ser caracterizadas através de metadados. Desta forma promove-se a reutilização de todos os componentes do modelo de conteúdos, desde as unidades básicas até toda a agregação de conteúdos.

A caracterização de cada componente pode ser feita com recurso a vários esquemas de metadados mas o modelo SCORM aconselha fortemente que seja usada a norma LOM - IEEE 1484.12.1, com recomendações específicas para cada tipo de componente. A norma LOM permite caracterizar conteúdos de uma forma bastante exhaustiva, através de várias dezenas de elementos, todos eles opcionais. O modelo SCORM entende que o preenchimento deste número elevado de elementos pode apresentar problemas práticos. Por outro lado, defende uma caracterização mínima dos recursos, pelo que propõe a obrigatoriedade de um subconjunto destes elementos para cada tipo de recurso, tal como pode ser constatado na Tabela 8. Para cada tipo de recurso é apresentado o número

possível de ocorrências de cada elemento. Se for admissível um valor de zero isso indica que o elemento é opcional.

Elemento LOM	Agregação de conteúdos	Organização de conteúdos	Actividade	Objecto com conteúdo partilhável	Recurso básico
<i>Lom</i>	1	1	1	1	1
<i>general</i>	0..1	1	1	1	1
<i>identifier</i>	0..10	1..10	1..10	1..10	1..10
<i>catalog</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entry</i>	0..1	1	1	1	1
<i>title</i>	0..1	1	1	1	1
<i>language</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>description</i>	0..10	1..10	1..10	1..10	1..10
<i>keyword</i>	0..10	1..10	1..10	1..10	0..10
<i>coverage</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>structure</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>aggregationLevel</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>lifeCycle</i>	0..1	1	1	1	0..1
<i>version</i>	0..1	1	1	1	0..1
<i>status</i>	0..1	1	1	1	0..1
<i>contribute</i>	0..30	0..30	0..30	0..30	0..30
<i>role</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entity</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40
<i>date</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>metaMetadata</i>	1	1	1	1	1
<i>identifier</i>	0..10	1..10	1..10	1..10	1..10
<i>catalog</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entry</i>	0..1	1	1	1	1
<i>contribute</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>role</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entity</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40
<i>date</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>metadataSchema</i>	2..10	2..10	2..10	2..10	2..10
<i>language</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>technical</i>	0..1	1	1	1	1
<i>format</i>	0..40	1..40	1..40	1..40	1..40
<i>size</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>location</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>requirement</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40
<i>orComposite</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40
<i>type</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>name</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>minimumVersion</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>maximumVersion</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>installationRemarks</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>OtherPlatformRequirements</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>duration</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>educational</i>	0..100	0..100	0..100	0..100	0..100
<i>interactivityType</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>learningResourceType</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10

Elemento LOM	Agregação de conteúdos	Organização de conteúdos	Actividade	Objecto com conteúdo partilhável	Recurso básico
<i>interactivityLevel</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>semanticDensity</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>intendedEndUserRole</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>context</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>typicalAgeRange</i>	0..5	0..5	0..5	0..5	0..5
<i>difficulty</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>typicalLearningTime</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>description</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>language</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>rights</i>	0..1	1	1	1	1
<i>cost</i>	0..1	1	1	1	1
<i>copyrightAndOtherRestrictions</i>	0..1	1	1	1	1
<i>description</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>relation</i>	0..100	0..100	0..100	0..100	0..100
<i>kind</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>resource</i>	0..100	0..100	0..100	0..100	0..100
<i>identifier</i>	0..10	0..10	0..10	0..10	0..10
<i>catalog</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entry</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>description</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>annotation</i>	0..30	0..30	0..30	0..30	0..30
<i>entity</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>date</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>description</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>classification</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40
<i>purpose</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>taxonPath</i>	0..15	0..15	0..15	0..15	0..15
<i>source</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>taxon</i>	0..15	0..15	0..15	0..15	0..15
<i>id</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>entry</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>description</i>	0..1	0..1	0..1	0..1	0..1
<i>keyword</i>	0..40	0..40	0..40	0..40	0..40

Tabela 8 – Elementos LOM adoptados pela norma SCORM

Através da análise da Tabela 8, constata-se que a caracterização de cada recurso tem requisitos diferentes relativamente à multiplicidade e obrigatoriedade dos elementos LOM. A Tabela 9 apresenta os subconjuntos obrigatórios para cada tipo de recurso.

A organização de conteúdos, actividades e objectos com conteúdo partilhável possuem os mesmos requisitos mínimos de caracterização. Por outro lado, a única diferença entre este perfil comum e a caracterização dos recursos básicos é a inexistência da informação de versão nesta última, pelo que apenas a caracterização mínima da agregação de conteúdos é realmente distinta, podendo possuir apenas informação sobre os esquemas de metadados usados. A codificação destes metadados em XML é feita de acordo com as recomendações da norma IEEE 1484.12.3.

Agregação de conteúdos	Organização de conteúdos, actividades e objectos com conteúdo partilhável	Recursos básicos
<pre> lom ├── metaMetadata │ └── metadataSchema </pre>	<pre> lom ├── general │ ├── identifier │ │ └── entry │ ├── title │ ├── description │ └── keyword ├── lifecycle │ ├── version │ └── status ├── metaMetadata │ ├── identifier │ │ └── entry │ └── metadataSchema ├── technical │ └── format ├── rights │ ├── cost │ └── copyrightAndOtherRestrictions </pre>	<pre> lom ├── general │ ├── identifier │ │ └── entry │ ├── title │ └── description ├── metaMetadata │ ├── identifier │ │ └── entry │ └── metadataSchema ├── technical │ └── format ├── rights │ ├── cost │ └── copyrightAndOtherRestrictions </pre>

Tabela 9 – Elementos LOM obrigatórios para cada tipo de recurso

Após a concepção e construção das unidades de aprendizagem de acordo com o modelo de conteúdos, é necessário que estas sejam correctamente interpretadas pelos sistemas de gestão de aprendizagem, pelos repositórios, pelas aplicações cliente e ferramentas de edição. O objectivo do modelo de empacotamento de conteúdos SCORM é definir uma forma normalizada de trocar os conteúdos entre estas diversas aplicações. Na realidade não é proposto um modelo novo mas uma colecção de requisitos, recomendações e perfis de aplicações para a utilização da especificação de empacotamento de conteúdos IMS sobre os recursos básicos, objectos de conteúdo partilhável e organização de conteúdos.

3 Classificação de objectos de aprendizagem

Este capítulo começa por apresentar as arquitecturas actuais de classificação de objectos de aprendizagem e identifica algumas das suas deficiências relativamente ao eventual suporte de serviços de eAprendizagem personalizada. Em seguida é apresentada uma proposta de um modelo de classificação que, além de contribuir para a resolução dessas deficiências, apresenta ainda características específicas para suportar os serviços de personalização propostos nesta tese. O capítulo baseia-se nas ideias iniciais do autor propostas em [Santos & Ramos, 2000] que depois foram amadurecidas em [Santos & Ramos, 2003] e [Santos & Ramos, 2004b].

3.1 A importância da classificação de objectos de aprendizagem

A Internet transformou-se rapidamente numa gigantesca mas desorganizada base de dados de informação digital, que mistura informação de qualidade com informação de credibilidade duvidosa. Consequentemente, a localização de conteúdos educacionais relevantes, credíveis e úteis na Internet pode transformar-se numa experiência muito complexa.

De facto, como já foi referido no Capítulo 1, a localização de objectos de aprendizagem com recurso a motores de pesquisa genéricos, tendo em vista a sua utilização ou reutilização num contexto educativo particular, não é nem fácil nem eficaz, dada a insensibilidade destas ferramentas aos atributos educacionais dos conteúdos. Consequentemente, os resultados das pesquisas tipicamente misturam informação valiosa e relevante com informação irrelevante. Por outro lado, muitos conteúdos de elevado valor pedagógico, como por exemplo imagens, vídeos, sons, animações e simulações escapam à análise automática dos agentes dos motores de pesquisa, pelo menos se não possuírem uma descrição textual associada. Este problema estende-se aos objectos com acesso condicionado, que não são acessíveis pelos agentes, pelo que a única forma de se saber algo sobre eles seria adquirir previamente o respectivo acesso.

Se não existissem metadados específicos para objectos de aprendizagem, nada se saberia sobre as suas características pedagógicas, pelo que só uma análise sistemática do conteúdo de todos os objectos poderia separar os relevantes dos irrelevantes. Tendo em consideração que, segundo um popular motor de busca, existem pelo menos 8,058,044,651³ documentos

³ Número reivindicado pelo motor de busca *google* em Junho de 2005.

na Internet, tal procedimento não é obviamente exequível. Eventualmente poderia ser feita uma filtragem prévia, usando motores de busca e palavras-chave bem escolhidas, mas não é fácil escolher as palavras-chave ideais para eliminar objectos irrelevantes sem suprimir os relevantes.

Ao caracterizar os objectos de aprendizagem segundo diversas perspectivas, os metadados resolvem parcialmente este problema, evitando a necessidade de analisar o seu conteúdo para extrair esse tipo de informação. É assim mais fácil separar o relevante do irrelevante, uma vez que passam a existir campos bem definidos que caracterizam uma determinada faceta dos objectos, como por exemplo o assunto, descrição, autor ou idioma. Estes campos podem ser usados para pesquisar e filtrar objectos de aprendizagem segundo as várias dimensões representadas pelos metadados, permitindo explorar várias facetas diferentes de forma independente. Os metadados permitem também conhecer as características dos objectos cujo conteúdo não contém texto e dos objectos de acesso condicionado, pois deixa de ser necessário aceder ao próprio objecto, bastando o acesso aos seus metadados.

Naturalmente, a adopção dos metadados LOM como norma de referência para a caracterização de objectos de aprendizagem promoveu o desenvolvimento de sistemas de repositórios digitais, com a capacidade de localização de objectos de aprendizagem em função dos seus atributos educacionais. Os projectos GESTALT e o *Knowledge Pool* do projecto ARIADNE são bons exemplos deste tipo de repositórios. Estes sistemas de localização específica de objectos de aprendizagem permitem efectuar pesquisas através de várias⁴ das dimensões dos metadados LOM, o que facilita a localização de objectos com perfis bastante particulares.

No entanto, a utilização de metadados LOM não resolve algumas questões fundamentais para quem pretende localizar objectos de aprendizagem. Uma dessas questões prende-se com a fiabilidade dos metadados, uma vez que estes normalmente não são preenchidos por entidades independentes e imparciais, mas pelos criadores dos objectos. Por outro lado, os metadados LOM nada dizem sobre a qualidade pedagógica dos conteúdos e podem ser muito vagos sobre a descrição do seu âmbito temático. Consequentemente, os repositórios que se baseiem unicamente nos metadados LOM para caracterizar os objectos de aprendizagem herdaram estas insuficiências, com implicações na qualidade dos resultados das pesquisas.

Uma das características fundamentais do perfil de um objecto de aprendizagem é o assunto principal que ele aborda. Assim, é normal que uma das pesquisas mais simples e também mais frequente seja a localização de objectos sobre um determinado assunto, através de palavras ou expressões-chave. Apesar de ser uma função básica, a verdade é que os metadados LOM podem não resolver completamente o problema da localização de todos os objectos de um repositório sobre um determinado assunto. De facto, os autores dos metadados podem usar expressões e palavras-chave completamente díspares para caracterizar objectos sobre o mesmo tema. Por exemplo, um objecto sobre o sistema de travagem dos automóveis poderia ter nos campos relevantes dos metadados várias

⁴ Ver Figura 6 que ilustra a interface de pesquisa avançada do sistema ARIADNE

expressões diferentes de acordo com cada autor, tais como ‘travagem’ ou ‘travões’ ou ‘travão’ ou ‘sistema de imobilização’ ou ‘*braking system*’ ou ‘*système de freinage*’. De salientar que neste caso uma pesquisa pela palavra ‘travão’ apenas seleccionaria um objecto, apesar de existirem sete objectos sobre o mesmo assunto.

Uma solução para este tipo de ambiguidades sintácticas consiste na utilização, como referência, de sistemas normalizados de representação de assuntos, que possuem códigos normalizados que permitem identificar assuntos de forma inequívoca.

A classificação de objectos de aprendizagem apresenta assim várias vantagens:

- Como agrupa os objectos sobre o mesmo assunto, simplifica a pesquisa de todos os objectos que abordem um determinado assunto;
- É um processo independente do idioma do objecto, uma vez que o assunto é simbolizado por uma classe, codificada numa determinada notação, permitindo o processamento de objectos de aprendizagem de idiomas diferentes;
- Resolve os problemas decorrentes de ambiguidades de linguagem ou interpretação fora de contexto de um termo;
- Facilita a localização de objectos a não especialistas, pois dispensa a necessidade de conhecer a sua terminologia específica;
- Pode facilitar a interoperabilidade entre sistemas, ao definir o perfil dos objectos de aprendizagem de forma independente e eventualmente normalizada.

3.2 Classificação com sistemas existentes

3.2.1 Os sistemas de classificação tradicionais

A classificação é uma resposta natural à necessidade de organizar grandes quantidades de material, que facilita a sua localização de acordo com critérios preestabelecidos. De uma forma geral, a classificação pode ser definida como a organização de algo numa qualquer ordem sistemática. O acto de classificar envolve um processo metódico de decisão com base numa propriedade ou característica de interesse, distinguindo os objectos que possuem essa propriedade dos que não a têm, agrupando-os numa classe [Chan, 1994].

Segundo os especialistas [Chan, 2004], a classificação de documentos nasceu no Séc. XIX nos Estados Unidos da América, na sequência da destruição da maior parte das colecções da biblioteca do congresso, quando soldados britânicos incendiaram o Capitólio. Perante esta catástrofe, o antigo Presidente Thomas Jefferson disponibilizou a sua colecção privada de perto de seis mil livros como substituição, organizados segundo um sistema de classificação do próprio. A biblioteca acabou por adoptar este sistema de classificação, que foi usado até finais do Séc. XIX, apenas com ligeiras alterações.

Por volta de 1890 o número de livros cresceu de cerca de sete mil para quase um milhão, altura em que o sistema de Thomas Jefferson se mostrou incapaz de lidar com tal quantidade de documentos. Esta constatação, juntamente com a perspectiva de mudança de instalações, promoveu, no início do Séc. XX, o desenvolvimento de um novo sistema, que

foi chamado LCC - *Library of Congress Classification*. O sistema foi construído em torno de categorias, cada uma com subclasses ou grupos de subclasses, desenvolvidas e geridas por especialistas em cada assunto. Basicamente o sistema classifica cada documento e atribui-lhe uma única posição na estrutura, a que corresponderá uma determinada localização na biblioteca.

As estruturas das categorias foram sendo publicadas à medida que eram completadas, mas todas elas estão num estado contínuo de revisão. Actualmente, o sistema LCC, com as suas 21 categorias, como pode ser observado na Tabela 10, funciona como um sistema genérico de classificação de documentos, especialmente útil para as bibliotecas tradicionais. As categorias principais são identificadas por uma letra e cada uma delas expande-se em subclasses, identificadas por outra letra. Cada subclasse pode por sua vez ser dividida em vários temas, mas a codificação dos temas passa a usar números em vez de letras. A Tabela 11 mostra os temas da subclasse “Química” da categoria Q – Ciência.

A- Trabalhos gerais	M- Música
B- Filosofia	N- Artes visuais
C- Ciências auxiliares da história	P- Linguagem e literatura
D- História (geral)	Q- Ciência
E,F- História (Américas)	R- Medicina
G- Geografia	S- Agricultura
H- Ciências sociais	T- Tecnologia
J- Ciência política	U- Ciência militar
K- Lei	V- Ciência naval
L- Educação	Z- Bibliografia; Ciência bibliográfica

Tabela 10 – As categorias principais do sistema LCC

A cada documento é então atribuído um único código, designado código de chamada, com letras e números que representam respectivamente a classe, as subclasses e o tema onde o documento se insere. Adicionalmente poderão ser adicionadas outras informações sobre o documento, como por exemplo o autor e a data de publicação, acrescentando um ponto e códigos adicionais.

Q- Ciência	
	QA- Matemática
	QB- Astronomia
	QC- Física
	QD - Química
	71-142 Química analítica
	146-197 Química inorgânica
	241-441 Química orgânica
	415-436 Bioquímica
	450-801 Química física e teórica
	625-655 Química das radiações
	701-731 Fotoquímica
	901-999 Cristalografia
	QE- Geologia
	QH- História natural; Biologia

	QK- Botânica
	QL- Zoologia
	QM- Anatomia humana
	QP- Fisiologia
	QR- Microbiologia

Tabela 11 – Exemplo de subclasses LCC

Um outro sistema de classificação muito conhecido é o DDC – *Dewey Decimal Classification* [Dewey, 1876], desenvolvido na década de setenta do Séc. XIX por um único indivíduo, Melvin Dewey. Este sistema usa códigos puramente numéricos para definir as categorias, subclasses e temas, com um máximo de dez classes em cada nível, sendo cada classe representada por um algarismo de 0 a 9. A profundidade mínima é de três níveis, o que significa que um código DDC possui no mínimo três algarismos. A partir do nível três de profundidade, é usado o separador decimal, seguindo-se os algarismos das subclasses dos níveis seguintes. A grande vantagem desta notação é que o sistema é infinitamente extensível, dado que não existe limite ao número de algarismos usados e a introdução de novas subclasses não perturba a notação do resto do sistema. A Tabela 12 mostra as dez categorias principais do sistema DDC.

* 000	Generalidades
* 100	Filosofia e psicologia
* 200	Religião
* 300	Ciências sociais
* 400	Linguagem
* 500	Ciências naturais e matemática
* 600	Tecnologia (ciências aplicadas)
* 700	Artes
* 800	Literatura
* 900	Geografia e história

Tabela 12 – As categorias principais do DDC

Tal como no sistema LCC, cada uma das categorias principais tem várias subclasses, que por sua vez estão subdivididas em temas mais específicos. A Tabela 13 ilustra parte da estrutura de classificação da categoria 500

* 500 Ciências naturais e matemática	
	510 Matemática
	511 Princípios gerais
	512 Álgebra e teoria dos números
	513 Aritmética
	514 Topologia
	515 Análise
	516 Geometria
	517 Não usado
	518 Não usado
	519 Probabilidades e matemática aplicada
	520 Astronomia
	530 Física

	540 Química
	550 Ciências da terra
	560 Paleontologia
	570 Ciências da vida
	580 Botânica
	590 Zoologia

Tabela 13 – Exemplo de subclasses DDC

Foi com base no sistema DDC que os Belgas Paul Otlet e Henri la Fontaine criaram no final do Séc. XIX o sistema UDC – *Universal Decimal Classification* [McIlwaine, 2000]. Este sistema, para além das propriedades do DDC, acrescenta sinais auxiliares para indicar aspectos complementares e relacionamentos entre temas, permitindo classificar documentos de forma multifacetada. A Tabela 14 mostra o significado de alguns desses auxiliares.

O sistema UDC é usado internacionalmente e conta actualmente com cerca de 220,000 temas diferentes. Enquanto que os sistemas LCC e DDC foram concebidos com o objectivo principal de organizar livros e outros documentos escritos em prateleiras de bibliotecas, de acordo com uma sequência lógica de temas, o sistema UDC acrescenta um propósito muito mais ambicioso: representar e organizar de forma estruturada todo o conhecimento.

Sinal	Significado
+	Permite atribuir várias classificações possíveis, por exemplo 59 + 636 significa que o objecto está classificado como zoologia (59x) e alimentação animal (636)
/	Permite atribuir várias classificações contíguas, por exemplo 592 / 599 significa que o objecto está classificado em todas as subclasses desde a 592 até à 599
:	Permite relacionar dois temas, por exemplo 17 : 7 significa ética (17x) da arte (7xx)
[]	Permite agrupar algebricamente vários temas, por exemplo 31 : [622 + 669] significa estatísticas (31x) de exploração mineira (622) e metalurgia (669)
=	Permite definir qual a linguagem, por exemplo 59 = 20 significa Zoologia (59x), em Inglês (20)

Tabela 14 – Exemplos de auxiliares UDC

A associação Americana ACM – *Association for Computing Machinery* desenvolveu um sistema próprio de classificação, designado CSS [ACM CSS, 1998], usado há várias décadas para classificar publicações científicas na sua área de intervenção. O sistema baseia-se numa estrutura hierárquica em árvore, com três níveis, em que o primeiro nível possui onze categorias principais. A Tabela 15 ilustra parte da estrutura do sistema CSS.

Existe ainda um quarto nível, não codificado, que permite a inclusão de descritores de temas de forma a subdividir as categorias de nível três à medida que surgem novas áreas ou novos desenvolvimentos naquele campo. Por exemplo, na estrutura da Tabela 15, na categoria D.3.1, existem os descritores “semântica” e “sintaxe”, que definem dois temas mais específicos da teoria das linguagens de programação, mas não representam novas categorias

A. Literatura genérica
B. Hardware
C. Organização de sistemas de computadores
D. Software
D.0 Geral
D.1 Técnicas de programação
D.2 Engenharia de software
D.3 Linguagens de programação
D.3.0 Geral
D.3.1 Definições formais e teoria
Semântica; Sintaxe
D.3.2 Classificações de linguagens
D.3.3 Características e conceitos
D.3.4 Processadores
D.3.m Miscelânea
D.4 Sistemas operativos
D.m Miscelânea
E. Dados
F. Teoria da computação
G. Matemática da computação
H. Sistemas de informação
I. Metodologias de computação
J. Aplicações da computação
K. Outros temas relacionados com a computação

Tabela 15 – Fragmento da estrutura do sistema CSS

Paralelamente aos sistemas de classificação, foram também desenvolvidos vocabulários controlados para cabeçalhos de assuntos, com o objectivo de normalizar os termos, nomes e títulos usados para descrever um determinado assunto, sendo o LCSH – *Library of Congress Subject Headings* um dos mais conhecidos [Chan, 1995].

3.2.2 As limitações da visão LOM para a classificação de objectos

Os metadados LOM usam a categoria “*Classification*” para permitir a classificação dos objectos de aprendizagem. Basicamente existem vários campos que são usados para descrever a faceta do objecto que se pretende classificar, o sistema de classificação usado, a designação taxonómica que representa a posição no sistema de classificação, a sua descrição textual e palavras-chave. A Tabela 16 ilustra um exemplo de como um objecto de aprendizagem pode ser classificado usando esta metodologia. Neste caso particular o objecto é uma lição sobre topologias de redes, que se pretende classificar como disciplina no sistema de classificação do ACM.

Esta estratégia para a classificação de objectos de aprendizagem pode ser encarada como uma versão informática dos tradicionais procedimentos bibliotecários, em que os metadados substituem as etiquetas de papel coladas nos documentos. De facto, as funcionalidades dos dois métodos são semelhantes, apesar da óbvia vantagem para a versão electrónica em termos de facilidade de pesquisa. Também os códigos taxonómicos serão eventualmente comuns, retirados de sistemas de classificação tradicionais, como

pode ser deduzido dos comentários sobre a categoria ‘Classificação’ no documento da norma LOM.

9.1 Propósito	"Disciplina"
9.2 Entrada taxonómica	
9.2.1 Fonte	"ACM"
9.2.2 Entrada	
9.2.2.1 Identificador	"C.2.1"
9.2.2.2 Designação	"Network Architecture and Design"
9.3 Descrição	"Este objecto insere-se na disciplina 'Redes de Computadores I', onde se introduzem os conceitos básicos de redes de dados"
9.4 Palavras-chave	"Redes" "Comunicação de dados" "Telemática"

Tabela 16 – Exemplo da classificação LOM de um objecto de aprendizagem

Como esta estratégia e estes sistemas de classificação foram concebidos com o objectivo principal de organizar livros e outros documentos escritos em prateleiras de bibliotecas, a sua utilização com os novos conteúdos digitais é uma solução que não aproveita algumas das novas potencialidades da Internet, nomeadamente no que respeita aos objectivos deste trabalho.

Consequentemente, é possível identificar alguns problemas que esta estratégia de classificação apresenta para a concepção de serviços personalizados de eAprendizagem. O primeiro problema relaciona-se com a fidelidade e precisão dos próprios metadados. De facto, aceitando-se a classificação inserida nos metadados, estabelece-se uma relação de confiança com o autor dos metadados, reconhecendo-se a caracterização que este fez como fidedigna. No entanto, o autor dos metadados é na maior parte dos casos o próprio autor ou editor dos objectos que eles caracterizam, pelo que muitas vezes os metadados não reflectem uma visão independente e isenta desses objectos. Esta questão é ainda mais pertinente em cenários onde o autor dos metadados tem interesse na promoção dos objectos de aprendizagem.

Como já foi referido, podem surgir alguns problemas na utilização de palavras-chave para pesquisar objectos de aprendizagem ou determinar o seu assunto predominante. Consequentemente, a classificação de objectos é particularmente importante para a manipulação automática de objectos de aprendizagem, na medida em que permite associá-los a assuntos de forma inequívoca. A questão da credibilidade dos metadados estende-se a esta associação, pelo que a classificação deveria ser preferencialmente realizada e certificada por entidades independentes e credíveis. No entanto, a classificação através dos metadados LOM não suporta mecanismos de certificação.

Outro problema a que esta estratégia de classificação não responde relaciona-se com a capacidade de localização de objectos classificados numa área específica de um determinado sistema de classificação. Por exemplo, se um sistema ou utilizador quiser obter a lista de objectos de aprendizagem classificados no assunto “geometria” no sistema LCC, não tem forma de o conseguir, porque as associações são feitas unicamente nos metadados dos objectos e eventualmente nas aplicações locais, mas não num registo central associado ao sistema de classificação. Consequentemente, não é possível localizar

directamente objectos a partir dos sistemas de classificação. Como os serviços de eAprendizagem personalizada vão naturalmente necessitar de localizar objectos sobre assuntos específicos, esta questão é extremamente relevante.

Um outro problema relaciona-se com o grau de granulosidade e o nível de profundidade das diversas classes dos sistemas de classificação. Como se pretende conceber serviços com a capacidade de construir automaticamente cursos personalizados, através da agregação de objectos de diferentes granulosidades, incluindo objectos atómicos, é necessário que os sistemas de classificação sejam capazes de discriminar objectos atómicos que sejam muito próximos, mas abordem assuntos diferentes. Esta questão não é um problema do método de classificação usado nos metadados LOM, mas da própria estrutura taxonómica interna de cada sistema de classificação.

Por exemplo, considerem-se dois objectos sobre redes de computadores, em que um trata sobre o assunto “máscaras de sub-rede de tamanho variável” e outro sobre o assunto “conceitos básicos de endereçamento IP”. Estes dois objectos seriam classificados na mesma classe do sistema de classificação do ACM, a classe <C.2.2 Network Protocols>, embora sejam dois assuntos que têm que ser distinguidos do ponto de vista de um sistema automático de agregação de objectos. Consequentemente, para cumprir os objectivos propostos é necessário que o sistema de classificação usado como referência possua graus de granulosidade muito elevados, para que os objectos que façam parte da mesma classe não possam ser muito díspares. Acima de tudo tem que prevalecer o princípio da coesão, segundo o qual cada classe só pode conter um único conceito, independentemente do seu nível de granulosidade.

Outra deficiência dos metadados LOM, no âmbito dos objectivos propostos neste trabalho, refere-se ao relacionamento entre objectos de aprendizagem. A abordagem LOM a esta questão baseia-se na separação entre classificação e relacionamentos, existindo uma categoria de metadados para cada um destes aspectos. Essencialmente, a categoria “Relation” recorre à mesma estratégia dos metadados *Dublin Core*, usando referências a objectos externos e declarando a respectiva relação com esses objectos. A Tabela 17 ilustra um exemplo em que os metadados de um objecto sobre um determinado assunto de redes de computadores, neste caso “máscaras de sub-rede”, relacionam esse objecto com um outro objecto sobre “introdução ao endereçamento IP”.

7.1 Tipo	"requer"	
7.2 Recurso		
	7.2.1 Identificador	
	7.2.1.1 Catálogo	IPCB
	7.2.1.2 Entrada	R19645
	7.2.2 Descrição	Introdução básica ao endereçamento IP

Tabela 17 – Exemplo de relacionamento LOM entre objectos de aprendizagem

Esta forma de relacionar objectos de aprendizagem apresenta alguns inconvenientes, como será demonstrado, devido ao pressuposto adoptado pelos metadados LOM de que o relacionamento entre objectos é uma característica dos próprios objectos.

Em primeiro lugar, quebra um dos princípios basilares do conceito de objecto de aprendizagem, relativamente à sua modularidade e independência. De facto, ao estabelecer relacionamentos estáticos entre objectos, este método pode gerar uma situação de dependência funcional estática entre eles, o que significa que deixam de ser verdadeiramente independentes. Se um dos objectos relacionados sofrer alterações ou for revogado podem surgir situações de quebra de integridade, difíceis de gerir de forma automática.

Por outro lado, como a declaração do relacionamento é feita nos metadados de um dos objectos do relacionamento, o objecto alvo desse relacionamento não terá nenhuma informação desse relacionamento, a menos que os seus metadados também sejam alterados de forma a reflecti-lo.

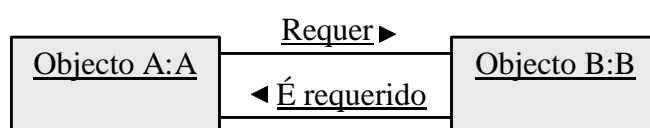


Figura 10 – Exemplo de relacionamento implícito entre objectos

Na maior parte dos casos, o relacionamento num sentido implica automaticamente um outro relacionamento em sentido contrário. Por exemplo, se um objecto A “requer” a utilização de um objecto B, automaticamente o objecto B é “requerido” pelo objecto A. No entanto, no esquema de relacionamentos LOM é necessário definir este relacionamento implícito de forma explícita, nos metadados de ambos os objectos.

Um dos maiores inconvenientes desta forma estática de relacionar objectos deriva da própria responsabilidade do estabelecimento dos relacionamentos. Como é o autor dos metadados que define os relacionamentos, estes restringem-se a objectos que ele conhece, eventualmente apenas a objectos criados por si. Relacionamentos entre objectos que se desconhecem mutuamente são assim impossíveis, embora possa existir todo o interesse em relacioná-los. Esta questão é de tal modo relevante que é suficiente para justificar uma nova abordagem à classificação de objectos de aprendizagem. De facto, para a concepção de sistemas automáticos de agregação de conteúdos de eAprendizagem, existe todo o interesse em que existam colecções de objectos com relacionamentos ricos entre eles. Por exemplo, é extremamente útil a um sistema deste tipo poder localizar facilmente objectos que sejam pré-requisitos de um determinado assunto, de modo a incluir esses objectos num curso de alto nível, se assim for necessário.

Resumindo, a forma como os metadados LOM lidam com a classificação e relacionamento de objectos de aprendizagem, tendo em consideração os objectivos desta tese, levantam uma série de dificuldades e problemas. Consequentemente, para cumprir os objectivos propostos, é necessária uma nova abordagem à forma de classificar e relacionar objectos de aprendizagem.

3.3 Proposta de modelo de classificação de objectos de aprendizagem

Na secção anterior foi demonstrada a importância da classificação e relacionamento de objectos de aprendizagem para o cumprimento dos objectivos propostos neste trabalho e

expostas as insuficiências da abordagem LOM relativamente a estes dois aspectos. Esta secção apresenta um modelo integrado para a classificação e relacionamento de objectos, que contribui para a resolução dos problemas apontados à abordagem LOM e facilita a concepção de serviços personalizados de eAprendizagem.

3.3.1 Os requisitos do modelo

Da secção anterior, foram identificados os seguintes requisitos funcionais:

- O modelo deve permitir a construção de estruturas dinâmicas que suportem a classificação de objectos de aprendizagem em função do seu conteúdo;
- O modelo deve suportar serviços de pesquisa e fornecimento de informação sobre as estruturas de classificação e objectos de aprendizagem registados em cada posição dessa estrutura;
- A localização dos objectos de aprendizagem a partir de palavras ou expressões chave deve basear-se nas estruturas de classificação e não nos conteúdos dos objectos;
- O modelo deve permitir que a classificação de um objecto de aprendizagem possa ser avaliada, confirmada, atribuída e certificada por entidades independentes;
- O modelo deve permitir a representação de conhecimento com um elevado grau de granulosidade e especificidade, que garanta que os objectos de aprendizagem referenciados por cada unidade conceptual individual possuem um elevado grau de semelhança semântica;
- O modelo deve permitir o estabelecimento de relacionamentos entre objectos de aprendizagem através das estruturas de classificação, sem envolver relacionamentos explícitos entre os objectos;
- O modelo deve permitir a extracção de informação sobre os relacionamentos existentes entre as estruturas de classificação.

Tendo em vista os objectivos propostos, foram identificados alguns requisitos adicionais que não derivam dos problemas detectados na secção anterior, mas sim das funcionalidades previstas para os serviços de eAprendizagem personalizada. De modo a melhor compreender esses requisitos suplementares, apresentam-se desde já alguns princípios fundamentais do sistema.

De uma forma geral, esta proposta de sistema de classificação de objectos de aprendizagem usa um modelo de representação do conhecimento que se inspirou nos conceitos de mapa de tópicos [ISO/IEC 13250, 2002] e *Semantic Web* [Berners-Lee *et al*, 2001]. O núcleo do sistema de classificação é uma colecção de ontologias com características muito específicas, que tem como função a representação de áreas de conhecimento de forma estruturada, através da fragmentação hierárquica desse conhecimento em segmentos⁵ de granulosidade variável. Esta fragmentação hierárquica de áreas de conhecimento impõe restrições à estrutura das ontologias usadas neste modelo, nomeadamente a representação

⁵ Também chamados tópicos ou classes

desta hierarquia através de relacionamentos obrigatórios de incorporação ou agregação. Desta forma, as ontologias referidas nesta dissertação têm sempre esta restrição associada.

A ideia fundamental do modelo é usar estas ontologias como suporte para a classificação de objectos de aprendizagem, através do registo dos objectos em determinados segmentos dessas ontologias. Como já foi referido, o sistema de classificação deve permitir que a classificação de objectos num determinado segmento de conhecimento seja feita por uma entidade independente, com competência reconhecida nos assuntos abrangidos por esse segmento.

No entanto, a extensão de conhecimento representado por uma ontologia poderá abranger várias especialidades diferentes. Neste caso, existe todo o interesse em dividir o conjunto global de conhecimento em subconjuntos mais pequenos, sendo a gestão de cada subconjunto atribuída eventualmente a uma entidade diferente. A Figura 11 ilustra esta questão, que o modelo de dados do sistema de classificação deve prever. Na figura, os segmentos estão representados como rectângulos com cantos ligeiramente arredondados e os relacionamentos entre segmentos surgem como segmentos de recta a unir esses segmentos.

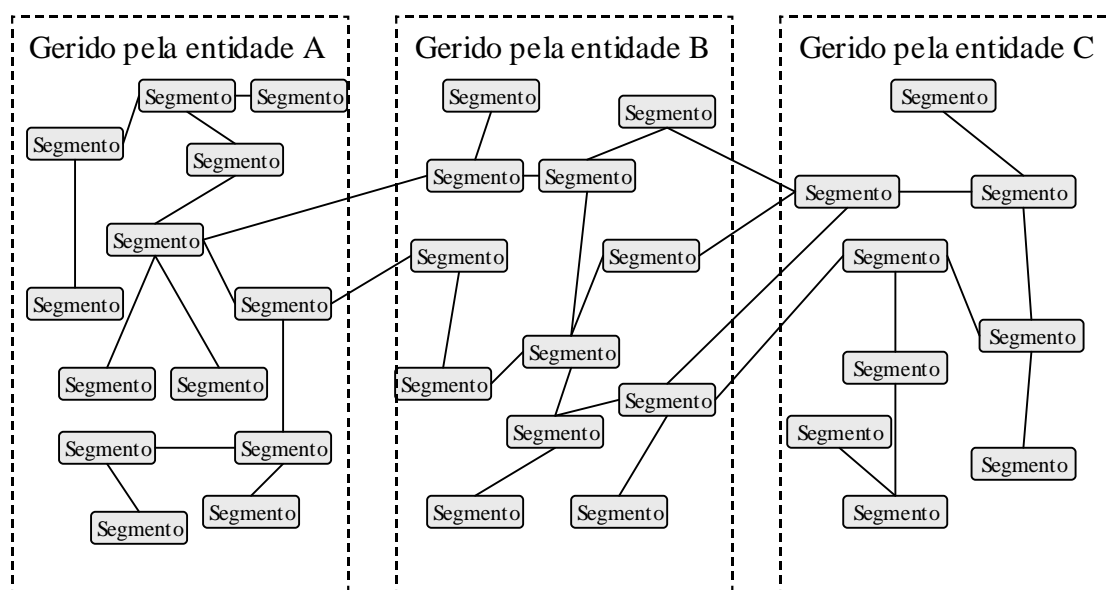


Figura 11 – Gestão distribuída dos segmentos de representação de conhecimento

Além do carácter distribuído da gestão das ontologias, existe também o interesse em que o sistema seja distribuído do ponto de vista informático, aumentando assim a tolerância a falhas e distribuindo a carga do serviço por vários pontos distintos.

Cada segmento representa um determinado fragmento do conhecimento que é representado pela ontologia onde está integrado. Compete à entidade que concebe a organização estrutural das ontologias definir claramente o âmbito de cada segmento, respeitando sempre o princípio de coesão, que determina que cada segmento deve representar um e um único conceito, independentemente do seu nível de granulosidade.

A informação sobre o âmbito de cada segmento deve ser pública, de forma a caracterizar claramente o seu papel, permitindo que as entidades externas à concepção do sistema

possam saber todos os detalhes da organização da estrutura. Adicionalmente, devem ser estabelecidas regras formais de conformidade, em função das características esperadas para os objectos de aprendizagem de cada segmento. Deve existir um mecanismo que permita definir de forma muito clara quais as condições que os objectos de aprendizagem devem reunir para poderem ser registados nesse segmento. Quando um objecto de aprendizagem for submetido ao sistema, a conformidade com essas regras deve ser avaliada e quantificada pelo painel de especialistas que está associado a esse segmento.

A intervenção humana neste processo limita a automatização do procedimento de registo de objectos de aprendizagem e exige a utilização de recursos valiosos, mas é indispensável para o bom funcionamento do sistema de classificação. Por um lado é fundamental existir uma avaliação da conformidade dos objectos com as regras do segmento, sendo difícil de efectuar esta tarefa de forma automática com alguma fiabilidade. Por outro lado, a intervenção humana pode estender-se a uma outra avaliação pertinente: a qualidade dos objectos de aprendizagem.

De facto, a comunidade educativa começa a reconhecer que é necessário começar a avaliar a qualidade das formações em ambiente de eAprendizagem [Cantoni *et al*, 2003]. Essa qualidade depende de vários factores e a qualidade dos objectos de aprendizagem é um dos mais importantes. A medida da qualidade de um objecto terá que considerar várias das suas dimensões, como por exemplo a qualidade pedagógica, gráfica, facilidade de interacção e outras características relevantes.

Existem várias formas de avaliação de qualidade. A revisão pelos pares é um dos melhores processos para assegurar a qualidade [Shapiro & Coleman, 2000], uma vez que a avaliação está ligada à autoridade moral dos revisores. Esta forma de avaliar a qualidade há muito tempo que é usada nos meios científicos, com comprovado sucesso [Brennan & Shah, 2000]. A mesma técnica poderá ser utilizada para avaliar a qualidade de objectos de aprendizagem, nomeadamente a qualidade pedagógica dos objectos de aprendizagem [Deubel, 2004; EQO, 2004]. Taylor [Taylor, 2001] propõe mesmo a criação de comissões nacionais para rever e avaliar conteúdos educativos.

O resultado destas avaliações e a consequente discriminação dos objectos de um segmento em função da sua conformidade e da sua qualidade pedagógica, são instrumentos essenciais para que as ferramentas de localização automática de objectos possam seleccionar aqueles com o perfil mais adequado para uma determinada aplicação. É assim importante que o modelo possa suportar este tipo de avaliações. Os conceitos de conformidade e qualidade podem ser levados ao extremo, criando as condições para a certificação de objectos de aprendizagem. Esta certificação será basicamente uma declaração de uma entidade, assumindo que um determinado objecto abrange os temas de um determinado contexto de aprendizagem, respeitando todos os requisitos impostos pelo sistema de classificação em termos de conformidade e qualidade.

A capacidade de representar o conhecimento de forma muito precisa, dividindo os conceitos complexos em estruturas de conceitos mais simples bem definidos, permite algumas aplicações interessantes. Uma delas será a capacidade de separar a avaliação de uma determinada área do conhecimento da fase de aprendizagem desses conhecimentos.

De facto, será possível usar objectos de aprendizagem de um fornecedor para a parte da formação e objectos de outro fornecedor para a parte da avaliação, desde que todos respeitem as regras de conformidade expressas nos segmentos que estão a ser alvo de aprendizagem/avaliação. Esta capacidade de permitir o agrupamento de objectos de origens diferentes de forma coerente é essencial para permitir a reutilização de objectos de aprendizagem.

Finalmente, o modelo deve prever também um outro tipo de utilização não relacionado com a classificação, mas algo que deriva da sua vocação para representar conhecimento de uma forma granular. Trata-se da sua utilização como referência para descrever o conhecimento e competências que os formandos possuem ou adquirem. De facto, tendo em consideração que o principal objectivo deste trabalho é a proposta de serviços personalizados de eAprendizagem, é essencial que se conheça e represente a matriz de conhecimentos e competências dos formandos com o maior detalhe possível. Este modelo é o ideal para esta tarefa, pois permite caracterizar os conhecimentos do formando com o mesmo detalhe da própria estrutura de segmentos, com resolução ao nível do conceito mais elementar.

A avaliação tradicional, em que tipicamente o maior detalhe que se consegue obter é ao nível de disciplina, não consegue assim representar de forma detalhada os pontos fortes e fracos dos formandos dentro dessa disciplina. Por exemplo, um aluno aprovado com uma classificação de catorze valores em vinte na disciplina “*Redes de Computadores I*” pode ter imensas dificuldades na matéria “*Sub-redes com máscaras de tamanho variável*”, mas como a informação mais detalhada que é exarada representa os conhecimentos globais da disciplina, todos estes pormenores ricos em informação pessoal são irremediavelmente perdidos.

Nos métodos tradicionais de avaliação seria muito difícil obter esta informação tão detalhada sobre os pontos fracos e fortes de cada aluno no âmbito de uma disciplina. No entanto, em ambientes de eAprendizagem é possível associar as unidades de avaliação aos respectivos segmentos, sendo assim possível recolher informação detalhada sobre as dificuldades individuais de cada utilizador.

3.3.2 A arquitectura do modelo proposto

A secção anterior descreve os vários requisitos que devem ser respeitados pelo modelo de classificação. Esta secção apresenta uma proposta de modelo que procura obedecer a esses requisitos, tendo em vista o suporte à concepção de serviços personalizados de eAprendizagem.

A Figura 12 mostra a arquitectura global do modelo proposto, sob a forma de um diagrama UML de componentes, sendo destacados os seus três componentes mais importantes. O componente designado por “representação de conhecimento” é o núcleo do modelo, cabendo-lhe a responsabilidade de implementar e gerir as ontologias que servirão de referência à classificação de objectos de aprendizagem. Fazem igualmente parte do modelo estruturas para associar objectos a segmentos específicos do sistema de representação de conhecimento e gerir a sua avaliação, materializadas no componente “registo de objectos

de aprendizagem”. Finalmente, o componente “gestor de serviços” tem a responsabilidade de implementar a lógica dos serviços que o sistema de classificação deve suportar, incluindo as interfaces Internet relevantes.

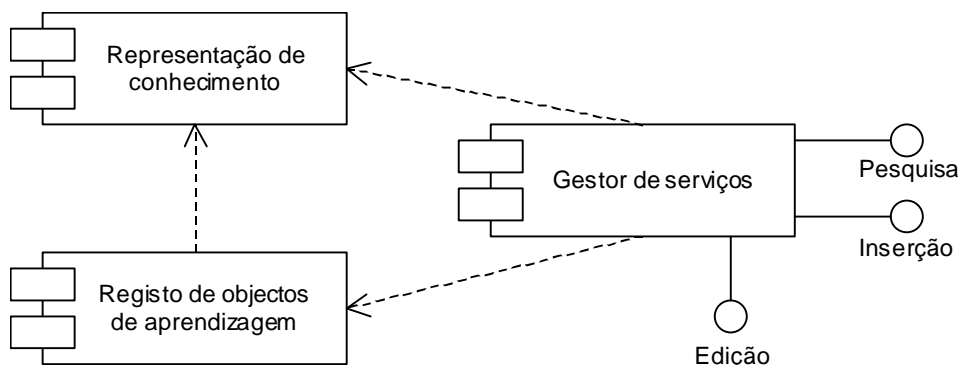


Figura 12 – Os componentes fundamentais do modelo de classificação

A modelação da representação de conhecimento poderia utilizar as estruturas e linguagens da *Semantic Web*, designadamente as linguagens OWL [W3C-OWL, 2004] e RDF [W3C-RDF, 2004]. No entanto, a intenção de explorar soluções de forma livre e sem restrições formais, aliada aos requisitos específicos do sistema de classificação, tiveram como consequência a decisão de usar estruturas especificamente desenvolvidas para este modelo.

O modelo de dados para a caracterização de cada segmento assume um papel fundamental no sistema de representação de conhecimento. Tal como já foi referido no capítulo 2, ao longo desta dissertação são apresentados vários esquemas de metadados recorrendo a diagramas gráficos, com o objectivo de facilitar a compreensão da sua organização. Nestes diagramas, os elementos são representados por rectângulos com cantos ligeiramente arredondados, com o nome do elemento no seu interior. Pode também existir um número junto ao nome, que define a posição do elemento na estrutura hierárquica. Os elementos do primeiro nível da estrutura podem ser designados “categorias”. As linhas que nascem na parte inferior dos rectângulos ligam o elemento aos seus subelementos constituintes. Linhas a tracejado com uma seta na extremidade representam recursividade. Existe ainda um rectângulo, habitualmente o primeiro do esquema, desenhado com linhas de espessura superior. Este rectângulo representa o elemento principal dos metadados ou o objecto, classe ou conceito caracterizado pelos metadados.

Após a análise dos requisitos do sistema, foi concebido o modelo de metadados cuja estrutura pode ser analisada na Figura 13. Esta estrutura de metadados, com quatro categorias principais, permite descrever de forma clara qual a função de cada segmento dentro da ontologia, permitindo também estabelecer a rede de relacionamentos entre segmentos. As ontologias serão constituídas por vários segmentos interrelacionados, em que cada segmento será caracterizado por este esquema de metadados.

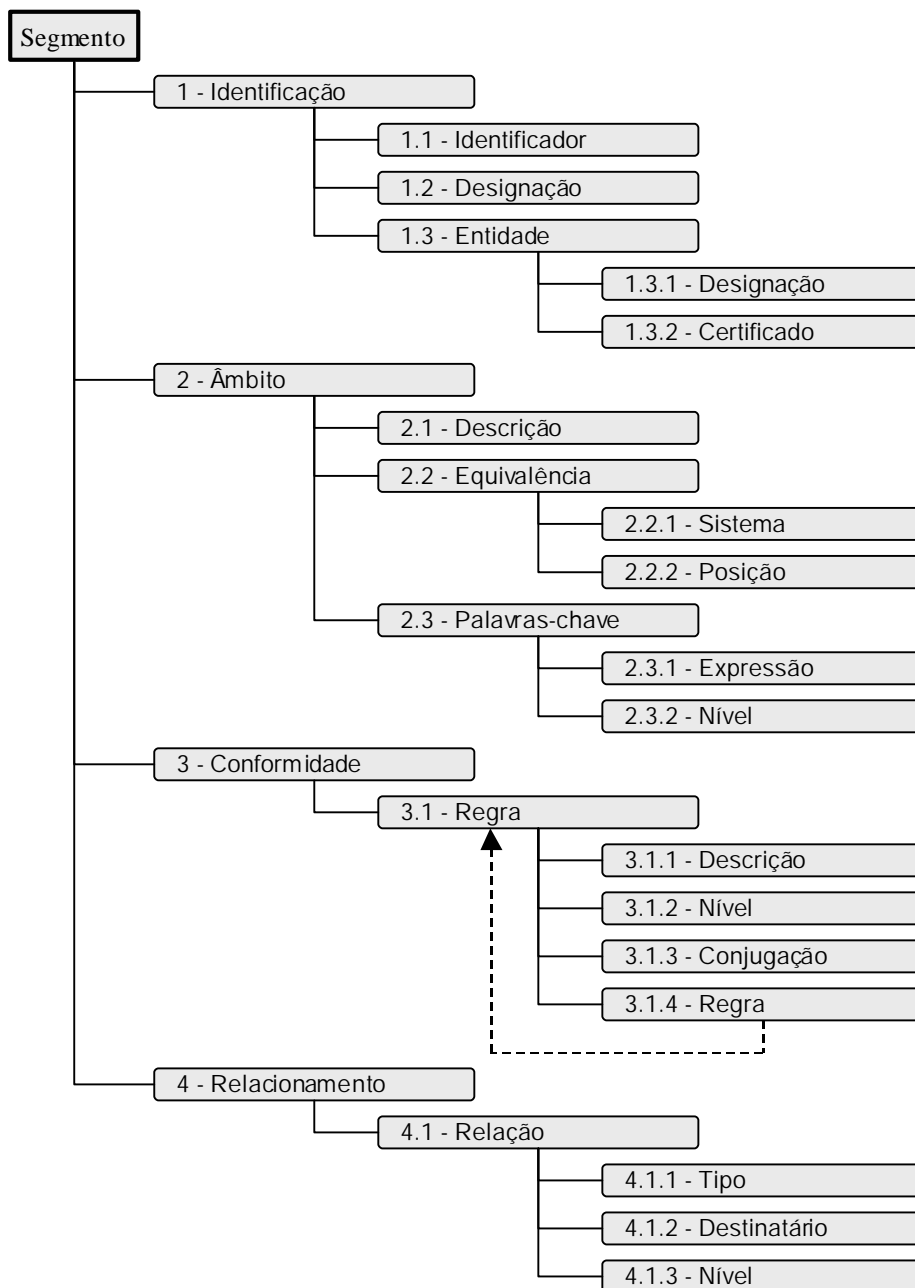


Figura 13 – Estrutura de dados do segmento

As tabelas seguintes apresentam os elementos de cada categoria, a sua função, o vocabulário previsto e o número de ocorrências permitidas para cada elemento, descritas na coluna com o símbolo '#'. Nos elementos com vocabulário controlado foi tomada a decisão de usar códigos numéricos em vez de expressões, de forma a facilitar a utilização do sistema em ambientes multilingues e a evitar erros de sintaxe.

Elemento	#	Descrição
1 Identificação	1	Contendor para os elementos da categoria <Identificação>
1.1 Identificador	1	Código único que identifica inequivocamente o segmento. Exemplo: "ESTCB-REDES.TPL01"
1.2 Designação	1-n	Descrição da matéria que o segmento abrange. Podem existir vários elementos deste tipo de forma a permitir que a designação possa ser expressa em vários idiomas diferentes. Exemplo: "Topologias de rede"
1.3 Entidade	1	Contendor para os subelementos do elemento <Entidade>
1.3.1 Designação	1	Designação formal da entidade responsável pela gestão do segmento. Exemplo: "Departamento de Eng. Informática da ESTCB"
1.3.2 Certificado	0-1	Apontador para certificado digital X.509 da entidade referida em 1.3.1

Tabela 18 – Os elementos da categoria <Identificação>

A categoria <Identificação> permite basicamente identificar o segmento de forma inequívoca, indicando também qual a entidade responsável pela sua gestão. A Tabela 18 descreve em detalhe o papel de cada elemento desta categoria. A nomenclatura usada para identificar o segmento é um simples código alfanumérico que, ao contrário dos sistemas tradicionais, nada diz sobre a sua posição dentro do sistema. O único requisito para esse código é que seja único e persistente. Para obter informação sobre a posição do segmento na hierarquia de relacionamentos é necessário interagir com o sistema através de um serviço adequado.

