

António Constantino Lopes Martins

**Sistemas Hipermedia Adaptativa para Suporte de
Ambientes de Aprendizagem Construtivistas**

**Tese submetida à Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto para obtenção do grau de Doutor
em Engenharia Electrotécnica e de Computadores**

**Tese realizada sob a supervisão
do Professor Doutor Eurico Carrapatoso
e do Professor Doutor Luiz Faria**

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

**Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Programa Doutoral em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores**

**Porto, Portugal
Novembro de 2012**

Les années ont passé, Lino.
J'ai maintenant 38 ans et parfois, dans ma nostalgie,
J'ai l'impression que tu vas apparaître à l'improvise.
C'est toi qui m'as appris la tendresse de la vie.
Maintenant, c'est à mon tour avec Gustavo,
Gabriela e Christina,
car sans tendresse la vie n'est pas grand-chose.
Mais la vérité,
"é que eu tenho tantas saudades tuas, Amo-te"

RESUMO

O objetivo deste trabalho era o de implementar um sistema híbrido inovador (PCMAT - Plataforma de Aprendizagem Colaborativa da Matemática), que permitisse relacionar a representação do conhecimento, preferências de aprendizagem e estilos de aprendizagem do aluno com um Modelo Pedagógico (MP) dinâmico e regras de adaptação que usam objetos de aprendizagem compatíveis com a norma IEEE LOM, para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico.

A plataforma de aprendizagem implementada é baseada numa abordagem construtivista, acedendo ao conhecimento do aluno para mostrar conteúdos e atividades adaptadas às características e estilos de aprendizagem do aluno. O comportamento inteligente da plataforma depende da existência de uma descrição do aluno - o Modelo do Aluno (MA).

O principal resultado alcançado foi a definição e validação de uma nova estratégia de adaptação e arquitetura para a implementação de um Sistema de Hipermédia Adaptativa (SHA) educacional para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo em Portugal.

A materialização dos modelos desenvolvidos e a sua respetiva integração permitiram dotar o PCMAT das seguintes funcionalidades:

1. Mostrar conteúdos, atividades e definir a estrutura das hiperligações adaptados ao conhecimento e preferência de aprendizagem do aluno;
2. Ajustar conteúdos e atividades ao conhecimento e às preferências de aprendizagem do aluno.

A primeira versão da ferramenta já foi implementada, testada e avaliada em duas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo. Os resultados permitiram concluir que as estratégias de adaptação e arquitetura definidas neste protótipo permitem apoiar e melhorar o desempenho dos alunos em matemática no ensino básico, ao nível do segundo ciclo.

Este projeto mostra como as técnicas de área dos SHA podem melhorar os sistemas de *e-learning* no ensino básico, ao nível do segundo ciclo.

ABSTRACT

The aim of this work is to conceive an innovative hybrid system (PCMAT - Mathematics Learning Platform) allowing to connect knowledge representation of, learning preferences and student learning styles with a Pedagogical Model and dynamic adaptation rules, using learning objects compatible with the IEEE LOM to improve the learning of mathematics in basic schools.

The learning platform is based on a constructivist approach, assessing the user knowledge and presenting contents and activities adapted to the characteristics and learning style of the student. The intelligent behaviour of such platform depends on the existence of a tentative description of the student – the Student Model.

The main result of the current development is the definition and validation of a new adaptation strategy and architecture for the implementation of an Educational Adaptive Hypermedia System (AHS) in basic schools in Portugal.

The models achieved and their respective integration allowed the PCMAT to provide the following features:

1. Present content, activities and define the structure of hyperlinks according student's knowledge and learning preferences;
2. Adjust content and activities to knowledge and learning preferences of the student.

The first version of the framework was already implemented, tested and evaluated. This prototype was applied to mathematics learning in two basic schools. The data collected has statistical significance and is a good indicator to conclude about the adaptation strategies and architecture defined in this prototype to implement an educational platform based on adaptive hypermedia, to allow support and improve student performance in mathematics basic schools.

This project shows how techniques from the AHS field can improve e-learning based systems in a basic school environment.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, o Professor Doutor Eurico Carrapatoso e o Professor Doutor Luiz Faria, pela orientação científica deste trabalho e pelas palavras de incentivo e encorajamento. Obrigado pelos vossos comentários, sugestões e indicações.