Elemento	#	Descrição
2 Âmbito	1	Contendor para os elementos da categoria <Âmbito>
2.1 Descrição	1-n	Descrição textual da abrangência conceptual deste segmento. Podem existir vários elementos deste tipo de forma a possibilitar a mesma descrição em vários idiomas. Exemplo: "Este segmento abrange o conceito de topologia de rede, incluindo a explicação das topologias anel, barramento, estrela e malha"
2.2 Equivalência	0-n	Contendor para os subelementos do elemento <Equivalência>. Podem existir vários elementos que suportem várias equivalências.
2.2.1 Sistema	1	Designação do sistema ao qual se pretende estabelecer uma relação de equivalência. Exemplo: ACM
2.2.2 Posição	1	Posição no sistema referido em 2.2.1 que é equivalente a este segmento. Exemplo: C.2.1 Network Architecture and Design

Elemento	#	Descrição
2.3 Palavras-chave	1-n	Contentor para os subelementos do elemento <Palavras-chave>. Podem existir várias ocorrências deste elemento, o que significa que podem existir várias palavras-chave associadas a um segmento, em vários idiomas diferentes.
2.3.1 Expressão	1	Expressão ou palavra associada aos conceitos abrangidos pelo segmento. Exemplo: "topologias de rede"
2.3.2 Nível	1	Nível de adequação da palavra ou expressão-chave como descritora dos assuntos abrangidos pelo segmento. Estão previstos 5 níveis diferentes: 1 - "muito baixo" 2 - "baixo" 3 - "médio" 4 - "alto" 5 - "muito alto" Quanto maior o nível, melhor será a adequação de uma palavra ou expressão chave.

Tabela 19 – Os elementos da categoria <Âmbito>

A categoria <Âmbito>, cujos elementos são relatados na Tabela 19, descreve a abrangência conceptual do segmento, ou seja, a fracção de conhecimento que é representada pelo segmento. Esta descrição é feita de duas formas distintas, visando utilizadores humanos e sistemas automáticos. Para os utilizadores humanos existe um elemento com a descrição em linguagem natural, opcionalmente em múltiplos idiomas.

A forma usada para declarar a abrangência conceptual do segmento perante sistemas automáticos é mais estruturada, usando cadeias de palavras ou expressões chave e um sistema de equivalência a outros sistemas de classificação. É atribuído um nível de importância a cada palavra ou expressão, permitindo assim distinguir a relevância dessas entradas. Por exemplo, no caso de um segmento que abranja a matéria sobre topologias de rede, à expressão-chave "topologias de rede" poderá ser atribuído um maior peso do que às palavras-chave "topologias", "anel" ou "estrela". Assim, as palavras e expressões-chave traduzem de forma mais fidedigna o âmbito do segmento. Adicionalmente é possível estabelecer relacionamentos de equivalência com outros sistemas de classificação, nos casos em que for possível, permitindo mais uma forma de descrever o âmbito do segmento.

Elemento	#	Descrição
3 Conformidade	1	Contentor para os subelementos da categoria <Conformidade>
3.1 Regra	1	Contentor para os subelementos do elemento <Regra>
3.1.1 Descrição	0-n	Descrição textual de uma regra a que o objecto de aprendizagem deve obedecer para que possa ser registado neste segmento. Podem existir várias descrições em idiomas diferentes. Exemplo: "deve apresentar as várias topologias de rede, incluindo barramento, estrela, anel e malha"

3.1.2 Nível	0-1	Nível de exigência de profundidade e rigor relativamente ao aspecto descrito em 3.1.1 . Estão previstos cinco níveis diferentes: 1 - "muito baixo" 2 - "baixo" 3 - "médio" 4 - "alto" 5 - "muito alto"
3.1.3 Conjugação	0-1	Tipo de conjugação entre as diferentes regras deste nível. Existem duas opções: "Ou"(1), que significa que basta que uma regra seja cumprida para que se assuma a conformidade; "E"(2) significa que todas as regras deste nível têm que ser cumpridas para que seja assumida a conformidade. Exemplo: "E"
3.1.4 Regra	0-n	O mesmo que 3.1

Tabela 20 – Descrição dos elementos da categoria <Conformidade>

A Tabela 20 descreve os elementos da categoria <Conformidade>, cujo propósito é definir as regras que devem ser obedecidas pelos objectos de aprendizagem de forma a poderem ser registados nos segmentos. Cada regra é uma declaração em linguagem natural que descreve um requisito específico, com um determinado nível de exigência de profundidade e rigor, que vai desde a mera abordagem do aspecto (nível 1) até à sua análise profunda, exaustiva e rigorosa (nível 5). Existe apenas uma regra na raiz da categoria e todas as outras são embutidas dentro dessa regra.

Conformidade
Regra
Conjugação = "E"
Regra
Descrição = "deve apresentar graficamente as várias topologias de rede, incluindo barramento, estrela, anel e malha"
Nível = "4"
Regra
Descrição = "deve comparar os métodos de acesso ao meio das várias topologias"
Nível = "4"
Regra
Conjugação = "Ou"
Regra
Descrição = "deve ilustrar a ocorrência de colisões na topologia barramento com uma animação"
Nível = "3"
Regra
Descrição = "deve ilustrar a ocorrência de colisões na topologia barramento com uma sequência de diagramas"
Nível = "3"

Tabela 21 – Exemplo da aplicação da conjunção e disjunção de regras

As regras podem ser conjugadas com operadores de conjunção ou disjunção de forma a traduzir a exigência do cumprimento de todas ou de apenas parte das regras de uma lista. Cada regra é ela própria um contentor recursivo para uma lista de outras regras, permitindo assim a codificação de estruturas complexas de requisitos. Por exemplo, é possível representar a seguinte colecção de requisitos: R1 e R2 e (R3 ou R4), em que Rn identifica o requisito índice n. O exemplo da Tabela 21 ilustra a codificação desta estrutura lógica.

Elemento	#	Descrição
4 Relacionamento	1	Contentor para os subelementos da categoria <Relacionamento>
4.1 Relação	n	Contentor para os subelementos do elemento <Relação>
4.1.1 Tipo	1	Código que descreve o tipo de relação que está a ser descrita. O vocabulário para este elemento ainda está em fase de conclusão. Actualmente estão previstos os seguintes códigos de relacionamento: 1 - "incorpora..." (agregação) 2 - "é incorporado em..." (agregação) 3 - "tem como pré-requisito..." 4 - "é pré-requisito de..." 5 - "baseia-se em..." 6 - "serve de base a..." 7 - "referencia..." 8 - "é referenciado em..." 9 - "é usado com..."
4.1.2 Destinatário	1	Localização do segmento que é o destinatário deste relacionamento. Pode ser um URI, URL, DOI ou o identificador do segmento dentro do mesmo sistema de classificação. Exemplo: "redes.protocolos.x25"
4.1.3 Nível	1	Nível de importância desta relação, expresso em cinco níveis diferentes: 1 - "muito baixo" 2 - "baixo" 3 - "médio" 4 - "alto" 5 - "muito alto" Quanto maior o nível, mais importante será a relação expressa neste elemento.

Tabela 22 – Os elementos da categoria <Relacionamento>

A categoria <Relacionamento> finaliza os metadados, mas a sua posição relativa é inversamente proporcional à sua importância, na medida em que a descrição dos relacionamentos entre segmentos é fundamental para a correcta representação do conhecimento no sistema de classificação. A Tabela 22 descreve os seus elementos, que servem para enumerar os relacionamentos que cada segmento possui, indicando o tipo de relacionamento, o segmento destinatário desse relacionamento e o nível de importância dessa relação.

A maior parte dos tipos de relacionamento entre dois segmentos tem um significado diferente segundo o sentido em que é aplicado. Por exemplo, se existir um relacionamento do tipo “incorpora...” entre um segmento X e um segmento Y, esse relacionamento terá um significado diferente no sentido inverso, que neste caso será “é incorporado em...”. No âmbito deste modelo, quando é estabelecido um relacionamento entre dois segmentos que implique um relacionamento inverso, este é implicitamente assumido.

Está prevista a possibilidade de estabelecer relacionamentos entre segmentos de ontologias independentes. Por exemplo, um segmento de uma ontologia de Física pode estabelecer uma relação do tipo “tem como pré-requisito...” com um segmento de outra ontologia, por exemplo, uma de Matemática. Será assim possível criar uma rede complexa de relacionamentos entre ontologias diferentes, permitindo interligar e relacionar áreas diferentes do conhecimento.

A Figura 14 mostra um diagrama que é uma representação parcial e incompleta da área do conhecimento que abrange as topologias físicas de rede e serve apenas de exemplo para mostrar como podem coexistir vários tipos de relacionamento entre segmentos. Os segmentos são representados por retângulos com os cantos ligeiramente arredondados, com a sua identificação no interior. Os relacionamentos são representados por linhas, em que o formato da linha representa o tipo de relacionamento e a seta indica o sentido do relacionamento. Os números junto das ligações representam o nível de importância do relacionamento.

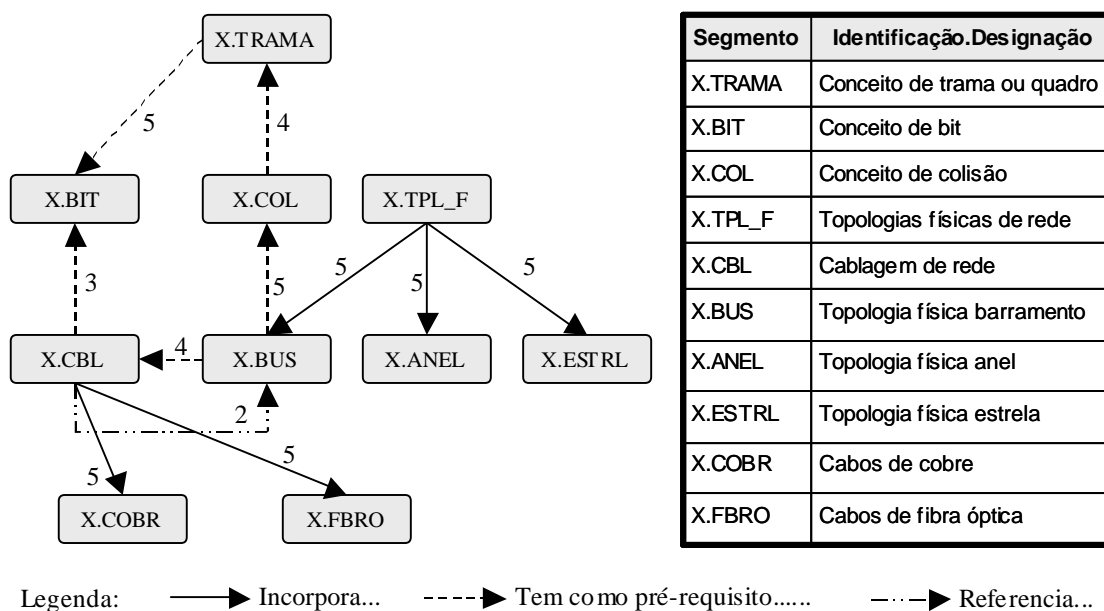


Figura 14 – Exemplo de relacionamentos entre segmentos

Da análise da estrutura de segmentos da Figura 14, podemos extrair, por exemplo, a seguinte informação:

- O segmento “X.TPL_F - Topologias físicas de rede” incorpora, com um nível “muito alto”, os segmentos “X.BUS - Topologia física barramento”, “X.ANEL - Topologia física anel” e “X.ESTRL - Topologia física estrela”;

- Para aprender os conceitos representados pelo segmento “X.BUS - Topologia física barramento” são previamente necessários os conhecimentos representados pelos segmentos “X.COL – Conceito de colisão” e “X.CBL - Cablagem de rede”, com níveis de dependência “muito alto” e “alto”, respectivamente;
- O segmento “X.CBL - Cablagem de rede” faz referência, embora a um nível baixo, aos conhecimentos representados pelo segmento “X.BUS - Topologia física barramento”.

A Tabela 23 mostra como poderiam ser usados os metadados da categoria <Relacionamento> para representar os relacionamentos do segmento X.CBL no diagrama anterior.

Relacionamento
Relação
Tipo = "3"
Destinatário = "X.BIT"
Nível = "3"
Relação
Tipo = "1"
Destinatário = "http://xpto.pt/X.COBR.xml"
Nível = "5"
Relação
Tipo = "1"
Destinatário = "sek://X.FBRO"
Nível = "5"
Relação
Tipo = "7"
Destinatário = "doi:16.1027/X.BUS"
Nível = "2"

Tabela 23 – Exemplo de metadados de relacionamento

Neste exemplo estão declarados os quatro relacionamentos que partem do segmento X.CBL com os respectivos atributos. De salientar que existe no diagrama um quinto relacionamento, do tipo “tem como pré-requisito...” com o segmento X.BUS, mas como este parte do outro segmento, não é declarado nestes metadados. No entanto, esse relacionamento é válido, de forma implícita.

Saliente-se a diversidade de formas previstas para identificar o segmento alvo dos relacionamentos. A primeira forma é a mais simples e pode ser usada para identificar um segmento alvo que faz parte da mesma ontologia do segmento fonte. A segunda forma usa o protocolo HTTP e aponta para o ficheiro XML que descreve o segmento alvo. A terceira forma usa uma notação própria prevista para este sistema e identifica um segmento alvo através do nome, independentemente da sua localização física. Neste caso, competirá ao sistema de classificação localizar automaticamente um servidor com a informação do segmento. Finalmente, o último relacionamento usa um DOI [DOI, 2005] para identificar o segmento. Os segmentos alvo dos relacionamentos poderão estar distribuídos por vários

servidores externos. No entanto, essa distribuição deverá ser totalmente transparente para os utilizadores do sistema, humanos ou sistemas automáticos.

A rede de relacionamentos pode também ser usada para dissipar eventuais dúvidas sobre o âmbito conceptual de um segmento. Por exemplo, se a categoria <Âmbito> dos metadados do segmento X.ANEL do exemplo da Figura 14 contivesse apenas a descrição e palavra-chave “Anel”, que é semanticamente ambígua, poderia ter várias interpretações diferentes. No entanto, uma pequena análise dos relacionamentos mostraria que esse segmento é incorporado no segmento X.TPL_F, “topologias físicas de rede”, o que dissiparia todas as dúvidas.

3.3.3 Registo de objectos de aprendizagem

Na secção anterior, foi descrita a estrutura de metadados concebida para a representação de conhecimento no sistema de classificação. O sistema tem igualmente que suportar a associação de objectos de aprendizagem a segmentos, de acordo com a classificação da entidade responsável pela gestão da respectiva área de conhecimento. Para este propósito foi concebido o modelo de metadados ilustrado na Figura 15.

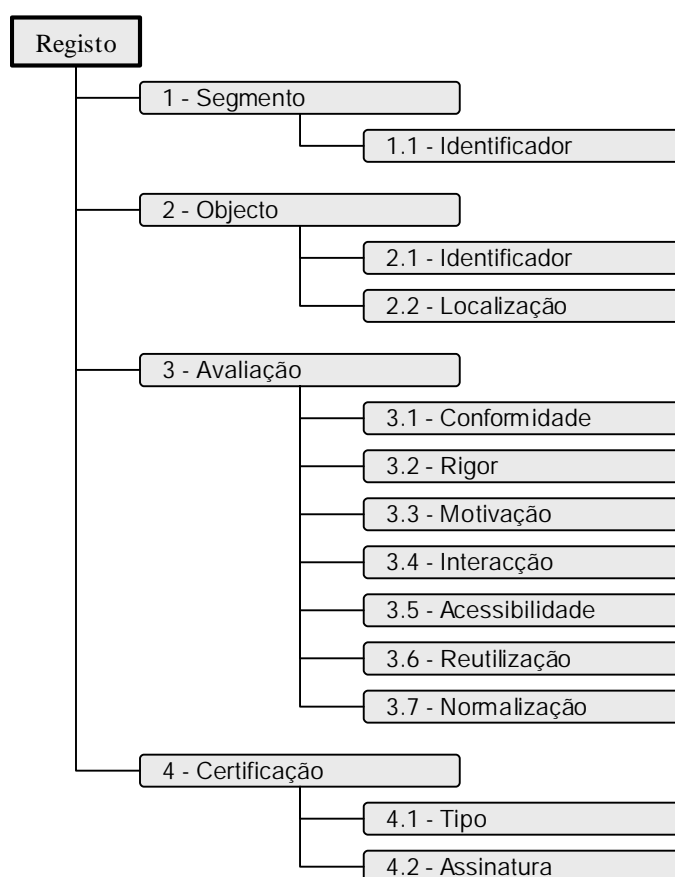


Figura 15 – Modelo de metadados para o registo de objectos de aprendizagem

A Tabela 24 descreve detalhadamente o papel de cada um dos elementos deste modelo de metadados e a forma como permitem associar objectos de aprendizagem a segmentos do sistema de representação de conhecimento.

Elemento	#	Descrição
1 Segmento	1	Contendor para os subelementos da categoria <Segmento>.
1.1 Identificador	1	Código único que identifica inequivocamente o segmento. Exemplo: "ESTCB-REDES.TPL01"
2 Objecto	1	Contendor para os subelementos da categoria <Objecto>.
2.1 Identificador	1	Contendor para os elementos que permitem a identificação única e global do objecto de aprendizagem. Este elemento deve conter o mesmo que o elemento <i>General.Identifier</i> dos metadados LOM do objecto de aprendizagem.
2.2 Localização	1	URL ou URI que permite o acesso aos metadados LOM do objecto de aprendizagem.
3 Avaliação	0-1	Contendor para os subelementos da categoria <Avaliação>. Todos os subelementos são classificados em cinco níveis diferentes, com o seguinte significado: 1 - "muito baixa" 2 - "baixa" 3 - "média" 4 - "alta" 5 - "muito alta"
3.1 Conformidade	0-1	Avaliação do nível de conformidade do objecto de aprendizagem com as regras do segmento.
3.2 Rigor	0-1	Avaliação do nível de veracidade, rigor e detalhe da apresentação dos conceitos do segmento.
3.3 Motivação	0-1	Avaliação da capacidade do objecto para motivar e estimular a audiência prevista no contexto da ontologia.
3.4 Interação	0-1	Avaliação do nível e facilidade de interação com o objecto de aprendizagem.
3.5 Acessibilidade	0-1	Avaliação da capacidade de utilização do objecto por formandos com necessidades especiais.
3.6 Reutilização	0-1	Avaliação da capacidade do objecto de ser reutilizado em diferentes contextos e/ou cursos sem necessidade de adaptações.
3.7 Normalização	0-1	Avaliação do nível de respeito por normas internacionais aplicáveis a objectos de aprendizagem.
4 Certificação	0-1	Contendor para os subelementos da categoria <Certificação>
4.1 Tipo	0-1	Tipo de assinatura digital a usar no próximo campo
4.2 Assinatura	0-1	Assinatura digital da entidade que atribui a certificação, que deve ser a entidade responsável pela gestão do segmento. A assinatura incide sobre um <i>hash</i> que é calculado sobre os elementos 1 a 3 destes metadados.

Tabela 24 – Descrição dos metadados da associação de objectos a segmentos

A categoria <Segmento> permite basicamente identificar qual o segmento ao qual se está a associar um determinado objecto de aprendizagem, o qual é identificado na categoria <Objecto>.

A categoria <Avaliação> baseia-se parcialmente no trabalho resultante da iniciativa eLera [Nesbit *et al.*, 2003] e permite que a entidade responsável pela gestão do segmento possa avaliar e classificar os objectos de aprendizagem segundo sete critérios distintos: conformidade, rigor, motivação, interacção, acessibilidade, reutilização e normalização. Embora a Tabela 24 explique sumariamente o âmbito de cada critério, alguns merecem uma reflexão mais profunda.

O critério <Conformidade> é fundamental para perceber até que ponto o objecto respeita as regras estabelecidas nos metadados do segmento. É assim possível discriminar os objectos de aprendizagem em função do seu respeito pelos requisitos do segmento. O critério <Rigor> será talvez um dos mais importantes, em parte devido à influência que o rigor científico/pedagógico e a organização geral dos conceitos têm para o processo de aprendizagem.

É importante salientar que não existe nenhuma avaliação da qualidade global do objecto. De facto, é assumido que compete às aplicações finais definir a importância de cada critério e eventualmente calcular uma média global ponderada. Os pesos a usar na ponderação dependem de cada caso específico de utilização. Por exemplo, se o utilizador possuir algum tipo de necessidade especial, é lógico que o critério <Acessibilidade> deve ter um peso elevado.

Finalmente, a categoria <Certificação> destes metadados pode ser usada pelas entidades associadas aos segmentos para certificar o registo e avaliação de objectos de aprendizagem, através de uma assinatura digital. Desta forma, será possível assegurar a sua credibilidade, mesmo quando estes sejam usados de forma independente fora do sistema de classificação.

3.3.4 A construção de ontologias no âmbito do sistema de classificação

A construção de ontologias rigorosas é um passo fundamental para o bom funcionamento do sistema de classificação e dos serviços que dele dependem. Apesar de os objectivos deste trabalho não incluírem as ontologias como objecto de investigação, mas sim como uma ferramenta a usar no sistema de classificação, alguns aspectos relacionados com pormenores específicos do sistema de classificação originaram algumas reflexões sobre a forma como devem ser elaboradas as ontologias para esta aplicação particular. Estas reflexões aplicam-se apenas a este sistema de classificação.

Antes de se iniciar o trabalho exaustivo de divisão de uma área de conhecimento em segmentos, existem dois passos fundamentais. O primeiro consiste na definição do contexto de utilização da ontologia. O mesmo assunto, em contextos diferentes, tem uma forte probabilidade de ter uma estrutura de segmentos completamente diferente. Por exemplo, uma ontologia para representar o conhecimento sobre “gravidade”, no contexto do ensino do primeiro ciclo terá uma organização muito diferente de uma ontologia para o mesmo assunto, mas no contexto do ensino superior.

Após a definição rigorosa do contexto, o segundo passo envolve a determinação clara do conhecimento que se pretende representar pela ontologia, tanto em termos de abrangência como de profundidade. Seguidamente, o conhecimento deve ser dividido numa hierarquia de segmentos em forma de árvore, até serem atingidos os segmentos atómicos, com o detalhe adequado ao contexto. A representação desta hierarquia é feita obrigatoriamente através de relacionamentos de incorporação ou agregação. É também muito importante respeitar a regra da coesão: cada segmento deve tratar de um e de apenas um conceito, independentemente da posição do segmento na estrutura hierárquica.

As palavras-chave associadas a cada segmento assumem uma importância vital para a pesquisa de objectos de aprendizagem, pois o método de pesquisa usará as palavras-chave dos segmentos e não dos objectos. Tal estratégia permitirá localizar objectos de aprendizagem sobre um determinado assunto, mesmo que os termos usados na pesquisa não apareçam no próprio objecto. Uma outra vantagem é a possibilidade de encontrar objectos escritos num idioma usando palavras-chave noutra idioma. Para que esta estratégia funcione bem, é necessário perder algum tempo na escolha de um número suficiente de palavras-chave adequadas a cada segmento, em vários idiomas diferentes.

A ontologia é constituída por vários segmentos interrelacionados por várias relações de diferentes tipos. No entanto, a subdivisão do conhecimento gerará sempre uma hierarquia de segmentos relacionados através da relação “incorpora”, numa estrutura de árvore. Convém referir que, nesta árvore as palavras-chave devem concentrar-se nos objectos de mais baixo nível, ou seja nas “folhas” da árvore. De facto, uma das premissas da relação “incorpora” é que um segmento que incorpore outros segmentos vai também incorporar automaticamente as suas características, incluindo as palavras-chave. No entanto, nada impede os segmentos mais próximos da raiz da árvore de acrescentar algumas palavras-chave àquelas que incorporam dos seus segmentos “filhos”, como forma de as complementar. A Figura 16 ilustra bem esta questão.

Neste e nos próximos exemplos relacionados com as palavras-chave, os segmentos são representados como uma forma rectangular com duas partes, com a identificação do segmento na parte superior e as palavras-chave na área inferior. As linhas representam o relacionamento “incorpora”, com a seta a indicar o sentido desse relacionamento, ou seja, a apontar para os segmentos incorporados.

Neste caso particular, todas as palavras-chave dos segmentos “filhos” são consideradas como pertencendo também ao segmento “estcb_redes.topologias”. Estas palavras-chave traduzem o conjunto de conhecimento representado pela junção dos segmentos filhos, embora de uma forma segmentada. Por vezes existem termos que representam melhor todo esse conhecimento, tomando-o como um todo e não como uma soma de conhecimentos parciais. Por exemplo, neste caso particular, o termo “topologias de rede” representa melhor o conhecimento abrangido pelo segmento “estcb_redes.topologias” que o conjunto de termos herdados dos seus segmentos “filhos”. Nestas situações é aconselhável acrescentar palavras-chave deste tipo aos segmentos de mais alto nível.

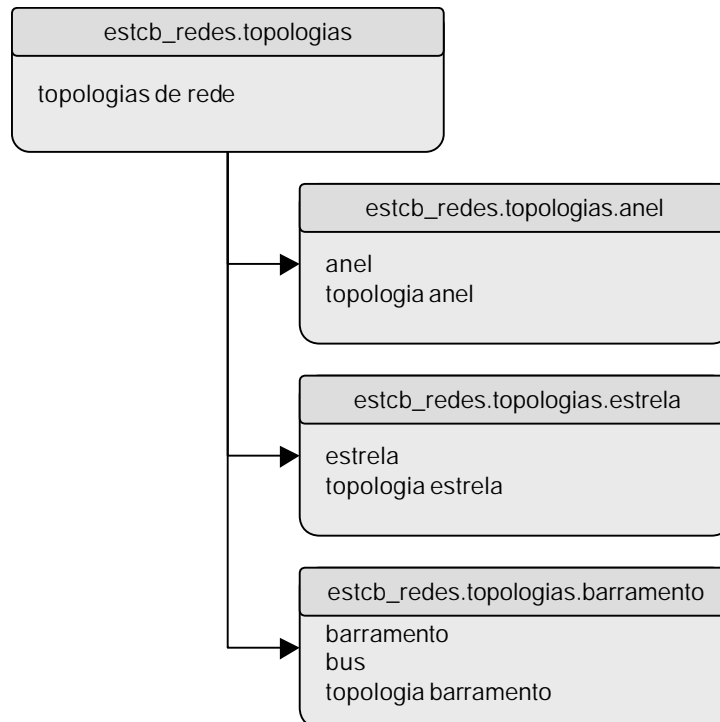


Figura 16 – Exemplo da definição de palavras-chave entre segmentos relacionados

Pelo contrário, não é correcto atribuir explicitamente a segmentos de alto nível palavras-chave que são mais apropriadas a segmentos “filhos”, se eles existirem. Considerando o exemplo da figura, nunca se deveriam atribuir directamente ao segmento “estcb_redes.topologias” as palavras-chave ‘anel’ ou ‘estrela’, por exemplo. Tal atitude, além da duplicação desnecessária de informação, significaria que o mesmo conceito estaria a ser representado simultaneamente em vários segmentos, o que contraria claramente o espírito do sistema.

Desta forma, para preservar a eficácia do sistema de pesquisa, não se deve usar a mesma palavra-chave em mais que um segmento da mesma ontologia. No entanto, nada impede o uso do mesmo termo em ontologias diferentes. Como a ontologia está associada a um contexto, a mesma palavra-chave em ontologias diferentes estará eventualmente associada a conceitos diferentes. Por exemplo, o termo “peru” terá significados totalmente diferentes numa ontologia de ornitologia ou numa de geografia. Neste caso o que distingue o conceito não é a palavra-chave mas sim a própria ontologia. Concluindo, a escolha das palavras-chave mais adequadas requer algum cuidado e é muito importante para o correcto funcionamento do sistema.

Quando uma ontologia sobre uma determinada área do saber é criada, os seus autores devem procurar dividi-la numa estrutura hierárquica de segmentos de conhecimento, até atingir graus de granulosidade considerados atómicos. No entanto, estas estruturas não são obrigatoriamente imutáveis e podem sofrer alterações ao longo do tempo, de modo a permitir refinamentos constantes da estrutura de representação de conhecimento. Estas alterações incluem a adição de novos segmentos, a divisão de segmentos anteriormente considerados atómicos, a eliminação de segmentos e outras alterações estruturais que

melhorem a capacidade da ontologia para representar uma determinada área do conhecimento.

Estas alterações podem contudo ter consequências nos objectos que já estão registados nos segmentos afectados. Os próximos diagramas ilustram de forma gráfica as consequências de alterações na estrutura das ontologias. Os objectos de aprendizagem são representados por cubos e o registo num segmento é representado por uma linha a tracejado.

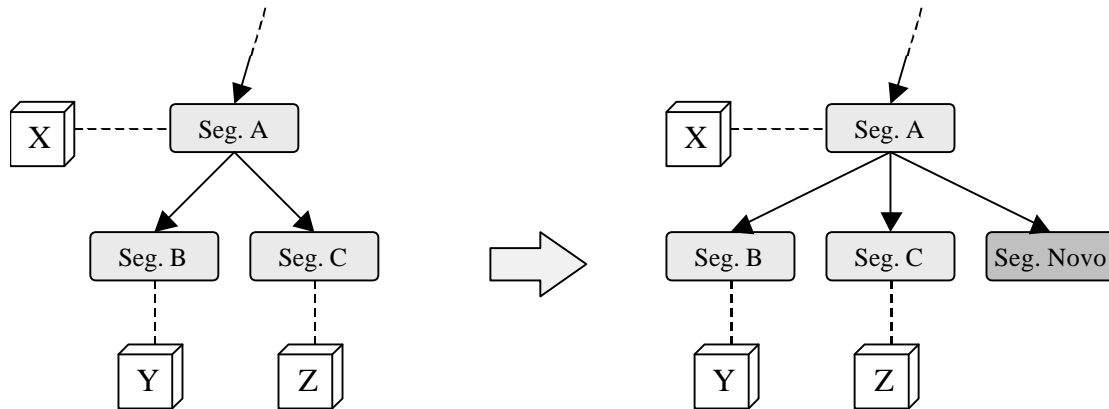


Figura 17 – Efeitos da adição de um novo segmento

A Figura 17 mostra o primeiro exemplo: por ter sido considerado que o segmento A deveria abranger novos conceitos, foi criado e incorporado um novo segmento. Isto significa que a abrangência conceptual do segmento abrange agora os conceitos representados pelos segmentos B, C, e segmento novo. Isto significa que provavelmente o objecto X deixou de cumprir os requisitos para poder ser registado no segmento A. Pelo contrário, os objectos Y e Z não são afectados porque os segmentos B e C não sofrem qualquer alteração. Sempre que ocorra uma alteração na abrangência conceptual de um segmento, todos os objectos lá registados terão que ser reavaliados.

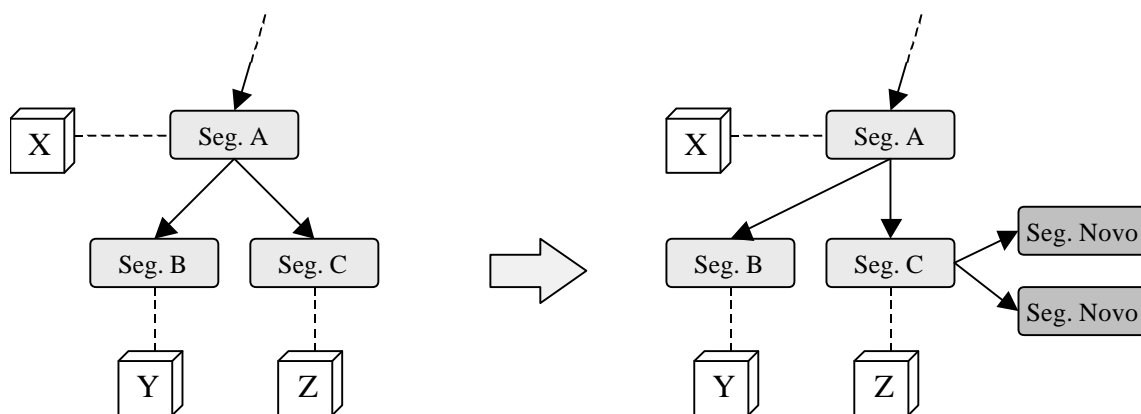


Figura 18 – Efeitos da subdivisão de um segmento anteriormente atómico

Contudo, nem todas as alterações estruturais da ontologia originam mudanças nos registos de objectos, o que sucede, aliás, no caso anterior relativamente aos objectos Y e Z. A Figura 18 mostra um outro exemplo em que um segmento que se julgava ser atómico (segmento C) é dividido em dois novos segmentos atómicos. Neste caso, desde que esta

alteração seja simplesmente a divisão do conceito original do segmento C em dois sub conceitos, a mudança será completamente transparente para o objecto Z. Os objectos X e Y também não serão afectados.

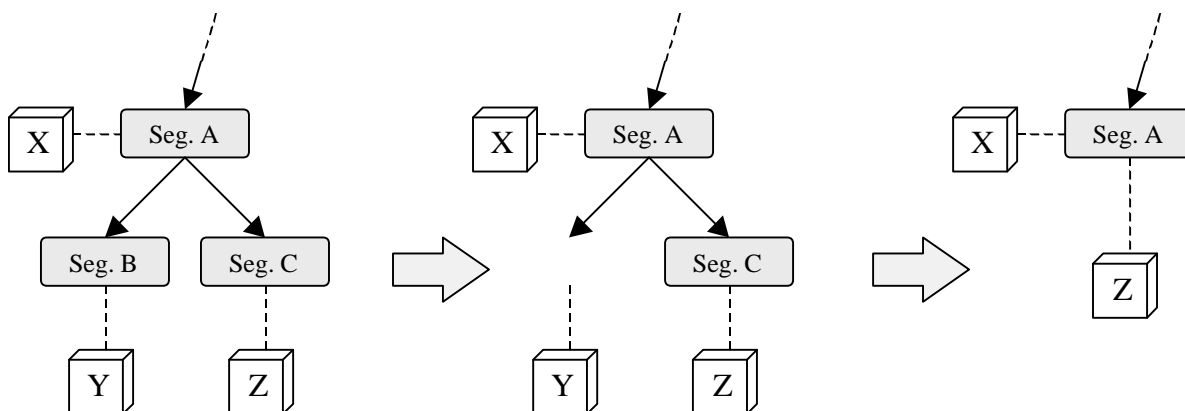


Figura 19 – Efeitos da eliminação de um segmento

Os efeitos da eliminação de um segmento podem ter consequências mais complexas de analisar, como pode ser observado na Figura 19. Este exemplo representa um cenário em que um determinado conceito, neste caso representado pelo segmento B, é eliminado da estrutura. Uma consequência directa é que todos os objectos sobre esse conceito deixam de pertencer à ontologia. Neste caso, o registo do objecto Y seria simplesmente apagado do sistema.

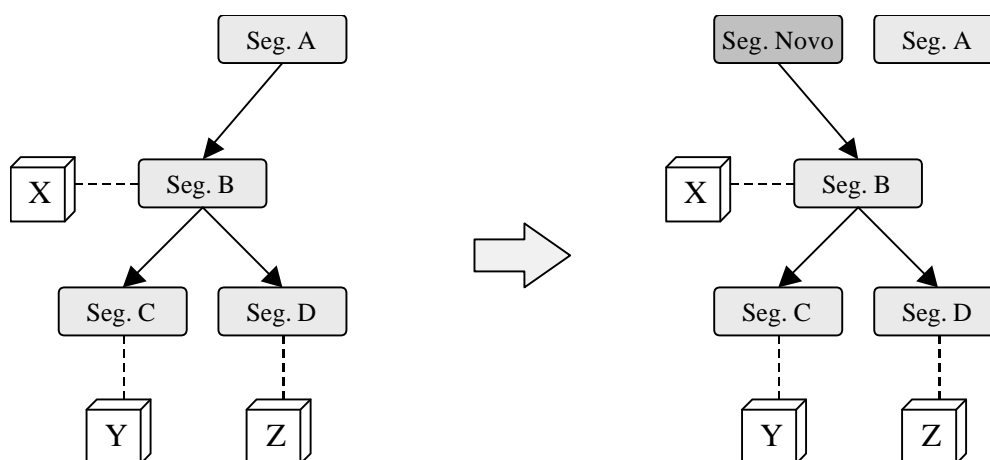


Figura 20 – Efeitos de outras mudanças na estrutura da ontologia

A eliminação de um segmento implica a eliminação de um conceito de toda a ontologia, pelo que pode ter repercussões em todos os segmentos que incorporavam esse conceito. Neste exemplo, o segmento A deixaria de incorporar o conceito representado pelo segmento B, pelo que deixaria de existir qualquer diferença entre o segmento A e o segmento C. Nesse caso, o segmento C poderia ser eliminado e os seus objectos migrariam automaticamente para o segmento A. De notar que existe ainda uma questão por resolver: o objecto X estava associado ao conceito original do segmento A, pelo que conterà ainda o sub conceito representado pelo extinto segmento B. Nestes casos em que existe uma alteração do domínio conceptual dos segmentos, é necessário reavaliar os registos dos seus objectos.

Alterações mais radicais na estrutura da ontologia obrigam a uma análise caso a caso. Nem sempre será necessário reavaliar todos os registos dos segmentos afectados pelas alterações. A Figura 20 mostra um exemplo em que um segmento intermédio da estrutura passa a ser incorporado num outro segmento. Embora se trate de uma alteração estrutural importante, os registos dos objectos não são minimamente afectados.

Embora o sistema o permita, as alterações estruturais nas ontologias são sempre de evitar, pelo que antes de se iniciar o processo de registo será aconselhável rever bem a estrutura da ontologia, no sentido de criar uma estrutura bem adequada ao fim a que se destina.

3.3.5 Estratégia de pesquisa

As palavras-chave são necessárias no sistema, acima de tudo, para permitir a pesquisa de segmentos através de combinações de palavras e termos. Como já foi referido anteriormente, a pesquisa de objectos de aprendizagem não usa informação extraída desses objectos, recorrendo antes às palavras-chave associadas aos segmentos das ontologias.

Existem algumas vantagens e desvantagens nesta estratégia. As maiores vantagens derivam da separação clara entre a pesquisa de assuntos e o conteúdo dos objectos. Isto torna possível localizar objectos de aprendizagem através de uma palavra-chave que nem sequer é mencionada no objecto, ou encontrar objectos escritos num idioma a partir de palavras-chave escritas noutra idioma. É mesmo possível combinar termos de idiomas diferentes na mesma expressão de pesquisa.

Esta ignorância propositada do conteúdo dos objectos tem ainda a vantagem de imunizar a pesquisa para a eventual consideração de termos que aparecem no objecto, mas não são relevantes ou representativos do conceito que este abrange. Mesmo quando os objectos possuem metadados com palavras-chave, como o caso dos metadados LOM, nada garante a exactidão e imparcialidade dessa informação, pelo que esta separação continua a apresentar vantagens sobre a utilização das palavras-chave dos metadados. A grande desvantagem desta estratégia é a necessidade de se proceder à definição das palavras-chave de cada segmento, o que pode consumir muito tempo e outros recursos.

Após alguma reflexão, tomando em consideração as recomendações da secção anterior, concluiu-se que a estrutura hierárquica construída através do relacionamento “incorpora” tem um papel fundamental na pesquisa. Esta conclusão deriva do facto de o relacionamento de incorporação implicar não só a incorporação do conhecimento representado pelos segmentos filhos, mas também a adopção das palavras-chave desses segmentos. Para materializar esta estratégia, foi concebido um algoritmo de pesquisa que começa por identificar os vários termos individuais da expressão de pesquisa. Quando existe mais que um termo, e se não existir nenhuma indicação explícita, assume-se que deve existir uma ligação lógica “E” entre os termos. No entanto, se um dos termos não existir, este é ignorado e a pesquisa é feita com os restantes. Desta forma evitam-se as situações em que um termo não existente no sistema de classificação inviabiliza toda a pesquisa.

O passo seguinte consiste na identificação dos segmentos que correspondem a cada um dos termos. Após esta identificação, inicia-se a determinação do segmento que engloba todos

os conceitos associados a todos os termos. A Figura 21 mostra de forma gráfica este procedimento.

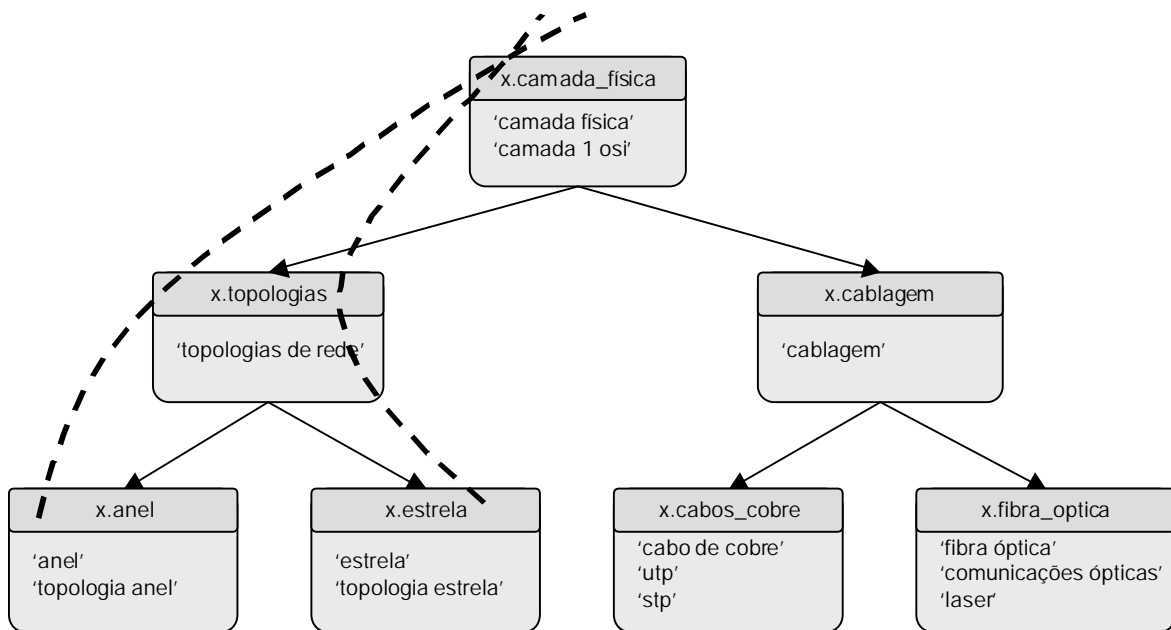


Figura 21 – Exemplo da aplicação do algoritmo de pesquisa

A estrutura de segmentos da figura é uma representação parcial do conceito de camada física do modelo OSI. Perante uma pesquisa pela expressão “anel estrela”, a primeira parte do algoritmo identifica os segmentos “x.anel” e “x.estrela”, que correspondem a cada uma das palavras-chave. Em seguida são calculados os caminhos, mostrados a tracejado na figura, desde estes segmentos até à raiz da ontologia. No percurso desde os segmentos com palavras-chave até a raiz da ontologia, o primeiro segmento onde todos os caminhos se cruzam será o segmento que representa o conceito que abrange todos os termos, que passará a ser designado como segmento alvo. Neste caso particular, o segmento alvo será o segmento “x.topologias”.

Se uma ou mais palavras-chave da expressão não forem encontradas em nenhum segmento, não é traçada nenhuma linha virtual que corresponda a essas palavras, o que na prática significa que essas palavras-chave são completamente ignoradas. Quando apenas uma das palavras-chave da expressão é encontrada, o segmento alvo é o segmento que contém essa palavra-chave.

A Figura 22 mostra outro exemplo do funcionamento do algoritmo. Neste caso, a expressão de pesquisa é “anel estrela utp”, pelo que o algoritmo determinará que o segmento que representa o conceito associado a estes três termos é o “x.camada_física”.

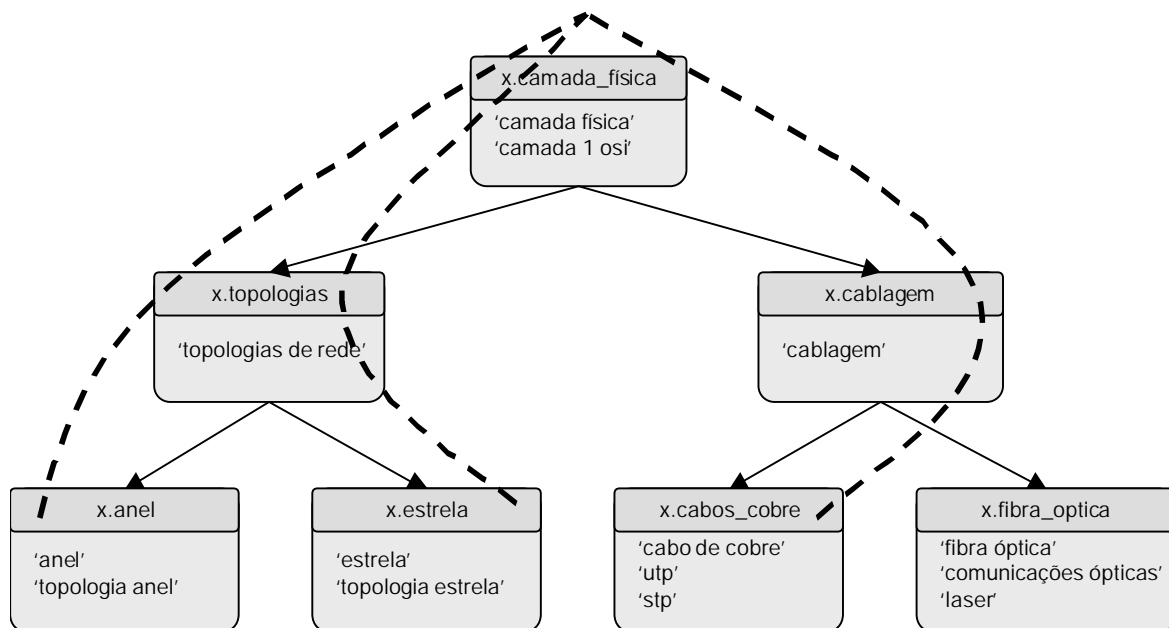


Figura 22 – Outro exemplo da aplicação do algoritmo de pesquisa

A Tabela 25 mostra, para a estrutura da Figura 22, qual será o segmento alvo em função da expressão de pesquisa.

Expressão de pesquisa	Segmento alvo
anel	x.anel
anel estrela	x.topologias
anel "cabo de cobre"	x.camada_fisica
estrela laser	x.camada_fisica
utp	x.cabos_cobre
utp laser	x.cablagem
utp "topologia anel"	x.camada_fisica
cablagem utp	x.cablagem
cablagem anel	x.camada_fisica
cablagem "topologias de rede"	x.camada_fisica

Tabela 25 – Exemplos de expressões de pesquisa e respectivos resultados

De salientar que o algoritmo é independente do número de termos e encontra sempre um segmento que engloba todos os termos que existam na ontologia. No limite será o segmento que é a raiz da ontologia.

Os exemplos anteriores consideram que os termos fazem todos parte da mesma ontologia, mas os termos podem estar distribuídos e até repetidos por várias ontologias. O algoritmo prevê essa situação, fazendo um processamento independente para cada ontologia diferente, localizando sempre um segmento alvo para cada uma das ontologias onde ocorra pelo menos um termo. No fundo, o que isto significa é que uma expressão de pesquisa pode devolver resultados para diversos contextos diferentes.

Após a localização do segmento alvo de cada ontologia, o algoritmo de pesquisa selecciona os objectos de aprendizagem que estão registados em cada um desses segmentos. Nesta fase podem ser feitas filtragens adicionais, usando os atributos LOM e os registos de

avaliação e certificação dos objectos de aprendizagem. Por exemplo, é possível solicitar uma pesquisa pela expressão <utp anel>, filtrando os resultados de modo a serem considerados apenas os objectos de aprendizagem no formato vídeo, em Português, certificados, e que tenham uma avaliação “muito alta” nos critérios “Rigor”, “Motivação” e “Interacção”.

A Tabela 26 mostra a lista de critérios de filtragem que usam os atributos de registo dos objectos de aprendizagem.

Critério	Modo de filtragem
Conformidade	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de conformidade, expresso de 1 a 5;
Rigor	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de rigor, expresso de 1 a 5;
Motivação	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de motivação, expresso de 1 a 5;
Interacção	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de interacção, expresso de 1 a 5;
Acessibilidade	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de acessibilidade, expresso de 1 a 5;
Reutilização	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de reutilização, expresso de 1 a 5;
Normalização	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo no critério de avaliação de normalização, expresso de 1 a 5;
Certificação	Só considera os objectos com certificação de registo;

Tabela 26 – Critérios de avaliação usados na filtragem

A Tabela 27 mostra a lista de critérios de filtragem que usam os atributos dos metadados LOM dos objectos de aprendizagem. A maior parte desses critérios fazem parte da categoria “*Educational*” da norma LOM. As outras categorias tornam-se praticamente irrelevantes, dado que a sua função passa a ser desempenhada em grande parte pelo próprio sistema de classificação.

Critério	Modo de filtragem
Idioma	Só considera os objectos que usem um determinado idioma principal para comunicar com os utilizadores;
Formato técnico	Só considera os objectos num determinado formato técnico, por exemplo “application/msword”;
Tipo de interactividade	Só considera os objectos com um determinado tipo de interactividade, por exemplo “activo”, “expositivo” ou “combinado”;
Nível de interactividade	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo de interactividade, numa escala de cinco níveis: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”;
Formato pedagógico	Só considera os objectos com um determinado formato pedagógico, como por exemplo “exercício”, “simulação”, “questionário”, “exposição”, “vídeo”, “animação”, etc.
Densidade semântica	Só considera os objectos com um determinado nível mínimo de grau de concisão, numa escala de cinco níveis: “muito baixo”, “baixo”, “médio”, “elevado” e “muito elevado”;

Critério	Modo de filtragem
Utilizadores	Só considera os objectos concebidos para um determinado perfil de utilizador, como por exemplo "aluno", "autor", "professor", "gestor";
Idade típica	Só considera os objectos concebidos para uma faixa etária, entre uma idade mínima e uma idade máxima;
Dificuldade	Só considera os objectos abaixo ou acima de uma determinada dificuldade, representada em cinco níveis: "muito baixa", "baixa", "média", "elevada" e "muito elevada";
Tempo de aprendizagem	Só considera os objectos em que o tempo típico de aprendizagem seja inferior a um determinado valor;
Custos	Só considera os objectos que não exigem pagamento para serem utilizados;

Tabela 27 – Critérios LOM usados na filtragem

3.3.6 Os serviços do modelo de classificação

Os vários serviços propostos têm em consideração as necessidades previstas dos sistemas de personalização, que incluem:

- Listagem das ontologias do sistema;
- Listagem dos segmentos de uma determinada ontologia, com os respectivos relacionamentos e restantes atributos;
- Obtenção dos metadados de um determinado segmento;
- Listagem dos objectos que fazem parte de um determinado segmento;
- Localização de segmentos a partir de palavras ou expressões-chave;
- Localização de objectos de aprendizagem a partir de palavras ou expressões-chave, com introdução opcional de critérios de filtragem;
- Pedido de registo de objectos de aprendizagem em segmentos;
- Determinação da distância semântica* entre determinados segmentos;
- Determinação da árvore de dependências* de um determinado segmento;

O modelo para o sistema de classificação foi concebido de raiz assumindo que o acesso aos seus vários serviços seja efectuado através da Internet, usando protocolos de comunicação comuns, como por exemplo o protocolo HTTP. A cada serviço corresponde uma mensagem e respectivos parâmetros, que poderão ser codificados e transmitidos de várias formas possíveis. A lista de mensagens propostas e respectivos parâmetros pode ser observada na Tabela 28.

* Este conceito será explicado no Capítulo 4

Mensagem	Ação	Parâmetros
LIST_ONTOLOGIES	Devolve a lista de ontologias do sistema	Nenhum
GET_SEGMENT	Retorna os metadados do segmento <segment>;	segment: designação do segmento;
GET_OBJECTS	Devolve a lista de objectos registados no segmento <segment>;	segment: designação do segmento;
SEARCH_SEGMENTS	Devolve a lista de segmentos alvo que correspondem à expressão de pesquisa <expression>	expression: expressão de pesquisa, que pode conter várias palavras ou frases chave;
SEARCH_OBJECTS	Devolve a lista de objectos de aprendizagem registados nos segmentos alvo que correspondem à expressão de pesquisa <expression>, filtrados de acordo com os critérios <criteria>	expression: expressão de pesquisa, que pode conter várias palavras ou frases chave; criteria: lista de critérios a que os objectos devem obedecer para serem considerados;
LIST_SEGMENTS	Devolve a lista de segmentos que faz parte da ontologia <ontology>	ontology: ontologia a listar;
GET_SEMANTIC_DISTANCE	Devolve a distância semântica entre <segment1> e <segment2>;	Segment1: segmento fonte; Segment2: segmento alvo;
GET_PRE_REQUISITES	Devolve a lista estruturada dos segmentos que são pré-requisitos do segmento <segment>;	segment: designação do segmento alvo;
REGISTER_OBJECT	Solicita à entidade gestora da ontologia que registre o objecto <object> no segmento <segment>;	object: localização dos metadados LOM (em XML) do objecto segment: designação do segmento pretendido;

Tabela 28 – Mensagens usadas para interagir com o sistema de classificação

A implementação prática deste modelo de interacção pode recorrer a diferentes tecnologias, desde que permitam codificar as mensagens e as respostas de acordo com a estrutura definida.

3.4 O protótipo implementado

Uma fase essencial deste trabalho foi a necessária validação dos conceitos teóricos do sistema de classificação, através do desenvolvimento e avaliação de um protótipo que permita demonstrar as potencialidades, defeitos e virtudes do modelo. O protótipo engloba apenas as funcionalidades básicas necessárias para validar os aspectos fundamentais do modelo e não deve ser entendido como uma aplicação completa.

As estruturas, conceitos e algoritmos do modelo podem materializar-se de diversas formas, usando as mais diversas tecnologias. No caso do protótipo desenvolvido, foram usadas três tecnologias chave para esta materialização:

- Bases de dados relacionais para gerir os dados das estruturas de metadados e seus registos. Esta escolha foi feita considerando a forma estruturada como estes sistemas gerem os dados, a simplicidade de acesso aos dados e o potencial de pesquisa que a linguagem SQL permite;
- Linguagem XML nas transferências através da Internet. A grande vantagem desta tecnologia, no âmbito deste protótipo, prende-se com a sua adequação natural para a representação de metadados, aliada ao seu potencial de promoção de interoperabilidade entre sistemas diferentes. Será assim possível que sistemas completamente díspares possam comunicar facilmente com o sistema de classificação;
- Linguagem PHP para a implementação dos algoritmos do modelo. A escolha desta linguagem teve como fundamentos o facto de ser gratuita e a facilidade com que lida com a criação de páginas HTML dinâmicas, documentos XML, acesso a bases de dados e processamento de pedidos HTTP. No entanto, os algoritmos do modelo poderão ser implementados noutras linguagens de programação.

Para a implementação dos protótipos foi tomada a decisão de usar, sempre que fosse possível, tecnologias gratuitas e abertas, desde que não existissem desvantagens relativamente a produtos comerciais, com uma excepção: o sistema de base de dados usado na fase de desenvolvimento foi o Microsoft Access, em parte devido à facilidade de edição das estruturas das tabelas. No entanto, na fase de testes foi usado o gestor de bases de dados relacionais MySQL. A Tabela 29 resume as principais tecnologias usadas na construção do protótipo de sistema de classificação.

Servidor HTTP	Apache 2.0.53
Sistema operativo	Windows XP Professional
Linguagem de programação	PHP 5.0
Servidor de bases de dados	Microsoft Access 2000 / MySQL 5.0 beta

Tabela 29 – Tecnologias usadas na construção do protótipo de sistema de classificação

3.4.1 Componentes principais do protótipo

A Figura 23 mostra o diagrama UML de componentes do protótipo implementado. O protótipo é suportado por quatro bases de dados relacionais que armazenam toda a informação relacionada com o sistema de classificação.

Tal como pode ser observado no diagrama, a interação com as bases de dados é feita através da norma ODBC. A grande vantagem desta estratégia é a possibilidade de mudar a tecnologia do servidor de base de dados sem que isso exija alterações nos restantes módulos.

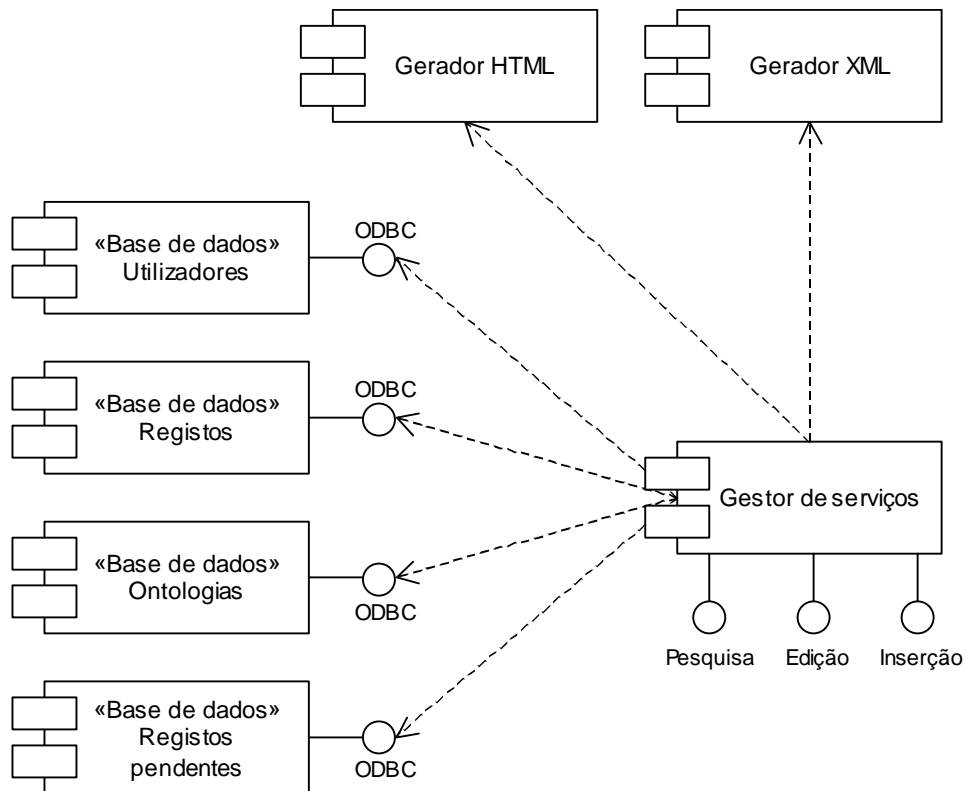


Figura 23 – Modelo de componentes do protótipo

A base de dados mais importante do sistema é a que gere os metadados das ontologias, porque a representação de conhecimento baseia-se totalmente nestas estruturas. As estruturas de metadados são codificadas sob a forma de tabelas, relacionadas de forma a manter a coerência dos dados. A Figura 24 mostra a estrutura dessas tabelas.

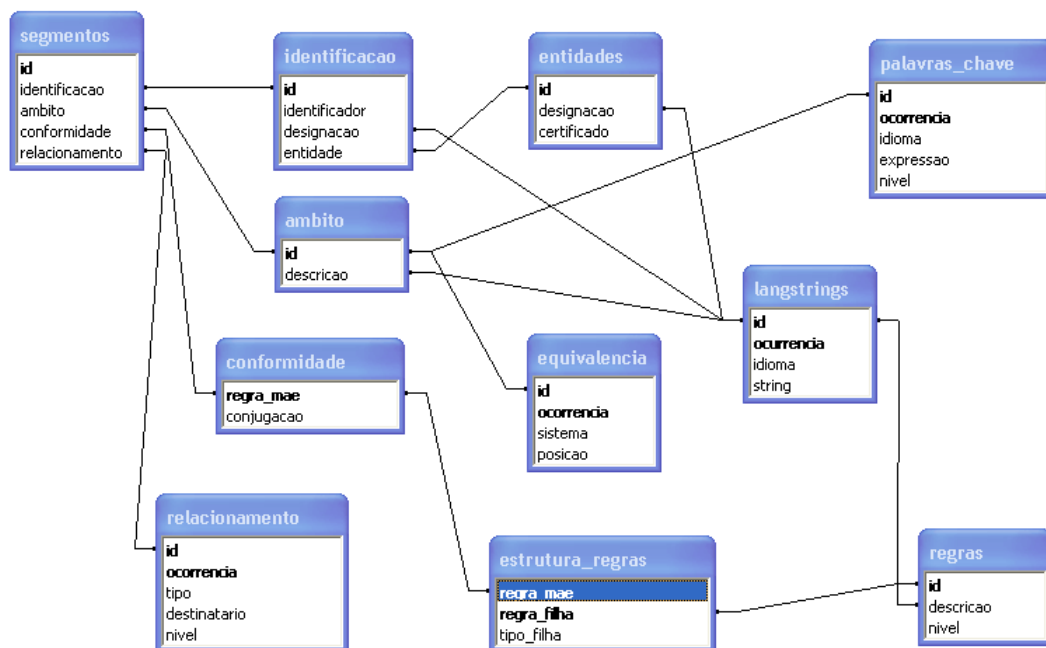


Figura 24 – Tabelas e relacionamentos da base de dados de ontologias

Uma outra base de dados armazena os registos aprovados de objectos de aprendizagem em segmentos do sistema, juntamente com a respectiva avaliação. Esta base de dados é extremamente simples e consiste numa única tabela que relaciona objectos de aprendizagem com segmentos, com campos adicionais que permitem codificar a avaliação nos diversos critérios de qualidade referidos na secção 3.3.3. Um objecto de aprendizagem pode ser registado simultaneamente em vários segmentos.

As outras duas bases de dados não estão ligadas directamente ao modelo do sistema de classificação, mas são necessárias para o funcionamento do protótipo. A primeira, denominada “registos pendentes” armazena temporariamente os pedidos de registo de objectos de aprendizagem, até a entidade correspondente os processar. Quando um autor ou editor de um objecto de aprendizagem o submete ao sistema de classificação para registo, é para esta base de dados que o pedido segue.

Finalmente, a base de dados “utilizadores” armazena as informações sobre as entidades e utilizadores com privilégios de administração do sistema. Essas entidades são referenciadas nos próprios metadados dos segmentos, uma vez que cada segmento tem que possuir obrigatoriamente uma entidade responsável pela sua gestão. Existem dois tipos de utilizadores: administradores informáticos e gestores de segmentos. Os primeiros têm liberdade total para gerir todos os aspectos do sistema, incluindo criar novas ontologias. Os segundos só podem actuar no âmbito da gestão das ontologias que lhes estão associadas, tendo permissão para criar, apagar e editar segmentos dessas ontologias. Compete-lhes também processar os pedidos de registo relacionados com os segmentos sob a sua gestão.

3.4.2 Processamento dos pedidos

Existem várias razões que levaram à escolha da tecnologia HTTP para a comunicação entre as aplicações cliente e o sistema de classificação, das quais se destacam a disponibilidade de clientes e servidores gratuitos e abertos, a grande maturidade do protocolo e a disponibilidade geral de acesso por HTTP, mesmo em ambientes protegidos por sistemas de segurança informática.

Uma das tecnologias de eleição para a comunicação entre aplicações através da Internet, que pode usar o protocolo HTTP, é a tecnologia *Web Services* [W3C-WS, 2005]. O protótipo poderia ser desenvolvido usando esta tecnologia, mas foi preterida relativamente a métodos mais simples e mais rápidos de desenvolver. Como o objectivo fundamental do protótipo é validar o modelo, independentemente das tecnologias e ferramentas utilizadas, esta questão não é muito relevante.

A metodologia seleccionada para a comunicação entre as aplicações clientes e o sistema de classificação recorre directamente ao protocolo HTTP. Os pedidos são realizados através dos métodos HTTP GET ou HTTP POST, que permitem embutir facilmente os parâmetros de cada mensagem. Por exemplo, a mensagem a solicitar os metadados em XML do segmento “estcb_redes.topologias” pode ser codificada através do método HTTP GET assim: http://sek.ipcb.pt/get_segment_xml.php?segment=estcb_redes.topologias. As respostas do sistema de classificação são codificadas em XML, usando um esquema bem definido para cada tipo de resposta.

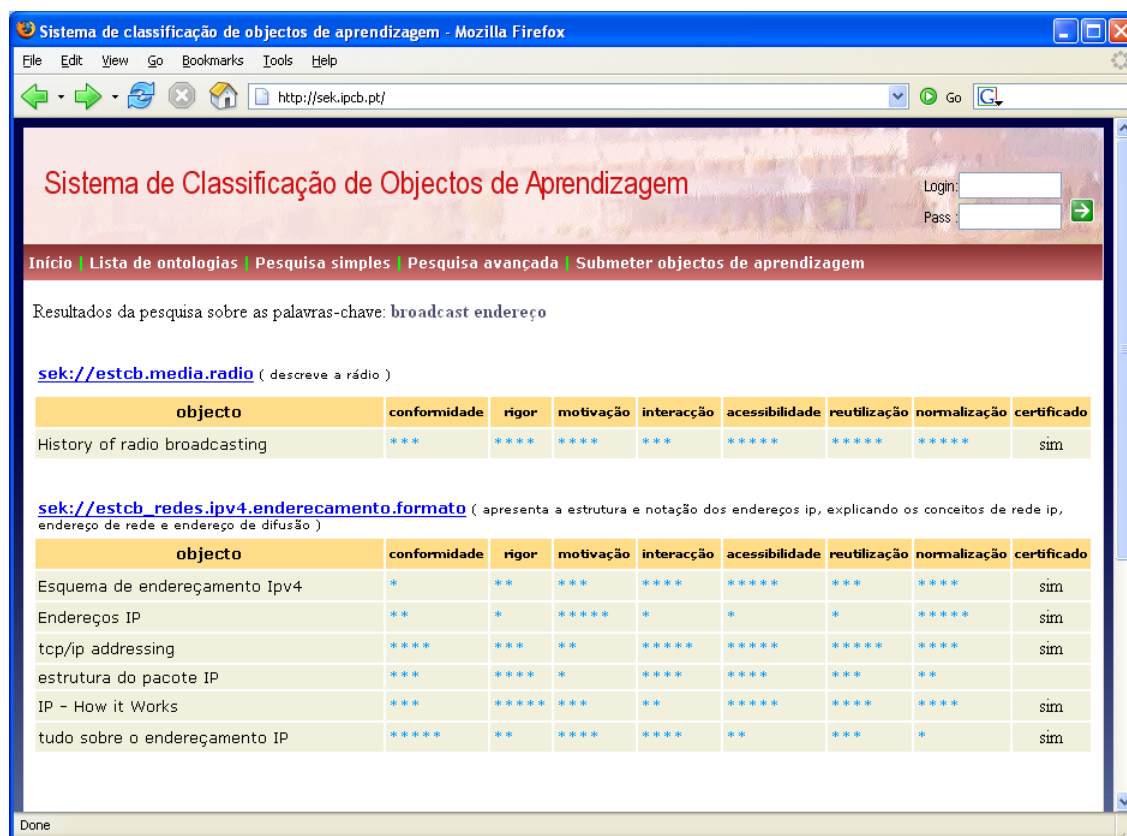


Figura 25 – Interface gráfica do protótipo do sistema de classificação

Cada mensagem da Tabela 28 tem duas variantes: a versão XML e a versão HTML. A variante XML é usada para comunicação com aplicações clientes. A versão HTML devolve as respostas em formato HTML, pronto a ser interpretado por utilizadores humanos. O formato dos pedidos baseia-se no nome das mensagens da Tabela 28, com o sufixo “_XML” ou “_HTML” para obter, respectivamente, uma ou a outra versão da resposta. Por exemplo, para obter os metadados de um determinado segmento no formato XML, o pedido a enviar ao sistema é “GET_SEGMENT_XML” enquanto que para obter esses mesmos dados numa página HTML, o pedido será “GET_SEGMENT_HTML”.

Cada tipo de pedido corresponde a um módulo PHP específico. Na maior parte dos casos todo o processamento é feito na versão XML do pedido e a versão HTML do pedido limita-se a invocar a versão XML e transformar o resultado numa página HTML, formatada de forma a mostrar a informação de forma coerente e intuitiva.

A versão HTML concentra-se na informação relevante para utilizadores humanos, pelo que é frequente omitir alguns campos presentes na resposta XML, substituindo-os por informação mais útil para os utilizadores. Na maior parte das vezes, estes campos são substituídos por informação correspondente, retirada dos metadados LOM dos objectos de aprendizagem. A Figura 25 mostra um exemplo do aspecto da interface gráfica HTML do sistema de classificação. Neste caso específico, é mostrado o resultado da pesquisa simples de objectos de aprendizagem, usando a expressão de pesquisa “broadcast endereço”.

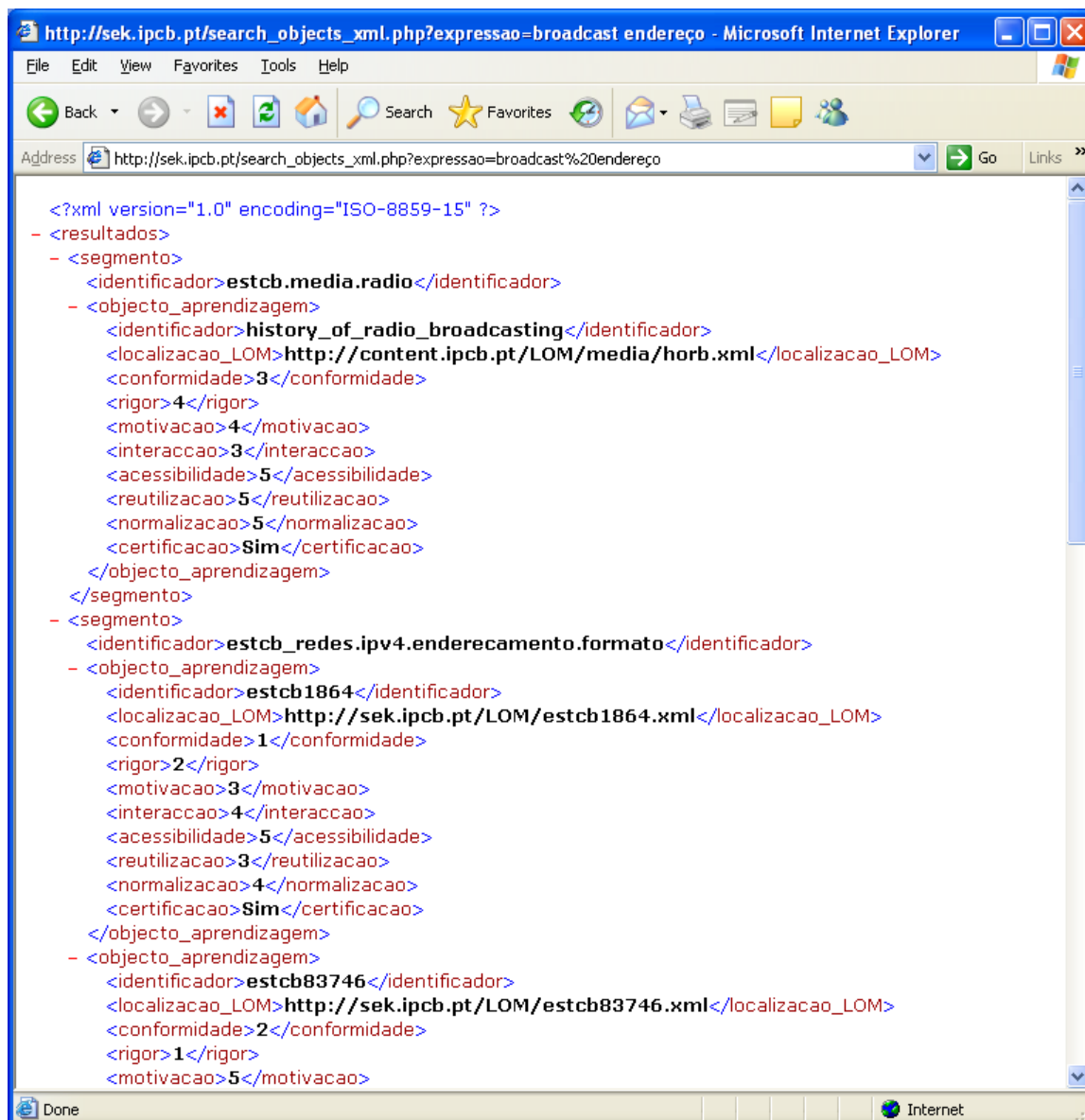


Figura 26 – Resultado do pedido de pesquisa de objectos em XML

Neste caso particular, perante a expressão de pesquisa <broadcast endereço>, o sistema mostra os dois segmentos que foram encontrados, as respectivas listas de objectos registados em cada um e os resultados da avaliação de cada objecto.

O mesmo pedido, mas solicitando agora que os resultados sejam devolvidos em XML, origina a resposta que pode ser observada na Figura 26. Foi usada a aplicação *Microsoft Internet Explorer* para fazer o pedido, devido à sua capacidade de visualização directa de documentos XML. A informação sobre cada objecto de aprendizagem é basicamente a que está armazenada na base de dados de registos aprovados, codificada em XML.

De salientar que a versão HTML desta mensagem apresenta algumas diferenças no que respeita aos atributos de cada objecto de aprendizagem que são visualizados. De facto, tanto o identificador do objecto como a localização dos seus metadados LOM não possuem significado relevante para os utilizadores, na medida em que são atributos técnicos. Em

alternativa, é apresentado o título do objecto com uma hiperligação para a sua localização física. Estes dados são obtidos através do acesso aos metadados LOM do objecto, designadamente aos campos <General.Title> e <Technical.Location>.

3.5 Avaliação do protótipo

Após o protótipo ter atingido um nível de estabilidade e funcionalidade suficientes, foram efectuados testes de modo a verificar o funcionamento do modelo conceptual do sistema de classificação. Os vários cenários de testes foram concebidos de forma a poderem validar cada um dos requisitos do sistema enumerados na secção 3.3.1.



Figura 27 –Estrutura de segmentos da ontologia <estcb_redes.ipv4.enderecamento>

Foram inseridas algumas ontologias no sistema de classificação, de modo a permitir testar algumas características específicas do sistema. No entanto, o objectivo não foi a concepção

de ontologias completas e rigorosas, mas apenas das partes necessárias para a simulação de cenários hipotéticos que permitam validar o modelo conceptual do sistema de classificação.

Uma das ontologias desenvolvidas na área de redes de computadores abrange as questões relacionadas com o esquema de endereçamento do protocolo IP versão 4. A sua estrutura em termos de relacionamentos de incorporação pode ser observada na Figura 27.

A Figura 28 mostra um exemplo dos atributos definidos para um dos segmentos da ontologia, retirado através da interface gráfica HTML do sistema de classificação.

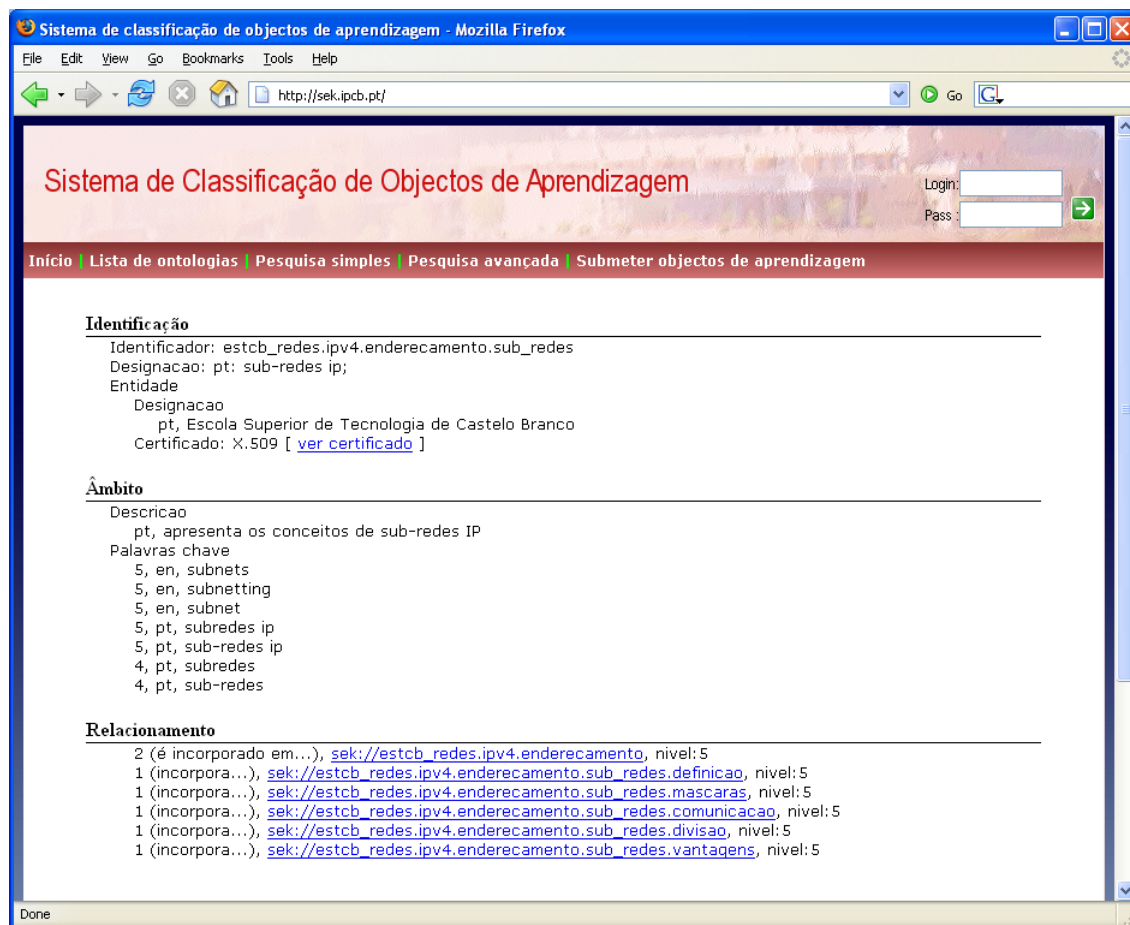


Figura 28 – Atributos do segmento <estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes>

Um dos requisitos fundamentais do sistema, que representa uma das suas principais vantagens sobre os sistemas tradicionais de classificação, é a possibilidade de este indicar quais os objectos de aprendizagem que estão registados numa determinada área da estrutura de representação do conhecimento. Para obter essa lista é usado o serviço associado à mensagem <GET_OBJECTS>, tendo como parâmetro o identificador do segmento a listar. Foram realizados vários testes que confirmam o funcionamento deste serviço tal como previsto. A Figura 29 mostra o resultado da versão HTML do serviço, quando solicitado a mostrar a lista de objectos registados no segmento <estcb_redes.ipv4.enderecamento>.

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
o endereçamento IP	***	**	***	*****	***	**	****	sim
understanding IPv4 addressing schema	****	***	****	*****	****	****	****	sim
curso IP: capítulo 3, endereçamento	*****	****	***	*****	*****	****	***	sim

Figura 29 – Exemplo com a lista de objectos de aprendizagem registados num segmento

Outro requisito do sistema é que este tenha a capacidade de localizar eficazmente objectos de aprendizagem através de expressões chave, independentemente dos seus conteúdos ou idioma. Como já foi referido, a estratégia de pesquisa do sistema baseia-se nas palavras-chave associadas aos diversos segmentos e aos seus interrelacionamentos. Um teste simples a esta estratégia, considerando as características do segmento <estcb_redes.ipv4.endereçamento.sub_redes > mostradas na Figura 28, consiste na realização de duas pesquisas de objectos de aprendizagem, usando palavras-chave em dois idiomas diferentes. Neste caso, foram usadas as palavras-chave “sub-redes” e “subnetting”. O teste foi realizado e como era esperado ambas as pesquisas identificaram o mesmo segmento alvo e apresentaram os mesmos objectos de aprendizagem.

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: sub-redes

[sek://estcb_redes.ipv4.endereçamento.sub_redes](#) (apresenta os conceitos de sub-redes IP)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
sub-redes IP	****	****	*****	****	****	*****	***	sim
subnetting IP networks	***	****	*****	*****	*****	*****	**	sim

Figura 30 – Resultado da pesquisa usando a expressão “sub-redes”

A Figura 30 mostra o resultado real capturado da interface gráfica do sistema de classificação da pesquisa pela expressão em Português. A Figura 31 mostra o mesmo resultado quando foi usada a expressão em Inglês. Foram efectuados dezenas de testes similares que comprovaram que o sistema funciona como previsto, sendo completamente indiferente ao idioma usado na expressão de pesquisa.

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: subnetting

[sek://estcb_redes.ipv4.endereçamento.sub_redes](#) (apresenta os conceitos de sub-redes IP)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
sub-redes IP	****	****	*****	****	****	*****	***	sim
subnetting IP networks	***	****	*****	*****	*****	*****	**	sim

Figura 31 – Resultado da pesquisa usando a expressão “subnetting”

Os exemplos anteriores são muito simples e usam apenas uma palavra-chave em dois idiomas diferentes para demonstrar a capacidade do sistema para localizar objectos de aprendizagem através das palavras-chave dos segmentos, independentemente do seu conteúdo ou idioma. Cenários mais complexos incluem a utilização de expressões com várias palavras-chave, que podem não pertencer ao mesmo segmento. Neste caso é aplicada a estratégia definida na secção 3.3.5, que estima o segmento que melhor se adequa a essa expressão de pesquisa.

Foram efectuados vários testes usando termos pertencentes a dois, três e quatro segmentos diferentes da ontologia e os resultados comprovam o funcionamento do algoritmo como previsto, sendo seleccionado como segmento alvo aquele que incorpora os segmentos associados aos vários termos usados na pesquisa.

A Figura 32 mostra o resultado de um desses testes, que incide igualmente sobre a ontologia da Figura 27. A expressão de pesquisa inclui dois termos diferentes: “classe a” e “255.255.255.0”. O primeiro termo faz parte da lista de expressões chave do segmento < estcb_redes.ipv4.enderecamento.classes.classe_a > e o segundo integra a lista de expressões chave do segmento < estcb_redes.ipv4.enderecamento.classes.classe_c >. Como pode ser observado na figura, o sistema decidiu que o segmento alvo desta pesquisa é o < estcb_redes.ipv4.enderecamento.classes >, o que, tendo em consideração a estrutura desta ontologia, está de acordo com o comportamento previsto para este serviço.

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: "classe a" 255.255.255.0

[sek://estcb_redes.ipv4.enderecamento.classes](#) (apresenta os conceitos de classes de redes)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
curso IP: capítulo 4, classes de redes	***	****	**	****	***	****	****	sim
network classes	****	****	****	****	****	**	****	sim

Figura 32 – Resultado da pesquisa por termos de segmentos diferentes

A Figura 33 mostra o resultado da pesquisa sobre uma expressão que contém três termos pertencentes a três segmentos diferentes:

- <estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes.mascaras.notacao>
- <estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes.definicao>
- <estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes.divisao>

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: netmask sub-rede "divisão em sub-redes"

[sek://estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes](#) (apresenta os conceitos de sub-redes IP)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
sub-redes IP	****	****	****	****	****	****	**	sim
subnetting IP networks	**	****	****	****	****	****	**	sim

Figura 33 – Outro exemplo da pesquisa por termos de segmentos diferentes

Mais uma vez, o teste comprovou o funcionamento do serviço de acordo com a estratégia de pesquisa adoptada, seleccionando o segmento que incorpora os segmentos associados aos termos de pesquisa.

Outra situação mais complexa ocorre quando uma determinada expressão chave existe em mais que uma ontologia. Neste caso, o sistema executa a estratégia de pesquisa em cada uma das ontologias onde foram localizados os termos da pesquisa, seleccionando um segmento alvo em cada uma dessas ontologias. Para realizar este teste foram introduzidas no sistema novas ontologias, com segmentos que usam palavras-chave já existentes na ontologia da Figura 27. A Figura 34 mostra o resultado da pesquisa pela palavra-chave “difusão”, que também aparece numa ontologia de química entretanto criada.

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: difusão

[sek://estcb_redes.ipv4.enderecamento.formato.difusao](#) (mostra o mecanismo de difusão de pacotes ip e explica o papel do endereço de difusão)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
broadcasting in IP networks	***	*****	*****	*****	****	*****	*****	sim
o papel do endereço de difusão	*****	****	*****	****	***	*****	*****	

[sek://estcb_quimica.transporte_materia.difusao](#) (apresenta o transporte de matéria através de difusão)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
o transporte através de difusão molecular	**	*****	***	*****	***	***	*****	sim

Figura 34 – Resultado da pesquisa por termos de ontologias diferentes

A Figura 35 ilustra outro exemplo em que o termo de pesquisa existe em segmentos de ontologias diferentes. Competirá ao solicitador da pesquisa seleccionar o segmento mais apropriado à utilização pretendida. De salientar que este solicitador pode ser um utilizador ou um agente informático. Obviamente, neste último caso as respostas aos pedidos são enviadas em XML.

Início | Lista de ontologias | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Submeter objectos de aprendizagem

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: máscara

[sek://estcb_redes.ipv4.enderecamento.sub_redes.mascaras.notacao](#) (explica a notação das máscaras de sub-rede)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
máscaras de sub-rede	****	****	****	***	*****	*****	*****	sim

[sek://cultura_portuguesa.festas_tradicionais.carnaval](#) (descreve a origem do carnaval e analisa a sua influência na cultura Portuguesa)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
história do carnaval Português	****	****	*****	***	****	*****	***	sim

Figura 35 – Outro exemplo da pesquisa por termos de ontologias diferentes

A existência do mesmo termo em ontologias diferentes corresponderá, na maior parte dos casos, a situações em que um determinado termo tem significados diferentes, conforme o contexto em que é usado, que neste caso é representado pela própria ontologia. Por exemplo, no caso anterior, a palavra “máscara” é a mesma nas duas ontologias, mas

assume significados bem diferentes em cada uma delas. A ontologia assume assim um papel importante na contextualização das pesquisas.

Outro requisito do sistema refere que este deve permitir localizar segmentos que possuam um determinado relacionamento com um segmento fonte. O sistema proporciona esta funcionalidade através da mensagem < GET_SEGMENT >, que devolve os metadados do segmento fonte, incluindo todos os seus relacionamentos. Desta forma, a aplicação cliente pode seleccionar os relacionamentos relevantes para um determinado objectivo. A Figura 36 mostra um exemplo que evidencia a secção dos metadados que representa os relacionamentos.

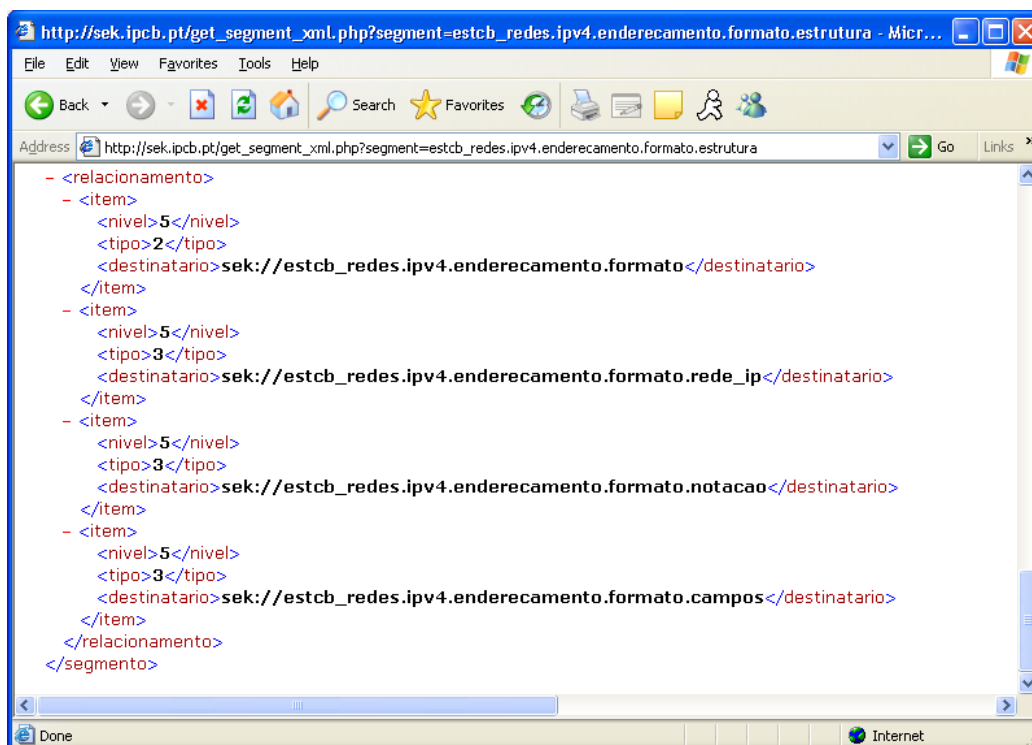


Figura 36 – Pormenor dos metadados dos relacionamentos de um segmento

Os serviços de determinação da distância semântica entre segmentos e determinação da árvore de dependências de um segmento serão explicados no próximo capítulo.

3.6 Conclusões

O modelo proposto para a classificação de objectos de aprendizagem permite criar sistemas capazes de obter facilmente a lista de objectos sobre um determinado assunto, listando directamente todos os objectos que fazem parte de um determinado segmento ou pesquisando-os através de palavras ou expressões chave.

Além da informação normalizada prestada pelos metadados LOM, as aplicações clientes podem também obter o resultado da avaliação qualitativa de cada objecto, realizada pela entidade responsável pela gestão do segmento. Essa avaliação incide sobre uma série de factores relevantes que incluem o nível de conformidade com as regras do segmento, veracidade, rigor e detalhe dos conteúdos, facilidade de interacção, capacidade de motivar

e estimular, facilidade de reutilização e potencial para ser usado por utilizadores com necessidades especiais.

O problema da fidelidade e precisão dos metadados dos objectos deixa assim de fazer sentido, na medida em que esta avaliação será feita por entidades independentes, através de painéis de especialistas nas várias matérias. Este método de revisão pelos pares, largamente usado pela comunidade científica, tem a vantagem de garantir aos utilizadores dos objectos de aprendizagem o seu rigor, veracidade e qualidade, ao mesmo tempo que filtra os conteúdos que não possuam um mínimo de qualidade para poderem ser usados no contexto das respectivas ontologias.

Outra vantagem deste modelo é a de permitir estabelecer relacionamentos indirectos entre objectos, através dos segmentos onde eles estão registados. Esta abordagem permite relacionar objectos de aprendizagem que não se conhecem previamente, aumentando assim o seu potencial de reutilização em unidades de mais alto nível, compostas por objectos de origens independentes.

Por exemplo, suponhamos que um determinado segmento de uma ontologia de física está relacionado com um segmento específico de uma ontologia de matemática, através do relacionamento “tem como pré-requisito...”. Na prática este relacionamento significa que, para compreender os conceitos abrangidos pelo segmento da ontologia de física, é necessário primeiro adquirir as competências do segmento da ontologia de matemática. Mesmo que os objectos de aprendizagem registados em cada um dos segmentos tenham sido desenvolvidos independentemente, por entidades diferentes, com objectivos diferentes, para contextos diferentes, sem qualquer conhecimento um do outro, será sempre possível recombiná-los de forma coerente através dos relacionamentos entre as ontologias. Esta é a grande vantagem de exprimir os relacionamentos no sistema de classificação e não nos metadados LOM dos objectos.

O sistema oferece também a possibilidade de ser usado como base para a criação de contextos específicos de utilização de objectos de aprendizagem que exijam a sua certificação, no sentido de garantir que estes são realmente adequados a essa utilização particular. Cada objecto é avaliado pela entidade responsável pela gestão de cada segmento e a sua aprovação para registo no segmento implica automaticamente a sua adequação ao contexto representado pela ontologia. Por uma questão de segurança, a avaliação do registo pode ser assinada digitalmente pela entidade avaliadora, o que garante a integridade e autenticidade dessa avaliação.

Os criadores de conteúdos que pretendam certificar os seus objectos para uma determinada utilização, podem saber facilmente quais os requisitos para a certificação, graças ao suporte do modelo à publicação de informação detalhada sobre as características que os objectos devem possuir para poderem ser registados em cada um dos segmentos da ontologia. O sistema modela essas características através de um conjunto de regras e operadores lógicos que permitem representar requisitos complexos.

Esta característica do sistema tem potencial para promover a representação de programas curriculares normalizados. Por exemplo, seria possível ao Ministério da Educação criar

ontologias para representar os programas curriculares de disciplinas do ensino secundário, estabelecendo regras bem definidas para cada segmento. Desta forma, seria possível definir claramente as características pretendidas para os conteúdos, simplificando o seu processo de concepção, avaliação e certificação.

Uma outra vertente do sistema é a sua capacidade para servir de referência à representação de conhecimento em sistemas externos. Uma das utilizações possíveis será a codificação do conhecimento adquirido por formandos. Por exemplo, no ensino superior os alunos são geralmente avaliados com recurso a vários métodos, que têm a capacidade de estimar as dificuldades e competências de cada aluno. No entanto, na maior parte das situações só fica registada a sua classificação final e parte da informação da avaliação é perdida, incluindo preciosos detalhes sobre as dificuldades específicas do aluno.

Usando este sistema como referência, será no entanto possível manter registos detalhados sobre as competências e dificuldades do aluno relativamente a fragmentos do programa curricular da unidade curricular. Quanto mais refinada for a ontologia maior a precisão com que se pode codificar a avaliação do aluno. Se forem usados métodos de avaliação baseados em eAprendizagem, como por exemplo testes de escolha múltipla baseados na Internet, esta avaliação segmentada é facilmente implementada de forma automática, uma vez que é possível associar cada questão a um determinado segmento da ontologia. No entanto, no caso de avaliações orais ou escritas tradicionais, o trabalho metódico que os avaliadores teriam que encetar para discriminar a avaliação de acordo com a estrutura ontológica da disciplina, limita este tipo de aplicação.

Concluindo, embora sejam necessários testes mais aprofundados, com um universo mais vasto de segmentos e objectos de aprendizagem, o protótipo funciona como previsto e validou o modelo proposto.

4 eAprendizagem personalizada

No capítulo anterior foi apresentada uma proposta de um sistema de classificação que permite caracterizar o âmbito, qualidade e conformidade de objectos de aprendizagem, representando-os numa rede de conceitos interrelacionados. Este capítulo apresenta modelos para personalização de serviços de eAprendizagem, que combinam os serviços do sistema de classificação com perfis individuais de formandos para gerar dinamicamente experiências personalizadas de eAprendizagem. O conteúdo deste capítulo reflecte-se parcialmente no artigo [Santos & Ramos, 2006].

4.1 Introdução

Tradicionalmente, os sistemas de pesquisa de conteúdos de eAprendizagem elaboram os resultados das pesquisas apenas em função do objectivo de formação. Esse objectivo é introduzido no sistema de pesquisa através de palavras-chave ou opções, em múltiplas dimensões dos metadados LOM. Um bom exemplo desta abordagem é a pesquisa avançada do sistema ARIADNE, cuja interface está ilustrada na Figura 6. Esta metodologia concentra-se nas características intrínsecas dos conteúdos, ignorando as informações individuais dos utilizadores, como por exemplo o contexto particular onde se insere a aprendizagem, as capacidades e dificuldades individuais, os objectivos particulares de aprendizagem, a experiência anterior do formando, em suma, o seu perfil individual. Desta forma, dois utilizadores com perfis totalmente diferentes, em contextos distintos, obterão exactamente o mesmo resultado se usarem os mesmos parâmetros de pesquisa.

Esta abordagem deriva em parte da concepção tradicionalista da aprendizagem, em que os formandos são agrupados por uma característica comum, por exemplo a idade, sendo depois sujeitos a um processo normalizado de ensino. No entanto, a tentativa de normalização do processo de aprendizagem colide com a natureza heterogénea do ser humano. De facto, foi demonstrado que mesmo em turmas com formandos seleccionados, uma das características individuais mais importantes do processo de ensino/aprendizagem, a velocidade de aprendizagem, pode variar por factores de três a sete [Gettinger, 1984]. Perante este facto, não pode ser considerada inesperada a conclusão de que os formandos adoptam uma atitude mais activa e obtêm melhores resultados quando participam em processos personalizados de aprendizagem adaptados às suas características individuais [Bloom, 1984; Graesser *et al*, 1994].

Estas conclusões sugerem que, para melhorar a eficiência do processo de ensino/aprendizagem deve substituir-se a visão normalizadora por um novo paradigma em que o processo é modelado à medida das necessidades e capacidades individuais de cada formando [Sizer, 1999; Tomlinson, 1995; Tomlinson, 1999; Reis *et al*, 1998]. Infelizmente, a utilização de estratégias de ensino personalizado envolvendo tutores individuais é normalmente demasiado onerosa para poder ser usada em larga escala. No entanto, as tecnologias de informação e comunicação podem contribuir para resolver este problema, suportando serviços personalizados de aprendizagem a baixo custo, adaptados aos objectivos, ritmo, dificuldades, interesses e estilos de aprendizagem de cada formando [Fletcher, 2003].

Os sistemas de pesquisa de conteúdos devem também contribuir para a criação de experiências personalizadas de eAprendizagem, incluindo funcionalidades que permitam adaptar os resultados das pesquisas às características individuais dos utilizadores. O objectivo deste capítulo é demonstrar que é possível conceber estas funcionalidades de personalização, combinando os serviços do sistema de classificação com perfis individuais de utilizadores. São propostas três funcionalidades de personalização distintas, sob a forma de três serviços, que demonstram a importância do sistema de classificação para a criação de serviços personalizados.

O primeiro serviço proposto, intitulado “pesquisa personalizada”, deverá estimar a relevância relativa dos objectos de aprendizagem em função do perfil individual de cada utilizador. Consequentemente, utilizadores com perfis diferentes poderão obter resultados diferentes para a mesma expressão de pesquisa, sendo realçados os objectos de aprendizagem considerados mais relevantes para cada utilizador. No limite, alguns objectos de aprendizagem podem mesmo ser eliminados da lista de resultados, por serem considerados totalmente incompatíveis com o perfil do utilizador. Isto pode ocorrer quando por exemplo o utilizador não é proficiente no idioma dos objectos de aprendizagem ou não possui os dispositivos ou aplicações necessárias para os utilizar.

Este serviço deve também ser sensível ao contexto de aprendizagem e considerar as experiências passadas dos utilizadores de modo a resolver eventuais ambiguidades sintácticas nas expressões de pesquisa. Por exemplo, deve reagir de forma diferente perante o pedido de localização de objectos de aprendizagem sobre o tema “gravidade”, de acordo com o contexto de aprendizagem e/ou o perfil do formando. A um aluno do 2º ciclo, serão eventualmente sugeridos objectos de aprendizagem que relatam a história de Newton e da maçã ou objectos similares com noções básicas sobre a gravidade. No entanto, a um aluno do ensino superior na área da engenharia deverão eventualmente ser apresentados objectos com noções mais avançadas da gravidade, como por exemplo a teoria da relatividade geral de Einstein. Por outro lado, a um aluno das áreas da saúde, deverão ser eventualmente sugeridos objectos sobre a classificação da gravidade de lesões.

O segundo serviço proposto, chamado “aconselhamento personalizado”, permitirá sugerir automaticamente listas de objectos de aprendizagem auxiliares, que permitam rever assuntos relevantes para a compreensão de um determinado objectivo de aprendizagem. A ideia fundamental é que, perante um determinado objectivo de formação, o perfil do

formando deve ser comparado com os conhecimentos prévios que são necessários para compreender os conceitos fundamentais da formação que foi solicitada. Esses pré-requisitos estarão em princípio bem definidos no sistema de classificação, através dos relacionamentos “tem como pré-requisito...”. Se no perfil do formando forem detectadas lacunas ou dificuldades nesses conhecimentos prévios, deverá ser sugerida ao formando uma lista de objectos que possam melhorar os seus conhecimentos nesses conceitos prévios, de forma a que este possa tirar todo o partido dos conteúdos da formação principal. Por exemplo, na área de redes de computadores, se um aluno tiver dificuldades registadas no assunto “máscaras de sub-rede”, ao tentar localizar objectos de aprendizagem sobre protocolos de encaminhamento IP, deve receber automaticamente a sugestão de utilização prévia de objectos sobre o primeiro assunto.

Finalmente, o terceiro serviço proposto, que é também o mais complexo, permitirá a criação automática, a pedido, de cursos de alto nível através da agregação dinâmica de objectos de aprendizagem de baixo nível, à medida do perfil e necessidades individuais dos utilizadores. A ideia fundamental é tentar solucionar o problema que surge quando não existe um objecto de aprendizagem que abranja o conhecimento que o formando pretende adquirir compatível com o seu perfil individual. Esta situação pode ocorrer quando simplesmente não existe nenhum objecto sobre o tema pretendido, ou então ele existe mas não é compatível com o perfil de aprendizagem do aluno. Uma situação típica será a existência de conteúdos sobre o tema pretendido, mas escritos num idioma em que o aluno não é fluente. Nestes casos, o serviço deverá ter a capacidade de seleccionar, agregar e sequenciar de forma coerente objectos de aprendizagem independentes, mesmo que eles não tenham sido concebidos para este fim e tenham origens e características heterogéneas. A maximização da coerência global do curso de alto nível, mantendo simultaneamente a capacidade de personalização à medida do perfil do formando é um dos principais desafios deste serviço.

Em seguida são apresentados os conceitos e propostos os modelos que permitem a concepção destes serviços, capazes de disponibilizar conteúdos personalizados à medida das necessidades individuais de cada formando.

4.2 O modelo de personalização

4.2.1 Estrutura de base do modelo de personalização

O princípio fundamental do modelo proposto neste capítulo assume que a pesquisa e localização de objectos de aprendizagem deve considerar, não só o objectivo de formação, mas também o perfil individual do utilizador e o contexto de formação. Para cumprir este desígnio, o modelo integra o sistema de classificação, os perfis dos utilizadores e as caracterizações LOM dos objectos de aprendizagem. O diagrama UML de componentes da Figura 37 ilustra os principais elementos do modelo proposto.

O diagrama realça o papel de quatro componentes bem distintos. O principal componente é o módulo de serviços de personalização, que contém os algoritmos que permitem gerar as experiências individualizadas de eAprendizagem. Para atingir este objectivo, este módulo

necessita de adquirir os dados relevantes para cada caso, que são obtidos usando os serviços dos outros módulos do modelo. A comunicação entre os módulos é feita através da Internet, usando mensagens e formatos especificamente definidos para este modelo.

O sistema de classificação tem um papel fundamental no modelo, fornecendo as estruturas semânticas de assuntos e os relacionamentos relevantes para este tipo de aplicação, como por exemplo os relacionamentos do tipo “pré-requisito” entre segmentos. Fornece também os serviços de localização de objectos sobre um determinado tema, com determinados atributos LOM, bem como os resultados da avaliação feita pela entidade que registou os objectos de aprendizagem.