Um agradecimento especial ao Professor Doutor Alberto Freitas, pela revisão da análise de dados e pela amizade que me tem dado desde 1990.

À Eng.^a Dulce Mota, pela amizade e discussões sobre alguns aspetos dos SHA.

À Professora Doutora Cristina Costa Lobo, pela amizade e discussões sobre alguns aspetos das Teorias de Aprendizagem.

À Eng.^a Marta Dias e ao Dr. Paulo Couto sem os quais não teria sido possível concretizar a implementação dos módulos das atividades e de autoria do PCMAT.

Às docentes Dra. Fátima Costa e Dra. Cristina Bastos e alunos envolvidos neste estudo, o meu agradecimento a todos pela colaboração com o trabalho desenvolvido.

Ao Professor Doutor João Rocha e à Professora Doutora Ana Almeida a quem devo o incentivo e o meu crescimento como docente e investigador.

Aos meus colegas Mestre Ricardo Almeida e Professora Doutora Isabel Azevedo pelos incentivos dados ao longo deste trabalho.

A todos os meus amigos, pelo afastamento, falta de atenção e convívio.

Aos meus pais e sogros que me substituíram junto dos meus filhos. Em especial pelo amor e confiança que me têm dado ao longo destes anos. Um agradecimento muito especial à minha sogra e sogro pela primeira revisão dos textos.

Por fim estendo os meus agradecimentos a todos aqueles de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho e que não foram aqui mencionados.

E principalmente à Cristina e ao Gustavo e à Gabriela, eles sabem o porquê!

ÍNDICE DE MATÉRIAS

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS.....	V
ÍNDICE DE MATÉRIAS	VII
LISTAS DE FIGURAS	IX
LISTAS DE TABELAS	XI
LISTA DE FÓRMULAS	XIII
LISTAS DE ABREVIATURAS	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 MOTIVAÇÃO.....	2
1.2.1 Pessoal.....	3
1.2.2 Institucional.....	4
1.3 OBJETIVO	4
1.4 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	5
1.5 CONTRIBUIÇÕES	7
1.6 ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	9
2 SISTEMAS DE HIPERMÉDIA ADAPTATIVOS.....	11
2.1 INTRODUÇÃO.....	11
2.2 TAXONOMIA.....	12
2.2.1 Definição.....	13
2.2.2 Diferença entre sistemas adaptáveis e adaptativos.....	14
2.2.3 Áreas de adaptação	15
2.3 MODELO DE DOMÍNIO	17
2.3.1 Definição de MD.....	18
2.3.2 Aspectos relevantes a serem considerados no MD	19
2.3.3 Técnicas para implementação do MD.....	19
2.3.4 Ferramentas para criação de MD	20
2.4 MODELO DE PEDAGÓGICO.....	22
2.4.1 Modelo de Pedagógico, adaptar-se a quê?	23
2.4.2 Características do utilizador	23
2.4.3 Características de utilização	24
2.4.4 Ambiente	24
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SHA.....	24
2.6 ALGUNS PROJETOS	25
2.6.1 AHA!	27
2.6.2 MOT.....	28
2.6.3 AdaptWeb.....	29
2.6.4 ATLAS.....	29
2.6.5 MEDEA.....	30
2.6.6 NetCoach	31
2.6.7 Comparação dos sistemas de HA	32
2.7 CONCLUSÃO	33
3 MODELO DO ALUNO	35
3.1 INTRODUÇÃO.....	35
3.2 DEFINIÇÃO DO MODELO DO ALUNO.....	36
3.3 CARACTERÍSTICAS DO MODELO DO ALUNO	38
3.4 IMPLEMENTAÇÃO DE MODELOS DO ALUNO	40
3.4.1 Método Overlay	40