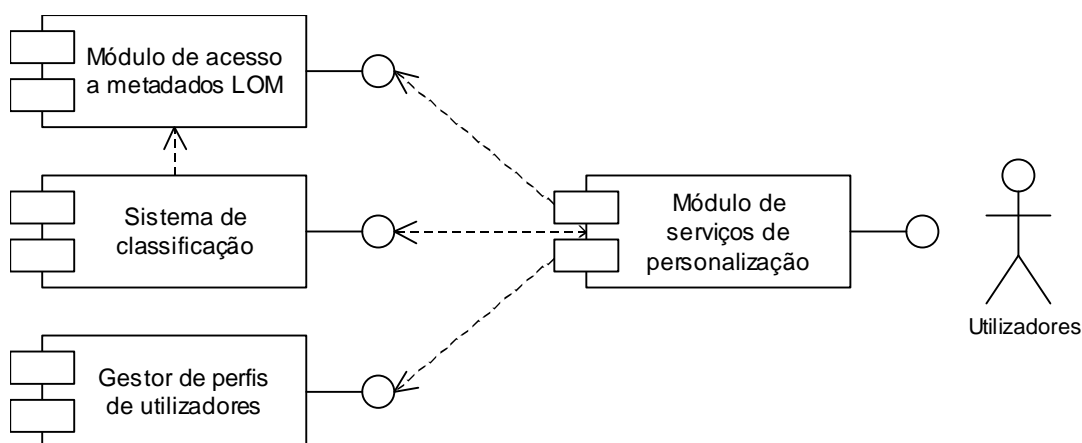


Figura 37 – Componentes principais do modelo de personalização

Outro módulo essencial é o gestor de perfis de utilizadores, na medida em que é o responsável por gerir os dados que permitem modelar as características individuais de cada utilizador. Para que os perfis individuais possam ser geridos pelo sistema de forma transparente, os utilizadores deverão registar-se inicialmente no sistema de personalização, introduzindo ou configurando o seu perfil individual. As entradas posteriores no sistema serão feitas através de um nome de utilizador e senha, permitindo assim ao sistema adoptar ao perfil desse formando de forma automática e transparente.

Finalmente, o acesso aos metadados LOM permite ao sistema de personalização obter os atributos dos objectos de aprendizagem que o sistema de classificação não suporta, como por exemplo o idioma, o autor, o formato técnico, a localização dos ficheiros do objecto e outros atributos fundamentais. Apesar de a Figura 37 sugerir que os metadados LOM estarão organizados de forma estruturada, na realidade o modelo apenas exige que estes sejam acessíveis através da Internet, pelo que podem estar distribuídos de forma não organizada por vários servidores. O mesmo se aplica aos ficheiros que constituem os objectos de aprendizagem.

4.2.2 Representação do perfil do formando

Na secção anterior foi referida a necessidade de existir informação com o perfil dos formandos, pelo que os modelos de representação desta informação são fundamentais. A norma seleccionada para este modelo é uma referência basilar para representação de perfis

de formandos, chamada *Public and Private Information for Learners (PAPI Learner)* [Farance, 1999].

A norma PAPI, ou IEEE P1484.2, faz parte do conjunto de normas produzidas pelo LTSC do IEEE e descreve registos portáteis de informação individual de alunos e as especificações para o seu intercâmbio, de forma a garantir que estes possam ser facilmente transferidos entre sistemas diferentes, desde que estes obedeçam aos requisitos PAPI. Estes registos permitem descrever a aquisição de conhecimento, perícia, capacidades, contactos pessoais, relacionamentos com outras entidades e várias preferências relacionadas com o processo de aprendizagem.

Uma característica importante desta norma é a divisão lógica, segurança separada e administração independente dos vários tipos de informação sobre os formandos, o que permite condicionar o acesso a determinadas secções do registo, garantindo assim o direito à privacidade e confidencialidade de algumas informações. O acesso a essas informações sensíveis pode ser restringido às entidades adequadas, como por exemplo apenas ao próprio formando, aos seus Pais ou à Escola.

A norma está dividida em doze partes diferentes, que abrangem questões tão diferentes como a segurança da informação ou o registo dos colegas de turma dos formandos ao longo do seu percurso de aprendizagem. No entanto, as partes mais relevantes para o modelo de personalização proposto neste capítulo são a “*Learner Preference Information*” e a “*Learner Performance Information*”.

Elemento	Descrição
<i>my_preference_identifier</i>	Chave interna da base de dados, usada para ligar a informação;
<i>preference_hid</i>	Identificador externo, usado para correlacionar informação através de diferentes repositórios de dados;
<i>preference_name</i>	Nome da colecção de preferências;
<i>pre_include_preference_list</i>	Lista de preferências que são incluídas antes desta;
<i>post_include_preference_list</i>	Lista de preferências que são incluídas depois desta;
<i>hci_device_preference_list</i>	Conjunto de entradas com preferências relacionadas com dispositivos relacionados com a segurança, texto, fala, gráficos, áudio, vídeo, dispositivos tácteis, sessão e outros;
<i>cognitive_preference_list</i>	Conjunto de entradas com preferências relacionadas com factores cognitivos (não está definida na norma PAPI);
<i>preference_bucket</i>	Elemento contenedor que permite acrescentar informação extra, no formato nome:valor, possibilitando a extensão do modelo de dados em caso de necessidades particulares.

Tabela 30 – Elementos principais do modelo de descrição de preferências PAPI

A primeira trata de informações sobre as preferências do formando relativamente ao processo de aprendizagem, como por exemplo tipos de dispositivos que pode usar, estilos

preferenciais de aprendizagem ou limitações sensoriais. A Tabela 30 mostra os elementos principais do seu modelo de dados, descrevendo sumariamente a função de cada um.

Como pode ser constatado pela leitura da Tabela 30, a norma PAPI está de certa forma incompleta no que respeita à modelação das preferências individuais de aprendizagem. Um dos elementos fundamentais para a construção do modelo de personalização proposto neste capítulo, relacionado com as preferências cognitivas, simplesmente não está definido na norma. Perante este vazio, surgiu a necessidade de definir atributos adicionais para modelar algumas preferências individuais dos utilizadores relativamente ao processo de aprendizagem. Como esta modelação não faz parte dos objectivos do trabalho, foram simplesmente adoptados os atributos LOM mais interessantes do ponto de vista da personalização, complementados com os atributos da avaliação de registo no sistema de classificação.

Desta forma, são sugeridos atributos adicionais que permitem modelar as preferências individuais relativamente aos idiomas, contextos de aprendizagem, formatos técnicos, custo dos conteúdos, tipo de interactividade, conformidade, rigor, motivação, interacção, acessibilidade, reutilização, normalização e certificação. É também sugerido um atributo que permite guardar um registo dos assuntos visitados por cada utilizador. A Tabela 31 apresenta a lista completa de atributos propostos para modelar as preferências individuais de cada formando no âmbito do modelo de personalização proposto. Como a norma PAPI só suporta de forma nativa o atributo “dispositivo”, os outros atributos serão codificados através dos seus mecanismos de extensão.

Nome do atributo	Descrição	Codificação PAPI
Idioma	A lista de idiomas preferenciais para o processo de aprendizagem;	<preference_bucket>, com o nome <language>, em que o nível de preferência é expresso numa escala numérica de 0 a 5;
Dispositivo	Dispositivos preferenciais para o processo de aprendizagem;	Hci_device_preference_list, em que o nível de preferência é expresso numa escala numérica de 0 a 5;
Contexto	Lista de contextos preferenciais, codificados como uma lista de identificadores de ontologias;	<preference_bucket>, com o nome <context_identifier>
Formato	Formatos preferidos para os objectos de aprendizagem;	<preference_bucket>, com o nome <technical_format>, em que o nível de preferência é expresso numa escala numérica de 0 a 5;
Custo	Preferências relativamente a conteúdos abertos ou conteúdos comerciais;	<preference_bucket>, com os nomes <cost_rating> e <free_rating>, em que o nível de preferência é expresso numa escala numérica de 0 a 5;
Interactividade	Indicação da preferência relativamente ao tipo de interactividade dos conteúdos;	<preference_bucket>, com os nomes <active_interactivity_rating>, <expositive_interactivity_rating> e

		<mixed_interactivity_rating>, em que o nível de preferência é expresso numa escala numérica de 0 a 5;
Conformidade	Importância que o utilizador dá à conformidade dos objectos com as indicações dos seus respectivos segmentos;	<preference_bucket>, com o nome <conformance_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Rigor	Importância que o utilizador dá ao rigor dos objectos;	<preference_bucket>, com o nome <accuracy_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Motivação	Importância que o utilizador dá à capacidade de motivação dos objectos;	<preference_bucket>, com o nome <motivation_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Interacção	Importância que o utilizador dá ao nível de interacção dos objectos;	<preference_bucket>, com o nome <interaction_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Acessibilidade	Importância que o utilizador dá à preparação dos objectos para utilizadores com necessidades especiais;	<preference_bucket>, com o nome <accessibility_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Reutilização	Importância que o utilizador dá ao potencial de reutilização dos objectos;	<preference_bucket>, com o nome <reusability_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Normalização	Importância que o utilizador dá à obediência de normas por parte dos objectos;	<preference_bucket>, com o nome <standardization_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Certificação	Importância que o utilizador dá à certificação dos objectos;	<preference_bucket>, com os nomes <certified_rating> e <not_certified_rating>, em que a importância é expressa numa escala numérica de 0 a 5;
Histórico	Registo dos segmentos visitados por cada utilizador.	<preference_bucket>, com o nome <history>

Tabela 31 – Lista de atributos de preferência usados no sistema de personalização

Este conjunto de atributos permite codificar vários perfis de preferências, usando todos os graus de liberdade dos vários atributos. Por exemplo, os atributos “dispositivo”, “contexto”, “acessibilidade” e “formato” podem ser conjugados de forma a traduzir perfis específicos de utilizadores com necessidades especiais.

A informação sobre os segmentos mais visitados por cada utilizador complementa os dados de avaliação como pontos de referência para deduzir os contextos típicos de formação do utilizador. Estes dados podem ser registados automaticamente, por exemplo quando cada utilizador descarrega conteúdos a partir do sistema de personalização.

Alguns dos atributos requerem que o utilizador defina a sua importância relativa ou nível de preferência, que é codificada numericamente em seis níveis. O significado de cada nível é o seguinte:

Codificação	Importância	Preferência
0	Irrelevante	Excluir
1	Muito baixa	Muito baixa
2	Baixa	Baixa
3	Média	Média
4	Alta	Alta
5	Muito alta	Muito alta

Tabela 32 – Codificação da importância e nível de preferência de cada atributo

A parte “*Learner Performance Information*” da norma PAPI abrange as questões relativas ao registo de classificações obtidas pelo utilizador em trabalhos práticos, relatórios, provas de avaliação, disciplinas, cursos e outras acções que confirmam classificação. Os registos são compostos por 17 elementos, descritos na Tabela 33. Note-se que neste contexto, o termo “classificação” se refere à avaliação dos formandos num determinado esquema ou escala e não ao sistema de classificação proposto neste trabalho.

Elemento	Descrição
<i>my_performance_identifier_list</i>	Chave interna da base de dados, usada para ligar a informação;
<i>performance_hid_list</i>	Identificador externo, usado para correlacionar informação através de diferentes repositórios de dados;
<i>owner_identifier</i>	Identificador do formando;
<i>recording_date_time</i>	Data e hora em que o registo foi criado no repositório;
<i>valid_date_time_begin</i>	Data e hora inicial, a partir do qual a informação presente no registo fica válida;
<i>valid_date_time_end</i>	Data e hora final, a partir do qual a informação presente no registo fica inválida;
<i>issue_from_identifier</i>	Entidade que atribuiu esta classificação;
<i>issue_date_time</i>	Data e hora em que a classificação foi atribuída;
<i>issue_to_identifier</i>	Entidade à qual está a ser atribuída a classificação. Normalmente é ao formando, mas também pode ser a um grupo onde este esteja inserido;
<i>learning_experience_identifier</i>	Identificador associado aos conteúdos que originaram a classificação;
<i>competency_identifier</i>	Identificador associado com uma definição de competência;
<i>granularity</i>	Granulosidade relativa dos conteúdos;
<i>performance_coding_scheme</i>	Tipo de classificação, codificação ou medida usada como referência para a avaliação;
<i>performance_metric</i>	A gama de valores permitidos neste esquema de classificação;
<i>performance_value</i>	O valor da classificação;

Elemento	Descrição
<i>certificate_list</i>	Informação de certificação de dados associada com este registo;
<i>performance_bucket</i>	Elemento contentor que permite acrescentar informação extra, possibilitando a extensão do modelo de dados em caso de necessidades particulares;

Tabela 33 – Os elementos do registo de classificações PAPI

Quanto maior for a precisão e o nível de detalhe dos registos de aquisição de conhecimento dos formandos melhor será a resposta dos sistemas de personalização de conteúdos de eAprendizagem. Consequentemente, faz todo o sentido que sejam inscritas nestes registos não só as classificações finais de módulos ou disciplinas, mas também as classificações parciais obtidas nas diversas matérias que os compõem. Idealmente seriam avaliados os conhecimentos ao nível dos segmentos atómicos do sistema de classificação. Tal tarefa é praticamente impossível de realizar usando os métodos de avaliação tradicionais, mas é perfeitamente exequível em ambientes de eAprendizagem, através da associação de cada questão das provas de avaliação ao respectivo segmento.

Desta forma seria possível registar com um grande detalhe não só os pontos fortes do formando mas também e principalmente as suas dificuldades individuais em partes específicas das matérias. Esta informação seria extremamente valiosa para futuras acções de personalização de eAprendizagem, uma vez que permitiria reforçar os conteúdos nos segmentos onde o aluno denota mais dificuldades.

4.3 Pesquisa personalizada

O objectivo deste serviço é adequar os resultados da pesquisa de objectos de aprendizagem às características individuais de cada utilizador, usando a informação individual de cada utilizador como chave para seleccionar os objectos de aprendizagem que melhor reflectem as suas preferências e o contexto de aprendizagem. O modelo proposto baseia-se numa função matemática que estima a relevância relativa de cada resultado da pesquisa, usando como parâmetros de cálculo o perfil dos utilizadores, os atributos dos objectos de aprendizagem, a avaliação presente no sistema de classificação e a adequação contextual dos objectos de aprendizagem.

O modelo de personalização da pesquisa de objectos de aprendizagem contempla várias fases distintas, como pode ser observado no diagrama UML de actividades da Figura 38. O processo inicia-se quando o utilizador se autentica perante o sistema com o seu nome de utilizador e respectiva senha. Nesta fase o sistema de personalização obtém informação sobre o perfil do formando a partir do gestor de perfis de utilizadores apresentado no diagrama da Figura 37. No entanto, essa informação também poderá ser eventualmente introduzida de forma explícita pelo utilizador, caso se trate de um novo utilizador ou de um integrador de conteúdos à procura de objectos de aprendizagem com um determinado perfil que não o dele próprio.

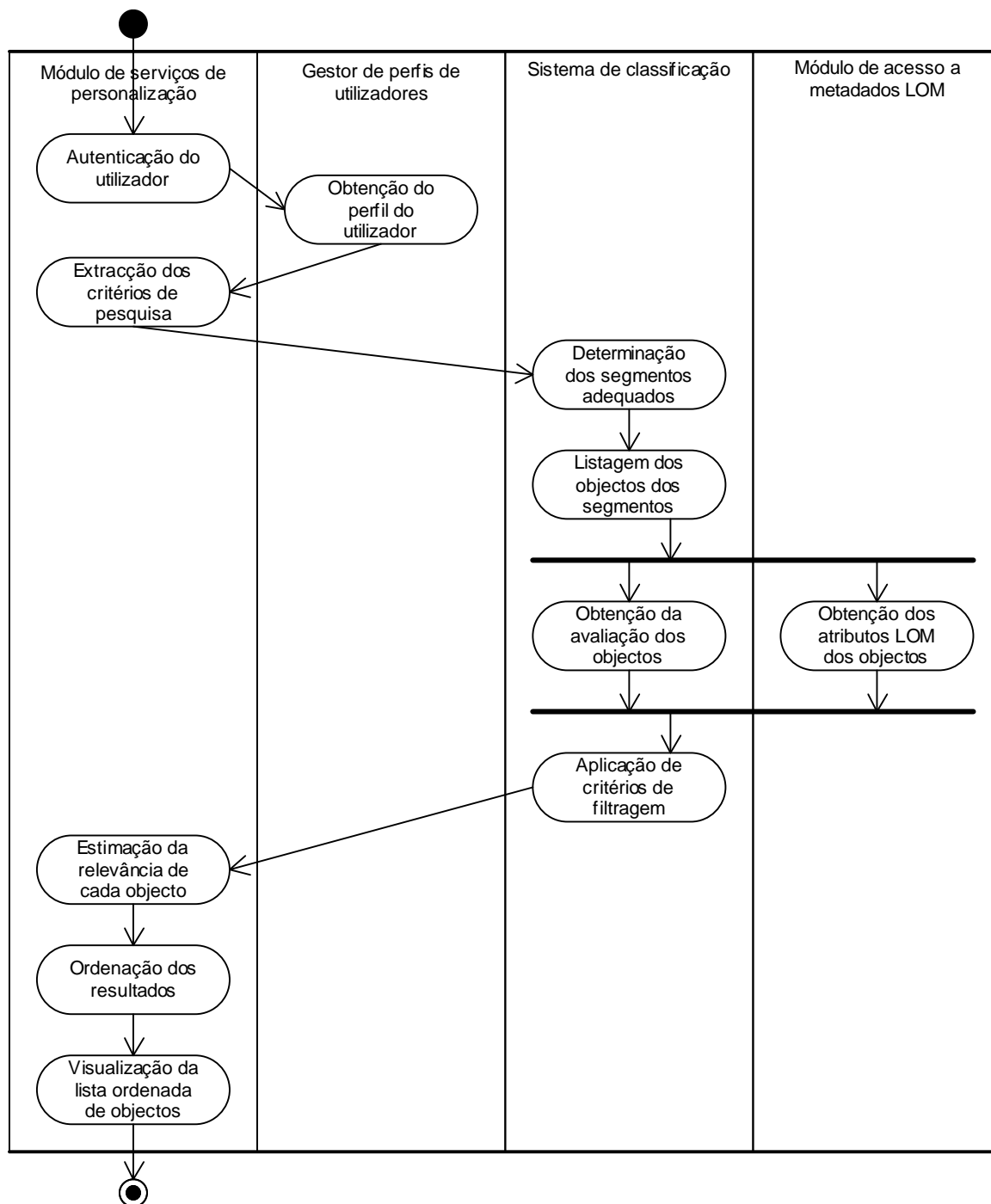


Figura 38 – Diagrama de actividades da personalização de pesquisas

Na fase seguinte, o utilizador faz o pedido de localização de conteúdos para um determinado objectivo de aprendizagem, usando uma busca por palavras-chave ou seleccionando um determinado assunto numa lista preestabelecida. Num modo opcional de pesquisa avançada poderão ser indicados critérios adicionais para restringir os resultados da pesquisa. Em seguida, o pedido com as expressões-chave e critérios de pesquisa é transferido do sistema de personalização para o sistema de classificação, que começa por determinar os segmentos associados às expressões-chave de pesquisa. A lista de objectos registados nesses segmentos é complementada pela informação de avaliação de cada

objecto presente no sistema de classificação. O módulo de acesso a metadados LOM acrescenta também informação sobre os atributos LOM relevantes⁶ para a personalização, que passam a acompanhar a lista de objectos. No caso de terem sido especificados critérios adicionais de filtragem, em virtude da utilização do modo de pesquisa avançada, a lista de objectos é restringida aos objectos que cumprem esses critérios. Finalmente, a lista de objectos resultante é enviada para o módulo de serviços de personalização, ainda sem qualquer tipo de personalização.

A personalização começa realmente a materializar-se na fase de estimação de relevância, em que é aplicada uma fórmula matemática que estima a relevância relativa de cada objecto de aprendizagem, do ponto de vista do perfil individual do utilizador. A fórmula proposta é a seguinte:

$$r = C F_2 F_3$$

$$F_2 = \prod_{i=1}^m O_i$$

$$F_3 = \sum_{j=1}^n K_j I_j O_j$$

r = resultado da função de estimação
 C = nível de contextualização
 F_2 = factor eliminatório
 F_3 = factor não eliminatório
 K = peso atribuído a cada parâmetro
 M = número de parâmetros eliminatórios
 n = número de parâmetros não eliminatórios
 I = importância de cada parâmetro
 O = avaliação do objecto no parâmetro

A fórmula é basicamente um produto de três factores que representam respectivamente o nível de contextualização do objecto relativamente ao perfil de aprendizagem do utilizador, a sua relevância segundo os parâmetros eliminatórios e a sua relevância segundo os parâmetros não eliminatórios. Os parâmetros usados na fórmula baseiam-se nos atributos de preferências da Tabela 31, codificados no perfil individual PAPI.

O primeiro factor é muito importante pois representa o nível de proximidade do tema tratado no objecto de aprendizagem com os contextos de formação associados ao utilizador. Será este factor que irá discriminar os temas quando existem ambiguidades sintácticas, separando os objectos relevantes dos irrelevantes. No já citado exemplo das pesquisas usando a palavra-chave “gravidade”, será este factor o principal discriminador da relevância dos objectos.

O nível de contextualização é um valor entre zero e cem, que é calculado através das distâncias semânticas entre o segmento do objecto e os contextos preferenciais, histórico dos segmentos visitados e registos de desempenho em provas conferentes de avaliação do perfil PAPI do utilizador.

A distância semântica basicamente mede a distância conceptual entre dois temas através da rede de relacionamentos existentes entre os dois segmentos que representam esses temas. Como eventualmente existem vários caminhos possíveis entre os dois segmentos, apenas é considerado o caminho mais curto, ou seja aquele que apresenta menores custos. São considerados como ligações todos os tipos de relacionamentos que interligam os

⁶ Os primeiros cinco elementos da Tabela 35

segmentos e o caminho mais curto é determinado através do algoritmo de Dijkstra [Dijkstra, 1959]. O custo de um relacionamento mede o grau de distanciamento entre dois segmentos adjacentes, pelo que é inversamente proporcional ao nível de relacionamento estabelecido na ontologia. O custo total de um caminho entre dois segmentos é a soma dos custos de todos os relacionamentos que compõem esse caminho. Assim, a fórmula para calcular a distância semântica entre dois segmentos é:

$$distância_semântica = \sum \frac{K}{nível_relacionamento}$$

A constante K desta fórmula assume dois valores distintos, conforme se trate de um relacionamento dentro da mesma ontologia ou entre ontologias diferentes. A ideia subjacente é atribuir distâncias semânticas inferiores aos relacionamentos dentro da mesma ontologia relativamente aos relacionamentos entre ontologias diferentes. Quando não existe qualquer caminho entre os dois segmentos, considera-se que a distância é infinita, embora por uma questão de simplificação dos cálculos se utilize o valor 99 para representar essa distância, o que originará um nível de contextualização de um.

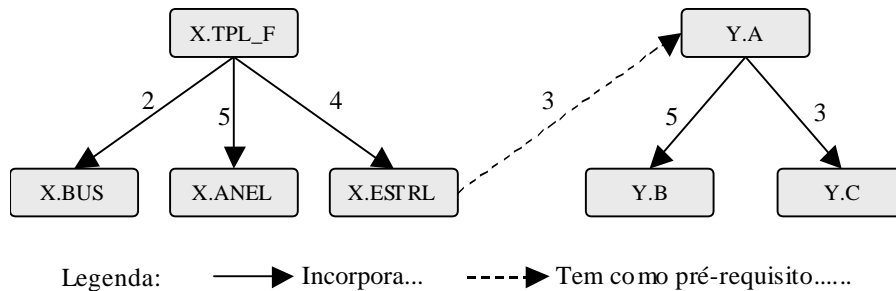


Figura 39 – Estrutura usada como base para os exemplos de cálculo de distâncias semânticas

A Tabela 34 apresenta exemplos de cálculo de distâncias semânticas entre os segmentos da Figura 39, assumindo para K valores de 5 e 40, respectivamente para os relacionamentos dentro da mesma ontologia e entre ontologias diferentes. Os valores de K foram escolhidos de modo a que os custos dos relacionamentos entre ontologias diferentes sejam oito vezes superiores aos custos dos relacionamentos dentro da mesma ontologia. Esta diferença de custo foi assumida de forma empírica e só com testes exaustivos em cenários reais se poderá estimar o valor óptimo a usar.

Segmentos	Distância semântica
X.BUS - X.TPL_F	$\frac{5}{2} = 2,50$
X.BUS - X.ESFRL	$\frac{5}{2} + \frac{5}{4} = 3,75$
X.BUS - Y.A	$\frac{5}{2} + \frac{5}{4} + \frac{40}{3} = 17,08$
X.BUS - Y.C	$\frac{5}{2} + \frac{5}{4} + \frac{40}{3} + \frac{5}{3} = 18,75$

Tabela 34 – Exemplos de cálculos de distâncias semânticas

Tal como já foi referido, o conceito de distância semântica é usado no cálculo do nível de contextualização de cada objecto, que é o primeiro factor da fórmula de estimação de relevância. Este nível representa uma percentagem que varia entre 0 e 100 e é calculado da seguinte forma:

$$C = \frac{100}{1 + \text{Min}(K_1 D_1, K_2 D_2, K_3 D_3)}$$

inicialmente

$$K1 = 1$$

$$K2 = 3$$

$$K3 = 2$$

D1: distância semântica entre o segmento do objecto e os contextos preferenciais PAPI do utilizador, representados pelos segmentos raiz das ontologias;

D2: média das três menores distâncias semânticas entre o segmento do objecto e os segmentos presentes no histórico PAPI;

D3: média das três menores distâncias semânticas entre o segmento do objecto e os segmentos dos registos de desempenho PAPI;

As constantes K1, K2 e K3 permitem modelar a importância de cada um dos factores usados para determinar o nível de contextualização. Inicialmente foram atribuídos valores às constantes K1, K2 e K3 de modo a valorizar as preferências contextuais do utilizador relativamente aos registos de avaliações e principalmente ao histórico de visualização de objectos. Em D2 e D3 são usadas as médias das três menores distâncias e não apenas a menor distância semântica. Desta forma procura evitar-se que uma visualização esporádica de um objecto de um segmento comprometa o utilizador com esse contexto. O valor três é arbitrário e só com vastos testes reais se poderia definir fundamentadamente o valor óptimo.

O segundo factor da fórmula que estima a relevância dos objectos de aprendizagem engloba vários parâmetros eliminatórios. Estes parâmetros correspondem aos atributos fundamentais que os objectos de aprendizagem devem possuir para serem considerados elegíveis. Bastará que um destes atributos seja incompatível com o perfil do utilizador para eliminar o objecto. É usado um produtório para agrupar estes parâmetros de forma a eliminar completamente um objecto no caso de a avaliação de um dos seus parâmetros ser zero. Isso acontece quando por exemplo o idioma principal do objecto não está na lista de preferências do utilizador. Neste caso, este factor e o resultado da função de estimação tomam o valor zero, classificando o objecto como irrelevante. A Tabela 35 apresenta a lista dos parâmetros que foram considerados eliminatórios.

Parâmetro
Idioma
Dispositivo
Formato
Custo
Interactividade
Certificação

Tabela 35 – Lista de parâmetros eliminatórios

O terceiro factor da fórmula reflecte os parâmetros não eliminatórios. Estes parâmetros são aqueles que mesmo tendo uma avaliação zero não eliminam o objecto, apesar de contribuírem para reduzir a sua relevância. O nível de rigor e motivação são exemplos deste tipo de parâmetros. A contribuição destes parâmetros toma a forma de um somatório ponderado. A avaliação de cada parâmetro individual é o produto de três factores: uma constante predefinida que representa a ponderação daquele parâmetro no cálculo global, um factor que representa a importância que o utilizador atribui ao parâmetro e finalmente a avaliação ou atributo do objecto de aprendizagem relativamente ao parâmetro em causa.

Os parâmetros para os quais o utilizador atribui no seu perfil PAPI uma importância “irrelevante” não têm qualquer contribuição para o valor final. Por exemplo, se o utilizador não der qualquer importância ao nível de reutilização dos objectos de aprendizagem, este parâmetro é simplesmente ignorado.

Parâmetro	Ponderação
Conformidade	$K_1=4$
Rigor	$K_2=4$
Motivação	$K_3=5$
Interacção	$K_4=3$
Acessibilidade	$K_5=3$
Reutilização	$K_6=2$
Normalização	$K_7=2$

Tabela 36 – Ponderação dos parâmetros não eliminatórios

Os valores das constantes que determinam o peso de cada parâmetro não eliminatório, que podem ser observados na Tabela 36, foram atribuídos de forma a valorizar a capacidade discriminatória dos aspectos considerados mais importantes. Mais uma vez, estas constantes foram definidas de forma empírica, reflectindo a eventual importância média relativa de cada parâmetro para efeitos de cálculo de relevância. Por exemplo, é assumido que a capacidade de motivação dos conteúdos é muito mais importante que a sua capacidade de reutilização.

As constantes da fórmula foram inicialmente definidas de forma empírica de modo a tornar a fórmula de estimação de relevância minimamente funcional. No entanto, o valor óptimo destas constantes deverá ser calculado de forma fundamentada, através da análise do comportamento da função em ambientes reais de utilização.

4.4 Aconselhamento personalizado

Com esta vertente do modelo de personalização pretende-se conceber um serviço com a capacidade de ajudar os utilizadores a aprender sobre um determinado assunto, considerando as suas eventuais dificuldades específicas relativamente às competências que são necessárias para compreender adequadamente esse assunto. Tal como já foi referido anteriormente, a ideia fundamental do serviço é identificar as matérias que devem ser objecto de revisão, através da comparação dos registos de desempenho do utilizador com a informação do sistema de classificação relativamente aos pré-requisitos do assunto que se pretende aprender.

Este serviço poderá ser usado em qualquer instante, desde que o utilizador se tenha autenticado perante o sistema e portanto o seu perfil PAPI esteja acessível. O serviço poderá ser invocado sempre que o utilizador seleccione um objecto de aprendizagem para descarregar. Tal como no serviço anterior, o processo de aconselhamento personalizado envolve várias fases de processamento, ilustradas no diagrama UML de actividades da Figura 40.

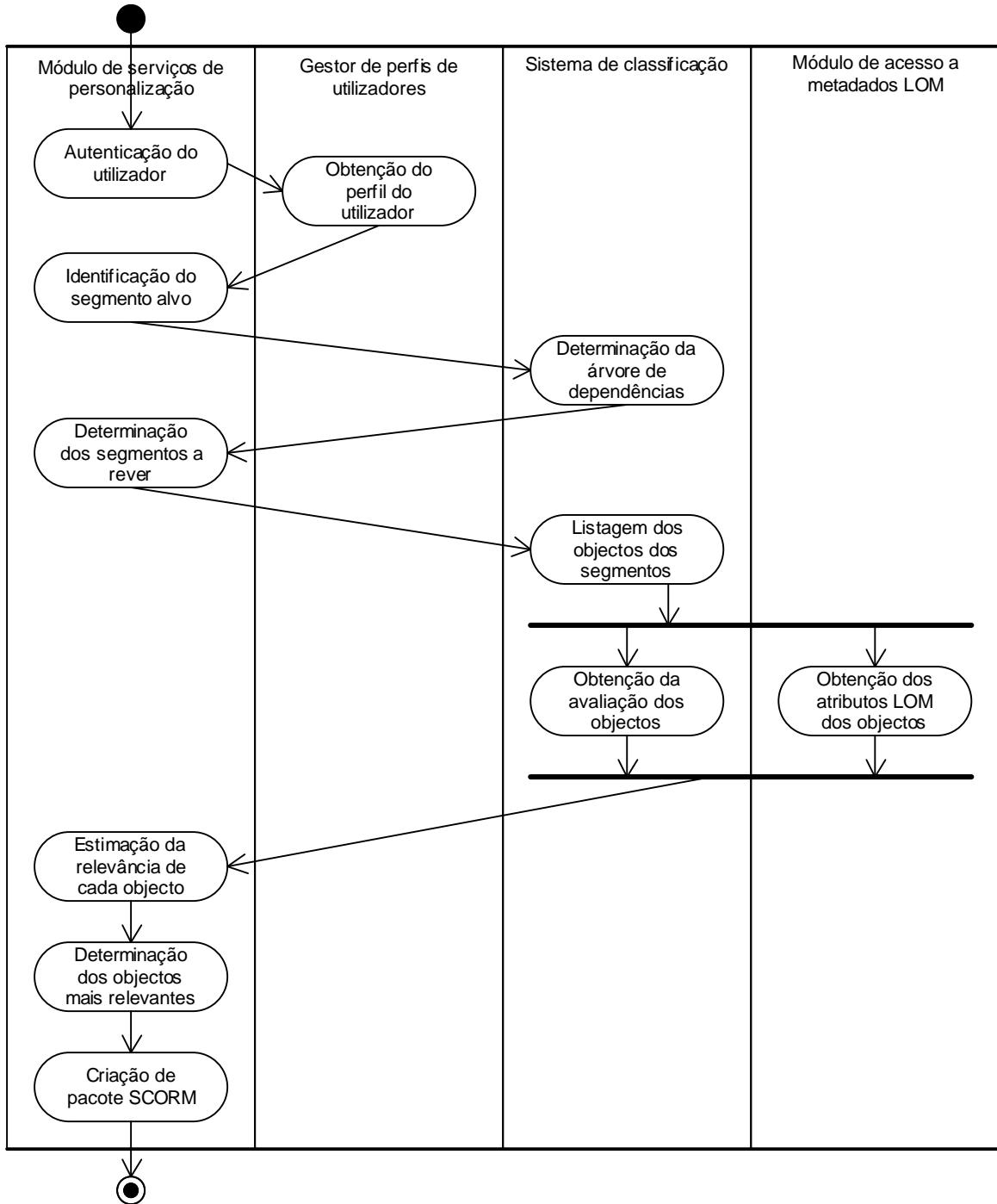


Figura 40 – Diagrama de actividades do modelo de aconselhamento personalizado

O serviço usa como parâmetro de entrada o segmento associado ao assunto que o utilizador pretende aprender, aqui designado como segmento alvo. Após a autenticação e obtenção do perfil do utilizador, a primeira actividade realmente relevante envolve a determinação da árvore de dependências do segmento alvo, ou seja, os seus pré-requisitos. Esta tarefa compete ao sistema de classificação e é solicitada através da mensagem <GET_PRE_REQUISITES>. Este pedido faz com que o sistema de classificação analise a cadeia de relacionamentos do tipo “tem como pré-requisito...”, iniciando o processo no segmento alvo e continuando iterativamente pelos seus segmentos constituintes e respectivas dependências.

Para exemplificar este processo, considere-se a estrutura de segmentos da Figura 41. Se o segmento alvo for o segmento “X”, o sistema de personalização irá interrogar o sistema de classificação sobre as dependências deste segmento.

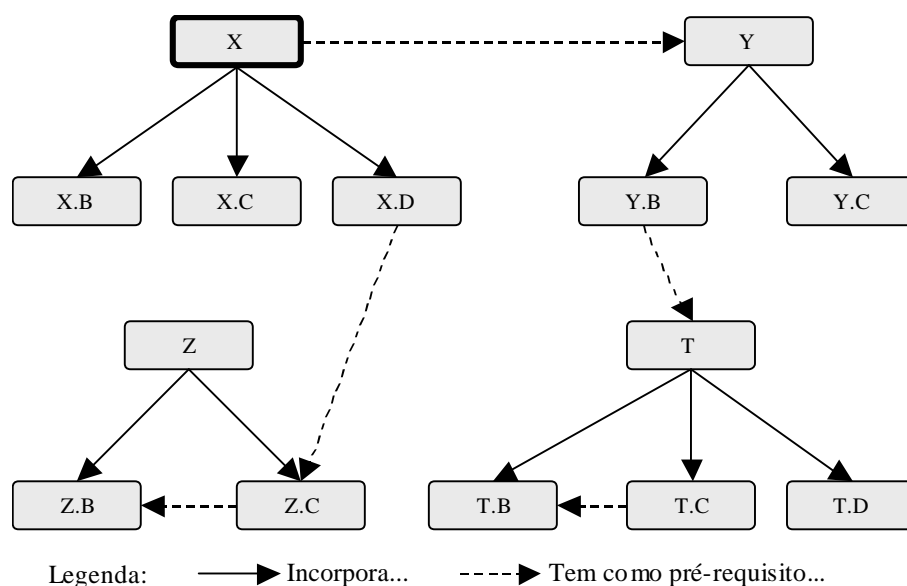


Figura 41 – Estrutura de segmentos que exemplifica a análise de dependências

Compete então ao sistema de classificação determinar a estrutura de dependências que se inicia no segmento X. O exemplo da figura permite observar vários cenários com diferentes tipos de dependência. O primeiro caso é uma dependência directa do próprio segmento X, que, para ser devidamente compreendido exige proficiência prévia nos conhecimentos representados pelo segmento Y. O próprio segmento Y tem incorporado o segmento Y.B que por sua vez exige o conhecimento prévio dos temas do segmento T. Isto significa que o segmento X depende também do segmento T, embora de uma forma indirecta, na medida em que esta dependência é herdada através do relacionamento com o segmento Y. Neste caso, o relacionamento de dependência que existe entre T.C e T.B é irrelevante porque já foi determinado que a aprendizagem de X depende da aprendizagem prévia dos conhecimentos representados por T, que incorpora T.B e T.C.

No lado esquerdo do diagrama pode observar-se uma dependência indirecta de Z.C, através do segmento X.D. Neste caso, a aprendizagem de X.D depende da aprendizagem prévia de Z.C e não de Z, pelo que o segmento Z.B não está automaticamente incluído. Como a

aprendizagem de Z.C depende da aprendizagem prévia de Z.B, este último segmento também tem que ser introduzido na lista de dependências.

O sistema de classificação é o responsável pelo processamento de todas estas informações, gerando a árvore de dependências, que neste caso particular terá a seguinte estrutura:

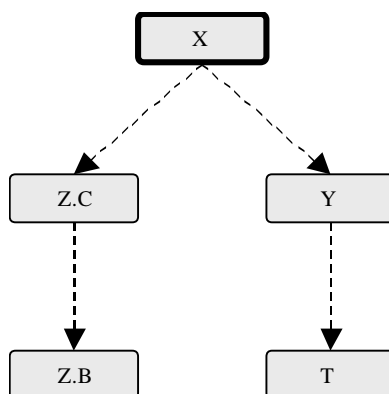


Figura 42 – Exemplo de árvore de dependências

Após a árvore de dependências estar identificada, é comparada com o perfil do formando, no sentido de identificar áreas em que os seus conhecimentos se revelem incompletos ou deficientes. A proficiência em cada uma das matérias representadas pelos diversos segmentos da árvore é determinada pelos registos de desempenho PAPI. Quando o desempenho do utilizador num dos segmentos da árvore é considerado suficiente, esse segmento é eliminado.

Quando um determinado elemento é eliminado da árvore, os segmentos dos quais ele dependia poderão ou não ser eliminados, de acordo com a política do sistema de personalização, configurável entre o modo geral e o modo detalhado. O modo geral assume que quando um utilizador é proficiente no conceito representado por um determinado segmento, será competente em todos os seus subsegmentos e em todos os segmentos considerados como pré-requisitos. O modo detalhado não assume esta generalização e mesmo que o desempenho num segmento seja positivo, não deixa de analisar o desempenho nos seus subsegmentos e segmentos considerados pré-requisitos. Este modo é particularmente importante para lidar com situações em que os formandos têm uma avaliação global positiva numa unidade curricular, mas apresentam sérias dificuldades nalgumas das suas matérias constituintes.

Deste processamento resulta a árvore de dificuldades, que representa os assuntos que o utilizador deverá rever antes de iniciar a utilização do objecto de aprendizagem associado ao objectivo de aprendizagem. A Tabela 37 apresenta o resultado desta abordagem sobre a árvore de dependências da Figura 42, usando diferentes perfis PAPI de desempenho. Por uma questão de simplificação, é usada uma notação simples e não as verdadeiras estruturas de dados PAPI.

Cenário	Perfil PAPI de desempenho	Árvore de dificuldades										
A	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>AVALIAÇÃO (0..20)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)									
SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)											
B	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>AVALIAÇÃO (0..20)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z.B</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)	Z.B	16	T	14					
SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)											
Z.B	16											
T	14											
C	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>AVALIAÇÃO (0..20)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z.B</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)	Z.B	16	Y	13					
SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)											
Z.B	16											
Y	13											
D Modo detalhado	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>AVALIAÇÃO (0..20)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z.C</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)	Z.C	12	Y	16	T	5			
SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)											
Z.C	12											
Y	16											
T	5											
E Modo geral	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>AVALIAÇÃO (0..20)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z.C</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)	Z.C	12	Y	16	T	5			
SEGMENTO	AVALIAÇÃO (0..20)											
Z.C	12											
Y	16											
T	5											

Tabela 37 – Exemplos do pós-processamento da árvore de dependências

De salientar que nos casos D e E o perfil PAPI é exactamente o mesmo, mas o resultado final vai ser diferente, conforme se aplique o modo geral ou o modo detalhado. No caso D, o sistema irá considerar o segmento T porque a avaliação deste segmento no perfil PAPI não é positiva, o que significa que o utilizador possui uma dificuldade neste assunto específico.

Para que todo o processo seja fiável, é essencial que os conhecimentos do utilizador estejam correctamente registados no seu perfil PAPI. Caso isso não aconteça, nem sempre a ausência de qualquer referência nos registos significará que o utilizador não possui determinadas competências. Nestes casos o sistema irá erradamente recomendar ao utilizador a aprendizagem de matérias que afinal ele já conhece. Nestes casos deve ser dada ao utilizador a possibilidade de corrigir o seu perfil PAPI, de modo a reflectir os seus verdadeiros conhecimentos. Obviamente, os dados de desempenho introduzidos pelo próprio utilizador serão válidos apenas no âmbito do sistema de personalização.

Após a identificação dos segmentos que traduzem as dificuldades do utilizador perante a matéria a aprender, é finalmente possível seleccionar os objectos mais adequados de cada um destes segmentos, usando as mesmas ferramentas de estimação de relevância do módulo de pesquisas personalizadas. Finalmente, é construído um curso com a estrutura da árvore de dificuldades, seleccionando o objecto mais relevante de cada um dos segmentos dessa estrutura. O formato usado para descrever esta estrutura é o *SCORM Content Aggregation Model* [ADL, 2004], que pode ser interpretado por qualquer aplicação compatível com esta norma.

4.5 Geração automática de planos de aprendizagem

Este é o serviço mais ambicioso e também mais interessante dos serviços de personalização propostos neste capítulo. Fundamentalmente o que se pretende do serviço é que este seja capaz de gerar dinamicamente cursos sobre um determinado assunto, tomando em consideração os aspectos particulares de cada utilizador, através da reutilização de objectos de aprendizagem independentes. Esta ferramenta deverá assim ser capaz de conceber automaticamente planos de aprendizagem à medida das necessidades e dificuldades de cada formando, através da agregação dinâmica de objectos de aprendizagem de vários níveis de granulosidade.

Esta funcionalidade pode ser útil em vários cenários possíveis. Na primeira situação, o formando pretende aprender sobre um tema que está bem identificado no sistema de classificação, mas o respectivo segmento não possui qualquer objecto de aprendizagem registado. O segundo cenário é semelhante ao primeiro: existem objectos registados no segmento mas são incompatíveis com o perfil do utilizador, por exemplo, exigem dispositivos que este não possui ou o seu idioma principal não está na lista dos idiomas do utilizador. Estas incompatibilidades são determinadas através dos parâmetros eliminatórios discutidos na secção 4.3. Finalmente, no terceiro caso existem objectos de aprendizagem que não são totalmente incompatíveis com o perfil do utilizador, mas não serão os mais adequados. Isto pode acontecer, por exemplo quando um utilizador pretende objectos de aprendizagem com uma avaliação elevada num dos parâmetros não eliminatórios, por exemplo a motivação, mas os que existem possuem uma má avaliação nesse critério.

Para que esta funcionalidade seja útil, o modelo terá que possuir a capacidade de seleccionar, agregar e sequenciar objectos de aprendizagem independentes de forma coerente, mesmo que eles possuam origens e características heterogéneas. A junção de objectos que não foram concebidos de raiz para serem usados em conjunto pode constituir um sério problema de coerência e é um teste muito exigente a uma das características fundamentais que os objectos de aprendizagem devem possuir: capacidade de reutilização. A maximização da coerência do curso, mantendo ao mesmo tempo a capacidade de personalização, é um dos principais desafios deste modelo. Tal como nas funcionalidades de personalização anteriores, para cumprir o objectivo proposto são necessárias várias fases distintas de processamento. A Figura 43 ilustra de forma simplificada essas várias fases sob a forma de um diagrama UML de actividades, sendo imediatamente perceptível a maior complexidade deste serviço.

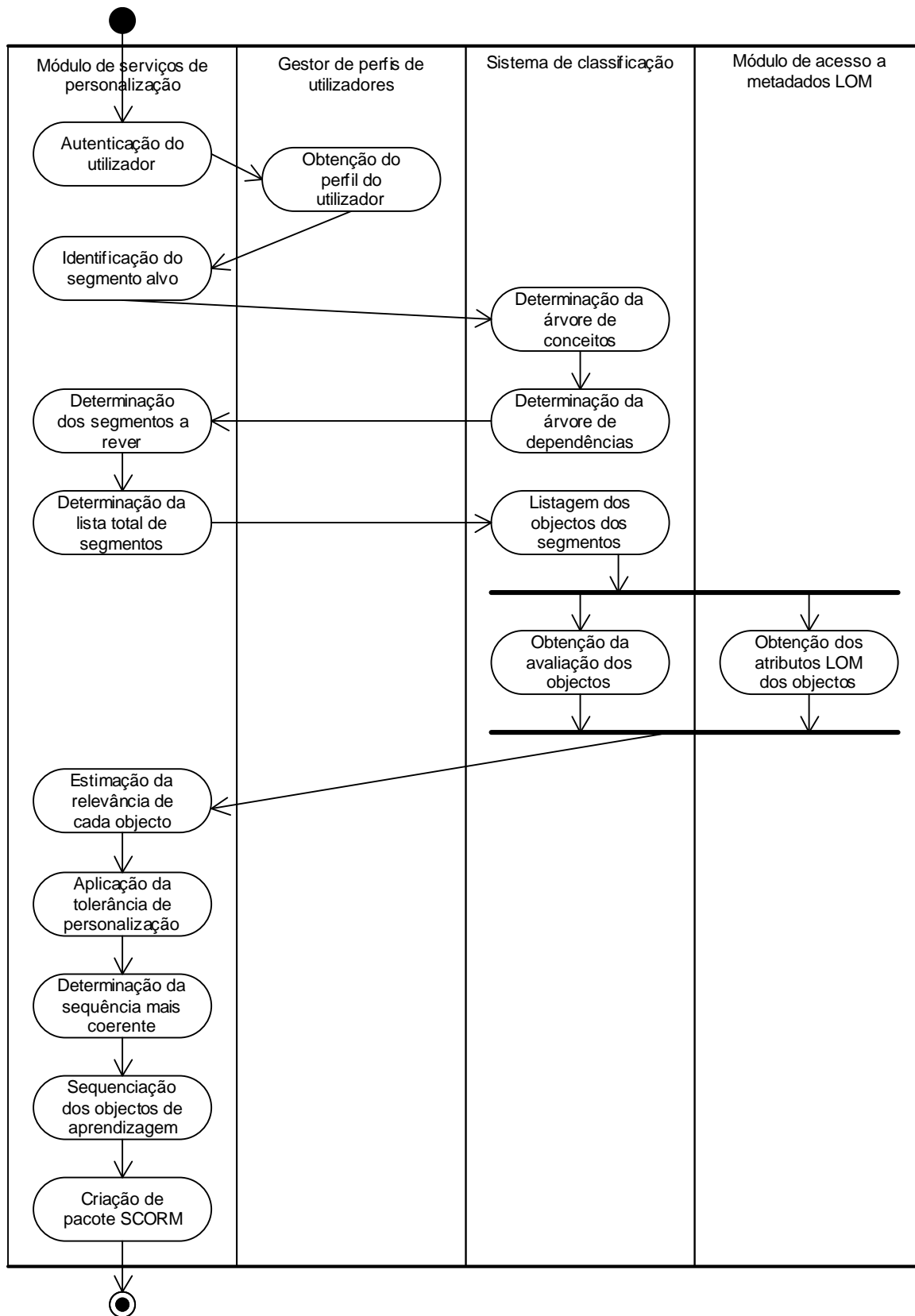


Figura 43 – Diagrama de actividades do processo de geração automática de planos de aprendizagem

Após a autenticação do utilizador, a obtenção do seu perfil e a identificação do segmento alvo que corresponde ao conceito que o utilizador deseja aprender, a primeira operação relevante é a obtenção da árvore de conceitos desse segmento alvo. Basicamente o sistema de classificação determina a estrutura de segmentos que flui do segmento alvo através de relacionamentos de incorporação. A árvore de conceitos é a estrutura do conhecimento representado pelo segmento alvo. Na fase seguinte é determinada a árvore de dependências da estrutura anterior, usando a técnica de determinação de dependências descrita na secção precedente. Desta forma é obtida a lista de conceitos que devem ser compreendidos pelo utilizador antes de este iniciar a aprendizagem do assunto do segmento alvo. Seguidamente são identificadas as potenciais dificuldades do utilizador relativamente a esses conhecimentos prévios, sob a forma de uma estrutura de segmentos a rever. Esta operação recorre ao algoritmo de determinação da árvore de dificuldades descrito na secção anterior. No fim desta fase são conhecidos todos os segmentos que devem fazer parte do plano de aprendizagem a gerar.

Após o conhecimento de todos os segmentos que entram na estrutura do plano de aprendizagem, o objectivo da próxima fase é a selecção dos objectos mais adequados dentro de cada segmento. A função de estimação de relevância dos objectos de aprendizagem baseia-se na função usada na funcionalidade de pesquisa personalizada, com algumas diferenças, como pode ser deduzido pela observação da sua fórmula:

$$r = F_1 F_2 F_3$$

$$F_1 = R + N$$

$$F_2 = \prod_{i=1}^m O_i$$

$$F_3 = \sum_{j=1}^n K_j I_j O_j$$

r = resultado da função de estimação
 F_1 = factor de reutilização
 F_2 = factor eliminatório
 F_3 = factor não eliminatório
 R = avaliação da reutilização do objecto
 N = avaliação da normalização do objecto
 K = peso atribuído a cada parâmetro
 m = número de parâmetros eliminatórios
 n = número de parâmetros não eliminatórios
 I = importância de cada parâmetro
 O = avaliação do objecto no parâmetro

Como pode ser constatado, o nível de contextualização não é usado nesta versão da função de estimação de relevância. Tal deve-se ao facto de não ser necessário distinguir o contexto dos objectos uma vez que eles fazem parte de segmentos que já foram bem determinados nas fases anteriores. De qualquer forma, nesta fase é calculada a relevância relativa dos objectos de aprendizagem do mesmo segmento, pelo que o valor no nível de contextualização seria idêntico para todos.

Em vez do nível de contextualização surge agora um factor que estima o potencial de reutilização de cada objecto de aprendizagem, usando a avaliação reportada pelo sistema de classificação relativamente à sua capacidade de reutilização e ao nível de cumprimento das normas e especificações relacionadas com eAprendizagem. Estes dois parâmetros deixam de ser usados no somatório dos parâmetros não eliminatórios. As constantes usadas nos parâmetros não eliminatórios são as mesmas da funcionalidade de pesquisa personalizada, podendo ser consultadas na Tabela 36.

Após a determinação da relevância relativa de cada objecto, passará a existir para cada segmento uma lista de objectos de aprendizagem adequados ao perfil individual do utilizador e ordenada segundo as suas preferências e restrições particulares. Se existirem segmentos sem qualquer objecto compatível com o perfil do utilizador, o plano de aprendizagem ficará incompleto pelo que deve ser dada a possibilidade ao utilizador de permitir a repescagem de objectos que tenham sido eventualmente eliminados por não cumprirem um dos parâmetros eliminatórios. Se mesmo nestas condições continuarem a existir segmentos vazios, será então impossível criar um plano de aprendizagem completo e competirá ao utilizador aceitar ou não esse plano, sabendo dessa limitação.

A fase anterior permite seleccionar, para cada segmento, uma lista de objectos ordenada pela sua relevância relativa segundo o perfil do utilizador. A estimação da adequação é feita segmento a segmento, sem qualquer preocupação de manter alguma coerência entre os diversos segmentos. Se não for efectuado mais nenhum processamento sobre estas listas, o plano de aprendizagem irá usar os objectos classificados em primeiro lugar em cada um dos segmentos. Uma consequência desta abordagem é que esta sequência de objectos pode possuir incoerências que dificultem a aprendizagem. Por exemplo, um plano de aprendizagem assim gerado pode facilmente combinar objectos com atributos pedagógicos muito díspares, com formatos técnicos diferentes e até mesmo com vários idiomas diferentes.

A fase seguinte tem assim como objectivo limitar este tipo de ocorrências, tornando a sequência de objectos mais coerente, prejudicando ao mínimo o nível de personalização do plano de aprendizagem. Como os níveis de personalização e coerência são por natureza mutuamente exclusivos, foi desenvolvido um método que permite parametrizar a importância pretendida para cada uma destas características. Nos limites poderá obter-se a solução mais coerente, sacrificando ao máximo o nível de personalização ou vice-versa.

Essa parametrização é feita definindo a percentagem tolerável para a variação máxima da relevância relativa dos objectos a admitir. Por outras palavras, define-se até que ponto é que são aceitáveis os objectos da lista ordenada de cada segmento, em função da distância, em percentagem, da estimação de relevância de cada um deles ao valor máximo dessa estimação. Obviamente é o primeiro objecto da lista que possui esse valor máximo. Uma tolerância de 100% significa que o algoritmo deve admitir todos os objectos e dar prioridade à coerência, enquanto que uma tolerância de 0% simplesmente não faz qualquer correcção de coerência e usa o primeiro objecto de cada segmento, ou seja, o mais relevante dentro do segmento.

Como consequência desta abordagem, a primeira operação a ser executada nesta fase é a eliminação dos segmentos que não cumpram este critério de tolerância. A Tabela 38 apresenta um exemplo onde é possível observar o efeito que os diferentes valores de tolerância têm nas listas de objectos admissíveis para a determinação da combinação mais coerente. Os objectos de aprendizagem são representados como paralelepípedos e o número no seu interior é o resultado da função de estimação de relevância.

Tolerância	Efeito da tolerância nas listas de objectos admissíveis			
100%	Segmento 1 1 184500 2 180000 3 67500 4 500	Segmento 2 1 250000 2 14000	Segmento 3 1 900500 2 900000 3 850000 4 849900	Segmento 4 1 200000 2 14000 3 13500
75%	Segmento 1 1 184500 2 180000 3 67500	Segmento 2 1 250000	Segmento 3 1 900500 2 900000 3 850000 4 849900	Segmento 4 1 200000
25%	Segmento 1 1 184500 2 180000	Segmento 2 1 250000	Segmento 3 1 900500 2 900000 3 850000 4 849900	Segmento 4 1 200000
0%	Segmento 1 1 184500	Segmento 2 1 250000	Segmento 3 1 900500	Segmento 4 1 200000

Tabela 38 – Exemplo dos efeitos da percentagem de tolerância nas listas de objectos

No primeiro caso, em que a tolerância é 100%, nenhum dos objectos é eliminado. À medida que a tolerância baixa os objectos vão sendo eliminados até que com a tolerância zero, ficam apenas os primeiros da lista.

Após este processamento, entra em acção o algoritmo que vai determinar quais as combinações de objectos mais coerentes. Nesta fase de desenvolvimento do modelo não foram investigadas possíveis optimizações, pelo que o seu funcionamento baseia-se em métodos de “força bruta”, analisando todas as combinações possíveis. Para cada combinação é calculada a soma dos quadrados dos desvios de cada objecto em cada parâmetro considerado, usando a seguinte fórmula:

$$r = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (O_{ij} - \bar{O}_i)^2$$

m = número de parâmetros

n = número de segmentos na sequência

O_{ij} = avaliação do objecto número j no parâmetro i

\bar{O}_i = avaliação média dos objectos no parâmetro i

Como o que se pretende para o resultado final não é na realidade uma variância do ponto de vista estatístico mas apenas um indicador sem qualquer valor intrínseco que pode ser usado para fazer comparações, a fórmula usada é uma simplificação da fórmula matemática da variância, com a vantagem de envolver menos cálculos.

Os parâmetros usados na fórmula podem ser observados na Tabela 39. Foram escolhidos aqueles que foram considerados como muito influentes no grau de coerência de um plano de aprendizagem.

Parâmetro
Idioma
Dispositivo
Formato
Custo
Acessibilidade
Conformidade
Rigor

Tabela 39 – Parâmetros usados no cálculo da coerência

A fórmula usa valores numéricos mas alguns dos parâmetros correspondem a atributos não numéricos, como por exemplo o caso do idioma. Nestas situações é feito um processamento prévio que quantifica as diferenças virtuais neste tipo de parâmetros, atribuindo um valor prestabelecido quando o atributo do objecto é diferente do valor predominante. Por exemplo, no caso do idioma é determinado qual o idioma mais frequente na sequência de objectos. Seguidamente, todos os objectos com esse idioma são considerados como tendo uma diferença de zero para o valor médio; aos objectos cujo idioma seja diferente do idioma mais frequente é atribuída uma diferença de quatro. Esta abordagem é igualmente usada nos parâmetros “dispositivo”, “formato” e “custo”.

O valor quatro foi escolhido para atribuir um peso ligeiramente superior a estes parâmetros relativamente aos parâmetros numéricos. De facto, nos parâmetros numéricos só numa situação limite é que um objecto tem uma diferença próxima de quatro para o valor médio. Isto só acontecerá quando a média é próxima de zero ou cinco e o valor do atributo do objecto é cinco ou zero, respectivamente.

Após o cálculo do valor de r para todas as sequências possíveis, a combinação com o menor valor é a sequência mais coerente, que será sugerida ao utilizador. Este algoritmo apresenta uma desvantagem complicada de resolver: como o número de iterações do cálculo da coerência varia de forma exponencial com o número de objectos de cada

segmento e com o número de segmentos, a partir de uma determinada dimensão das listas de segmentos e objectos, o tempo de cálculo pode tornar-se incontrolável. Esse é um dos motivos para usar apenas os parâmetros considerados essenciais para definir a coerência.

Finalmente, na última fase do processo é elaborado um documento XML com a estrutura, sequência e objectos de aprendizagem do plano assim gerado. O formato usado para descrever esta estrutura é o *SCORM Content Aggregation Model*.

Se estiverem reunidas todas as condições, esta funcionalidade permitirá gerar dinamicamente e praticamente em tempo real cursos a pedido, personalizados de acordo com as características individuais de cada formando, através da agregação de objectos de aprendizagem independentes. Será assim possível obter um curso complexo personalizado a partir de uma mera expressão-chave.

4.6 O protótipo implementado

Os modelos concebidos para permitir a criação de serviços de personalização são bastante complexos e com potencial para resultados imprevisíveis. Desta forma, a construção de um protótipo que permita validar e analisar o comportamento destes modelos assume uma importância fundamental. Idealmente deveria ser desenvolvida uma aplicação completa, posteriormente testada em ambiente de utilização real. Para que tal fosse possível, além das aplicações propriamente ditas seria também necessário dotar o sistema de classificação com um número elevado de ontologias e objectos de aprendizagem. Dada a complexidade de tal tarefa e os limites de tempo existentes, foi dada prioridade à implementação dos aspectos que permitem testar e avaliar as características fundamentais dos modelos, em detrimento de outras funcionalidades que seriam necessárias para que o protótipo pudesse ser utilizado como uma aplicação totalmente funcional.

A arquitectura informática do protótipo inspirou-se no modelo geral do sistema de personalização da Figura 37. Assim, considerando que todos os serviços exigidos ao sistema de classificação já estão desenvolvidos e as suas interfaces bem definidas, foi apenas necessário criar dois novos subsistemas: um sistema de representação de perfis para gerir os perfis PAPI dos utilizadores e o sistema de personalização propriamente dito, que vai implementar o núcleo dos modelos discutidos nas secções anteriores. A interacção entre os diversos subsistemas do protótipo é feita através da Internet, usando a linguagem XML para codificar a informação e o protocolo HTTP para o seu transporte.

O sistema de representação de perfis implementado é bastante simples, na medida em que apenas foram desenvolvidos os serviços requeridos pelo sistema de personalização. A Figura 44 ilustra os seus componentes funcionais, sob a forma de um diagrama UML de componentes. Tal como no protótipo do sistema de classificação, todos os dados relevantes são geridos por uma base de dados relacional.

No contexto do protótipo, este sistema proporciona basicamente três serviços diferentes: fornece os perfis PAPI ao sistema de personalização e permite também a inserção de novos perfis e a edição de perfis já existentes.

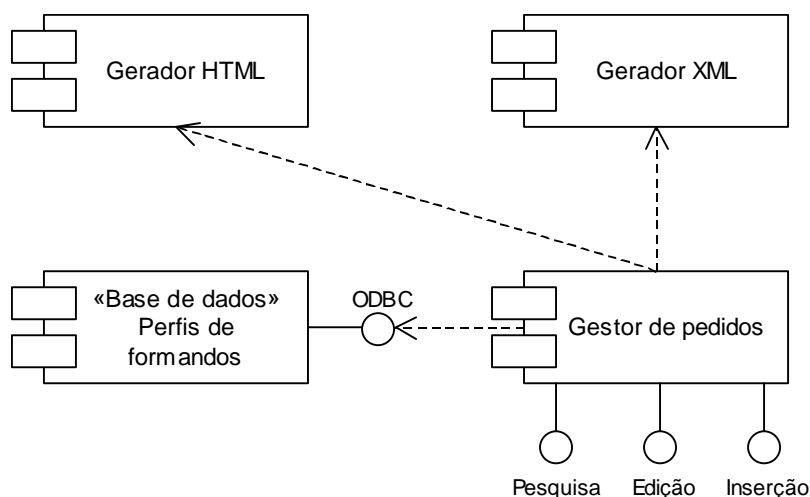


Figura 44 – Diagrama de componentes do sistema de representação de perfis

Embora existam várias formas possíveis para implementar este sistema, incluindo por exemplo *Web Services*, foi usada a mesma abordagem do sistema de classificação: o sistema corre no âmbito de um servidor HTTP, neste caso particular usando a tecnologia Apache sobre o sistema operativo Windows XP. Os pedidos usam URIs para identificar as mensagens e os respectivos parâmetros enquanto que as respostas são codificadas em XML. A solução ideal passa pela migração destes métodos de comunicação para arquitecturas normalizadas de comunicação entre aplicações, como por exemplo *Web Services*, o que será realizado oportunamente.

A Tabela 40 mostra as mensagens que são usadas para interagir com o sistema de representação de perfis.

Mensagem	Ação	Parâmetros
GET_PAPI_PROFILE	Devolve o perfil PAPI do utilizador <user>	user: identificador do utilizador;
ADD_PAPI_RECORD	Adiciona ou altera um registo do tipo <type> com o valor <value> no perfil PAPI do utilizador <user>;	user: identificador do utilizador; type: tipo de registo que se pretende adicionar ou alterar; value: novo valor;
ADD_PAPI_PROFILE	Adiciona um novo <user> com o perfil <profile> ou altera um perfil já existente;	user: identificador do utilizador; profile: perfil PAPI em XML;

Tabela 40 – Mensagens de interacção com o subsistema de representação de perfis

Embora este sistema seja essencial para o funcionamento global dos serviços propostos, o verdadeiro núcleo é o sistema de personalização. É a este sistema que compete implementar os modelos de personalização descritos nas secções anteriores e alimentá-los com os dados disponíveis nos outros sistemas. A Figura 45 mostra o diagrama UML de componentes do protótipo deste sistema.

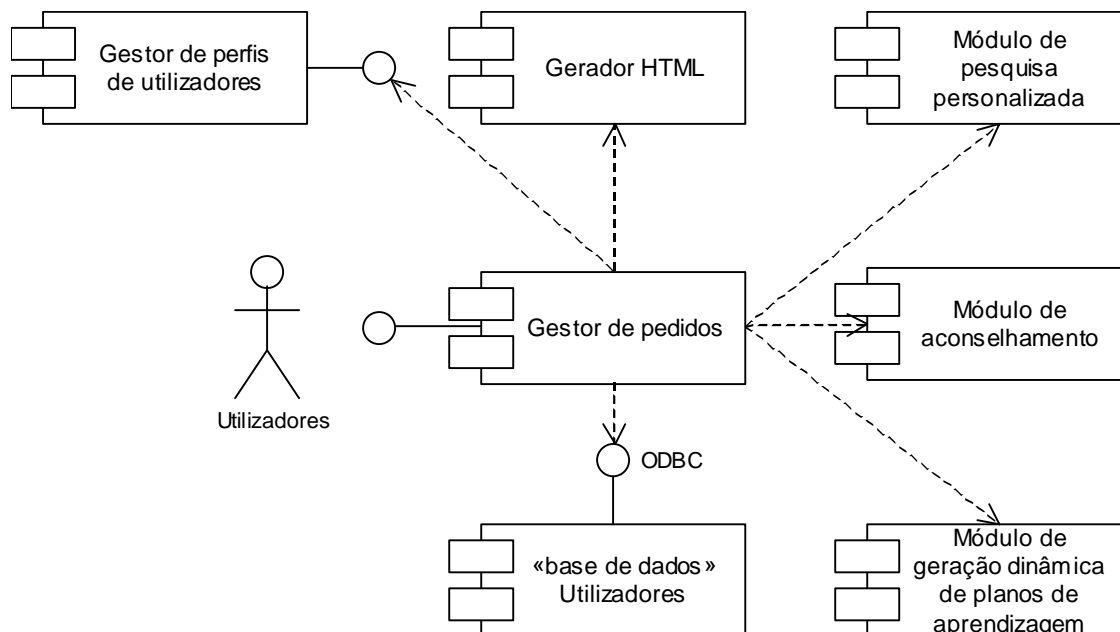


Figura 45 – Diagrama de componentes do protótipo do sistema de personalização

Tal como nos sistemas anteriores, o serviço de personalização é suportado por um servidor HTTP. A interacção dos utilizadores com o sistema é feita através de uma interface HTML que permite visualizar os resultados, descarregar objectos de aprendizagem e encaminhar os pedidos para os módulos relevantes. O sistema não permite nenhuma funcionalidade de personalização antes da autenticação do utilizador. Após a autenticação, este pode editar o seu perfil PAPI e usar os diversos módulos de personalização ao seu dispor, através da interface HTML.

O protótipo fornece dois serviços de localização de objectos de aprendizagem a partir de expressões chave, através do módulo de pesquisa personalizada. A pesquisa na realidade é executada pelo sistema de classificação, usando a estratégia referida no capítulo anterior, que tem duas variantes, simples ou avançada. No primeiro caso a pesquisa é feita sem quaisquer opções de filtragem enquanto que no segundo caso é possível filtrar os objectos de acordo com uma série de atributos LOM e níveis de avaliação do sistema de classificação.

O módulo de aconselhamento personalizado entra em acção automaticamente quando o utilizador escolhe um objecto de aprendizagem para descarregar. Por fim, o módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem pode entrar em acção de forma explícita, através da opção “curso a pedido” da interface, ou como resultado da ausência de objectos de aprendizagem no segmento alvo resultante de uma pesquisa. Neste caso o módulo tentará construir um curso sobre o assunto desse segmento, através da agregação de objectos de aprendizagem de granulosidade superior.

4.6.1 Módulo de pesquisa personalizada

O módulo de pesquisa personalizada é um dos componentes usados nos serviços de personalização e como o nome indica, implementa funcionalidades relacionadas com o serviço de pesquisa personalizada. Este módulo usa os resultados de pesquisa fornecidos

pele sistema de classificação e aplica o modelo de determinação de relevância a cada um dos objectos da lista de resultados. A Figura 46 mostra o diagrama de actividades global do serviço de pesquisa personalizada, destacando as actividades implementadas por este módulo.

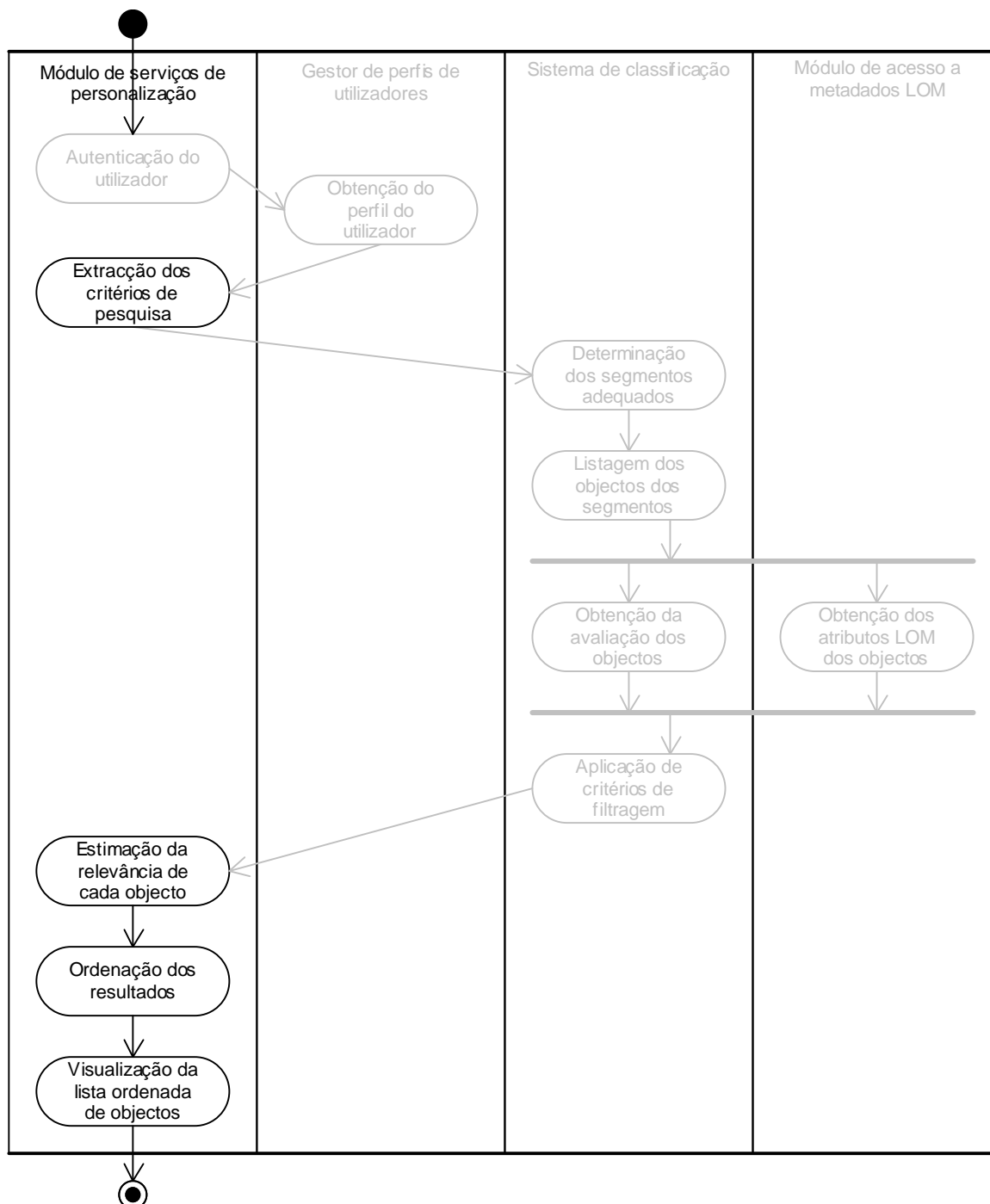


Figura 46 – Diagrama de actividades do módulo de pesquisa personalizada

Este serviço suporta pesquisas simples e pesquisas avançadas, pelo que a primeira intervenção do módulo no processo é a identificação de eventuais critérios de pesquisa avançada. Caso existam, estes critérios são passados ao sistema de classificação, que os

terá em consideração na elaboração das listas de objectos que cumprem os critérios de pesquisa.

O processo de personalização inicia-se realmente quando o módulo recebe a lista com os objectos que obedecem aos critérios da pesquisa solicitada pelo utilizador. Esta lista é elaborada pelo sistema de classificação sem qualquer personalização. O módulo tem também acesso aos metadados LOM dos objectos da lista e ao perfil individual do utilizador, obtido através do sistema de representação de perfis. Munido de todos estes dados, o módulo avança para a estimação da relevância relativa de cada um dos objectos da lista, implementando o método proposto na secção 4.3.

Basicamente foram desenvolvidas três funções, uma para cada um dos factores da fórmula proposta para o cálculo da relevância relativa. A primeira calcula o nível de contextualização de cada objecto da lista, usando os dados do segmento onde o objecto está registado e o perfil do utilizador. Esta função recorre ao sistema de classificação para o cálculo das distâncias semânticas entre o segmento do objecto e os registos de contexto, histórico e desempenho do perfil do utilizador, tal como descrito na secção 4.3 relativamente ao nível de contextualização.

As outras duas funções implementam o cálculo dos factores eliminatório e não eliminatório, respectivamente. Estas funções usam atributos associados aos objectos de aprendizagem, obtidos a partir dos metadados LOM e sistema de classificação bem como preferências pessoais relativamente a esses parâmetros, obtidos através do gestor de perfis de utilizadores.



Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Space-time gravity theory	Inglês	HTML	Não	Combinada	100 %
Gravitational fields	Inglês	Flash	Não	Combinada	93 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	75 %
Manual ilustrado da fisica: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	73 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	71 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	62 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	45 %
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	33 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	28 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	21 %

Figura 47 – Exemplo da interface gráfica do módulo de pesquisa personalizada

A função final de estimação de relevância é o produto destas três funções, e é aplicada à lista de objectos de aprendizagem fornecida pelo sistema de classificação. Após todos os

cálculos estarem terminados, os objectos são ordenados por relevância relativa decrescente e os seus nomes enviados para a interface HTML, juntamente com vários outros atributos relevantes.

A Figura 47 mostra o resultado de uma pesquisa personalizada. Neste caso particular a pesquisa foi efectuada pelo utilizador “Miguel”, que utilizou a palavra-chave “gravidade”. Como pode ser observado na figura, para cada objecto de aprendizagem são mostrados, o seu título, o idioma, o formato técnico, a indicação relativamente ao custo de utilização, o tipo de interactividade e a percentagem de relevância relativamente ao objecto de aprendizagem considerado mais relevante. Obviamente, o primeiro objecto de aprendizagem da lista tem sempre uma relevância relativa de 100%.

A lista ordenada de objectos de aprendizagem é apenas um indicador, pelo que o utilizador tem sempre a liberdade para seleccionar o objecto que considere ser o mais adequado, mesmo que o sistema o considere pouco relevante.

4.6.2 Módulo de aconselhamento personalizado

Este módulo tem como missão implementar os modelos de aconselhamento personalizado apresentados na secção 4.4. A Figura 48 é o diagrama UML de actividades de todo o processo de aconselhamento personalizado, sendo destacadas as actividades implementadas por este módulo.

A primeira intervenção do módulo consiste na identificação do segmento alvo sobre o qual se pretende o aconselhamento personalizado. Nesta fase, já o módulo possui informação sobre o perfil do utilizador. Seguidamente é enviado um pedido ao sistema de classificação para que este determine a árvore de dependências do segmento alvo. No próximo passo, o módulo determina a árvore de dificuldades do utilizador perante este segmento alvo, ou seja, a estrutura de segmentos associados aos assuntos que o utilizador deverá rever. Esta determinação recorre aos métodos descritos na secção 4.4, que consistem fundamentalmente na comparação da árvore de dependências com os registos de desempenho do utilizador.

A árvore de dificuldades é o parâmetro mais importante da próxima etapa, que tem a responsabilidade de seleccionar, para cada segmento dessa árvore, o objecto mais adequado ao utilizador. Para atingir este objectivo, o módulo começa por solicitar ao sistema de classificação a lista de objectos de aprendizagem de cada segmento da árvore de dificuldades e seus atributos. Em seguida é determinado o objecto de aprendizagem mais adequado em cada segmento, usando as funções de estimação de relevância usadas no módulo de pesquisa personalizada.

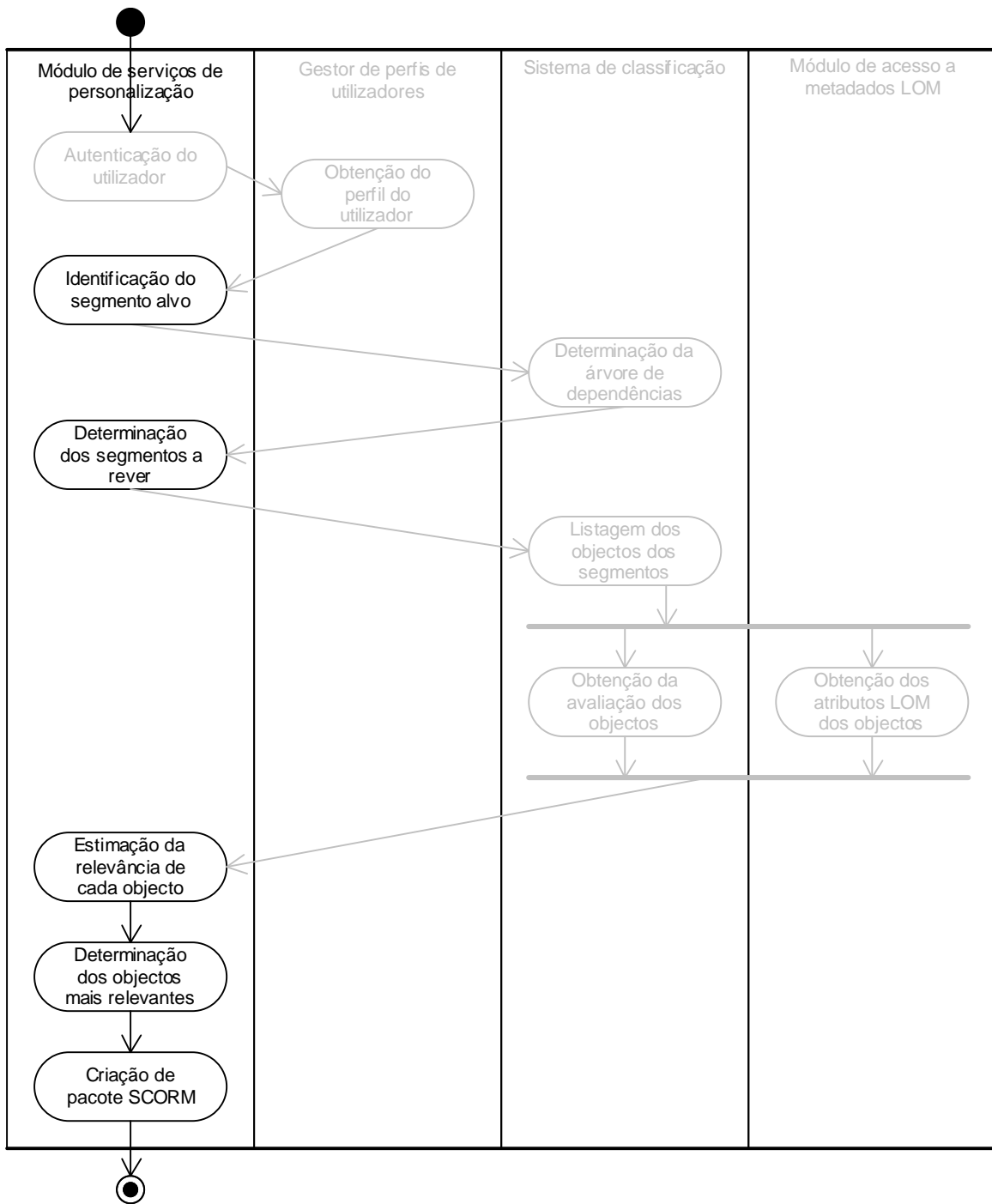


Figura 48 – Diagrama de actividades do módulo de aconselhamento

O resultado deste módulo é um plano de aprendizagem gerado segundo o perfil do utilizador, que contém aconselhamento sobre os conteúdos que ele deverá consultar antes de encetar a aprendizagem do assunto do segmento alvo. A Figura 49 é um exemplo da interface gráfica que mostra os resultados de aconselhamento ao utilizador. De realçar que nesta fase são sugeridos ao utilizador os assuntos dos segmentos e não propriamente os títulos dos objectos de aprendizagem. As informações sobre o objecto de aprendizagem do segmento alvo surgem no lado esquerdo da interface e não têm qualquer relação com o serviço de aconselhamento personalizado.

Objecto de aprendizagem		Aconselhamento de aprendizagem prévia
Espaço-tempo: teoria da gravidade		
Avaliação	Atributos LOM [ver todos]	
Conformidade: 5	Descrição: Descreve a gravidade como o resultado da distorção do espaço-tempo, ao abrigo da teoria da relatividade geral de Einstein	<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos avançados de matemática
Rigor: 2		<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais de física
Motivação: 3		<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade restrita
Interação: 4		<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade geral
Acessibilidade: 3	Idioma: Português	
Reutilização: 5	Formato: Flash	
Normalização: 4	Autor: Joaquim Dias	
Certificado: 8	Dispositivos necessários: Browser	
	Interactividade: Activa	
	Formato pedagógico: Texto Narrativo	
	Dificuldade: Média	
	Custo: Não	

[Descarregar](#)

Figura 49 – Exemplo da interface do módulo de aconselhamento personalizado

O utilizador pode então escolher os temas de revisão que considere relevantes antes de descarregar o curso no formato SCORM, que será gerado com os objectos de aprendizagem mais relevantes dos segmentos seleccionados pelo utilizador.

4.6.3 Módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem

Este é o módulo mais complexo do sistema de personalização e a sua missão é gerar dinamicamente planos de aprendizagem personalizados sobre um determinado assunto, implementando os modelos discutidos na secção 4.5. A Figura 50 mostra o diagrama UML de actividades de todo o processo, realçando as actividades desempenhadas pelo módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem. O módulo começa por identificar o segmento alvo sobre o qual é necessário gerar um plano de aprendizagem personalizado. Este segmento alvo pode resultar de uma opção explícita, através da funcionalidade “curso a pedido” ou de uma situação em que um determinado segmento não possui nenhum objecto de aprendizagem adequado ao utilizador e é necessário gerar um plano substituto.

Na próxima etapa, o módulo solicita ao sistema de classificação que determine a árvore de conceitos e árvore de dependências do segmento alvo. O módulo recorre em seguida ao mesmo algoritmo de determinação da árvore de dificuldades usado no serviço de aconselhamento personalizado. A árvore de conceitos é agregada à árvore de dificuldades para formar a estrutura completa de segmentos do plano de aprendizagem, ou seja, os assuntos que devem fazer parte do plano de aprendizagem a entregar ao utilizador e a forma como estes devem ser sequenciados.

Na fase seguinte, o módulo solicita ao sistema de classificação que forneça a lista de objectos de aprendizagem de cada segmento do plano. Em cada segmento, todos os objectos da lista são sujeitos ao cálculo da relevância relativa e os objectos com uma relevância relativa inferior ao nível imposto pela tolerância de personalização são rejeitados. Os objectos de aprendizagem que sobrevivem a esta fase são admitidos à fase da selecção da combinação mais coerente, que usa um método de força bruta para testar a coerência de todas as combinações possíveis e escolher a melhor.

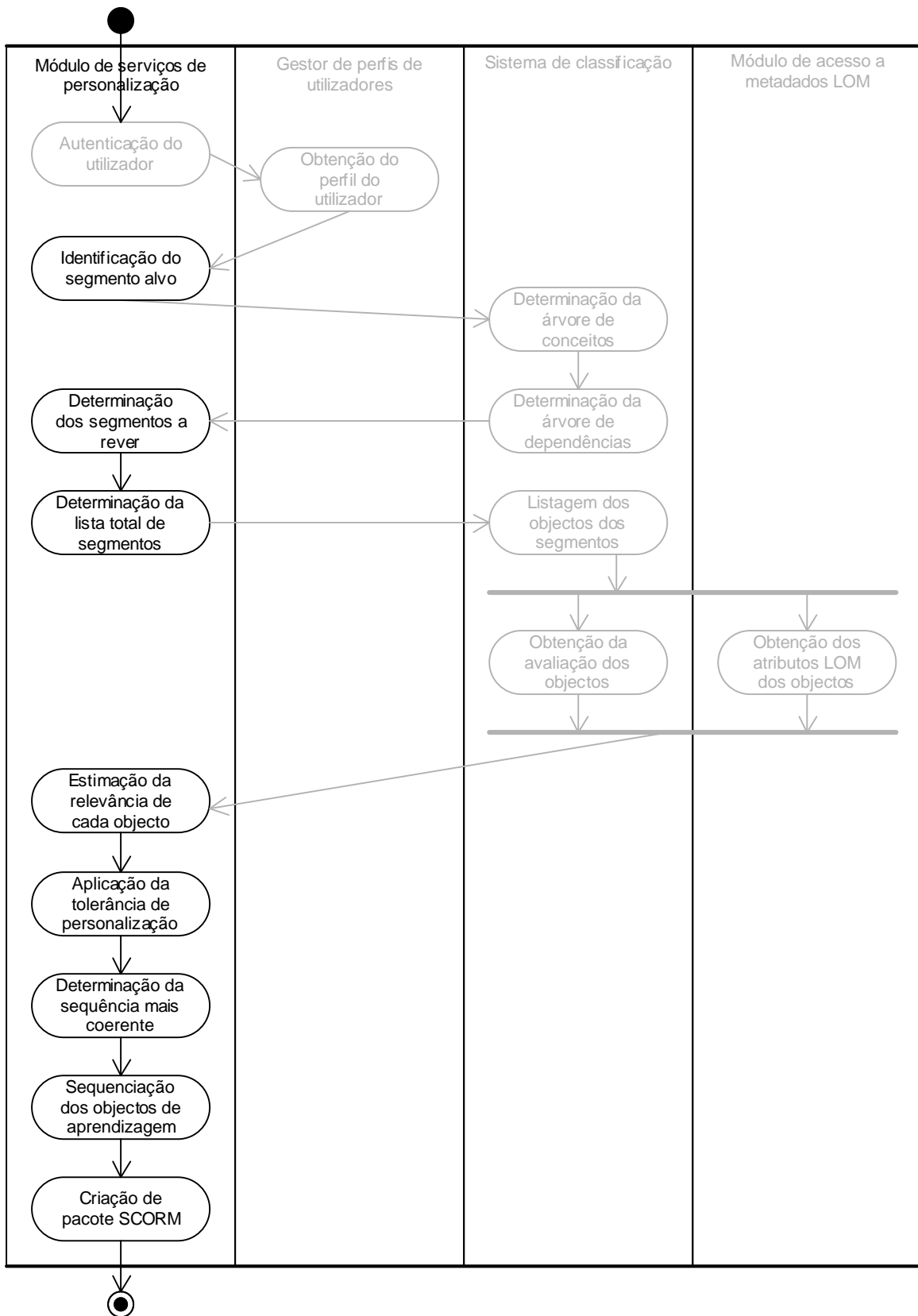


Figura 50 – Diagrama de actividades do módulo de geração dinâmica de planos de aprendizagem

Finalmente, a combinação com o melhor valor de coerência é sequenciada e codificada segundo a norma SCORM. A sequenciação dos vários objectos de aprendizagem constituintes do curso entra em linha de conta com os relacionamentos de pré-requisito entre os seus respectivos segmentos.

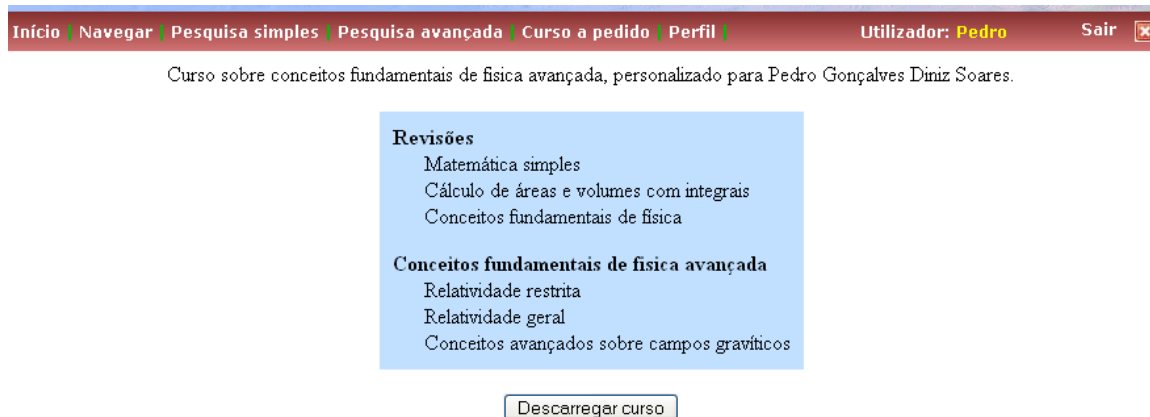


Figura 51 – Exemplo da interface do protótipo após a geração automática de um curso

A Figura 51 mostra um exemplo do aspecto da interface do protótipo logo após a determinação da sequência a usar. Ao descarregar o curso, o utilizador recebe um ficheiro no formato SCORM, que poderá ser utilizado com qualquer aplicação compatível com esta norma.

4.7 Resultados

Para testar convenientemente os modelos de personalização propostos, seriam necessários testes com múltiplas ontologias e utilizadores reais, em ambientes de utilização concreta destes modelos. Embora existam planos para integrar estes modelos numa aplicação concreta e disponível na Internet, cujos pormenores podem ser consultados no capítulo 6, não foi possível testar os modelos em ambiente de utilização final. Consequentemente, todos os resultados obtidos têm o defeito de resultarem de situações artificiais criadas propositadamente para estes testes.

De modo a ser possível testar algumas das capacidades dos modelos, foi necessário criar uma série de novas ontologias no sistema de classificação. Como já foi referido anteriormente, a concepção de ontologias rigorosas envolve muitos recursos, pelo que não existiu a preocupação de conceber estruturas completas e rigorosas. A ideia foi criar pequenas estruturas parciais básicas, com determinadas particularidades que permitam analisar o comportamento dos modelos perante essas situações.

Para o teste do comportamento do algoritmo de pesquisa personalizada foram criados quatro pequenos fragmentos de ontologias, envolvendo áreas da saúde, da física e da matemática. Um dos testes em mente é o já referido problema da ambiguidade sintáctica, usando a palavra-chave “gravidade”. Para testar os algoritmos de aconselhamento personalizado e geração dinâmica de planos de aprendizagem, foram criados fragmentos de duas ontologias de matemática, com ligações aos fragmentos das ontologias de física

anteriormente referidas. A ideia é fazer depender os conceitos de física dos conceitos matemáticos, através de relacionamentos de pré-requisito.

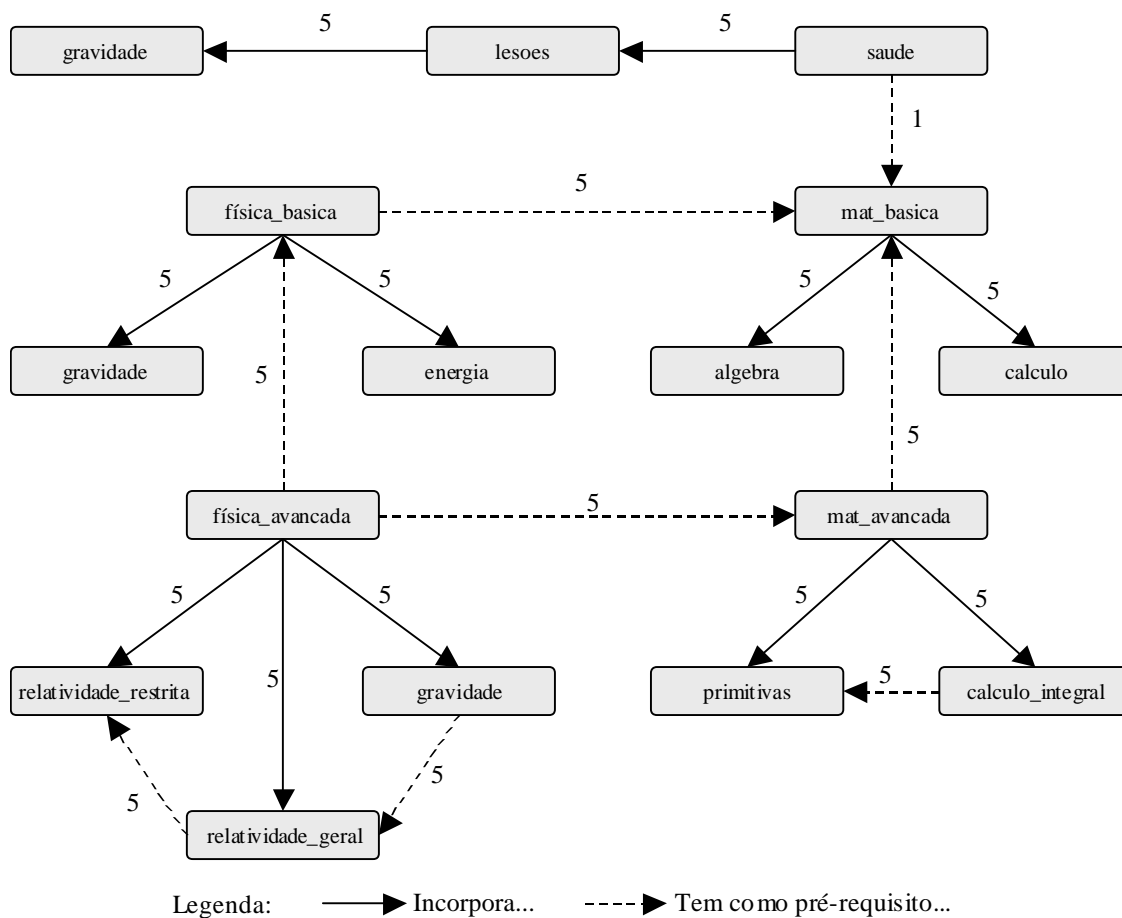


Figura 52 – Estrutura das ontologias usadas no teste dos modelos de personalização

Todos os segmentos foram povoados com vários registos de objectos com características diversas. De forma a testar aspectos particulares dos algoritmos, foram atribuídas características específicas a alguns objectos. A Figura 52 mostra as estruturas de segmentos que foram criadas para os testes dos modelos de personalização e respectivos relacionamentos.

4.7.1 Pesquisa personalizada

Para testar as várias facetas do algoritmo de pesquisa personalizada, além das ontologias já referidas, foram criados três utilizadores, com os perfis iniciais que constam na Tabela 41. Os perfis iniciais foram criados propositadamente com atributos semelhantes. A única diferença entre eles é que o utilizador <Miguel> tem um nível de preferência “muito alto” pelo idioma Inglês enquanto que a Joana tem um nível de preferência “médio” e o Pedro simplesmente não pretende objectos em Inglês. A descrição de cada um destes atributos encontra-se na Tabela 31, página 121.

Nome utilizador:	Pedro	Joana	Miguel
Idioma	Pt:5	Pt:5 En:2	Pt:5 En:5
Dispositivo	Browser:5	Browser:5	Browser:5
Contexto			
Formato	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2
Custo	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:3	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:3	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:3
Interactividade	Activo:5 Expositivo:3 Combinado:4	Activo:5 Expositivo:3 Combinado:4	Activo:5 Expositivo:3 Combinado:4
Certificação	Certificado:5 Não certificado:4	Certificado:5 Não certificado:4	Certificado:5 Não certificado:4
Conformidade	4	4	4
Rigor	4	4	4
Motivação	5	5	5
Interacção	3	3	3
Acessibilidade	2	2	2
Reutilização	2	2	2
Normalização	1	1	1
Histórico			
Registos de desempenho			

Tabela 41 – Configuração inicial dos perfis dos utilizadores de teste

De salientar que não foi propositadamente preenchida qualquer informação nos atributos <contexto>, <histórico> e <registos de desempenho>. Desta forma, não existe à partida qualquer informação de contexto que possa influenciar os testes iniciais mais simples.

O primeiro teste realizado é de facto muito simples: pretende-se verificar até que ponto as diferenças de preferência num dos parâmetros eliminatórios, neste caso o idioma, influenciam o resultado da pesquisa. Previamente foi preparado um segmento de uma das ontologias com uma palavra-chave única no sistema. Foram registados nesse segmento vários objectos em Inglês e Português, com diferentes avaliações e atributos LOM.

Objecto	Idioma	Dispositivo	Formato	Custo	Interactividade
A estrutura do átomo	Português	Browser	Flash	Não	Activo
Atomic structure	Inglês	Browser	Flash	Não	Activo
The atom	Inglês	Browser	HTML	Não	Activo
O átomo	Português	Browser	Word	Não	Activo

Tabela 42 – Lista de objectos usados no primeiro teste de pesquisa personalizada

A Tabela 42 mostra essa lista de objectos e os seus atributos LOM usados nos cálculos de relevância. A Figura 53, que é uma imagem capturada a partir do sistema de classificação, mostra as respectivas avaliações, tal como estão registadas.

[sek://fisica.atomo](#) (descreve a estrutura atómica da matéria)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
A estrutura do átomo	****	****	***	****	**	***	***	sim
Atomic structure	****	****	***	****	***	***	***	sim
The atom	*****	***	****	***	****	*****	**	sim
O átomo	***	***	***	***	***	***	***	sim

Figura 53 – Resultados da avaliação dos objectos usados no primeiro teste de pesquisa personalizada

Seguidamente foi feita a entrada de cada utilizador no sistema e foi solicitada uma pesquisa personalizada pela palavra-chave associada ao segmento onde estes objectos estão registados, que neste caso particular é “atom”. Os resultados personalizados da pesquisa efectuada por cada utilizador foram os seguintes:

Início Navegar Pesquisa simples Pesquisa avançada Curso a pedido Perfil							Utilizador: Pedro		Sair
Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: atom									
Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância				
A estrutura do átomo	Português	Flash	Não	Activa	<div style="width: 100%;"></div>	100 %			
O átomo	Português	MS-Word	Não	Activa	<div style="width: 43%;"></div>	43 %			

Início Navegar Pesquisa simples Pesquisa avançada Curso a pedido Perfil							Utilizador: Joana		Sair
Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: atom									
Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância				
A estrutura do átomo	Português	Flash	Não	Activa	<div style="width: 100%;"></div>	100 %			
The atom	Inglês	HTML	Não	Activa	<div style="width: 56%;"></div>	56 %			
O átomo	Português	MS-Word	Não	Activa	<div style="width: 43%;"></div>	43 %			
Atomic structure	Inglês	Flash	Não	Activa	<div style="width: 41%;"></div>	41 %			

Início Navegar Pesquisa simples Pesquisa avançada Curso a pedido Perfil							Utilizador: Miguel		Sair
Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: atom									
Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância				
The atom	Inglês	HTML	Não	Activa	<div style="width: 100%;"></div>	100 %			
Atomic structure	Inglês	Flash	Não	Activa	<div style="width: 73%;"></div>	73 %			
A estrutura do átomo	Português	Flash	Não	Activa	<div style="width: 71%;"></div>	71 %			
O átomo	Português	MS-Word	Não	Activa	<div style="width: 31%;"></div>	31 %			

Figura 54 – Resultados da pesquisa personalizada dos vários utilizadores

Como se pode observar na Figura 54, o algoritmo funcionou tal como previsto, escolhendo um objecto de aprendizagem escrito em Português para os utilizadores Pedro e Joana e um objecto escrito em Inglês para o utilizador Miguel. A Tabela 43 mostra, para cada utilizador e cada objecto de aprendizagem, os valores de cada componente da fórmula de cálculo da relevância.

De salientar que, uma vez que neste teste não foi usado nenhum atributo relacionado com o cálculo do nível de contextualização, a distância semântica mínima é por definição 99, o que implica que o nível de contextualização assuma o valor unitário em todas as combinações utilizador/objecto.

No caso do utilizador Pedro os objectos em Inglês foram simplesmente rejeitados devido ao seu perfil indicar que não está interessado em conteúdos escritos em Inglês. Em termos

do cálculo, o parâmetro “idioma” terá o valor zero o que determina que o componente PE da fórmula será igualmente zero. Como a relevância é o produto dos três componentes, a relevância total será também zero. A Tabela 43 ilustra bem a contribuição de cada componente da fórmula.

Utilizador		A estrutura do átomo	Atomic structure	The atom	O átomo
Pedro	C	1	1	1	1
	PE	12500	0	0	6250
	PNE	269	275	303	234
	Total	3362500	0	0	1462500
Joana	C	1	1	1	1
	PE	12500	5000	6250	6250
	PNE	269	275	303	234
	Total	3362500	1375000	1893750	1462500
Miguel	C	1	1	1	1
	PE	12500	12500	15625	6250
	PNE	269	275	303	234
	Total	3362500	3437500	4734375	1462500

C = nível de contextualização; PE = produtório dos parâmetros eliminatórios; PNE = somatório ponderado dos parâmetros não eliminatórios; Total = valor final da relevância

Tabela 43 – Valores dos componentes do cálculo da relevância

Como o utilizador Miguel tem um nível de preferência igual para Português e Inglês, foi seleccionado o objecto em Inglês porque este teve uma melhor avaliação nos parâmetros além do idioma. Se esta avaliação não fosse superior, também lhe seria sugerido um objecto de aprendizagem em Português.

No caso do utilizador Joana, o acréscimo na avaliação de relevância nestes parâmetros não foi suficiente para colmatar o défice provocado pela avaliação do parâmetro idioma. Recorde-se que a sua preferência pelo idioma Português é “muito elevada” enquanto que a sua preferência pelo idioma Inglês é “baixa”. Se o seu nível de preferência relativamente ao idioma Inglês for alterado de “baixo” para “elevado”, o resultado já é completamente diferente, como pode ser constatado na Figura 55, que mostra o resultado da mesma pesquisa com este novo perfil.





Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
The atom	Inglês	HTML	Não	Activa	 100 %
A estrutura do átomo	Português	Flash	Não	Activa	 89 %
Atomic structure	Inglês	Flash	Não	Activa	 73 %
O átomo	Português	MS-Word	Não	Activa	 39 %

Figura 55 – Efeitos da alteração das preferências de idiomas nos resultados finais

Neste caso, a alteração de apenas uma preferência ligada a um parâmetro eliminatório provocou um aumento substancial da relevância nos conteúdos em Inglês, suficiente para estes subirem uma posição na lista ordenada.

Utilizador	A estrutura do átomo	Atomic structure	The atom	O átomo
Joana	C	1	1	1
	PE	12500	10000	6250
	PNE	269	275	234
	Total	3362500	2750000	3787500

Tabela 44 – Efeitos da alteração das preferências de idiomas no componente PE

Não é de estranhar que a influência dos parâmetros eliminatórios na relevância total seja substancial, uma vez que o valor final da relevância é directamente proporcional ao valor de cada um destes parâmetros. Esta proporcionalidade pode ser constatada pela observação da Tabela 43 e Tabela 44, analisando os valores de PE antes e depois da alteração do perfil. Como era esperado, o valor de PE e consequentemente da relevância total dos objectos em Inglês aumentou 50% quando o nível de preferência atribuído a esse idioma passou de “baixo” (2) para “elevado” (4). Fica assim demonstrada a importância dos parâmetros eliminatórios para a definição da relevância relativa dos objectos.

Por outro lado, basta observar a fórmula de cálculo da relevância para constatar que a influência dos parâmetros não eliminatórios é muito mais baixa, na medida em que o valor total da relevância não é directamente proporcional ao valor destes parâmetros. Foi elaborado um teste de forma a determinar até que ponto estes parâmetros podem influenciar os resultados finais. Para efectuar esse teste, o perfil do utilizador Joana foi novamente modificado, de acordo com os valores da Tabela 45. As alterações estão evidenciadas.

Parâmetro	Valor anterior	Novo valor
Conformidade	4	4
Rigor	4	5
Motivação	5	5
Interacção	3	5
Acessibilidade	2	0
Reutilização	2	2
Normalização	1	1

Tabela 45 – Alteração no perfil do utilizador Joana

O resultado da pesquisa depois desta alteração de perfil pode ser observado na Figura 56. Neste caso particular a alteração de perfil não provocou uma reordenação dos resultados, apesar de serem visíveis variações nos valores de relevância relativa dos objectos. Na realidade, a percentagem de variação da relevância relativa provocada pela alteração do perfil foi de apenas cerca de 7% no objecto “A estrutura do átomo”, e 4% no objecto “The atom” e 1% no objecto “O átomo”. Estes resultados estão de acordo com as previsões.

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: atom

Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
The atom	Inglês	HTML	Não	Activa	100 %
A estrutura do átomo	Português	Flash	Não	Activa	96 %
Atomic structure	Inglês	Flash	Não	Activa	77 %
O átomo	Português	MS-Word	Não	Activa	40 %

Figura 56 – Efeitos da alteração das preferências não eliminatórias nos resultados finais

Apesar destas pequenas variações na relevância relativa, a comparação da Tabela 44 com a Tabela 45 revela que as variações percentuais no componente PNE são mais elevadas, sendo de cerca de 9% no objecto “A estrutura do átomo”. No entanto, o componente PNE do objecto mais relevante também aumentou, mesmo que ligeiramente, o que explica estas diferenças.

Utilizador	A estrutura do átomo	Atomic structure	The atom	O átomo
Joana	C	1	1	1
	PE	12500	10000	12500
	PNE	297	297	309
	Total	3712500	2970000	3862500

Tabela 46 – Efeitos da alteração das preferências nos componentes do cálculo da relevância

Após estes testes terem confirmado o correcto funcionamento da parte do algoritmo que usa os parâmetros eliminatórios e não eliminatórios, foram então iniciados os testes mais complexos, que envolvem a parte da contextualização. Na preparação deste teste foram usadas as três ontologias referidas na secção anterior, duas para conceitos de física e uma para a área da saúde. A estrutura de segmentos destas ontologias pode ser consultada na Figura 52 da página 149.

[sek://fisica_avancada.gravidade](#) (apresenta os conceitos avançados de fisica)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
Gravidade: de Newton a Einstein	***	*****	**	*	*****	****	***	sim
Espaço-tempo: teoria da gravidade	****	***	*****	**	***	****	***	sim
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	*****	**	***	*	**	***	***	sim

[sek://fisica_basica.gravidade](#) (apresenta os conceitos básicos sobre a gravidade)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
Newton e a maçã	**	**	*****	****	**	***	***	sim
Manual ilustrado da física: gravidade	***	****	****	**	*****	***	**	sim
A atracção entre os planetas	*****	***	*****	***	***	****	*	sim

[sek://saude.lesoes.gravidade](#) (apresenta os conceitos da classificação da gravidade de lesoes)

objecto	conformidade	rigor	motivação	interacção	acessibilidade	reutilização	normalização	certificado
A gravidade das lesões	***	****	*****	**	*	****	***	sim
Como classificar as lesões	**	*****	**	***	****	****	**	sim
Queimaduras: classificação da gravidade	*****	**	***	****	*	*****	***	sim

Figura 57 – Lista de objectos que podem ser localizados com a palavra-chave “gravidade”

Em cada uma destas ontologias foi criado um segmento ao qual foi atribuída a mesma palavra-chave: “gravidade”. Vários objectos diferentes foram em seguida registados em cada um destes segmentos. A Figura 57 mostra a lista desses objectos e respectiva avaliação, tal como são visualizados no sistema de classificação. Estes objectos têm, entre outros, os seguintes atributos LOM:

Objecto	Idioma	Dispositivo	Formato	Custo	Interactividade
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Browser	Flash	Não	Activo
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Browser	Flash	Não	Activo
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	Browser	HTML	Não	Combinado
Newton e a maçã	Português	Browser	HTML	Sim	Activo
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Browser	Flash	Não	Combinado
A atracção entre os planetas	Português	Browser	Word	Não	Combinado
A gravidade das lesões	Português	Browser	Flash	Não	Combinado
Como classificar as lesões	Português	Browser	HTML	Sim	Combinado
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	Browser	HTML	Não	Activo

Tabela 47 – Alguns atributos LOM dos objectos usados no teste da contextualização

Os perfis dos utilizadores foram alterados, de acordo com os valores que constam na Tabela 48. De salientar que os perfis ainda não têm qualquer informação que possa ser usada para calcular o nível de contextualização.

Nome utilizador:	Pedro	Joana	Miguel
Idioma	Pt:5	Pt:5 En:2	Pt:5 En:5
Dispositivo	Browser:5	Browser:5	Browser:5
Contexto			
Formato	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2	HTML:5 JAVA:5 FLASH:4 WORD:2
Custo	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:3	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:3	Conteúdos abertos:5 Conteúdos pagos:4
Interactividade	Activo:5 Expositivo:3 Combinado:4	Activo:5 Expositivo:3 Combinado:4	Activo:4 Expositivo:4 Combinado:4
Certificação	Certificado:1 Não certificado:0	Certificado:1 Não certificado:0	Certificado:1 Não certificado:0
Conformidade	5	4	5
Rigor	5	5	4
Motivação	2	5	5
Interacção	2	3	3
Acessibilidade	0	5	0
Reutilização	4	2	2

Normalização	4	1	1
Histórico			
Registos de desempenho			

Tabela 48 – Perfis usados no teste de contextualização

Com esta configuração, os resultados da pesquisa de cada utilizador pela palavra-chave “gravidade são os seguintes:

Início | Navegar | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Curso a pedido | Perfil | Utilizador: Pedro | Sair

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: gravidade

Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	100 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	80 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	75 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	69 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	64 %
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	58 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	47 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	42 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	33 %

Figura 58 – Resultados da pesquisa do utilizador Pedro usando a palavra-chave “gravidade”

Início | Navegar | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Curso a pedido | Perfil | Utilizador: Joana | Sair

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: gravidade

Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	100 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	86 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	69 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	67 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	65 %
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	62 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	59 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	42 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	37 %

Figura 59 – Resultados da pesquisa do utilizador Joana usando a palavra-chave “gravidade”

Início | Navegar | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Curso a pedido | Perfil | Utilizador: Miguel | Sair

Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: gravidade

Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	100 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	87 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	87 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	86 %
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	77 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	75 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	66 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	65 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	47 %

Figura 60 – Resultados da pesquisa do utilizador Miguel usando a palavra-chave “gravidade”

Como pode ser observado, os resultados são praticamente idênticos para todos os utilizadores. Tal deve-se ao facto de o factor da fórmula responsável por estimar a contextualização ter o mesmo valor para todos os utilizadores e os parâmetros das preferências individuais não serem suficientemente díspares. Saliente-se que os objectos de cada ontologia estão dispersos ao longo da lista ordenada.

Utilizador	Contexto	Histórico	Registos de desempenho
Pedro			mat_basica:10 mat_basica.calculo:8 mat_basica.algebra:12
Joana	saude		mat_basica:12 mat_basica.calculo:11 mat_basica.algebra:13
Miguel	informatica	saude.lesoes	mat_basica:14 mat_avancada:12 mat_avancada.primitivas:8 fisica_basica:16

Tabela 49 – Alterações nos perfis dos utilizadores de teste

A seguir, os perfis foram alterados, tendo sido introduzidos os valores que constam na Tabela 49, sem modificar os outros parâmetros. Saliente-se o facto de os utilizadores Miguel e Joana possuírem informação de contexto que aponta para áreas distintas. A indicação de “informática” na informação de contexto do utilizador Miguel é usada para verificar o comportamento do algoritmo perante segmentos que não existem no sistema de classificação.

Destes perfis pode deduzir-se que o utilizador Pedro provavelmente frequenta o nível de ensino secundário e tem algumas dificuldades na matemática básica, designadamente em cálculo. O utilizador Joana frequenta eventualmente o ensino na área da Saúde e teve aproveitamento suficiente nos conceitos da matemática básica. Quanto ao utilizador Miguel, frequenta formação na área da informática, usou recentemente um objecto de aprendizagem sobre lesões e tem registos de desempenho bons nas áreas da matemática básica e física básica. Relativamente à matemática avançada, tem um registo de desempenho positivo na matéria global do segmento, mas apresenta dificuldades num dos assuntos específicos, no caso concreto as primitivas.

Com esta nova configuração, os resultados da pesquisa dos três utilizadores, usando a mesma palavra-chave “gravidade”, são os que podem ser observados nas figuras seguintes. A Figura 61 ilustra o novo resultado da pesquisa do utilizador “Pedro”. Comparando este resultado da pesquisa com o resultado inicial, sem contextualização, da Figura 58, é imediatamente notada uma diferença radical na ordenação dos objectos. Saliente-se a forma como dois dos objectos sobre lesões foram relegados para o fim da lista e o terceiro baixou quatro posições. Por outro lado, dois dos objectos mais simples sobre a gravidade subiram para o topo do índice de relevância. No entanto, existe uma excepção notória: o objecto “A atracção entre os planetas” corresponde ao tema pretendido e apesar de ter subido duas posições, ficou classificado atrás de dois objectos sobre física avançada. Este

comportamento do algoritmo deve-se ao facto de esse objecto estar num formato diferente, ao qual o utilizador atribui uma preferência baixa no seu perfil individual.

Início Navegar Pesquisa simples Pesquisa avançada Curso a pedido Perfil Utilizador: Pedro Sair					
Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: gravidade					
Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	100 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	82 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	78 %
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	76 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	73 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	68 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	58 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	49 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	32 %

Figura 61 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Pedro

Considerando que a única informação de contextualização deste utilizador são três registos de desempenho em segmentos de matemática, o comportamento do algoritmo revelou-se bastante eficaz neste caso particular, na medida em que determinou correctamente os objectos mais adequados a este utilizador.

No caso do utilizador Joana, as diferenças entre as duas pesquisas são muito superiores, como pode ser constatado pela comparação dos resultados das duas pesquisas, mostrados na Figura 59 e Figura 62. Repare-se como praticamente todos os objectos não relacionados com a saúde foram erradicados do topo da lista, com relevâncias relativas abaixo dos 10%. A diferença nos valores de relevância destes objectos nas duas pesquisas é muito acentuada. Por exemplo, o objecto “Espaço-tempo: teoria da gravidade” tem na primeira pesquisa 86% de relevância relativa, enquanto que na pesquisa contextualizada tem uns meros 7%.

Início Navegar Pesquisa simples Pesquisa avançada Curso a pedido Perfil Utilizador: Joana Sair					
Resultados da pesquisa sobre as palavras-chave: gravidade					
Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	100 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	69 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	42 %
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	9 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	9 %
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	7 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	6 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	6 %
Conceitos avançados sobre campos gravíticos	Português	HTML	Não	Combinada	5 %

Figura 62 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Joana

Estas diferenças surgem pelo facto de existir um contexto preferencial pela área da saúde no perfil individual deste utilizador, indicando que o utilizador está particularmente interessado em objectos de aprendizagem de segmentos próximos, tal como acontece com o segmento “saude.lesoes.gravidade”. O algoritmo limitou-se a usar esta informação para

umentar radicalmente o nível de contextualização dos três objectos ligados à área da saúde, diminuindo assim o valor relativo da relevância dos outros objectos.

Existe ainda uma outra diferença subtil, mas interessante de analisar. De facto, se as duas figuras forem analisadas em pormenor nota-se que entre os objectos de física existiu uma reorganização, com os objectos sobre física básica a subirem e os objectos sobre física avançada a descerem. Este comportamento deve-se à menor distância semântica destes objectos ao segmento preferencial “saude”. Apenas o objecto “A atracção entre os planetas” ficou no meio dos objectos sobre física avançada, pelas razões já apontadas sobre o nível de preferência atribuído ao seu formato.

O algoritmo funcionou tal como previsto, mesmo na distinção entre a física básica e a física avançada, pois se eventualmente um utilizador com o perfil do utilizador Joana estivesse interessado em aprender algo sobre o conceito físico de gravidade, estaria quase de certeza interessado nas teorias mais simples, dado o seu perfil.

Objecto de aprendizagem	Idioma	Formato	Custo	Interactividade	Relevância
Espaço-tempo: teoria da gravidade	Português	Flash	Não	Activa	100 %
Conceitos avançados sobre campos graviticos	Português	HTML	Não	Combinada	100 %
Manual ilustrado da física: gravidade	Português	Flash	Não	Combinada	91 %
Newton e a maçã	Português	HTML	Sim	Activa	89 %
Gravidade: de Newton a Einstein	Português	Flash	Não	Activa	75 %
A atracção entre os planetas	Português	MS-Word	Não	Combinada	56 %
Queimaduras: classificação da gravidade	Português	HTML	Não	Activa	41 %
A gravidade das lesões	Português	Flash	Não	Combinada	35 %
Como classificar as lesões	Português	HTML	Sim	Combinada	26 %

Figura 63 – Resultados da pesquisa contextualizada do utilizador Miguel

Finalmente, no caso do utilizador Miguel os resultados são também os esperados, mas não são totalmente conclusivos. Os três objectos sobre saúde foram correctamente relegados para o fim da lista, mesmo com a existência de uma visita ao segmento “saude.lesoes” no histórico do perfil do utilizador. No entanto, apesar de os dois primeiros objectos da lista serem sobre física avançada, tal como se pretendia, os objectos sobre física básica possuem uma relevância muito elevada. Dois desses objectos foram mesmo considerados mais relevantes que um dos objectos sobre física avançada.

O problema é que o algoritmo, ao valorizar os conceitos próximos dos registos de desempenho, dá uma relevância superior a conceitos próximos, penalizando os novos conceitos que se pretendam aprender. Uma vez que o utilizador tem registos de desempenho bons na área da física básica, o algoritmo atribui uma relevância elevada aos objectos simples sobre a gravidade. Nestes casos, para que os resultados sejam mais eficazes, é aconselhável alterar o perfil do utilizador no sentido de definir explicitamente as suas preferências de aprendizagem, através da introdução de contextos preferenciais.

4.7.2 Aconselhamento personalizado

Este módulo pode ser invocado sempre que se descarrega um objecto de aprendizagem do portal de eAprendizagem personalizada. O teste consistiu em realizar essa operação sobre o mesmo objecto de aprendizagem, mas com dois utilizadores de perfis diferentes. O objectivo do teste é observar o comportamento individual do algoritmo e analisar as diferenças de aconselhamento para os dois utilizadores.

Foi usada como base a estrutura de ontologias de teste da Figura 52. O objecto de aprendizagem escolhido foi o “Espaço-tempo: teoria da gravidade” do segmento “física_avancada.gravidade” e os utilizadores seleccionados foram a Joana e o Miguel, por possuírem perfis muito diferentes.

O resultado do algoritmo de aconselhamento personalizado relativamente ao utilizador Miguel pode ser observado na Figura 64.

Objecto de aprendizagem		Aconselhamento de aprendizagem prévia
Espaço-tempo: teoria da gravidade		
Avaliação	Atributos LOM [ver todos]	
Conformidade: 4	Descrição: Descreve a gravidade como o resultado da distorção do espaço-tempo, ao abrigo da teoria da relatividade geral de Einstein	<input checked="" type="checkbox"/> Derivadas e primitivas
Rigor: 3	Idioma: Português	<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade restrita
Motivação: 5	Formato: Flash	<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade geral
Interacção: 2	Autor: Joaquim Dias	
Acessibilidade: 3	Dispositivos necessários: Browser	
Reutilização: 4	Interactividade: Activa	
Normalização: 3	Formato pedagógico: Texto Narrativo	
Certificado: 5	Dificuldade: Média	
	Custo: Não	

[Descarregar](#)

Figura 64 – Aconselhamento personalizado sugerido ao utilizador Miguel

Este resultado compreende-se melhor com a ajuda do esquema da Figura 65, que mostra a estrutura de dependências do segmento “física_avancada.gravidade”. Dentro da própria ontologia é óbvia a necessidade de aprender primeiro os conceitos sobre a teoria da relatividade restrita e a teoria da relatividade geral, por esta ordem. Por outro lado, a raiz da ontologia tem relacionamentos de dependência, directos ou indirectos, com todas as outras ontologias da figura.

Como o perfil do utilizador, mostrado na Tabela 49, indica registos de desempenho positivos em todas estas matérias, não existe necessidade de incluí-las no plano de aprendizagem. Existe no entanto uma excepção: apesar de a avaliação global nos conceitos representados pelo segmento “mat_avancada” ser suficiente, está registada uma dificuldade num dos seus segmentos constituintes, no caso concreto o segmento “primitivas”. Neste caso, estando a funcionar em “modo detalhado”, o algoritmo adiciona um objecto deste segmento ao plano de aprendizagem de forma a ajudar o utilizador nesta matéria específica.

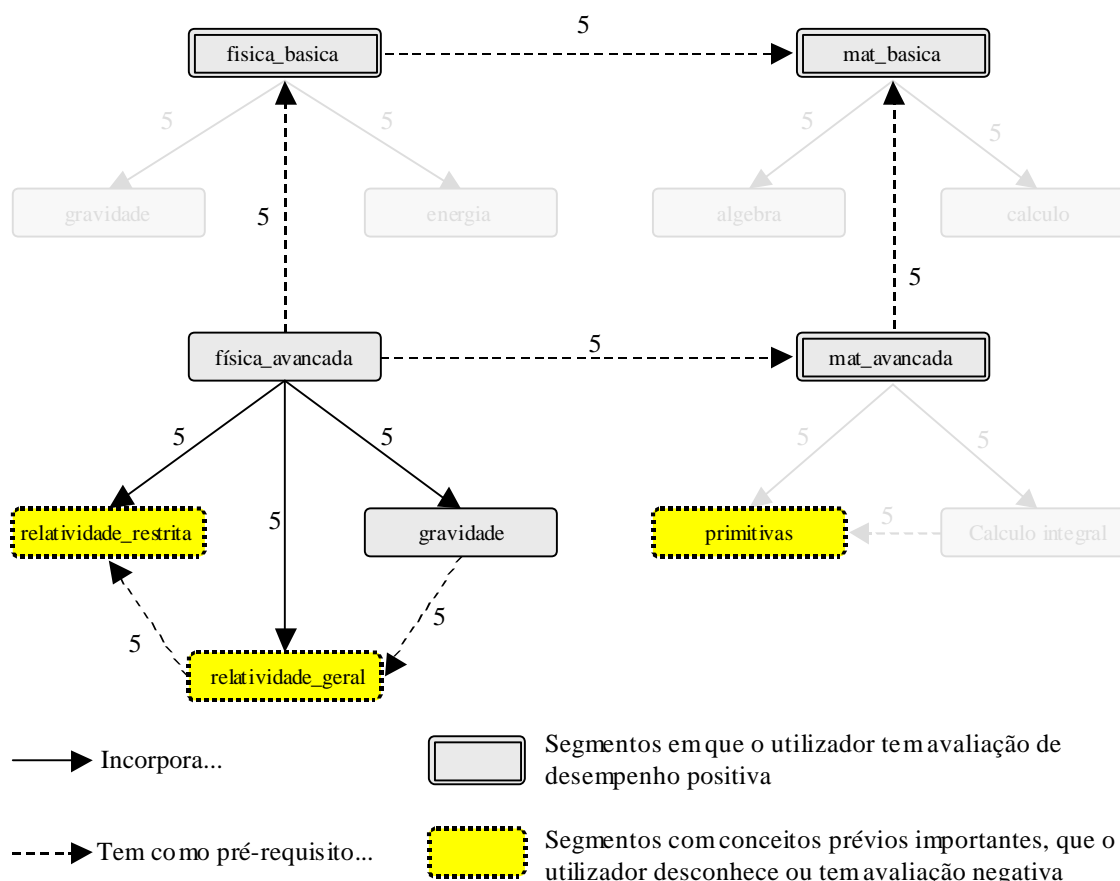


Figura 65 – Estrutura de dependências do segmento gravidade relativamente ao utilizador Miguel
 No segundo caso, foi repetida a mesma operação, mas com o utilizador Joana. Os resultados podem ser observados na Figura 66 e são diferentes, como seria de esperar.

Objecto de aprendizagem		Aconselhamento de aprendizagem prévia
Espaço-tempo: teoria da gravidade		
Avaliação	Atributos LOM [ver todos]	
Conformidade: 4	Descrição: Descreve a gravidade como o resultado da distorção do espaço-tempo, ao abrigo da teoria da relatividade geral de Einstein	<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos avançados de matemática
Rigor: 3		<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais de física
Motivação: 5		<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade restrita
Interação: 2	Idioma: Português	<input checked="" type="checkbox"/> Conceitos fundamentais sobre relatividade geral
Acessibilidade: 3	Formato: Flash	
Reutilização: 4	Autor: Joaquim Dias	
Normalização: 3	Dispositivos necessários: Browser	
Certificado: 8	Interactividade: Activa	
	Formato pedagógico: Texto Narrativo	
	Dificuldade: Média	
	Custo: Não	

[Descarregar]

Figura 66 – Aconselhamento personalizado sugerido ao utilizador Joana

A explicação para as diferenças reside no seu perfil, particularmente nos registos de desempenho. Como não existe nenhum registo de desempenho nas ontologias sobre matemática avançada e física básica, o sistema aconselha a aprendizagem prévia de

objectos que englobam estes conceitos. A Figura 67 mostra a estrutura de segmentos em jogo, que ajuda a compreender o comportamento do algoritmo.

De salientar que a ordem dos temas sugeridos não é arbitrária. O algoritmo usa a informação sobre os relacionamentos de pré-requisito para determinar a ordem correcta de aprendizagem dos diversos conceitos.

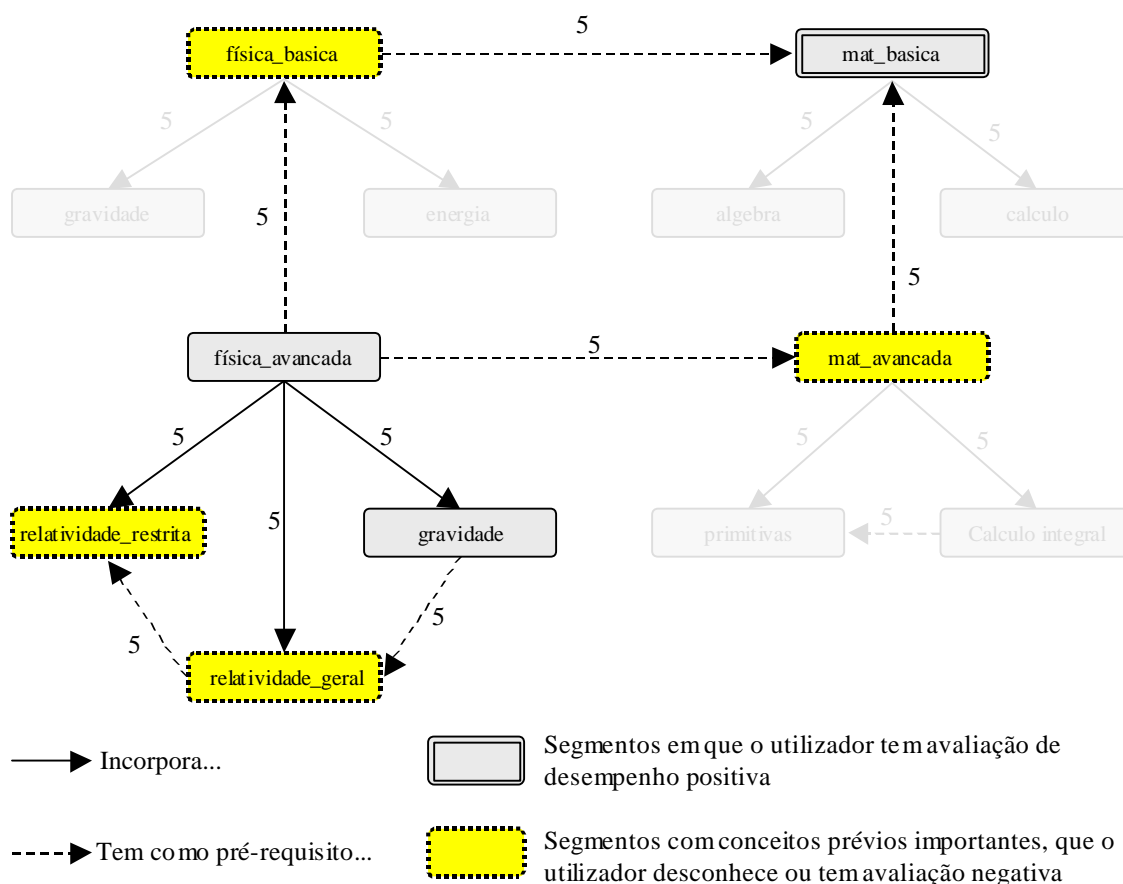


Figura 67 – Estrutura de dependências do segmento gravidade relativamente ao utilizador Joana

Nesta fase convém lembrar que os objectos de aprendizagem podem ter diversos níveis de granulosidade e um objecto pode ser constituído por outros objectos de granulosidade superior. O facto de o algoritmo de aconselhamento personalizado determinar quatro assuntos que devem ser revistos não significa que o utilizador terá que usar apenas quatro objectos de aprendizagem, pois alguns podem ser constituídos por estruturas hierárquicas com vários objectos individuais.

Após a selecção dos objectos que se pretendem como revisão, os utilizadores podem pressionar o botão “descarregar”, que vai despoletar o processo de empacotamento e entrega da estrutura do plano e respectivos objectos de aprendizagem. A Figura 68 mostra um exemplo da utilização de um destes planos de aprendizagem, no caso concreto aquele que foi sugerido ao utilizador Joana. A aplicação usada na figura é o *Reload Scorm Player* [Sharples & Beauvoir, 2005].

Reload Content Package Preview
Espaço-tempo: teoria da gravidade

Curso personalizado
Revisões
Primitivas e integrais
Conceitos fundamentais de física
Relatividade restrita
Relatividade geral
Espaço-tempo: teoria da gravidade

Espaço-tempo: Teoria da gravidade

Na Teoria da Relatividade Especial (também chamada Relatividade Restrita), Einstein analisa as leis da Física em referenciais inerciais. Em 1915, ele publica a sua Teoria da Relatividade Geral em que analisa as leis da Física em referenciais acelerados e desenvolve uma nova teoria da gravidade.

Vamos aqui comentar apenas alguns aspectos desta teoria. Para explicar a atracção gravitacional entre corpos, Einstein abandona a noção newtoniana de força e introduz a noção de espaço curvo.

Para Einstein, os corpos produzem em torno de si uma curvatura do espaço, sendo que, quanto maior a massa do corpo, maior será a curvatura. Podemos fazer uma analogia com a situação representada na figura 16. Nela temos uma bola de ferro (B) colocada sobre uma superfície elástica. A bola de ferro deforma a superfície de modo que o corpo C vai em direção a B não porque haja uma força de atracção, mas sim porque segue a linha do espaço curvo.

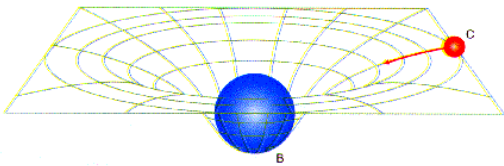


Figura 16

A teoria de Einstein previa que a luz também seria atraída pelos corpos, mas esse efeito seria pequeno e, assim, só poderia ser observado quando a luz passasse perto de corpos de grande massa, como por exemplo o Sol.

A confirmação dessa teoria aconteceu em 19 de maio de 1919. Nesse dia ocorreu um eclipse do Sol que

Done

Figura 68 – Exemplo da utilização de um plano de aprendizagem personalizado

4.7.3 Geração dinâmica de planos de aprendizagem

A geração dinâmica é invocada automaticamente quando não é encontrado um objecto de aprendizagem adequado ao objectivo de aprendizagem e ao perfil do utilizador, mas também pode ser iniciada explicitamente através da opção “Curso a pedido” da interface do protótipo. O teste a este módulo usou as ontologias da secção anterior e consistiu na geração dinâmica de um plano de aprendizagem personalizado para o utilizador Miguel, sobre o tema representado pelo segmento “física_avancada” das ontologias da Figura 52, com várias tolerâncias de personalização.

O segmento “física_avancada” foi deixado propositadamente sem registos de objectos de aprendizagem, de modo a obrigar o algoritmo a recombinar dinamicamente objectos dos seus segmentos constituintes. A Figura 69 mostra a estrutura de segmentos que o módulo deverá considerar. Em princípio, o plano de aprendizagem será constituído pelos três segmentos incorporados no segmento “física_avancada” juntamente com o segmento “mat_avancada.primitivas” que resulta da determinação da árvore de dependências, tendo em consideração o perfil do utilizador. Recorde-se que existe nesse perfil a informação de desempenho negativo no segmento “mat_avancada.primitivas”. O segmento “física_avancada” tem relacionamentos de pré requisito com outros segmentos. No entanto, como a avaliação de desempenho do utilizador nos temas representados por esses segmentos é positiva, o módulo determinará que não é necessário incorporá-los no plano.

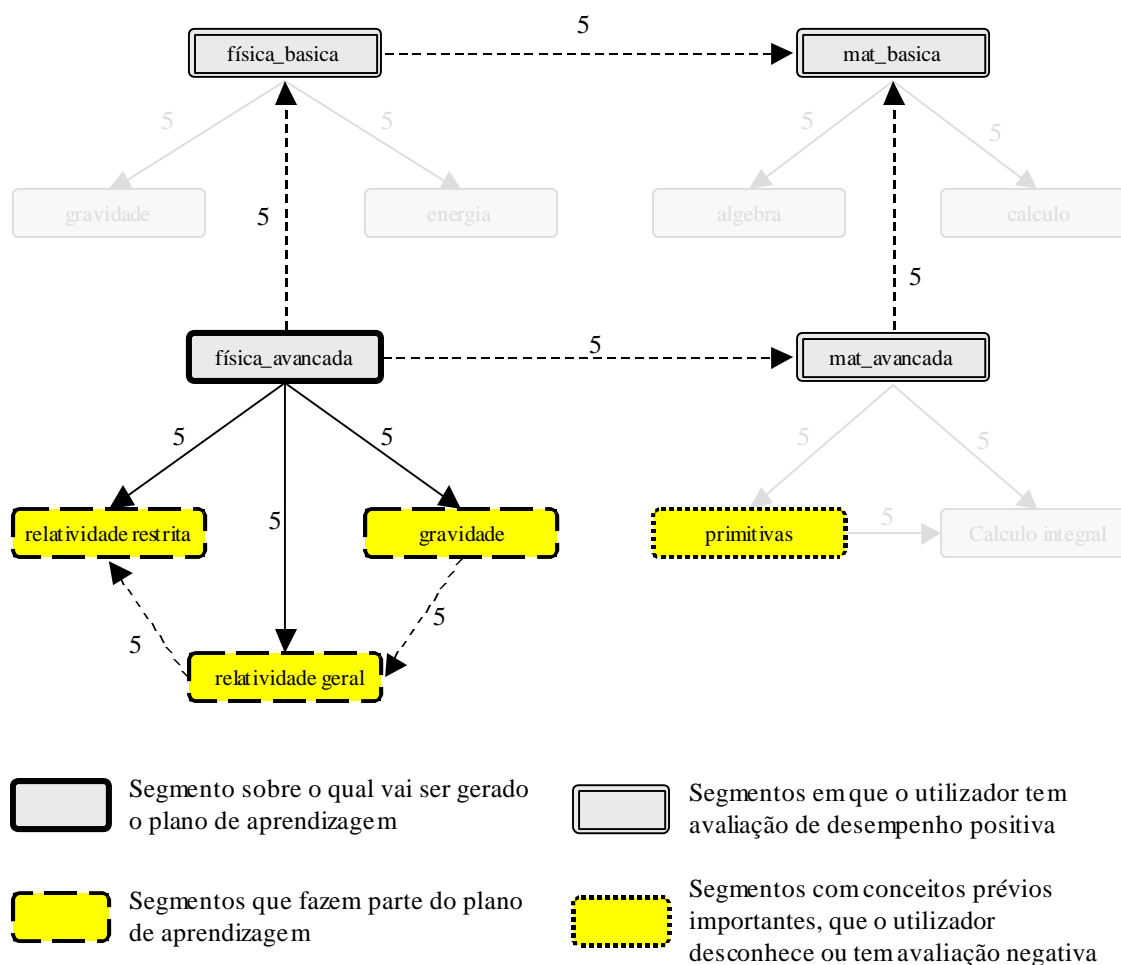


Figura 69 – Segmentos envolvidos no plano de aprendizagem

Cada um dos segmentos que irão fazer parte do plano de aprendizagem foi povoado com quatro objectos de aprendizagem criados especificamente para testar o módulo, que na realidade são apenas registos de metadados e avaliações no sistema de classificação. A lista destes objectos e o seu respectivo registo nos segmentos podem ser observados na Tabela 50.

Segmento	Nome do objecto de aprendizagem	Código
mat_avancada.primitivas	Derivadas e primitivas	A1
mat_avancada.primitivas	Primitivas	A2
mat_avancada.primitivas	Integration	A3
mat_avancada.primitivas	Handbook of integrals	A4
física_avancada.relatividade_restrita	A teoria da relatividade	B1
física_avancada.relatividade_restrita	Relatividade restrita	B2
física_avancada.relatividade_restrita	Special relativity	B3
física_avancada.relatividade_restrita	Einstein's special relativity theory	B4
física_avancada.relatividade_geral	A teoria da relatividade geral	C1
física_avancada.relatividade_geral	Relatividade geral	C2
física_avancada.relatividade_geral	Einstein's general relativity theory	C3
física_avancada.relatividade_geral	Space, time and general relativity	C4
física_avancada.gravidade	Espaço-tempo: teoria da gravidade	D1

fisica_avancada.gravidade	Conceitos avançados sobre campos gravíticos	D2
fisica_avancada.gravidade	Gravitational fields	D3
fisica_avancada.gravidade	Space-time gravity theory	D4

Tabela 50 – Lista de objectos usados no teste de geração automática de planos de aprendizagem

De modo a facilitar a análise dos resultados, dada a extensão do nome dos objectos, foi atribuído um código alfanumérico a cada um deles. A Tabela 51 mostra os atributos de cada um dos objectos.

Objecto	Idioma	Formato	Custo	Conformidade	Rigor	Motivação	Interação	Acessibilidade	Reutilização	Normalização
A1	Português	Flash	Sim	3	5	2	4	3	5	2
A2	Português	HIML	Não	4	2	5	3	2	4	5
A3	Inglês	Flash	Não	5	3	4	2	4	3	5
A4	Inglês	HIML	Sim	4	5	3	2	3	4	4
B1	Português	Flash	Não	3	4	5	3	2	2	2
B2	Português	HIML	Não	3	3	3	4	2	1	5
B3	Inglês	Flash	Não	3	5	4	2	3	4	2
B4	Inglês	HIML	Sim	4	2	5	2	3	3	4
C1	Português	Flash	Não	2	4	3	5	3	4	2
C2	Português	HIML	Não	4	2	5	5	5	2	2
C3	Inglês	Flash	Sim	3	3	4	2	5	3	4
C4	Inglês	HIML	Não	3	5	4	5	4	3	3
D1	Português	Flash	Não	5	2	3	4	3	5	4
D2	Português	HIML	Não	2	2	2	3	4	5	5
D3	Inglês	Flash	Não	5	5	5	2	2	3	1
D4	Inglês	HIML	Não	4	5	3	4	4	4	2

Tabela 51 – Características dos objectos usados no teste

Com estas condições definidas, foi efectuado o registo dos objectos no sistema de classificação e foi realizado o teste de geração dinâmica do curso sobre física avançada, com 100% de tolerância de personalização. O resultado do teste foi o seguinte:

Início | Navegar | Pesquisa simples | Pesquisa avançada | Curso a pedido | Perfil
Utilizador: Miguel
Sair

Curso sobre conceitos fundamentais de física avançada, personalizado para Miguel Dias Silva Pereira Cardoso.

Revisões

- Primitivas
- Conceitos fundamentais de física avançada**
- Relatividade restrita
- Relatividade geral
- Conceitos avançados sobre campos gravíticos

Figura 70 – Resultado da geração dinâmica, com 100% de tolerância de personalização

Importa agora analisar o comportamento do modelo nestas condições. Após a determinação dos segmentos a usar no plano de aprendizagem, na etapa seguinte do processo é aplicado o algoritmo de determinação de relevância relativa aos objectos de cada um desses segmentos. Nesta situação particular, os resultados são os seguintes:

Primitivas		relatividade_restrita		relatividade_geral		gravidade	
A2	100%	B4	100%	C4	100%	D1	100%
A3	72%	B2	92%	C2	66%	D4	93%
A4	68%	B3	87%	C1	63%	D2	85%
A1	43%	B1	62%	C3	59%	D3	59%

Tabela 52 – Listas ordenadas de objectos de acordo com a sua relevância relativa

A próxima fase consiste na determinação da sequência de objectos mais coerente. Com uma tolerância de personalização zero, não seria sequer necessário aplicar o algoritmo de determinação de coerência, pois apenas o objecto mais relevante de cada segmento obedeceria a esse critério. Desta forma a sequência proposta ao utilizador seria: A2-B4-C4-D1. Os objectos desta sequência têm as seguintes características:

Objecto	Idioma	Formato	Custo	Conf.	Rigor	Moti.	Inte.	Aces.	Reut.	Norm.
A2	Português	HTML	Não	4	2	5	3	2	4	5
B4	Inglês	HTML	Sim	4	2	5	2	3	3	4
C4	Inglês	HTML	Não	3	5	4	6	4	3	3
D1	Português	Flash	Não	5	2	3	4	3	5	4

Tabela 53 – Características da sequência determinada sem o algoritmo de coerência

Como se pode constatar, embora esta solução escolha o objecto de aprendizagem mais adequado ao perfil do utilizador em cada um dos segmentos, a sequência apresenta algumas incoerências. Neste caso particular existem dois objectos num idioma e dois noutra, dois formatos diferentes e até se combinam conteúdos gratuitos com conteúdos pagos. Está assim comprovada a necessidade de um método que melhore a coerência ao longo do plano de aprendizagem.

A fase seguinte aplica o algoritmo de estimação de coerência apresentado na secção 4.5. Este primeiro teste usou uma tolerância de 100%, de modo a englobar todos os objectos e verificar o funcionamento do algoritmo com a máxima liberdade de escolha de sequências. Analisando a Tabela 52 constata-se que com esta tolerância existem 256 (4^4) sequências possíveis para o plano de aprendizagem. A aplicação da fórmula de estimação de coerência a cada uma destas sequências resulta na lista ordenada que pode ser observada na Tabela 54. Por uma questão de espaço, apenas são mostradas as dez melhores e cinco piores sequências do total de 256. A tabela mostra não só o resultado final da fórmula como também a contribuição de cada componente.

Sequência				Total	Idioma	Formato	Custo	Acessibilidade	Conformidade	Rigor
A2	B2	C2	D2	10,25	0,00	0,00	0,00	6,75	2,75	0,75
A2	B2	C1	D2	24,25	0,00	16,00	0,00	2,75	2,75	2,75
A2	B2	C2	D1	24,75	0,00	16,00	0,00	6,00	2,00	0,75
A3	B3	C4	D3	25,75	0,00	16,00	0,00	2,75	4,00	3,00
A2	B1	C1	D1	26,00	0,00	16,00	0,00	1,00	5,00	4,00
A1	B1	C1	D1	26,25	0,00	0,00	16,00	0,75	4,75	4,75
A3	B1	C1	D1	27,50	16,00	0,00	0,00	2,00	6,75	2,75
A3	B3	C1	D3	27,50	16,00	0,00	0,00	2,00	6,75	2,75
A2	B2	C4	D2	28,00	16,00	0,00	0,00	4,00	2,00	6,00
A2	B1	C2	D2	28,50	0,00	16,00	0,00	6,75	2,75	3,00
..
A4	B4	C1	D1	107,50	32,00	32,00	32,00	0,00	4,75	6,75
A4	B1	C3	D2	108,00	32,00	32,00	32,00	5,00	2,00	5,00
A4	B2	C3	D1	108,25	32,00	32,00	32,00	4,75	2,75	4,75
A1	B4	C4	D1	108,50	32,00	32,00	32,00	0,75	2,75	9,00
A1	B4	C2	D3	111,75	32,00	32,00	32,00	4,75	2,00	9,00

Tabela 54 – Resultados da aplicação da função de estimação de coerência com tolerância zero

Observando a tabela, constata-se que a sequência mais coerente segundo o algoritmo é A2-B2-C2-D2, o que confirma os resultados obtidos através do protótipo, que podem ser observados na Figura 70.

Pela análise dos valores dos diversos componentes deste cálculo, conclui-se que os objectos desta sequência têm todos o mesmo idioma, o mesmo formato, o mesmo tipo relativamente ao custo, um rigor muito semelhante e conformidades não muito díspares. Só no atributo acessibilidade é que aparentemente existe alguma disparidade relevante. Se observarmos as características de cada um dos objectos da sequência, resumidas na Tabela 55, confirmamos estas constatações.

Objecto	Idioma	Formato	Custo	Conf.	Rigor	Aces.
A2	Português	HTML	Não	4	2	2
B2	Português	HTML	Não	3	3	2
C2	Português	HTML	Não	4	2	5
D2	Português	HTML	Não	2	2	4

Tabela 55 – Atributos da sequência A2-B2-C2-D2

A coerência de um plano depende fortemente do número e variedade de objectos disponíveis. Neste caso particular essa variedade é tão limitada que apenas uma sequência consegue coerência total nos atributos “idioma”, “formato” e “custo”. Se analisarmos a sequência classificada em quarto lugar, mostrada na Tabela 56, verificamos que esta mantém o mesmo idioma, embora neste caso seja o Inglês, mantém também a coerência na questão do custo de cada um dos objectos mas já não consegue seleccionar objectos com um formato uniforme.

Objecto	Idioma	Formato	Custo	Conf.	Rigor	Aces.
A3	Inglês	Flash	Não	5	3	4
B3	Inglês	Flash	Não	3	5	3
C4	Inglês	HIML	Não	3	5	4
D3	Inglês	Flash	Não	5	5	2

Tabela 56 – Atributos da sequência A3-B3-C4-D3

Estes resultados foram obtidos com uma tolerância de personalização de 100%, o que significa que é dada liberdade total ao algoritmo de determinação de coerência em detrimento da capacidade de personalização dos resultados. Aliás, neste caso limite nem sequer existe qualquer personalização, uma vez que todos os objectos dos segmentos foram admitidos ao processo de determinação de coerência. Por exemplo, a sequência mais coerente, A2-B2-C2-D2, tem um objecto (C2) que ficou classificado em último lugar na aplicação do algoritmo de determinação da relevância personalizada, com uma relevância relativa de apenas 51%, como pode ser constatado na Tabela 52.

É por isso importante analisar o comportamento do algoritmo de determinação de coerência com tolerâncias de personalização mais apertadas. Com uma tolerância de 25%, os objectos admitidos à fase de determinação da sequência mais coerente são os seguintes:

primitivas		relatividade_restrita		relatividade_geral		gravidade	
A2	100%	B4	100%	C4	100%	D1	100%
		B2	92%			D4	93%
		B3	87%			D2	85%

Tabela 57 – Objectos que obedecem à tolerância de 25%

Como pode ser constatado na Tabela 57, existem $1 \times 3 \times 1 \times 3 = 9$ sequências possíveis para o plano de aprendizagem. Perante esta escassez de objectos não será fácil o trabalho do algoritmo de determinação das sequências mais coerentes. Após a sua aplicação, é obtido o seguinte resultado:

Sequência				Total	Idioma	Formato	Custo	Acessibilidade	Conformidade	Rigor
A2	B2	C4	D2	28,00	16,00	0,00	0,00	4,00	2,00	6,00
A2	B3	C4	D4	42,50	16,00	16,00	0,00	2,75	1,00	6,75
A2	B2	C4	D1	43,50	16,00	16,00	0,00	2,75	2,75	6,00
A2	B2	C4	D4	43,75	32,00	0,00	0,00	4,00	1,00	6,75
A2	B4	C4	D4	44,50	16,00	0,00	16,00	2,75	0,75	9,00
A2	B4	C4	D2	60,25	32,00	0,00	16,00	2,75	2,75	6,75
A2	B3	C4	D2	61,75	32,00	16,00	0,00	2,75	2,00	9,00
A2	B4	C4	D1	74,75	32,00	16,00	16,00	2,00	2,00	6,75
A2	B3	C4	D1	77,75	32,00	32,00	0,00	2,00	2,75	9,00

Tabela 58 – Resultados da aplicação da função de estimação de coerência com tolerância 25%

O teste realizado no protótipo confirma estes cálculos, como pode ser observado na Figura 71.

Curso sobre conceitos fundamentais de física avançada, personalizado para Miguel Dias Silva Pereira Cardoso.

Revisões
 Primitivas

Conceitos fundamentais de física avançada
 Relatividade restrita
 Space, time and general relativity
 Conceitos avançados sobre campos gravíticos

Descarregar curso

Figura 71 – Resultados da geração dinâmica com 25% de tolerância de personalização

Como pode ser observado na Tabela 58 e Tabela 59, mesmo com as evidentes limitações impostas pela tolerância de 25% foi possível determinar uma sequência em que o formato e o custo são totalmente coerentes e apenas um dos objectos tem um idioma diferente. Na segunda sequência da lista começam a existir incoerências também no atributo “formato” e a partir daí as incoerências aumentam ao ponto de existirem diferenças relevantes em praticamente todos os atributos.

Objecto	Idioma	Formato	Custo	Conf.	Rigor	Aces.
A2	Português	HTML	Não	4	2	2
B2	Português	HTML	Não	3	3	2
C4	Inglês	HTML	Não	3	5	4
D2	Português	HTML	Não	2	2	4

Tabela 59 – Lista de objectos da sequência A2-B2-C4-D2

Fica assim demonstrada a importância da tolerância de personalização como factor determinante do compromisso entre o funcionamento do algoritmo de relevância personalizada e a coerência das sequências dos planos de aprendizagem.

4.8 Conclusões

O objectivo fundamental deste capítulo consiste na proposta de modelos para personalização de actividades de eAprendizagem baseados no sistema de classificação proposto no capítulo anterior. Os modelos devem ser capazes de gerar dinamicamente experiências personalizadas de eAprendizagem à medida de cada utilizador, usando o seu perfil individual como base para essa personalização.

No início do capítulo é proposta uma extensão à norma PAPI que permite armazenar no perfil de cada utilizador informação complementar à norma, vital para o bom funcionamento dos serviços de personalização propostos. Essa informação inclui por exemplo preferências relativamente aos atributos dos objectos pretendidos e um histórico da utilização de objectos de aprendizagem.

São propostos três serviços distintos de personalização, que incluem os respectivos modelos, descrição dos protótipos desenvolvidos para os validar e análise dos resultados obtidos com o protótipo de cada serviço.

O primeiro serviço, intitulado “pesquisa personalizada” fornece a capacidade de filtrar e ordenar os resultados de pesquisas de acordo com a formação anterior do utilizador, o seu histórico de utilização de objectos de aprendizagem e o registo de avaliações anteriores em actividades conferentes de classificação. O modelo apresentado baseia-se numa função que estima a relevância de cada objecto com base nos seus atributos LOM, na informação fornecida pelo sistema de classificação e no perfil do utilizador.

A função de estimação de relevância proposta possui três componentes diferentes. O nível de contextualização mede o nível de proximidade semântica entre cada objecto e os interesses do utilizador. Para isso introduz o conceito de distância semântica entre segmentos, que permite quantificar essa proximidade. Os interesses de cada utilizador são representados por preferências explícitas, pelo registo de desempenho em eventos com avaliação e pelo histórico de utilização de objectos de aprendizagem.

Os outros dois componentes avaliam cada objecto segundo parâmetros eliminatórios e não eliminatórios. Os primeiros correspondem a atributos vitais que, caso não sejam satisfatórios relativamente às preferências dos utilizadores, eliminam imediatamente o objecto. Os segundos não eliminam o objecto mesmo com avaliação nula, limitando-se a contribuir para o cálculo da relevância total.

O protótipo desenvolvido demonstrou a validade do modelo logo nos testes iniciais. Testes mais apurados comprovaram o funcionamento como previsto do algoritmo de pesquisa personalizada. A capacidade de discriminação do serviço é máxima quando os perfis contêm de forma explícita os contextos preferenciais de aprendizagem. Nesta situação o algoritmo demonstrou a sua eficácia ao seleccionar inequivocamente os conteúdos mais apropriados.

Sem a informação de contextos preferenciais de aprendizagem, o algoritmo também funcionou de acordo com o previsto, seleccionado os objectos semanticamente mais próximos das matérias com registos de desempenho nos perfis dos utilizadores. O problema desta abordagem é que quando um utilizador pretende aprender novas matérias, o algoritmo vai valorizar os conceitos próximos dos registos de desempenho, dando uma relevância superior a conceitos que já foram aprendidos em detrimento dos novos conceitos que se pretendem aprender.

O algoritmo deve assim ser melhorado, oferecendo pelo menos a oportunidade de configurá-lo de modo a dar menos relevância aos conceitos já aprendidos e mais relevância aos novos conceitos que nascem a partir das matérias já aprendidas. A informação necessária para esta evolução está disponível no sistema de classificação e seriam necessárias apenas pequenas alterações no algoritmo, de forma a atribuir pesos diferentes às distâncias semânticas de acordo com o tipo de relacionamento com os segmentos onde o utilizador possui informação de desempenho. Desta forma, seria aumentada a relevância dos novos conhecimentos em detrimento dos já adquiridos.

Outro serviço proposto, chamado “aconselhamento personalizado”, tem a capacidade de sugerir planos de aprendizagem para revisão de conceitos que serão previamente necessários para um determinado objectivo de aprendizagem. Estes planos são gerados dinamicamente e têm em consideração os requisitos prévios do objectivo de aprendizagem e as dificuldades e competências do utilizador relativamente a esses requisitos. Os testes efectuados, embora limitados a situações criadas artificialmente, demonstraram o funcionamento do serviço de acordo com as previsões efectuadas quando o modelo foi desenvolvido.

No âmbito deste modelo são propostas duas estruturas relevantes: a árvore de dependências e a árvore de dificuldades. No primeiro caso, trata-se da estrutura de segmentos que representa os conhecimentos prévios que são necessários para aprender correctamente o assunto de um determinado segmento. A árvore de dificuldades resulta da comparação da árvore de dependências com as competências do utilizador reveladas pelo seu perfil PAPI. Basicamente é formada por todos os segmentos da árvore de dependências para os quais o formando não possui informação de desempenho positivo.

Finalmente, o serviço de “geração dinâmica de planos de aprendizagem” permite criar de forma automática cursos de alto nível personalizados, através da agregação dinâmica de objectos de aprendizagem de diferente granulosidade, à medida do perfil e necessidades individuais do utilizador. Este modelo usa os conceitos de árvore de dependências e árvore de dificuldades e acrescenta um algoritmo que determina o plano de aprendizagem mais coerente. O algoritmo é configurável relativamente ao compromisso entre personalização e coerência do plano. A estimação da coerência de um plano de aprendizagem recorre a uma fórmula desenvolvida para o efeito, que determina o grau de coerência de cada plano através da comparação dos atributos individuais de cada objecto desse plano com os valores médios ou predominantes.

Um dos problemas do modelo proposto relaciona-se com a exigência computacional do algoritmo de estimação de coerência, uma vez que ele testa todas as combinações possíveis. Uma vez que o número de possibilidades aumenta exponencialmente com o número de segmentos do plano de aprendizagem e o número de objectos em cada segmento, é provável que o tempo de cálculo seja inabarcável nalgumas situações. Este algoritmo necessita assim de ser optimizado.

Foi realizado um teste a este modelo, com um máximo de 256 sequências diferentes, e os resultados foram muito animadores. O algoritmo funciona tal como previsto, sugerindo as sequências mais coerentes dentro das limitações de variedade impostas pelo número de objectos disponíveis em cada segmento e pela tolerância de personalização predefinida.

Concluindo, os modelos e serviços propostos neste capítulo demonstraram ter a capacidade para realizar pesquisas, sugerir revisões e gerar dinamicamente cursos de forma personalizada, considerando as preferências, características, competências e dificuldades de cada utilizador. Apesar de serem necessários testes exaustivos em ambientes reais para validar os modelos com um maior grau de fiabilidade, os resultados nos diversos testes laboratoriais realizados demonstraram que os modelos funcionam como previsto, pelo que nada indica que estes não sejam igualmente eficazes em ambientes reais mais complexos.

5 Gestão da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem

Neste capítulo é apresentado um modelo que permite aplicar os conceitos da gestão da propriedade intelectual a objectos de aprendizagem, tendo em consideração os seus requisitos específicos e os modelos que efectuam agregação dinâmica de objectos de aprendizagem do capítulo anterior. O conteúdo deste capítulo baseia-se parcialmente nos artigos [Santos & Ramos, 2002] e [Santos & Ramos, 2004a].

5.1 Introdução

Nos capítulos anteriores foi assumido que os vários objectos de aprendizagem registados nos sistemas de classificação se encontram acessíveis através da Internet e podem ser usados gratuitamente, sem qualquer necessidade de licenciamento ou pagamento. No entanto, a produção de conteúdos digitais comerciais está a tornar-se uma área económica de elevado crescimento anual [Moe & Blodget, 2000; IDC, 2003], pelo que o suporte à utilização de objectos de aprendizagem pagos assume uma relevância crescente.

Têm existido grandes discussões nos meios académicos sobre se o acesso aos conteúdos educativos digitais deve ser ou não gratuito. O estudo desta questão não faz parte dos objectivos deste trabalho, assumindo-se simplesmente que alguns conteúdos digitais de qualidade serão desenvolvidos com intenções comerciais. Sabendo-se que o sucesso de qualquer experiência educativa baseada em eAprendizagem depende fortemente da qualidade dos conteúdos, é lógico que quem oferece cursos procure utilizar objectos de aprendizagem individuais de elevada qualidade. O problema é que a produção própria de conteúdos de grande qualidade pedagógica e científica exige equipas multidisciplinares altamente qualificadas a trabalhar por muito tempo e conseqüentemente os custos de produção são bastante elevados. Como é lógico, quem investe neste tipo de produção tem toda a legitimidade de proteger o seu investimento através de direitos de autor, exigindo contrapartidas financeiras pela sua utilização, de modo a amortizar as despesas de produção.

A protecção da propriedade intelectual dos conteúdos é assim essencial para evitar a utilização abusiva de conteúdos, mas por si só não resolve totalmente a questão da amortização dos custos de produção, pois isso só acontecerá se o número de utilizadores atingir um valor mínimo crítico, normalmente muito elevado. Durante a revolução

industrial surgiu a ideia da integração, ou seja, a composição de um produto por componentes procedentes de vários fabricantes, cada um especializado num determinado tipo. Mais de um século depois, esta lógica continua válida para a criação de conteúdos digitais, com a vantagem acrescida de praticamente não existirem custos na replicação e transporte dos conteúdos. Assim, uma das vias que podem contribuir decisivamente para a amortização do custo de desenvolvimento dos conteúdos será a disponibilização de objectos de aprendizagem para reutilização noutros conteúdos de alto nível, com contrapartidas financeiras. Aliás, um dos objectivos principais inerentes ao próprio conceito de objecto de aprendizagem é precisamente a promoção da reutilização de conteúdos.

Numa primeira abordagem, considerando o tema principal deste trabalho, a questão da propriedade intelectual dos objectos de aprendizagem poderia ser entendida como uma questão colateral. No entanto, dada a muito provável utilização de conteúdos não gratuitos em acções de eAprendizagem, foi considerado fundamental estudar as formas de integração deste tipo de conteúdos nos modelos apresentados nos capítulos anteriores, analisando as repercussões na personalização de conteúdos de eAprendizagem. Como o modelo de personalização tem a capacidade de agregar objectos de aprendizagem independentes, combinando conteúdos gratuitos com conteúdos não gratuitos, eventualmente de proprietários distintos, este assunto merece alguma reflexão.

Desta forma, com este capítulo pretende-se analisar as várias questões relacionadas com a propriedade intelectual de objectos de aprendizagem, com incidência particular nas modificações que os modelos propostos nos capítulos anteriores têm que sofrer de modo a poderem integrar este tipo de conteúdos nos planos de aprendizagem da forma mais transparente possível para sistemas e utilizadores.

5.2 Protecção da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem

5.2.1 Os problemas da visão tradicional de protecção de direitos de autor

Tradicionalmente, o acesso a repositórios de conteúdos educativos com protecção da propriedade intelectual é feito através de processos de autenticação que se baseiam no uso de pares utilizador/senha. Este esquema simples de protecção apresenta no entanto algumas lacunas graves. Por um lado, se um destes pares utilizador/senha se tornar conhecido do domínio público, de forma voluntária ou involuntária, passa a disponibilizar o acesso a utilizadores que não estão realmente autorizados. Por outro lado, este método não impede que um utilizador autorizado descarregue os conteúdos do servidor e os distribua massivamente através da Internet, através da sua rede de contactos ou serviços de partilha de ficheiros.

Normalmente, os legítimos proprietários dos conteúdos tentam evitar estes abusos usando declarações de direitos de autor e números de série, mas a realidade demonstra que estes métodos não são um verdadeiro obstáculo à violação de direitos de autor. A facilidade com que se podem copiar conteúdos digitais sem perda de qualidade, aliada à disseminação de

aplicações de partilha de ficheiros, pode provocar enormes prejuízos aos produtores de conteúdos educativos.

Perante estes factos, é legítimo concluir que os sistemas de protecção de propriedade intelectual que se baseiam unicamente em esquemas de autorização de acesso aos servidores de conteúdos não têm uma eficácia elevada. Uma forma de contornar esta vulnerabilidade envolve a implementação dos mecanismos de protecção nos próprios conteúdos, permitindo a sua cópia física mas inviabilizando a sua utilização de forma não autorizada.

5.2.2 Gestão de direitos digitais

Na secção anterior foi concluído que para ser realmente eficaz, a protecção da propriedade intelectual de conteúdos digitais tem que ser intrínseca aos próprios conteúdos. Estas questões são estudadas numa área de investigação designada “gestão de direitos digitais”⁷, que investiga os mecanismos de gestão da propriedade intelectual de conteúdos digitais.

A abordagem fundamental das arquitecturas de gestão de direitos digitais, ilustrada na Figura 72, envolve a encriptação dos conteúdos, que só poderão ser visualizados em aplicações especificamente concebidas para proteger a propriedade intelectual desses conteúdos. Estas aplicações necessitam de uma licença específica para que o utilizador possa usar esses conteúdos encriptados. Se os conteúdos forem copiados, sem a respectiva licença não será possível visualizá-los.

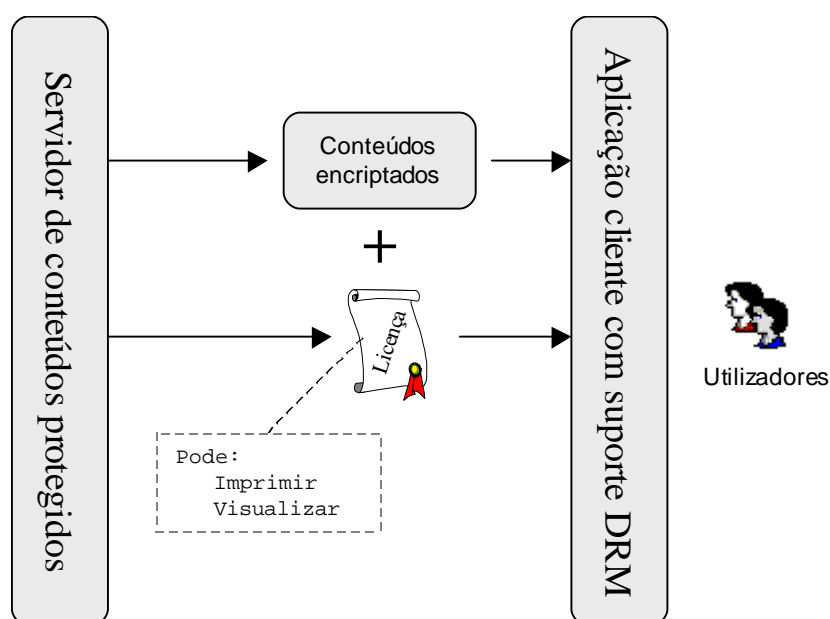


Figura 72 – Modelo fundamental das arquitecturas DRM

A licença pode ser atribuída a utilizadores ou dispositivos e define inequivocamente quais as operações que o utilizador ou dispositivo está autorizado a exercer e as condições em que o pode fazer. Essas operações abrangem vários aspectos, nomeadamente:

- **Utilização:** por exemplo, utilizador, dispositivo, data, local;

⁷ Tradução de *Digital Rights Management (DRM)*

- **Acções:** por exemplo ler, ouvir, executar, imprimir;
- **Reutilização:** por exemplo, copiar, modificar, anotar, redistribuir;
- **Comerciais:** por exemplo, vender, emprestar, alugar.

Com este conjunto de permissões e restrições deverá ser possível codificar os mais variados casos de utilização, como por exemplo:

- Um aluno adquire um curso a um fornecedor de conteúdos. Pode visualizar esse curso as vezes que quiser. Pode utilizar a área de transferência do sistema operativo para copiar certas partes de texto para outras aplicações. Pode imprimir certas partes de texto. Pode copiar o curso para outro computador uma única vez;
- Um aluno compra um curso a um fornecedor de conteúdos segundo o sistema de micro pagamento por cada utilização. Cada vez que visualiza o curso é-lhe debitada uma pequena quantia. Não pode imprimir, nem copiar através da área de transferência. Não é autorizado a copiar o curso para outro computador;
- Uma Universidade disponibiliza gratuitamente um curso a uma turma de alunos durante um mês. Após esse período, o curso continua com acesso gratuito apenas nos computadores da Universidade;
- Um fornecedor de conteúdos reutiliza um objecto de aprendizagem de outro autor. Por cada novo licenciamento do conteúdo que utiliza esse objecto, o autor do objecto reutilizado tem direito a uma percentagem do valor desse licenciamento.

A complexidade e variedade das situações a descrever requer a utilização de um vasto conjunto de regras estruturadas, permissões, restrições e sua combinação. Isto torna a descrição de direitos uma questão tão complexa que originou o desenvolvimento de linguagens específicas para a descrição de direitos digitais [XRML, 2002; ODRL, 2002; INDECS, 2000; MPEG21 2002; CEN/ISSS, 2003; LTSC/DREL, 2003].

Uma consequência interessante deste tipo de arquitecturas, em termos de modelo de negócio, reside no facto de o valor não estar nos próprios conteúdos mas sim nos direitos para a sua utilização. Os conteúdos podem mesmo ser distribuídos livremente, pois só com a respectiva licença poderão ser utilizados. O desenvolvimento de arquitecturas abertas de gestão de direitos digitais pode ser um passo muito importante para a criação de aplicações normalizadas que permitam a gestão e protecção da propriedade intelectual de conteúdos digitais [Iannella, 2001], incluindo objectos de aprendizagem.

5.2.3 Requisitos específicos dos objectos de aprendizagem

Dois bons exemplos de conteúdos clássicos com severas restrições no que respeita à protecção da sua propriedade intelectual são o cinema e a música. Este tipo de conteúdos consiste normalmente em obras inteiramente originais, que não incluem trechos ou excertos externos protegidos com direitos de autor. Consequentemente, existe tipicamente apenas uma entidade que possui todos os direitos de autor da obra completa, o que facilita o modelo de negócio e as transacções financeiras.

No entanto, os conteúdos de eAprendizagem possuem algumas propriedades específicas que tornam o seu modelo de negócio e a gestão da propriedade intelectual bem mais complexos. De facto, sendo a promoção da reutilização de conteúdos um dos princípios basilares do conceito de objecto de aprendizagem, é possível que conteúdos de alto nível sejam compostos por objectos de aprendizagem de origens distintas, com ou sem direitos de propriedade intelectual. A Figura 73 mostra um exemplo de um hipotético objecto de aprendizagem cuja propriedade intelectual envolve pelo menos quatro entidades diferentes.

Se alguns destes objectos exigirem algum tipo de licenciamento pela sua utilização o cenário complica-se definitivamente. No exemplo da figura, a propriedade intelectual do objecto A pertence à entidade X, pelo que se a utilização deste objecto for licenciada a uma entidade externa, será a entidade X a celebrar o contrato e a receber os respectivos pagamentos. No entanto, o objecto A inclui objectos com propriedade intelectual de outras entidades, pelo que esses objectos também devem ser licenciados, eventualmente com condições diferentes. Por outro lado, um dos objectos constituintes do objecto A, o objecto E, é também ele próprio constituído por outros objectos de mais baixo nível, pelo que a mesma abordagem se pode aplicar recursivamente até atingir os objectos de aprendizagem atómicos.

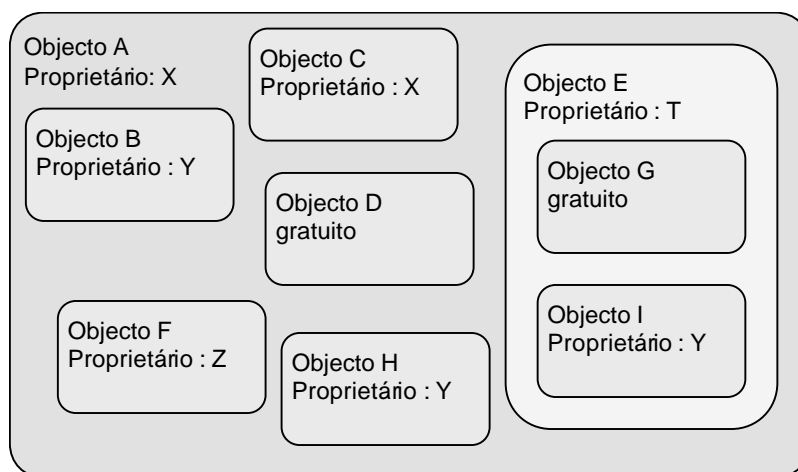


Figura 73 – Exemplo de integração de objectos de diferentes proveniências

A capacidade de integração múltipla de objectos não gratuitos de diferentes entidades em unidades de alto nível deve ser considerada nos modelos de gestão da propriedade intelectual dos conteúdos de eAprendizagem. Logicamente, as arquitecturas de serviços de eAprendizagem que recorrem à reutilização de objectos de aprendizagem devem suportar estes casos. Uma solução simples seria restringir este tipo de serviços a conteúdos gratuitos, mas como essa opção limitaria a variedade e qualidade dos conteúdos, é importante encarar esta questão, analisando possíveis soluções para a integração de conteúdos com protecção de propriedade intelectual.

Como os modelos apresentados no capítulo anterior têm a capacidade de agregar automaticamente objectos de aprendizagem de origens diferentes, gratuitos e não gratuitos, esta questão é particularmente relevante. Assim, um dos requisitos do modelo de gestão de direitos digitais apresentado neste capítulo é o de poder ser integrado de forma transparente

nos serviços apresentados no capítulo anterior, permitindo que estes possam agregar automaticamente objectos com e sem propriedade intelectual.

5.3 O modelo proposto

5.3.1 Modelo conceptual

O modelo conceptual proposto foi criado tendo em consideração os aspectos específicos dos objectos de aprendizagem referidos na secção anterior, designadamente a questão da agregação dinâmica de objectos de diferentes proprietários. A solução proposta envolve a gestão da propriedade intelectual dos objectos de aprendizagem de forma independente. Desta forma, os métodos de protecção e licenciamento acompanham sempre o objecto quando este é agregado, desagregado, copiado e reutilizado.

Os direitos digitais licenciados para cada objecto de aprendizagem poderão ser estáticos, ou seja, definidos previamente pelo produtor ou distribuidor de conteúdos, ou dinâmicos, definidos pelo utilizador no momento da aquisição, a partir de um leque de possíveis opções, de acordo com o custo de cada opção e o tipo de utilização que o utilizador pretende. Neste último caso será o utilizador a definir quais os direitos que pretende sobre cada objecto, o que reflecte o paradigma da aquisição de direitos de utilização por oposição ao paradigma tradicional de aquisição dos conteúdos.

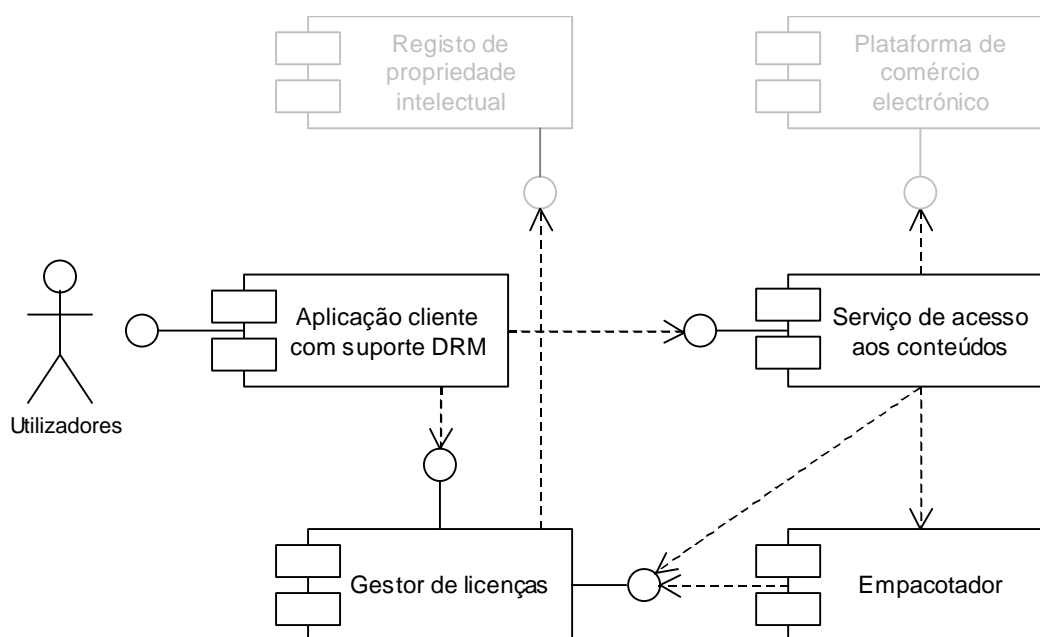


Figura 74 – Diagrama de componentes do modelo proposto

O modelo poderá ser aplicado a qualquer serviço genérico de acesso a conteúdos, incluindo serviços de pesquisa e repositórios de objectos de aprendizagem. O primeiro impacto do modelo no funcionamento destes serviços é a encriptação dos conteúdos antes de estes serem transferidos para os utilizadores, de modo a proteger a respectiva propriedade intelectual. Desta forma, os objectos de aprendizagem não são descarregados do repositório no seu formato original, tendo que passar primeiro por uma fase de

empacotamento onde são encriptados e empacotados num formato específico. No entanto, esta operação de encriptação e empacotamento pode ser efectuada previamente pelo fornecedor de conteúdos, libertando o serviço de pesquisa ou repositório desta tarefa. A Figura 74 mostra o diagrama UML de componentes do modelo conceptual proposto, que é composto por seis componentes funcionais distintos.

O papel principal de cada componente é o seguinte:

- **Serviço de acesso aos conteúdos:** é o responsável pela entrega dos conteúdos aos utilizadores. Pode também fazer parte do processo de licenciamento, permitindo que os utilizadores possam escolher os objectos que desejam e quais os direitos de utilização que pretendem adquirir;
- **Empacotador:** encripta, codifica e encapsula os objectos de aprendizagem originais em pacotes, em coordenação com o gestor de licenças e eventualmente o serviço de acesso aos conteúdos;
- **Gestor de licenças:** emite e faz a gestão das licenças necessárias para a utilização de conteúdos protegidos;
- **Aplicação cliente com suporte DRM:** lê os conteúdos protegidos e interage com o utilizador de forma a fazer respeitar os direitos digitais expressos nas respectivas licenças;
- **Plataforma de comércio electrónico:** componente externo que gere as questões relacionadas com os pagamentos;
- **Registo de propriedade intelectual:** componente externo que gere a informação sobre a propriedade intelectual dos objectos de aprendizagem.

Os componentes “plataforma de comércio electrónico” e “registo de propriedade intelectual”, embora sejam necessários para uma aplicação real, não foram no entanto objecto de estudo. Relativamente ao primeiro, assume-se a utilização de qualquer serviço de comércio electrónico, desde que permita gerir transacções financeiras. Quanto ao registo de propriedade intelectual, o sistema DOI - *Digital Object Identifier* [DOI, 2002] é uma das soluções adequadas, pois além de garantir que os identificadores DOI são únicos e persistentes a uma escala global, permite também a criação de um perfil próprio para este tipo de aplicação, através da associação de metadados específicos a cada identificador [IDF, 2003].

A protecção da propriedade intelectual é assegurada pela utilização de mecanismos criptográficos comuns no empacotador, na aplicação cliente e no gestor de licenças. O empacotador gera pacotes encriptados individuais, usando uma chave de sessão diferente para cada objecto de aprendizagem. Desta forma, não são criados dois pacotes iguais, mesmo que contenham os mesmos conteúdos. Cada uma dessas chaves de sessão é embutida nas licenças dos objectos desse pacote, o que significa que só o possuidor destas licenças poderá desencriptar e usar os conteúdos do pacote.

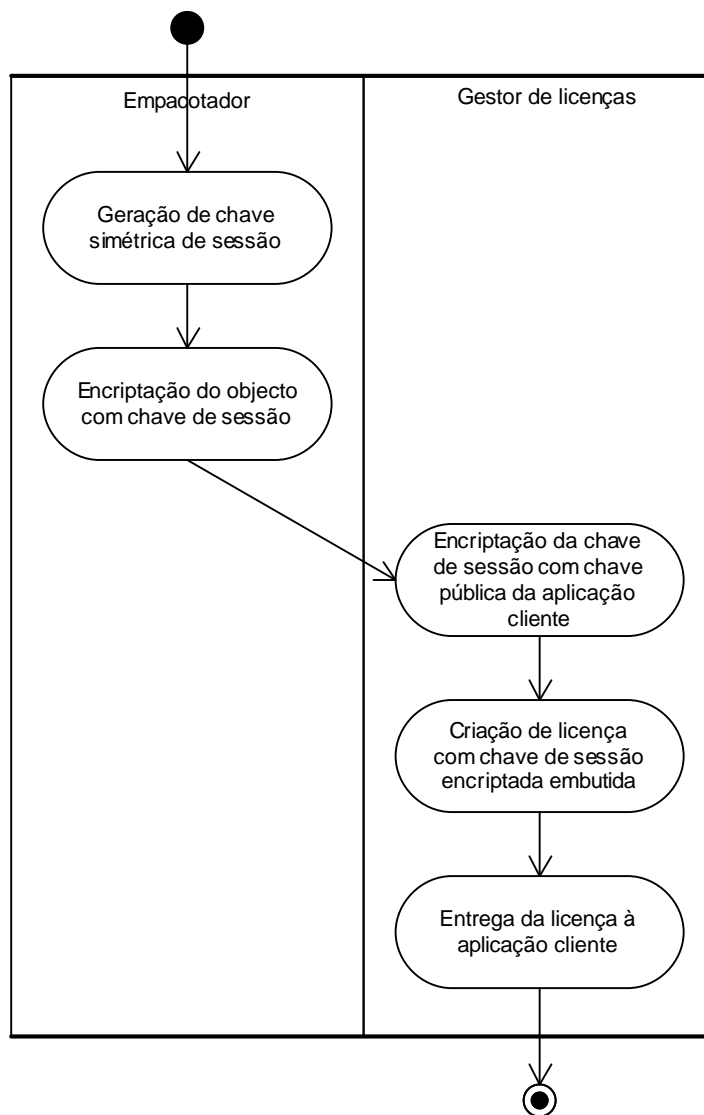


Figura 75 – Diagrama de actividades do processo de transporte e protecção da chave de sessão

Cada licença é emitida para uma determinada aplicação cliente e apenas essa aplicação deverá ter a capacidade de a utilizar. Para implementar este comportamento, o modelo recorre ao método RSA [Rivest *et al*, 1978] de criptografia assimétrica, também chamada criptografia de chave pública. Quando a aplicação cliente é executada pela primeira vez, é gerado um par de chaves RSA, sendo a chave privada armazenada de forma segura no sistema onde a aplicação cliente está ser executada. A chave pública correspondente é enviada para o gestor de licenças sempre que uma licença precisa de ser emitida para essa aplicação, e é usada para encriptar a chave simétrica de sessão. Desta forma, apenas a aplicação cliente que possua a respectiva chave privada poderá descriptar a chave de sessão. A Figura 75 é um diagrama UML de actividades que ilustra este processo.

O modelo permite várias formas de funcionamento, particularmente no que respeita à forma de emissão das licenças. Idealmente esse processo deverá ocorrer por iniciativa do próprio sistema de acesso aos conteúdos, integrando a interface de aquisição de direitos e

respectivos pagamentos. Neste caso ideal, quando um utilizador pretende descarregar conteúdos que têm restrições de propriedade intelectual, ocorrerão os seguintes passos:

- i. O utilizador escolhe os conteúdos que quer descarregar, especifica os direitos que pretende e eventualmente efectua um pagamento para usufruir desses direitos. Este processo é mediado pelo serviço de acesso aos conteúdos, que usa a plataforma de comércio electrónico para gerir os eventuais pagamentos. É nesta fase que a chave pública RSA da aplicação cliente é enviada para os gestores de licenças, juntamente com a identificação dos objectos de aprendizagem envolvidos na transacção e respectiva lista de direitos adquiridos pelo utilizador;
- ii. Se os objectos de aprendizagem já se encontrarem no formato encriptado, são adicionados ao curso como qualquer outro objecto não encriptado. No entanto, o gestor de licenças é notificado para emitir as respectivas licenças.
- iii. Se os objectos de aprendizagem estiverem no formato original, a lista de objectos de aprendizagem que o utilizador seleccionou é enviada para o empacotador, que os encripta com uma chave simétrica de sessão gerada aleatoriamente para o efeito, uma por cada objecto. Estas chaves são em seguida enviadas ao gestor de licenças, que mantém uma base de dados que associa as chaves de sessão a cada um dos pacotes encriptados.
- iv. Os diversos gestores de licenças envolvidos neste processo geram uma licença para cada objecto de aprendizagem incluído no curso. Esta licença é composta pela declaração dos direitos que se aplicam ao objecto de aprendizagem e pela chave simétrica de sessão, que será necessária para o descriptar.
- v. As licenças são enviadas para a aplicação cliente, que pode agora extrair as chaves de sessão que são necessárias para descriptar os objectos de aprendizagem protegidos. A aplicação interpreta também os direitos digitais aplicáveis a cada objecto de aprendizagem, fazendo cumprir as suas directivas. As licenças podem ser enviadas para a aplicação cliente através de vários métodos, mas o ideal é que sejam embutidas no próprio curso.

Uma característica interessante do modelo é a independência entre a criação de pacotes encriptados e a emissão de licenças. Isso significa que quando um utilizador pretende usufruir de novos direitos ou renovar direitos sobre conteúdos que já possui, bastará renegociar os direitos e solicitar a emissão de uma nova licença, podendo continuar a usar os mesmos conteúdos. Esta questão é particularmente relevante quando o tamanho dos conteúdos é muito grande e requer muito tempo para descarregar.

Os conteúdos e as licenças podem ser copiados para outro computador, no entanto, a respectiva aplicação cliente será incapaz de obter as chaves de sessão, pois a sua chave privada é diferente e não permite descriptar as chaves de sessão embutidas nas licenças. No entanto, será possível solicitar uma nova licença específica para a aplicação cliente deste segundo dispositivo, sem necessidade de descarregar uma nova cópia dos conteúdos. Estes dois exemplos ilustram bem o reforço do papel da negociação e aquisição de direitos relativamente aos próprios conteúdos.

5.3.2 Modelo de licenciamento

Na secção anterior foi apresentada uma proposta de modelo conceptual genérico para protecção da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem. Um dos componentes fundamentais desse modelo é a licença, uma vez que é ela que informa a aplicação cliente sobre as restrições e direitos relativamente à utilização dos conteúdos.

Conceptualmente, a licença deveria representar um acordo entre duas entidades, descrevendo os direitos que a entidade com a propriedade intelectual atribui à entidade que vai utilizar o objecto. Idealmente os direitos seriam atribuídos a utilizadores e não a aplicações ou dispositivos, de modo a tornar os conteúdos e as licenças portáteis. Desta forma os conteúdos poderiam ser usados em qualquer dispositivo, desde que o utilizador fosse correctamente autenticado como o utilizador referido na licença.

O problema é que é difícil a uma aplicação determinar a autenticidade da identidade do utilizador. No tradicional esquema de autenticação por nome de utilizador e senha, um utilizador mal intencionado poderia facilmente distribuir os seus dados a terceiros, violando os direitos expressos na licença, sem que a aplicação cliente se apercebesse da situação. Uma forma de evitar este tipo de abusos seria codificar a licença num suporte físico, como por exemplo um cartão inteligente ou usar sistemas de autenticação biométrica. No entanto, além dos problemas logísticos que estas soluções implicariam, não faz muito sentido exigir o uso de dispositivos físicos desse tipo num ambiente em que a intangibilidade prevalece.

Consequentemente, o modelo assume duas premissas fundamentais. Em primeiro lugar, foi determinado que a licença seria informação digital pura, possível de ser enviada para o destino através da Internet, permitindo a utilização imediata dos conteúdos. Em segundo lugar, a licença não atribui os direitos de utilização dos conteúdos a utilizadores, mas sim a dispositivos, restringindo a utilização do objecto de aprendizagem a esse dispositivo, independentemente dos utilizadores.

A Figura 76 ilustra a estrutura do modelo de metadados proposto para a arquitectura da licença, composta por três categorias principais. A primeira, designada “Identificação” permite identificar as entidades abrangidas pela licença. A categoria “Segurança” contém os elementos relacionados com as questões criptográficas e a garantia de autenticidade e integridade da licença.

A categoria “Direitos” permite declarar quais as permissões e restrições associadas à utilização do objecto de aprendizagem. A estrutura desta categoria baseia-se nos desenvolvimentos no campo das linguagens de expressão de direitos digitais [XRML, 2002; ODRL, 2002; INDECS, 2000; MPEG21 2002; CEN/ISSS, 2003; LTSC/DREL, 2003].

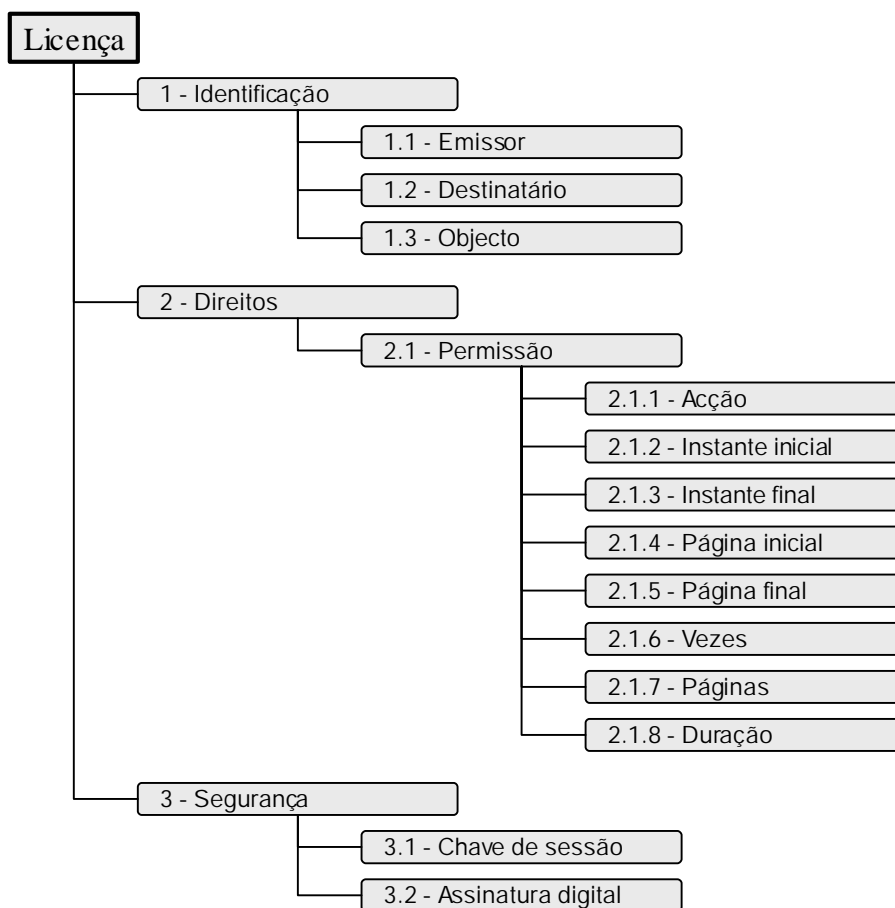


Figura 76 – Modelo de dados da licença

Alguns desses direitos podem inspirar-se em situações que ocorrem naturalmente com bens tangíveis, como por exemplo, o empréstimo ou a doação de livros. O modelo suporta uma situação similar: se um utilizador pretender emprestar ou doar conteúdos, todo o processo poderá ser mediado pelos gestores de licenças, que só emitirão novas licenças para a aplicação cliente destinatária após revogar as licenças da aplicação cliente onde os conteúdos se encontravam originalmente, impedindo assim o primeiro utilizador de os continuar a usar.

A Tabela 60 descreve em detalhe o papel de cada elemento e subelemento da estrutura da licença.

Elemento	#	Descrição
1 Identificação	1	Contentor para os elementos da categoria <Identificação>
1.1 Emissor	1	Identifica a entidade que emitiu esta licença
1.2 Destinatário	1	Identifica a aplicação cliente a que se destina esta licença
1.3 Objecto	1	Identifica o objecto de aprendizagem a que esta licença se refere, com um identificador único registado num sistema de registo de propriedade intelectual, por exemplo o sistema DOI.

2 Direitos	1	Contentor para os elementos da categoria <Direitos>
2.1 Permissão	0-n	Declaração que atribui uma permissão de utilização do objecto de aprendizagem
2.1.1 Acção	1	A acção declarada por esta permissão. Vocabulário: 1-"visualizar" 2-"copiar para área de transferência" 3-"imprimir" 4-"fazer cópia" 5-"emprestar" 6-"dar"
2.1.2 Instante inicial	0-1	Data e hora a partir da qual esta permissão é válida.
2.1.3 Instante final	0-1	Data e hora a partir da qual esta permissão deixa de ser válida.
2.1.4 Página inicial	0-1	Página do objecto de aprendizagem a partir da qual esta permissão passa a ser válida.
2.1.5 Página final	0-1	Página do objecto de aprendizagem a partir da qual esta permissão deixa de ser válida.
2.1.6 Vezes	0-1	Número de vezes que esta permissão pode ser usada.
2.1.7 Páginas	0-1	Número de páginas em que esta permissão pode ser usada.
2.1.8 Duração	0-1	Duração máxima permitida para esta permissão.
3 Segurança	1	Contentor para os elementos da categoria <Segurança>
3.1 Chave de sessão	1	Chave de sessão usada para descriptar o objecto de aprendizagem. Esta chave está encriptada pela chave pública da aplicação cliente.
3.2 Assinatura digital	1	Assinatura digital da entidade emissora da licença, que incide sobre todos os elementos da estrutura, excepto a própria assinatura.

Tabela 60 – Descrição dos elementos da estrutura da licença

Apesar de simples, esta estrutura de licença permite transportar de forma segura até à aplicação cliente toda a informação necessária sobre os direitos que uma entidade tem sobre um objecto de aprendizagem. A assinatura digital é fundamental para impedir tentativas de obtenção de direitos através da alteração da licença. Nestes casos a aplicação cliente detecta essa alteração e recusa a licença. A autenticação das entidades emissoras poderá ser feita com recurso a certificados digitais.

5.4 Integração nos modelos de eAprendizagem personalizada

A integração deste modelo de gestão da propriedade intelectual nos sistemas de personalização do capítulo anterior pode ser feita de várias formas diferentes, de acordo com o nível de transparência desejado. O sistema de personalização corresponderá ao componente “serviço de acesso aos conteúdos” do modelo, ilustrado na Figura 74.

A primeira forma é totalmente transparente para os sistemas de personalização e consiste na utilização de objectos de aprendizagem previamente encriptados. Este método só é possível se os objectos forem registados no sistema de classificação referenciando a versão encriptada do objecto em vez da versão original. Desta forma, os sistemas de personalização tratam os conteúdos encriptados como se fossem conteúdos não encriptados, introduzindo-os nos planos de aprendizagem de forma completamente transparente.

Este método tem a vantagem de não exigir nenhuma alteração no sistema de personalização, uma vez que este não terá nenhuma intervenção no processo de gestão da propriedade intelectual além da agregação e entrega dos objectos encriptados dentro de um pacote SCORM. A desvantagem deste método é que é necessário um processo adicional, externo ao sistema de personalização, para efectuar o licenciamento individual dos objectos do plano de aprendizagem. Se o utilizador tentar usar os conteúdos, a aplicação cliente remeterá o utilizador para o sistema de aquisição de licenças de cada objecto de aprendizagem, tal como ilustrado na Figura 79, seguindo a hiperligação de cada objecto para adquirir a respectiva licença. Este método não é muito prático pois obriga o utilizador a repetir este processo para cada objecto do pacote SCORM.

No segundo método proposto, será necessária a participação parcial do sistema de personalização no processo de licenciamento. Neste caso o sistema de personalização identificará os conteúdos que necessitam de licenciamento e redireccionará automaticamente o utilizador para os respectivos sistemas de aquisição de licenças. Tal como no método anterior, o utilizador terá que efectuar o licenciamento dos objectos de forma individual.

O terceiro método é o menos transparente para o sistema de personalização, que passa a integrar grande parte da gestão do licenciamento. Este método prevê que o licenciamento passe a ser feito através da própria interface do sistema de personalização, imediatamente antes da entrega do pacote SCORM. Existem vantagens claras para o utilizador, na medida em que todas as operações de licenciamento são concentradas num único ponto, numa única operação e as licenças são integradas no pacote SCORM. No entanto, este método tem o inconveniente de envolver algumas alterações importantes no sistema de personalização.

5.5 O protótipo implementado

Foi construído um protótipo básico para validar as ideias fundamentais do modelo conceptual e demonstrar como os paradigmas da gestão de direitos digitais podem ser aplicados aos conteúdos de eAprendizagem, especialmente em serviços de agregação dinâmica de objectos de aprendizagem. O protótipo inclui o empacotador, a aplicação cliente e o gestor de licenças, que simula de forma muito rudimentar a interacção com uma plataforma de comércio electrónico. Todos estes componentes possuem apenas as estruturas básicas para validar o modelo, não sendo de forma alguma demonstradores completos.

Uma das preocupações principais do modelo e do protótipo relaciona-se com a procura do máximo de transparência para os utilizadores finais. A aplicação cliente representa um dos pontos críticos desta questão, na medida em que é ela a responsável pela interacção com o utilizador. Dada a crescente utilização de *browsers* Internet como ferramenta preferencial para a exploração de conteúdos educativos, existe todo o interesse em que a aplicação cliente possa ser usada de forma integrada e transparente neste tipo de aplicações.

Para implementar esta abordagem, a aplicação cliente foi desenvolvida sob a forma de um controlo ActiveX, que pode ser instalado num *browser* vulgar. O controlo deve ser capaz de interpretar e visualizar os objectos de aprendizagem encriptados, de acordo com as directivas da respectiva licença. Após a descriptação do objecto de aprendizagem, este deve ser mostrado na interface gráfica do *browser*, tal como sucederia com a versão não encriptada. Para que isso fosse possível, teriam que ser suportados todos os formatos usados nos objectos originais. No entanto, como o objectivo não é desenvolver um sistema completo mas apenas demonstrar a validade do modelo, o controlo desenvolvido interpreta apenas o formato HTML, de forma muito rudimentar.

O empacotador e a aplicação cliente recorrem aos serviços criptográficos da biblioteca *Microsoft's Crypto API* [Microsoft, 1996], e usam o método simétrico RC2 [Rivest, 1997] para encriptar e descriptar os objectos de aprendizagem. Após a encriptação, os objectos são codificados em base64 [Borenstein & Freed, 1993] e embutidos num documento XML com formato próprio, que foi chamado “xcode” e cuja estrutura pode ser observada na Figura 77.

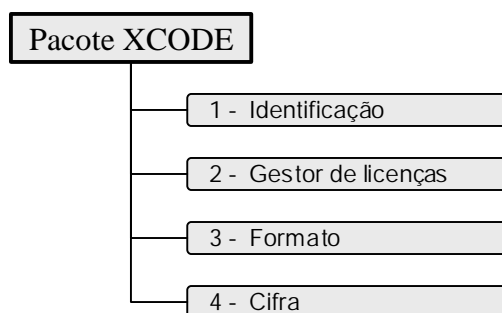


Figura 77 – Estrutura de dados dos ficheiros XCODE

Este documento XML contém também metadados que permitem identificar o objecto e o seu formato original bem como a localização dos diversos gestores de licenças capazes de fornecer licenças para o objecto de aprendizagem que está encriptado. Esta informação mantém uma ligação permanente entre o objecto encriptado e os seus gestores de licenças, sendo importante para permitir a aquisição da licença para um determinado pacote xcode sem qualquer intervenção do sistema que originalmente entregou o pacote. Desta forma é possível permitir a replicação de pacotes xcode, licenciando depois cada uma das cópias de forma individual. O documento possui ainda a informação sobre o formato original do objecto de aprendizagem.

De modo a melhorar a transparência da utilização dos pacotes xcode, o empacotador gera automaticamente um ficheiro HTML com o mesmo nome do ficheiro original, que internamente carrega o controlo ActiveX com o pacote xcode respectivo. Desta forma, se

noutras páginas HTML existirem ligações estáticas à página encriptada, tudo continua a funcionar de forma transparente. A Figura 78 ilustra esta metodologia.

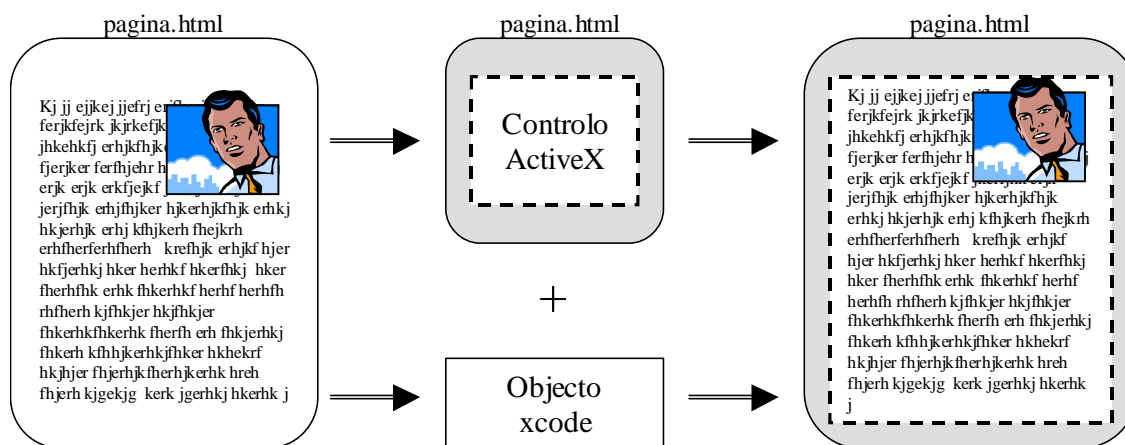


Figura 78 – Encapsulamento de objectos xcode em páginas HTML

As licenças foram implementadas em XML, usando o modelo de metadados apresentado na secção 5.3.2. A licença é um simples ficheiro, não existindo necessidade de o esconder ou proteger em virtude da utilização de assinaturas e certificados digitais.

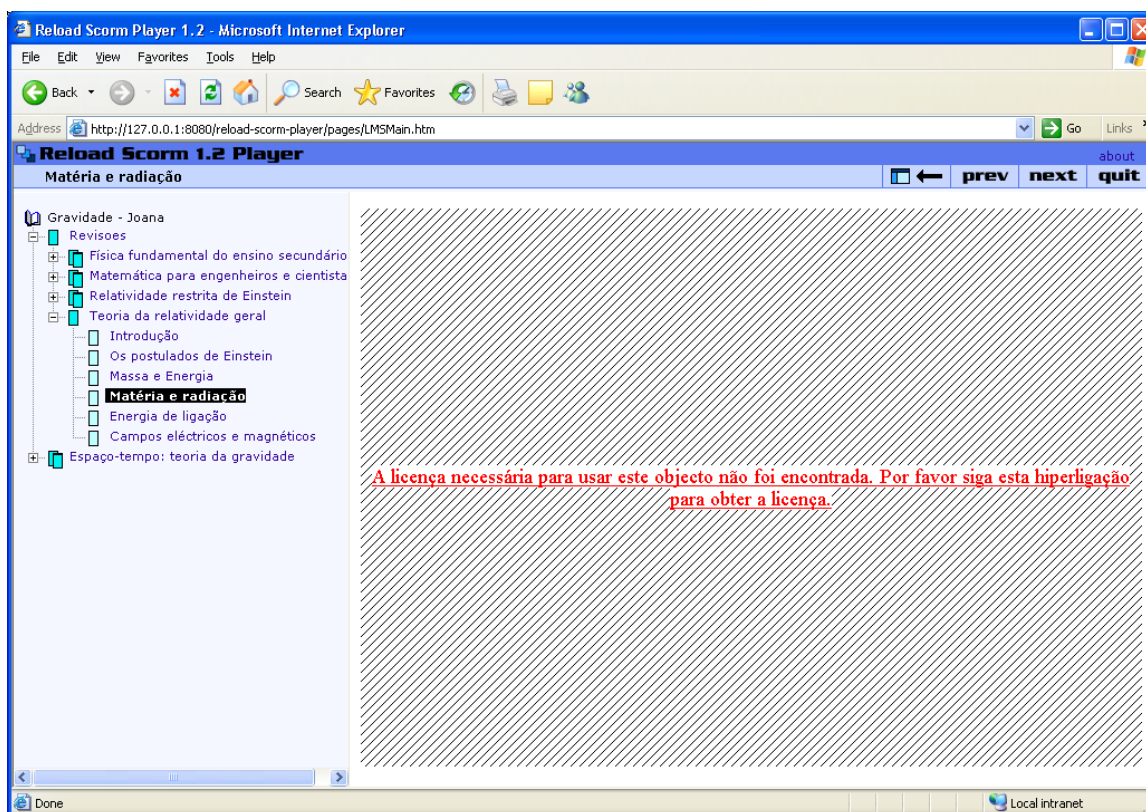


Figura 79 – Exemplo de tentativa de utilização de um objecto sem licença

Do ponto de vista dos utilizadores não existem muitas diferenças entre usar este tipo de conteúdos protegidos ou conteúdos normais, exceptuando a primeira vez que o utilizador tenta abrir um objecto encriptado, uma vez que o *browser* irá descarregar e instalar o

controlo ActiveX. No caso do protótipo desenvolvido, o controlo não está assinado digitalmente com um certificado digital emitido por uma autoridade de certificação reconhecida, pelo que é necessário configurar o *browser* para funcionar no modo de segurança mínima. Após a instalação pode ser retomada a configuração de segurança habitual.

Após a instalação da aplicação cliente, a manipulação dos conteúdos protegidos é em tudo similar aos conteúdos normais, exceptuando o pormenor de algumas operações típicas, como por exemplo imprimir ou gravar, estarem eventualmente desactivadas devido às restrições impostas pela respectiva licença. Quando um objecto protegido não possui licença ou esta não é válida, a área onde o objecto deveria ser visualizado é invalidada e é visualizada uma hiperligação para o respectivo gestor de licenças, tal como pode ser observado na Figura 79.

O protótipo desenvolvido implementou apenas o modo transparente discutido na secção anterior, sem qualquer alteração no sistema de personalização. As licenças são assim obtidas de forma individual para cada objecto durante a sua primeira tentativa de visualização.

5.6 Resultados

Devido à natureza complementar desta questão, o protótipo desenvolvido é muito simples e pretende demonstrar apenas o funcionamento dos métodos fundamentais do modelo. No entanto, possui as funcionalidades suficientes para comprovar que o modelo funciona como previsto, permitindo que o sistema de personalização possa integrar de forma dinâmica conteúdos protegidos por direitos de autor, assegurando a protecção da sua propriedade intelectual.

Os testes realizados usaram o modo mais transparente para o sistema de personalização, que não exigiu nenhuma modificação na sua estrutura. Basicamente foram registados objectos de aprendizagem no sistema de classificação cujos metadados LOM apontam para páginas HTML com pacotes xcode embutidos. Desta forma, o sistema de personalização integra os pacotes xcode nos planos de aprendizagem como qualquer outro objecto não encriptado.

Na primeira utilização de cada objecto xcode é visualizada apenas uma mensagem indicando que o objecto não possui a respectiva licença, com uma hiperligação para o gestor de licenças, tal como é mostrado na Figura 79. Seguindo essa hiperligação, o utilizador é conduzido ao gestor de licenças associado ao objecto de aprendizagem, onde poderá então escolher os direitos que pretende adquirir, da forma que pode ser observada na Figura 80. Após a selecção dos direitos, o gestor de licenças constrói a licença adequada, que é transferida automaticamente para o computador cliente. Nas utilizações posteriores do objecto de aprendizagem, a visualização do objecto faz-se normalmente, como se tratasse de uma página HTML vulgar, exceptuando as restrições declaradas na licença.

Embora se trate de um protótipo simples, o sistema de protecção revelou-se eficaz e resistiu às tentativas efectuadas para contornar o sistema de protecção. O primeiro teste efectuado consistiu na cópia dos objectos xcode e respectivas licenças para outro computador. Como as chaves de sessão estão encriptadas com a chave pública da aplicação cliente para a qual as licenças foram emitidas, apenas essa aplicação cliente consegue desencriptar as chaves de sessão, pelo que esta técnica foi imediatamente derrotada. As tentativas de alteração das licenças foram igualmente frustradas, na medida em que a aplicação cliente detecta as alterações na licença através da assinatura digital.

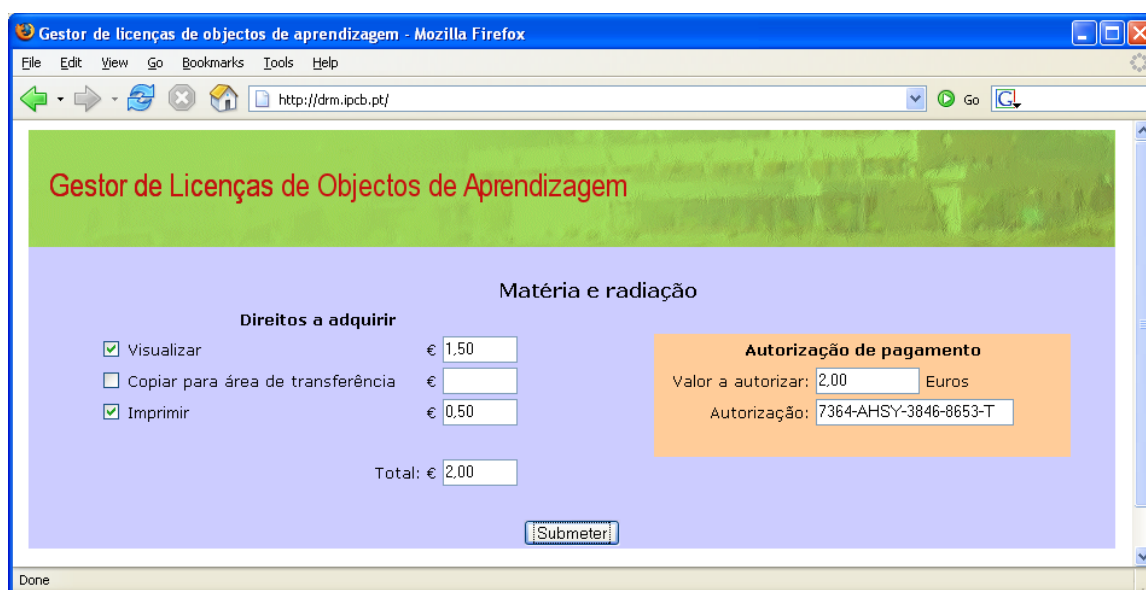


Figura 80 – Interface gráfica do gestor de licenças

Como já foi referido, apenas foi testado o modo transparente. Os outros modos de funcionamento não foram testados mas como a única diferença reside no processo de atribuição das licenças e não no sistema de protecção e utilização, nada indica que o modelo não funcione como previsto.

5.7 Conclusões

O modelo proposto neste capítulo permite aplicar o paradigma da gestão de direitos digitais a objectos de aprendizagem, mesmo quando estes são agregados, desagregados e reutilizados em planos de aprendizagem construídos de forma dinâmica. Uma das características mais interessantes do modelo proposto deriva do facto de ser associada uma licença individual a cada objecto de aprendizagem, em oposição ao uso de uma licença única para um curso completo.

Desta forma são naturalmente suportadas as características de diversidade e reutilização de objectos de aprendizagem, uma vez que do ponto de vista da propriedade intelectual cada objecto é tratado de forma individual. Consequentemente, a agregação no mesmo curso de objectos de aprendizagem de diversas proveniências não representa nenhum problema

excepcional, dado que o controlo do licenciamento é sempre assegurado de forma individual pelos respectivos gestores de licenças.

O modelo suporta também de forma transparente a reutilização através da extracção directa de um determinado pacote xcode de um curso tendo em vista a sua reutilização num outro curso. Neste caso, o gestor de licenças original mantém o controlo de emissão das licenças para esse objecto, mesmo quando este é reutilizado em cursos diferentes. Este esquema distribuído de licenciamento tem uma outra vantagem relativamente ao controlo de pagamentos, que deriva do facto de cada cópia individual de um determinado objecto de aprendizagem precisar de uma licença específica.

Desta forma, o gestor de licenças pode controlar o número de vezes que esse objecto é incluído e distribuído num novo pacote. Esta característica pode ser interessante para promover o aparecimento de um mercado de objectos de aprendizagem, em que criadores de conteúdos disponibilizem objectos de aprendizagem elementares para reutilização em cursos de alto nível, permitindo o desenvolvimento rápido de conteúdos educativos de alta qualidade.

6 Conclusões

Este capítulo resume as contribuições deste trabalho, apresentando as principais conclusões relativamente aos modelos propostos para a classificação de objectos de aprendizagem, serviços de personalização e protecção da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem. São também apontadas algumas questões que ficaram em aberto, com potencial para futuras investigações.

6.1 *Introdução*

Os objectivos principais deste trabalho envolveram a concepção e avaliação de modelos informáticos para serviços de eAprendizagem com a capacidade de suportar experiências personalizadas de aprendizagem, através da selecção, recombinação e reutilização dinâmica de objectos de aprendizagem, tendo em consideração o perfil individual do formando, o objectivo da formação e o contexto em que a aprendizagem se insere. Complementarmente, considerando que alguns dos objectos de aprendizagem envolverão custos de aquisição ou utilização, foi também objectivo do trabalho propor modelos para integrar mecanismos de protecção de propriedade intelectual dos conteúdos nos serviços de personalização, de modo a permitir que estes possam combinar conteúdos abertos com conteúdos pagos.

Analisando estes objectivos é notória a existência de duas vertentes distintas da investigação, que originaram dois capítulos diferentes, o capítulo quatro que lida com os modelos de personalização e o capítulo cinco que discute os modelos para integração de protecção da propriedade intelectual em objectos de aprendizagem. No decorrer da investigação sobre os modelos de personalização foi concluído que estes necessitariam de informação detalhada sobre a estrutura do conhecimento e a forma como os objectos se relacionam com esta estrutura, o que originou a proposta dos modelos para a classificação de objectos de aprendizagem descrita no capítulo três. Estes três capítulos representam as principais contribuições deste trabalho.

6.2 *O sistema de classificação*

A necessidade de conceber um sistema de classificação para objectos de aprendizagem surgiu logo no início da investigação sobre as questões de personalização, ao serem identificados os problemas relacionados com a localização de objectos de aprendizagem e

a credibilidade e rigor dos seus metadados. Essa necessidade foi mais tarde confirmada quando se concluiu que para conceber serviços de concepção automática de planos de aprendizagem seria necessário um sistema capaz de modelar e representar detalhadamente determinadas áreas de conhecimento.

O modelo proposto no capítulo três para o sistema de classificação baseia-se em ontologias com características específicas, que representam o conhecimento como uma colecção de conceitos interligados numa complexa rede de relacionamentos. Cada conceito é encapsulado num segmento de conhecimento, com uma abrangência conceptual definida através de metadados. Os relacionamentos entre os diversos segmentos permitem codificar as relações, afinidades e dependências que existem entre os diversos conceitos.

O modelo prevê que os objectos de aprendizagem sejam registados nos segmentos que representam o seu assunto principal, sujeitando-se a uma avaliação prévia da entidade responsável pela gestão desses segmentos. A entidade deve verificar a conformidade dos objectos, avaliando-os segundo o nível de conformidade com as regras do segmento, veracidade, rigor e detalhe dos conteúdos, facilidade de interacção, capacidade de motivar e estimular, facilidade de reutilização e potencial para ser usado por formandos com necessidades especiais.

Desta forma, o problema da fidelidade e precisão dos metadados dos objectos deixa de fazer sentido, pois esta avaliação será feita por entidades independentes e credíveis, usando o comprovado método de revisão pelos pares, largamente usado pela comunidade científica. Este método permite eliminar os conteúdos que não possuem um mínimo de qualidade para poderem ser usados no âmbito do assunto representado pela ontologia. As aplicações clientes têm acesso, não só aos atributos LOM dos objectos mas também a estes resultados da avaliação, ficando a conhecer de forma credível e detalhada as características dos objectos de aprendizagem.

Uma das vantagens fundamentais deste modelo, no âmbito dos objectivos principais deste trabalho, é a de permitir estabelecer relacionamentos indirectos entre objectos de aprendizagem, através dos segmentos onde eles estão registados. Esta abordagem permite relacionar objectos de aprendizagem que não se conhecem previamente, aumentando assim o seu potencial de reutilização em cursos de alto nível. Mesmo que os objectos de aprendizagem registados em cada um dos segmentos tenham sido desenvolvidos independentemente por entidades diferentes, com objectivos diferentes, para contextos diferentes, sem qualquer conhecimento mútuo, será sempre possível recombina-los, usando a informação dos relacionamentos entre os segmentos de conhecimento onde eles estão registados.

Uma das principais funcionalidades oferecidas pelo sistema às aplicações clientes é a localização de objectos sobre um determinado assunto. Esta acção pode ser efectuada solicitando a lista dos objectos que fazem parte de um determinado segmento de conhecimento ou pesquisando-os através de palavras ou expressões chave. Foi concebido um algoritmo de pesquisa específico, que tem em consideração a estrutura do sistema de classificação para seleccionar os segmentos mais adequados à expressão de pesquisa.

O sistema pode também ser usado como base para a criação de ontologias específicas para aplicações que exijam a certificação dos conteúdos. Neste caso, os objectos candidatos são avaliados pelas entidades responsáveis pela gestão de cada segmento e a sua aprovação para registo no segmento implica automaticamente a sua certificação para essa aplicação. Por uma questão de segurança, a avaliação do registo pode ser assinada digitalmente pela entidade avaliadora, o que garante a integridade e autenticidade da avaliação. Os criadores de conteúdos que pretendam certificar os seus objectos podem conhecer facilmente quais os requisitos para a certificação, uma vez que cada segmento apresenta informação detalhada sobre as características a que os objectos devem obedecer para poderem ser registados. O sistema modela essas características através de um conjunto de regras e operadores lógicos que permitem representar requisitos complexos.

Esta funcionalidade do sistema tem potencial para permitir a representação de planos curriculares normalizados. Por exemplo, seria possível às entidades competentes criar ontologias que representem os programas das unidades curriculares de diversos graus de ensino, estabelecendo regras bem definidas para cada segmento. Desta forma, seria possível descrever claramente os requisitos para os objectos de aprendizagem, simplificando o seu processo de concepção, avaliação e certificação.

As ontologias do sistema podem também servir de referência em sistemas externos, como forma de referenciar unidades curriculares, áreas do conhecimento ou assuntos mais específicos. Por exemplo, as competências adquiridas por formandos podem ser registadas usando as referências das ontologias como forma de representar o conhecimento de disciplinas ou outras unidades curriculares. Será mesmo possível manter registos detalhados sobre as competências do aluno relativamente a fragmentos de cada unidade curricular. Quanto mais detalhadas forem as ontologias, maior a precisão com que se pode codificar o desempenho dos formandos. Se forem usados métodos de avaliação baseados em eAprendizagem, como por exemplo testes de escolha múltipla baseados na Internet, esta avaliação segmentada é facilmente implementada de forma automática, uma vez que é possível associar cada questão a um determinado segmento da ontologia.

Foi construído um protótipo para verificar o funcionamento destes serviços e validar o modelo. Os testes efectuados basearam-se em ontologias criadas propositadamente para o efeito e comprovaram que o modelo se comporta como era esperado. O sistema foi também usado pelos serviços de personalização apresentados no capítulo quatro e funcionou como previsto. A validação inequívoca dos modelos só poderá ser feita com aplicações e ontologias reais, o que não foi possível de efectuar. Embora sejam necessários testes mais exaustivos, com um universo mais vasto de segmentos e objectos de aprendizagem, todos os testes realizados com o protótipo demonstraram a validade do modelo proposto para a classificação de objectos de aprendizagem.

6.3 Os modelos de personalização

Como pode ser depreendido do título da dissertação, o principal objectivo deste trabalho envolveu a criação de modelos para personalização de experiências de eAprendizagem. O capítulo quatro é assim o capítulo nuclear da dissertação, onde são propostos modelos que

se baseiam no sistema de classificação para gerar dinamicamente experiências personalizadas de eAprendizagem, usando o perfil individual de cada utilizador como chave para a personalização.

São propostos três diferentes serviços de personalização: pesquisa personalizada, aconselhamento personalizado e geração dinâmica de planos de aprendizagem. Para cada serviço é apresentado o respectivo modelo, a descrição do protótipo desenvolvido para o validar e uma análise dos resultados obtidos.

O primeiro destes serviços permite filtrar e ordenar os resultados de pesquisas de acordo com o perfil individual de cada utilizador. São usadas informações sobre a sua formação anterior, o seu histórico de utilização de objectos de aprendizagem e o seu registo de avaliações para determinar os conteúdos mais adequados ao utilizador. O perfil dos utilizadores usa a norma PAPI, com extensões propostas especificamente para permitir codificar características que não são suportadas de forma nativa.

O modelo baseia-se numa função que estima a relevância de cada objecto de aprendizagem, usando como factores de cálculo os seus atributos LOM, a informação fornecida pelo sistema de classificação e o perfil do utilizador. Esta função de estimação de relevância calcula um valor numérico que representa a relevância relativa de cada objecto de aprendizagem. O cálculo envolve três componentes diferentes: o nível de contextualização, a avaliação dos parâmetros eliminatórios e a avaliação dos parâmetros não eliminatórios.

O primeiro componente mede o nível de proximidade semântica entre cada objecto e os interesses do utilizador. Aqui é introduzido o conceito de distância semântica entre segmentos de conhecimento, que permite quantificar essa proximidade. Os interesses de cada utilizador são representados por referências explícitas a contextos preferenciais de aprendizagem, pelo registo de desempenho em eventos conferentes de avaliação e pelo histórico de utilização de objectos de aprendizagem. O nível de contextualização usa uma fórmula que combina as distâncias semânticas aos vários interesses do utilizador de forma a estimar a proximidade semântica de cada objecto.

Os outros dois componentes da fórmula avaliam cada objecto comparando os seus atributos LOM e a avaliação presente no sistema de classificação com o perfil do utilizador. Estes atributos são agrupados em duas classes: parâmetros eliminatórios e parâmetros não eliminatórios. Os primeiros correspondem a atributos considerados fundamentais, que eliminam imediatamente o objecto caso não satisfaçam os requisitos do utilizador. Os segundos contribuem para o cálculo da relevância total, mas não eliminam o objecto mesmo tendo uma avaliação nula.

Foi desenvolvido um protótipo para validar o modelo, que logo nos primeiros testes efectuados demonstrou que este funciona como o esperado. Foram efectuados testes mais aprofundados que comprovaram o funcionamento como previsto do algoritmo de pesquisa personalizada, cumprindo os objectivos propostos. Foi constatado que o algoritmo obtém a sua eficácia máxima quando os utilizadores indicam contextos preferenciais de

aprendizagem. Neste caso são seleccionados inequivocamente os conteúdos mais apropriados, diferenciando claramente os conteúdos relevantes dos irrelevantes.

O algoritmo também funciona sem informação de contextos preferenciais, atribuindo de uma forma geral relevâncias superiores aos objectos mais próximos semanticamente das matérias com registos de desempenho ou entradas no histórico dos perfis dos utilizadores. No entanto, verificaram-se alguns efeitos indesejáveis nesta abordagem, quando os utilizadores pretendem aprender novas matérias. Neste caso, o algoritmo vai valorizar mais os conceitos próximos daqueles que já foram aprendidos pelo utilizador, em detrimento dos novos conceitos que realmente se pretendem aprender.

Outro serviço personalizado proposto, chamado “aconselhamento personalizado”, permite a sugestão automática de planos de aprendizagem para revisão de conceitos. O plano de revisões engloba os conhecimentos que, segundo o sistema de classificação, são previamente necessários para aprender as matérias de um determinado objectivo de aprendizagem. Estes planos têm em consideração os requisitos prévios do objectivo de aprendizagem e as dificuldades e competências do utilizador relativamente a esses requisitos, sendo sugeridos apenas os temas onde as competências do utilizador são consideradas deficitárias.

Durante a concepção do modelo que sustenta este serviço foram sugeridas duas estruturas que importa realçar: a árvore de dependências e árvore de dificuldades. A primeira é a estrutura de segmentos e respectivos relacionamentos que representam os conhecimentos prévios que são necessários para encetar a aprendizagem de um determinado assunto. A árvore de dificuldades é formada por todos os segmentos da árvore de dependências para os quais o formando não possui informação de desempenho positivo e resulta da comparação da árvore de dependências com as competências do utilizador, reflectidas no seu perfil.

Foi igualmente desenvolvido um protótipo para validar este modelo, que funcionou como previsto. Os testes efectuados, embora limitados a situações criadas artificialmente, demonstraram o correcto funcionamento do algoritmo. Este serviço, tal como o anterior, só funciona correctamente se a informação do perfil dos utilizadores estiver correcta e actualizada.

O terceiro serviço proposto, chamado “geração dinâmica de planos de aprendizagem”, tem o ambicioso objectivo de ser capaz de criar planos de aprendizagem personalizados, de forma automática e a pedido, através da agregação dinâmica de objectos de aprendizagem de diversas granulosidades, à medida do perfil, preferências, necessidades individuais, e restrições do formando.

O modelo de agregação dinâmica baseia-se nas estruturas de representação do conhecimento do sistema de classificação para construir automaticamente a estrutura do curso a entregar ao utilizador. Este serviço recorre ainda aos conceitos de árvore de dependências e árvore de dificuldades, que permitem adicionar ao curso a lista de objectos de aprendizagem que o utilizador deverá consultar, de modo a rever matérias onde deveria ser proficiente.

Uma vez que a agregação dinâmica de objectos de aprendizagem pode produzir sequências pouco coerentes, é proposto um algoritmo para determinar qual a sequência mais coerente. Como a sequência ideal resulta de um compromisso entre o nível de personalização e o nível de coerência, o algoritmo é configurável relativamente à ponderação a atribuir a estas duas características mutuamente exclusivas. Para estimar a coerência de um plano de aprendizagem foi concebida uma fórmula que determina o grau de coerência de cada sequência, através da comparação dos atributos individuais de cada objecto com os valores médios ou predominantes do plano de aprendizagem.

Foi construído um protótipo que implementa estes modelos e os testes entretanto realizados demonstraram a sua validade, pelo menos nos cenários que foram usados para os testes. O algoritmo funciona tal como previsto, sugerindo as sequências mais coerentes dentro das limitações das sequências que são possíveis, impostas pelo número de objectos disponíveis em cada segmento, pela filtragem do utilizador e pela percentagem de tolerância definida para o algoritmo. Os testes demonstraram que o algoritmo não limita o resultado final, pelo que a coerência da sequência determinada pelo algoritmo só depende da existência de objectos coerentes e da definição da tolerância de personalização.

A grande desvantagem do algoritmo deriva do facto de este usar um método de “força bruta”, testando todas as sequências possíveis. Uma vez que o número de sequências possíveis aumenta exponencialmente com o número de segmentos do plano de aprendizagem e o número de objectos em cada segmento, é provável que o tempo de cálculo se torne demasiado elevado nalgumas situações práticas.

Resumindo, este capítulo propõe modelos que permitem a construção de serviços de eAprendizagem personalizados, que, através da combinação dos serviços do sistema de classificação com perfis individuais de formandos, conseguem gerar dinamicamente experiências personalizadas de eAprendizagem.

6.4 O modelo de protecção da propriedade intelectual

Com a introdução deste assunto nos objectivos do trabalho pretendia-se analisar a integração de modelos DRM na geração dinâmica de planos de aprendizagem, no sentido de compatibilizar a utilização de conteúdos gratuitos com conteúdos pagos. No entanto, no período em que este assunto foi investigado não foram encontradas referências relevantes a trabalho específico nesta área do DRM aplicado à eAprendizagem, pelo que a investigação foi um pouco mais longe que o previsto inicialmente, dando origem a um capítulo.

Os modelos propostos neste capítulo baseiam-se em conceitos comuns de gestão de direitos digitais, como a encriptação dos conteúdos, o uso de licenças e linguagens de descrição de direitos, mas contemplam alguns mecanismos específicos para os conteúdos de eAprendizagem. Estas especificidades surgem pelo facto de este tipo de conteúdos poder agregar, num mesmo curso de alto nível, objectos de aprendizagem gratuitos e pagos. Além disso, os objectos pagos podem ser provenientes de diversos fornecedores diferentes e apresentar restrições e formas de pagamento muito díspares. A questão da reutilização de objectos não gratuitos levanta também problemas do ponto de vista da protecção da propriedade intelectual.

O modelo proposto neste capítulo resolve parte destes problemas associando uma licença individual a cada objecto de aprendizagem, em vez de usar uma licença única para todo o pacote, como é usualmente feito noutros tipos de conteúdos. Com esta abordagem simplifica-se a questão da agregação de conteúdos gratuitos com conteúdos pagos, bem como a questão da reutilização de objectos de aprendizagem protegidos. De facto, como cada objecto passa a ser tratado de forma individual e mantém a referência ao seu gestor de licenças, cada plano de aprendizagem pode combinar livremente objectos de aprendizagem de diversas proveniências, na medida em que as licenças são atribuídas individualmente pelos respectivos gestores de licenças.

A reutilização de objectos encriptados também é possível de efectuar de forma transparente, extraindo um determinado objecto de um pacote e reutilizando-o num outro pacote. Neste caso, o gestor de licenças original mantém o controlo de emissão das licenças para esse objecto, mesmo quando este é reutilizado. Esta funcionalidade pode ser interessante para promover o aparecimento de um mercado de objectos de aprendizagem que permita a compra e venda de objectos de aprendizagem reutilizáveis.

Foi construído um protótipo básico para testar alguns dos componentes do modelo. O protótipo inclui uma pequena aplicação baseada na Internet que implementa o gestor de licenças, simulando a interacção com uma plataforma de comércio electrónico. A aplicação cliente, responsável pela visualização dos conteúdos encriptados foi desenvolvida na forma de um controlo ActiveX, instalável num *browser*. Esta aplicação é muito básica, capaz apenas de visualizar documentos em formato HTML simples. Apesar da sua simplicidade ao nível da visualização de conteúdos, o protótipo implementa toda a parte criptográfica e de gestão de licenças.

Os testes realizados evidenciam que o modelo proposto é exequível e permite aplicar os conceitos da gestão da propriedade intelectual em aplicações que combinem e reutilizem objectos de aprendizagem de forma dinâmica.

6.5 Conclusões gerais

Tal como foi referido na introdução, o principal objectivo deste trabalho envolveu a concepção, implementação e avaliação de modelos para serviços de eAprendizagem com a capacidade de promover a criação de experiências personalizadas de aprendizagem, através da selecção, recombinação e reutilização dinâmica de objectos de aprendizagem, tendo em consideração o perfil individual do formando, o objectivo da formação, o contexto em que a aprendizagem se insere e a propriedade intelectual dos conteúdos a usar.

Deste trabalho resultou um conjunto de modelos concebidos para atingir esses objectivos, que permitem a criação de serviços capazes de localizar, seleccionar, recombinar e reutilizar dinamicamente objectos de aprendizagem. Esses modelos englobam a classificação de objectos de aprendizagem, pesquisa personalizada, aconselhamento personalizado, geração dinâmica de planos de aprendizagem personalizados e protecção da propriedade intelectual de objectos de aprendizagem.

Os vários protótipos construídos para testar os modelos demonstraram a sua validade, pelo menos nos cenários laboratoriais usados nos testes. O comportamento dos protótipos indicia que os modelos funcionarão bem em aplicações concretas, mas só com testes exaustivos em condições reais se poderão comprovar de forma definitiva.

De uma forma geral, a tese abrange duas questões cruciais no contexto da eAprendizagem: a reutilização de objectos de aprendizagem e a personalização, cuja importância está claramente demonstrada nas secções introdutórias da dissertação. Ao propor modelos e métodos que permitem a criação de serviços com a capacidade de reutilizar dinamicamente objectos de aprendizagem de forma coerente e personalizada, a tese está a contribuir de forma relevante para o conhecimento, na medida em que contribui com soluções para duas questões importantes da eAprendizagem.

Um dos prováveis problemas na transposição destes modelos para aplicações reais reside na quantidade de informação inicial que é necessária para que a aplicação seja minimamente funcional. O primeiro passo envolve a concepção das ontologias responsáveis pela representação do conhecimento que se pretende abranger pela aplicação. Dependendo da especificidade da aplicação, esta tarefa pode envolver a configuração de centenas ou mesmo milhares de segmentos e respectivos relacionamentos. Atendendo à estrutura dos metadados que caracterizam cada segmento, esta tarefa pode consumir tempo e recursos humanos consideráveis.

Após a construção das ontologias, segue-se a fase de povoamento do sistema de classificação com registos de objectos de aprendizagem. Como o registo de cada objecto envolve a determinação da conformidade com as regras do segmento e a sua avaliação segundo vários parâmetros, esta fase é também bastante demorada. Por outro lado, uma vez que a eficácia dos métodos de personalização depende da variedade de objectos de aprendizagem em cada segmento, é importante registar um número elevado de objectos de aprendizagem, o que contribui ainda mais para a morosidade desta fase.

No entanto, apesar de a quantidade de trabalho de configuração inicial ser elevada, estamos convencidos que os serviços personalizados oferecidos compensam largamente o esforço inicial.

6.6 Trabalho futuro

Relativamente aos modelos propostos, existem alguns aspectos identificados que podem ser melhorados. No serviço de pesquisa personalizada, o algoritmo de cálculo do nível de contextualização funciona como previsto mas os resultados obtidos quando se pretende iniciar a aprendizagem de novos conceitos não são os melhores. Este algoritmo pode ser melhorado, alterando-o de modo a dar menos relevância aos conceitos já aprendidos e mais relevância aos novos conceitos que nascem a partir dessas matérias. A informação necessária para esta evolução está disponível no sistema de classificação e seriam necessárias apenas pequenas alterações no algoritmo, de forma a atribuir pesos diferentes às distâncias semânticas de acordo com o tipo de relacionamento com os segmentos onde o utilizador possui informação de desempenho. Desta forma, seria aumentada a relevância

dos novos conhecimentos e os resultados das pesquisas seriam mais próximos das reais necessidades dos utilizadores.

No serviço de geração dinâmica de planos de aprendizagem, o algoritmo de determinação de coerência apresenta também um problema a resolver. Esse problema deriva do facto de usar um método de “força bruta”, testando todas as sequências possíveis. Uma vez que o número de sequências possíveis aumenta exponencialmente com o número de segmentos do plano de aprendizagem e o número de objectos em cada segmento, o tempo de cálculo pode tornar-se demasiado elevado, tornando-o impraticável em muitas situações. Assim, este algoritmo necessita de ser optimizado, no sentido de seleccionar as sequências mais coerentes sem a necessidade de testar todas as sequências. O ideal é que o tempo de computação necessário não cresça de forma exponencial com o número de segmentos e objectos.

Como foi várias vezes referido ao longo deste documento, uma das maiores lacunas deste trabalho relaciona-se com o facto de os testes que foram realizados terem decorrido em ambiente laboratorial, com cenários criados propositadamente para o efeito. A análise dos resultados e conclusões sobre a validade dos modelos estão assim, de certa forma, condicionados por este facto.

A possibilidade de testar os modelos propostos numa aplicação real seria uma mais valia muito interessante para o trabalho, tornando os resultados e conclusões mais rigorosos e credíveis. Neste contexto, foi apresentando ao programa Ciência Viva [Ciência Viva, 2005] uma proposta de um projecto intitulado “POINTEC- Portal de Objectos Interactivos para o Ensino das Ciências” com o qual se pretende criar um portal que use estes modelos para oferecer serviços personalizados de eAprendizagem à comunidade de alunos do ensino pré Universitário.

Caso o projecto seja aprovado, será implementado um servidor com ontologias que representem todas as matérias relacionadas com ciência leccionadas desde o 1º ciclo até ao 12º ano, onde serão registados e avaliados objectos de aprendizagem relevantes. As previsões apontam para a análise, avaliação e registo de cerca de 600 objectos, nas mais diversas áreas. Este projecto permitirá testar os modelos em ambiente real de utilização e os resultados serão extremamente úteis para validar os modelos aqui propostos de forma final e conclusiva.

Glossário

ADL: Advanced Distributed Learning, iniciativa criada pelo governo Americano para promover especificações que maximizem a interoperabilidade de conteúdos e sistemas educacionais digitais;

AICC: Aviation Industry CBT Committee, associação Internacional de profissionais ligados ao treino e formação baseada em tecnologias de informação na indústria aeronáutica;

ARIADNE: Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe, iniciativa Europeia para a promoção do desenvolvimento de ferramentas e metodologias para a eAprendizagem;

CedMa: Computer Education Managers Association;

CEN/ISSS: Information Society Standardization System, sub-comité do Comité Europeu de Normalização;

DDC: Dewey Decimal Classification, sistema de classificação que usa árvores hierárquicas de classificação em que cada nível é codificado com um algarismo decimal;

DOI - Digital Object Identifier;

DRM: Digital Rights Management, área que estuda os mecanismos de gestão e protecção da propriedade intelectual de conteúdos digitais;

EdNA: Education Network Australia, organização Australiana que promove a Internet como uma ferramenta essencial de suporte à aprendizagem na comunidade educativa;

GESTALT: Getting Educational Systems Talking Across Leading edge Technologies, projecto Europeu para o desenvolvimento de modelos e metodologias para a promoção da interoperabilidade entre sistemas de eAprendizagem;

HTML: HyperText Markup Language;

HTTP: HyperText Transfer Protocol;

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers;

IMS: Instructional Management Systems, consórcio de empresas e Universidades que desenvolve especificações abertas para eAprendizagem;

LMS: Learning Management System;

LOM: Learning Objects Metadata, uma colecção extensiva de metadados desenvolvida especificamente para caracterizar objectos de aprendizagem;

LTSC: *Learning Technology Standards Committee*, comité do IEEE para a normalização de questões relacionadas com eAprendizagem;

MERLOT: *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching*, projecto internacional que desenvolve ferramentas e conteúdos para a comunidade educativa;

NIST: *National Institute of Standards and Technology*;

ODBC: *Open Database Connectivity*

ODRL: *Open Digital Rights Language*;

PAPI: *Personal And Private Information*, norma do LTSC para a troca de informação pessoal de formandos;

PHP: *PHP: Hypertext Preprocessor*, linguagem que permite construir scripts do lado do servidor;

PROMETEUS: projecto Europeu com o objectivo de promover a utilização de conteúdos multimédia em acções de educação e treino na sociedade Europeia;

RDF: *Resource Description Framework*;

SCO: *Sharable Content Object*, é o recurso de aprendizagem de menor granulosidade que pode ser usado num LMS;

SCORM: *Sharable Content Object Reference Model*, modelo criado pela iniciativa ADL para a promoção da reutilização de objectos de aprendizagem;

UML: *Unified Modeling Language*

XHTML: *Extensible HyperText Markup Language*;

XML: *Extensible Markup Language*;

Referências

- ACM CSS, (1998). “*The ACM Computing Classification System [1998 Version] Valid in 2005*”, Disponível em <http://www.acm.org/class/1998/>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- ADL (2004). “*SCORM - Sharable Content Object Reference Model, 2004, 2nd Edition Documentation*”. Disponível em <http://www.adlnet.org/downloads/files/67.cfm> [última consulta em Dezembro de 2005]
- ADL, (2002). ADLNet - Advanced Distributed Learning Network (ADLNet), <http://www.adlnet.org/>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- AGLS. (2002). “*Australian Government Locator Service Metadata Element Set, version 1.3*”, disponível em http://www.naa.gov.au/recordkeeping/gov_online/agls/metadata_element_set.html, [última consulta em Dezembro de 2005];
- AICC. “Aviation Industry CBT Committee”. Sítio disponível em <http://www.aicc.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Anido, L., Fernández, M., Caeiro, M., Santos, J., Rodríguez, J., Llamas, M. (2001). “*Educational metadata and brokerage for learning resources*”. Computers & Education 38 351 –374
- ARIADNE. The Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe. Sítio disponível em <http://www.ariadne-eu.org>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- Barrit, C. (2001). “*Reusable Learning Object Strategy, version 4.0*”, Cisco Systems.
- Bell, D. (1976). “*The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*”, Basic Books, New York, 1976.
- Bentley, T. (1998). “*Learning beyond the classroom: education for a changing world*”, Routledge, London (1998).
- Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001). “*The Semantic Web*”, Scientific American, Maio 2001
- Bloom, B. (1984). “*The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring*”, Educational Researcher, 13, 4-16;
- Borenstein, N., Freed, N. (1993). “*Base-64 content transfer encoding*”, RFC 1521
- Brennan, J., Shah, T. (2000). “*Managing Quality in Higher Education: An International Perspective on Institutional Assessment and Change*”. Buckingham Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Bunderson, C. (1973). “*The TICCIT project: Design strategy for educational innovation*” (Technical Report 4). Provo, UT: Institute for Computer Uses in Education.
- CanCore. “*CanCore Metadata Initiative*”. Sítio disponível em <http://www.cancore.ca> [última consulta em Dezembro de 2005]

- Cantoni, L., Inglese, T., Lepori, B., Succi, C. (2003). “*Quality and Management of eLearning in European Universities*”. Proceedings of Eista03 Conference, Orlando, Florida, USA), 277-282. Disponível em <http://www.ticinoricerca.ch/papers/eista2003.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Castells, M. (1996). “*The Rise of the Network Society, The Information Age: Economy, Society and Culture*”, Vol. I. Cambridge, MA; Oxford, UK: Blackwell (1996)
- CEC, (2000). Comissão das Comunidades Europeias, “*A Memorandum on Lifelong Learning*”, disponível em <http://europa.eu.int/comm/education/policies/lll/life/memoen.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEDEFOP, (2001). “*E-learning and training in Europe: A survey into the use of e-learning in training and professional development in the European Union*”.
- CEDEFOP, (2003). Sondagem “*Lifelong learning: citizens’ views*”, disponível em http://www.cedefop.eu.int/download/current_act/4025_en.pdf [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEDMA (2005). Computer Education Management Association. Sítio disponível em <http://www.cedma.net/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEN. European Committee for Standardization. Sítio disponível em <http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm> [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEN/ISSS. (2003). “*European Committee for Standardization - Information Society Standardization System, Focus Group on Digital Rights Management*”, Disponível em <http://www.cenorm.be/iss/DRM/Default.htm>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEN/ISSS. “*Information Society Standardization System*”. Sítio disponível em <http://www.cenorm.be/iss/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- CEN/ISSS/LT. “*CEN/ISSS Learning Technologies Workshop*”. Disponível em <http://www.cenorm.be/cenorm/businessdomains/businessdomains/iss/activity/wslt.asp> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Chan, L. (1994). “*Cataloging and Classification: An Introduction*”. 2nd ed., McGraw-Hill.
- Chan, L. (1995). “*Library of Congress Subject Headings: Principles and Application*”. 3rd ed. Englewood, CO: Libraries Unlimited.
- Chan, L. (2004), “*Library of Congress Classification in a New Setting: Beyond Shelfmarks*”, disponível em <http://www.loc.gov/cds/chanarticle.html> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Ciência Viva. (2005). “*Concurso Ciência Viva – Ensino Experimental das Ciências na Escola*”, disponível em <http://www.cienciaviva.pt/concurso/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Cisco. (2005). Cisco Networking Academy Program. Sítio disponível em <http://www.cisco.com/en/US/learning/netacad/index.html> [última consulta em Dezembro de 2005]
- ClassesUSA, (2005). “*Online Master’s Degrees*”. Sítio disponível em http://www.classesusa.com/featuredschools/programs/featured_masters.cap [última consulta em Dezembro de 2005]
- Conner, K., Prahalad, C. (1996). “*A Resource-Based Theory of the Firm: Knowledge Versus Opportunism*”, Organization Science (7), 1996, pp. 477-501.

CSU-CDL. California State University Center for Distributed Learning. Sítio disponível em <http://www.cdl.edu/> [última consulta em Dezembro de 2005]

Deubel, P. (2004). “*Guidelines for Selecting Quality K-12 Online Courses*”, T.H.E. Journal Online, Technological Horizons in Education. Disponível em <http://www.thejournal.com/magazine/vault/articleprintversion.cfm?aid=5135> [última consulta em Dezembro de 2005]

Dewey, M. (1876). “*A Classification and Subject Index for Cataloguing and Arranging the Books and Pamphlets of a Library*”, disponível em <http://www.gutenberg.net/dirs/1/2/5/1/12513/12513-h/12513-h.htm> [última consulta em Dezembro de 2005]

Dijkstra, E. (1959). “*A note on two problems in connexion with graphs*”. Numerische Mathematik. 1, S. 269–271

DOI. (2005). Digital Object Identifier System. Sítio disponível em <http://www.doi.org> [última consulta em Dezembro de 2005]

Dondi, C. (2002). “*Developing the individual, the worker, the citizen. The aims of education revisited in the information society: how can ICT help innovation?*”, disponível em <http://web.udg.es/tiec/ponencias/pon2i.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]

Downes, S. (2001). “*Learning Objects: Resources For Distance Education Worldwide*”, International Review of Research in Open and Distance Learning, ISSN: 1492-3831, Vol. 2, No. 1

Drucker, P. (1993). “*Post-Capitalist Society*”, Harperbusiness

Duval, E., Forte, E., Cardinaels, K., Verhoeven, B., Durm, R., Hendriks, K., Forte, M., Ebel, N., Macowicz, M., Warkentyne, K., Haenni, F. (2001). “*The ARIADNE Knowledge Pool System: a Distributed Digital Library for Education*”. Communications of the ACM 44(5):73-78, Maio 2001.

Earl, M., (1996), “*Information Management. The Organizational Dimension*”, Oxford Univ. Press, 1996, Oxford

ECMA, (2004). “*IEEE Standard for Learning Technology - Data Model for Content Object Communication*”

EdNA (2002). “*EdNA Metadata Standard*”. Disponível em <http://www.edna.edu.au/edna/go/pid/385> [última consulta em Dezembro de 2005];

EdNA. Education Network Australia. Sítio disponível em <http://www.edna.edu.au> [última consulta em Dezembro de 2005]

EOE. The Educational Object Economy Foundation. Sítio disponível em <http://www.eoe.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]

EQO, (2004). “*European Quality Observatory Model*”. Disponível em <http://www.eqo.info/files/EQO-Model-1.2a.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]

Eurostat, (2005). “*Europe in figures, Eurostat yearbook 2005*”, disponível em http://epp.eurostat.cec.eu.int/cache/ITY_OFFPUB/KS-CD-05-001/EN/KS-CD-05-001-EN.PDF [última consulta em Fevereiro de 2006]

Farance, F., (1999). “*Edutool Farance. Learner profiles: Personal, preference, performance portfolio*”, disponível em <http://edutool.com/papi> . [última consulta em Dezembro de 2005]

Figueiredo, D., Afonso, A., Cunha, P., (2002). “*Learning and Education: Beyond the Age of Delivery*”, Proceedings of International Conference on Engineering Education, August 18–21,

2002, Manchester, U.K. Disponível em <http://www.ineer.org/Events/ICEE2002/Proceedings/Papers/Index/O318-O320/O318.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005];

Fletcher, J. (2003). “*Evidence for Learning from Technology-Assisted Instruction*”, H. F. O’Neil Jr. and R. Perez (Eds.) *Technology Applications in Education: A Learning View*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Forte, E., Haenni, F., Warkentyne, K., Duval, E., Cardinaels, K., Vervaeet, E., Hendrikx, K., Wentland, M., Simillion, F. (1999). “*Semantic and Pedagogic Interoperability Mechanisms in the Ariadne Educational Repository*”. SIGMOD Record Special Issue on Semantic Interoperability in Global Information Systems

Foster, P., Kraner, M., Graziano, A. (2000). “*Courseware metadata design. Gestalt extensions to metadata standards for on-line education systems (GEMSTONES)*”. Technical report, Fretwell-Downing Education, disponível em http://www.fdggroup.co.uk/gestalt/D0401_3.pdf [última consulta em Dezembro de 2005];

Frankola, K. (2001). “*Why Online Learners Drop Out*”, Workforce Management. Disponível em <http://www.workforce.com/archive/feature/22/26/22/index.php> [última consulta em Dezembro de 2005]

Fuller, S. (1992). “*Knowledge as Product and Property*”, *The Culture and Power of Knowledge: Inquiries into Contemporary Societies*, N. Stehr and R. V. Ericson (eds.), de Gruyter, Berlin, 1992, pp. 177-90.

Garrett, R. (2004). “*The Real Story Behind the Failure of U.K. eUniversity*”, *Educause Quarterly*, Volume 27 Number 4 2004, disponível em <http://www.educause.edu/apps/eq/eqm04/eqm0440.asp?bhcp=1> [última consulta em Dezembro de 2005]

GEM. Consórcio Gateway to Educational Materials. Sítio disponível em <http://www.geminfo.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]

GEMM. (2004). “*GEM Metadata version 2.0*”. Disponível em <http://www.geminfo.org/about/documentation/metadataElements/> [última consulta em Junho de 2005]

GESTALT. “*Getting educational system talking across leading .edge technologies project*”. Sítio disponível em: <http://www.fdggroup.co.uk/gestalt> [última consulta em Dezembro de 2005]

Gettinger, M. (1984). “*Individual differences in time needed for learning: A review of the literature*”, *Educational Psychologist*, 19,15-29.

Graesser, A., Person, N. (1994). “*Question asking during tutoring*”, *American Educational Research Journal*, 31, 104-137.

Grant, R. (1996). “*Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm*”, *Strategic Management Journal* 17. 109-122.

Heins, T., Himes, F. (2002). “*Creating Learning Objects with Macromedia Flash MX*”

Hilliard, J. (2004). “*Huron Valley Schools Technology Plan 2004-07*”. Disponível em <http://www2.huronvalley.k12.mi.us/programs/tech/plandesign/> [última consulta em Dezembro de 2005]

- Iannella, R. (2001). “*Digital Rights Management (DRM) Architectures*”. D-Lib Magazine, June 2001, Volume 7, Number 6. Disponível em <http://www.dlib.org/dlib/june01/iannella/06iannella.html>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- IDC. (2003). “*Worldwide Corporate eLearning Market Continues to Offer Significant Opportunities*”, IDC Press Release, Janeiro 2003.
- IDF (2003). “*The DOI Handbook*”, disponível em <http://dx.doi.org/10.1000/186>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- IMS (2003). “*IMS Digital Repositories Interoperability - Core Functions Information Model*”, Disponível em http://www.imsglobal.org/digitalrepositories/driv1p0/imsdri_infov1p0.html [última consulta em Dezembro de 2005]
- IMS. (2004). “*IMS Content Packaging Information Model*”. Disponível em <http://www.imsglobal.org/content/packaging/index.html> [última consulta em Dezembro de 2005]
- IMS. IMS Global Learning Consortium. Sítio disponível em: <http://www.imsglobal.org>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- INDECS. (2000). “*Interoperability of data in e-commerce systems*”, Sítio disponível em <http://www.indecs.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- ISO/IEC 13250. (2002). “*Topic Maps – Second Edition*”, disponível em http://www1.y12.doe.gov/capabilities/sgml/sc34/document/0322_files/iso13250-2nd-ed-v2.pdf [última consulta em Dezembro de 2005]
- Kilby, J. (1958). Sítio disponível em: <http://www.ti.com/corp/docs/kilbyctr/jackstclair.shtml> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Kokkelink, S., Schwänzl, R. (2002). “*Expressing Qualified Dublin Core in RDF / XML*”. Disponível em <http://dublincore.org/documents/2002/05/15/dcq-rdf-xml/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Kumarawadu, P. (2004). “*Motivation of Online Learners: Review of Practices and Emerging Trends*”, SEARCC 2004 CONFERENCE October 2004, Malaysia
- Lepori, B., Succi, C. (2003). “*The Introduction of eLearning in European Universities: Models and Strategies*”. GMW 03 - 8. Europäischer Kongress der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft 2003. Disponível em <http://www.ticinoricerca.ch/papers/gmw2003.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Lisboa, (2000). “*Conclusões do Conselho Europeu de Lisboa*”, disponível em http://ue.eu.int/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/en/ec/00100-r1.en0.htm [última consulta em Dezembro de 2005]
- LOM (2002). “*IEEE P1484.12.1-2002 Draft Standard for Learning Object Metadata*”, disponível em http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf, [última consulta em Dezembro de 2005]
- LOM_XML (2005). “*IEEE P1484.12.3, Draft 8 Draft Standard for Learning Technology—Extensible Markup Language (XML) Schema Definition Language Binding for Learning Object Metadata*”, disponível em http://ltsc.ieee.org/wg12/files/IEEE_1484_12_03_d8_submitted.pdf . [última consulta em Dezembro de 2005]

- LTSC, (2002). IEEE P1484.1 Architecture and Reference Model Working Group, disponível em http://ltsc.ieee.org/doc/wg1/IEEE_1484_01_D08_LTSA.pdf , [última consulta em Dezembro de 2005]
- LTSC/DREL. (2003). IEEE LTSC Digital Rights Expression Language Study Group, disponível em <http://ltsc.ieee.org/wg4/index.html>.. [última consulta em Dezembro de 2005]
- Machlup, F. (1962). *“The Production and Distribution of Knowledge in the United States”*, Princeton University Press, ISBN: 0691003564
- Mason, J., Dellit, J., Adcock, G., Ip, A. (1999). *“EdNA Online and the Propagation of Value-Add”*. Proceedings of the Fifth Australian World Wide Web Conference, Southern Cross University. 1999.
- Masuda, Y. (1981). *“The information society as post-industrial society”*. Washington, DC: The World Future Society.
- McIlwaine, I.C. (2000). *“The Universal Decimal Classification: guide to its use”*, UDC Publication, no P035
- MERLOT. Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching. Sítio disponível em <http://www.merlot.org> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Merrill, M. (1983). *“Component display theory. In C.M. Reigeluth (Ed.) Instructional design theories and models: An overview of their current status”*, Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum.
- Merrill, M. (1996) *“Instructional Transaction Theory: Instructional Design Based on Knowledge Objects”*, Educational Technology
- Microsoft (1996). *“The Cryptography API, or How to Keep a Secret”*, Disponível em http://msdn.microsoft.com/library/en-us/dncapi/html/msdn_cryptapi.asp [última consulta em Dezembro de 2005]
- MIT. Massachusetts Institute of Technology. Sítio disponível em <http://www.mit.edu/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Moe, M., Blodget, H. (2000). *“The knowledge web”*, Merrill Lynch & Co. Merrill Lynch - eLearning: The Knowledge Web Part 4 Corporate e-learning - Feeding Hungry Minds, disponível em <http://www.internetime.com/itimegroup/MOE4.PDF>. [última consulta em Dezembro de 2005]
- MPEG21 (2002). *“ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 - Coding of Moving Pictures and Audio”*, disponível em <http://mpeg.telecomitalia.com/standards/mpeg-21/mpeg-21.htm> [última consulta em Dezembro de 2005]
- NACOL, (2004). North American Council for Online Learning, *“Online Learning Clearinghouse”*. Disponível em <http://www.edgateway.net/cs/nacol/print/docs/437> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Najjar, J., Duval, E., Ternier, S., Neven, F. (2003). *“Towards interoperable learning object repositories: the Ariadne experience”*, Proceedings of the IADIS International Conference WWW/Internet 2003 (Isaias, P. and Karmakar, N., eds.), vol 1, pp. 219-226, 2003
- Negroponte, N. (1995). *“Being Digital”*. Knopf. Paperback edition, 1996, Vintage Books
- Nesbit, C., Belfer, K., Leacock, T. (2003). *“Learning Object Review Instrument (LORI)”*. E-Learning Research and Assessment Network.

- NIST (2005). National Institute of Science & Technology. Sítio disponível em <http://www.nist.edu/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- ODRL. (2002). “*The open digital rights language initiative*”. Sítio disponível em: <http://odrl.net> [última consulta em Dezembro de 2005]
- OKI. “*Open Knowledge Initiative*”. Sítio disponível em <http://www.okiproject.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Polsani, P. (2003). “*Use and Abuse of Reusable Learning Objects*”, Journal of Digital Information, Volume 3 Issue 4, Article No. 164, 2003-02-19, disponível em <http://ojfpc.ecs.soton.ac.uk/Articles/v03/i04/Polsani/?printable=1> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Powell, A. (2003). “*Expressing Dublin Core in HTML/XHTML meta and link elements*”. Disponível em <http://dublincore.org/documents/dcq-html/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Powell, A., Johnston, P. (2003). “*Guidelines for implementing Dublin Core in XML*”. Disponível em <http://dublincore.org/documents/2003/04/02/dc-xml-guidelines/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- PROMETEUS. “*PROMoting Multimedia access to Education and Training in EUropean Society*”. Sítio disponível em <http://prometeus.org/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Rabak, L. (2004). “*Factors Influencing Acceptance and Resistance to eLearning in Small- to Medium-sized Enterprises*”. Tese de Mestrado, disponível em <http://library.athabascau.ca/thesis/rabak.pdf> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Reis, S., Kaplan, S., Tomlinson, C., Westbert, K., Callahan, C., Cooper, C. (1998). “*How the brain learns, A response: Equal does not mean identical*”. Educational Leadership, 56, 3.
- Rivest, R. (1997). “*A Description of the RC2 Encryption Algorithm*”, Internet-Draft, work in progress
- Rivest, R., Shamir, A., Adleman, L. (1978). “*A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems*”. Communications of the ACM, vol. 21, no. 2, February.1978.
- Santos, O., Ramos, F. (2000). “*Certification and QoS issues in learning objects*”, European Conference Web-Based Learning Environments 2000, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Junho de 2000
- Santos, O., Ramos, F. (2002). “*Management of digital rights in Web based educational services*”. Proceedings of EUNIS 2002, the 8th International Conference of European University Information Systems. Porto.
- Santos, O., Ramos, F. (2003). “*An Internet service to support online classification of learning objects*”. Proceedings of the II International Conference on Multimedia ICT’s in Education, Advances in Technology-based Education: toward a knowledge-based society. 2003. Volume I. pages 484-488.
- Santos, O., Ramos, F. (2004a). “*Proposal of a framework for Internet based licensing of learning objects*”. Revista “Computers & Education”, Elsevier Science Ltd. Oxford, UK, 2004.
- Santos, O., Ramos, F. (2004b). “*Serviço online para classificação taxonómica de objectos de aprendizagem*”. ELES 04, eLearning no ensino superior, Universidade de Aveiro, Outubro de 2004.

- Santos, O., Ramos, F. (2006). “*Learning on demand: dynamic creation of customized, coherent eLearning experiences*”, Proceedings of the 12th International Conference of European University Information Systems - EUNIS2006, pages 222-230.
- Shapiro, E., Coleman, D. (2000). “*The scholarship of application*”. Faculty Medicine ,75,895-898.
- Sharples, P., Beauvoir, P. (2005). “*Reload SCORM Player*”, disponível em <http://www.reload.ac.uk/scormplayer.html> [última consulta em Dezembro de 2005]
- Sizer, T. (1999). “*No Two Are Quite Alike*”, Educational Leadership (vol. 57, no. 1, September 1999). Association for Supervision and Curriculum Development.
- SSfEE, (1998). Secretary of State for Education and Employment, “*The learning age: a renaissance for a new Britain*”. London, the Stationery Office
- Stehr, N. (1994). “*Knowledge Societies*”. London: Sage.
- Stehr, N., Ericson, R. (1992). “*The culture and power of knowledge in modern society: Inquiries into Contemporary Societies*”, ed. N. Stehr and R.V. Ericson, 3-19. New York, NY: W. De Gruyter. 1992
- Stewart, T. (1997). “*Intellectual Capital. The New Wealth of Organizations*”, Nicholas Brealey Publ., London, 1997
- Taylor, P., Richardson, A. (2001) “*Peering at Scholarship in University Teaching: Constructing a national scheme for external peer review of ICT-based teaching and learning resources*”. Draft EIP report, sent to DETYA on 20 October 2000.
- Thomas, R., Milligan, C. (2004). “*Putting Teachers in the Loop: Tools for Creating and Customising Simulations*”. Journal of Interactive Media in Education (Designing and Developing for the Disciplines Special Issue), 2004 (15).
- Thorne, K. (2003). “*Blended Learning: How to Integrate Online and Traditional Learning*” London; Sterling, VA: Kogan Page
- Tomlinson, C. (1995). “*How to differentiate instruction in mixed ability classrooms*”. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Tomlinson, C. (1999). “*The Differentiated Classroom: Responding the Needs of All Learners*”. Association for Supervision and Curriculum Development. Utrecht, LEMMA Publishers.
- UCPT, (2005). Unidade de Coordenação do Plano Tecnológico, disponível em <http://www.planotecnologico.pt/> [última consulta em Fevereiro de 2006]
- UKLOMCORE. (2004). “*The UK Learning Object Metadata Core*”, disponível em http://www.cetis.ac.uk/profiles/uklomcore/uklomcore_v0p2_may04.doc [última consulta em Dezembro de 2005]
- W3C-OWL. (2004). “*OWL Web Ontology Language*”, disponível em <http://www.w3.org/TR/owl-features/> [última consulta em Dezembro de 2005]
- W3C-RDF. (2004). “*Resource Description Framework*”, disponível em <http://www.w3.org/RDF/>, [última consulta em Dezembro de 2005]
- W3C-WS. (2005). “*W3C Web Services Activity*”, disponível em <http://www.w3.org/2002/ws/> [última consulta em Dezembro de 2005]

Weibel, S.; Kunze, J.; Lagoze, C.; Wolf, M. (1998). “RFC 2413: Dublin Core Metadata for Resource Discovery”; The Internet Society, Setembro 1998, disponível em <http://www.ietf.org/rfc/rfc2413.txt> [última consulta em Dezembro de 2005]

Wende M., Ven M., (2003). “*The use of ICT in Higher Education. A mirror of Europe*”. Utrecht, LEMMA Publishers

Wiley, D. (2000). “*Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy*”, disponível em <http://reusability.org/read/chapters/wiley.doc> [última consulta em Dezembro de 2005]

XRML. (2002). “*Extensible Rights Markup Language*”, Sítio disponível em: <http://www.xrml.org> [última consulta em Dezembro de 2005]