3.4.2	<i>Método de Perturbação</i>	42
3.5	EXEMPLOS DE MODELO DE UTILIZADOR EM SHA	43
3.6	CONCLUSÃO	44
4	TEORIAS E ESTILOS DE APRENDIZAGEM	47
4.1	TEORIAS DE APRENDIZAGEM: BREVE SÍNTESE.....	47
4.1.1	<i>Teoria de Aprendizagem Comportamental</i>	49
4.1.2	<i>Teoria de Aprendizagem Construtivista</i>	50
4.2	ESTILOS DE APRENDIZAGEM	52
4.2.1	<i>VARK</i>	55
4.2.2	<i>Estilos de Aprendizagem de Kolb</i>	56
4.2.3	<i>Crítica aos Estilos de Aprendizagem</i>	59
4.3	CONCLUSÃO	59
5	IMPLEMENTAÇÃO	61
5.1	REQUISITOS	61
5.2	ARQUITETURA DO SISTEMA.....	64
5.3	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DO ALUNO.....	66
5.3.1	<i>Representação das variáveis de conhecimento</i>	70
5.3.2	<i>Representação da preferência de aprendizagem</i>	72
5.3.3	<i>Atualização das variáveis do nível de conhecimento</i>	74
5.4	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE DOMÍNIO	76
5.5	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO PEDAGÓGICO.....	78
5.5.1	<i>Representação do grafo de conceitos em caso de insucesso</i>	78
5.5.2	<i>Regras de adaptação</i>	80
5.5.3	<i>Representação das regras de adaptação</i>	81
5.5.4	<i>Aplicação das regras de adaptação</i>	83
5.5.5	<i>Mecanismos de interação</i>	89
5.5.6	<i>Mecanismo responsável pela apresentação de atividades</i>	92
5.6	FERRAMENTA DE AUTORIA PARA A CRIAÇÃO DAS ATIVIDADES	95
5.7	FERRAMENTA DE CLASSIFICAÇÃO DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM	98
5.8	SUMÁRIO	99
6	AVALIAÇÃO	103
6.1	INTRODUÇÃO.....	103
6.2	PROCESSO DE AVALIAÇÃO.....	104
6.3	RESULTADOS DO TESTE FINAL	105
6.4	PREFERÊNCIAS DE APRENDIZAGEM	108
6.5	RESULTADOS DOS INQUÉRITOS DE USABILIDADE	109
6.5.1	<i>Aceitação do PCMAT</i>	109
6.5.2	<i>Utilidade e dificuldade no uso das funcionalidades</i>	112
6.5.3	<i>Frequência do uso da plataforma</i>	113
6.6	SUMÁRIO	114
7	CONCLUSÕES	117
7.1	OBJETIVOS ALCANÇADOS	119
7.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	122
	REFERÊNCIAS	125
	ANEXO A - EXTRATO DO FICHEIRO XSD DO MODELO DO ALUNO	137
	ANEXO B - INQUÉRITO AOS ALUNOS	138

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura segundo Benyon para construir o MU	37
Figura 2 - Representação do Método <i>Overlay</i>	41
Figura 3 - Representação do Método de Perturbação.....	42
Figura 4 - Ciclo de aprendizagem de Kolb (Kolb, 2005).....	56
Figura 5 - Protótipo PCMAT	63
Figura 6 - Arquitetura do sistema (Martins, 2012).....	64
Figura 7 - Inquérito para definir os estilos de aprendizagem no PCMAT	67
Figura 8 - Ferramentas para recolha de dados do MA do PCMAT (Martins, 2012)	68
Figura 9 - Arquitetura do DDD (Martins, 2012).....	69
Figura 10 - Estrutura do ficheiro XML do Modelo do Aluno.....	70
Figura 11 - GPCMAT: o grafo que representa as relações de pré-requisitos.....	77
Figura 12 - Estrutura do ficheiro XML do grafo de conceitos.....	77
Figura 13 - GI: grafo que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso	80
Figura 14 - Estrutura do ficheiro XML das regras de adaptação	81
Figura 15 - Descrição da aplicação das regras de adaptação	85
Figura 16 - Exemplo de conteúdo tipo teórico do PCMAT	90
Figura 17 - Exemplo de conteúdo tipo visual do PCMAT.....	90
Figura 18 - Exemplo de conteúdo tipo prático do PCMAT	91
Figura 19 - Descrição do pedido de uma atividade.....	93
Figura 20 - Ferramenta para criação de perguntas	96
Figura 21 - Exemplo de criação de perguntas	97
Figura 22 - Criação de perguntas parametrizadas	97
Figura 23 - Aplicação do PCMAT para gerar os metadados	99
Figura 24 - Comportamento adaptativo da ferramenta na realização de atividades	101

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Projetos/Sistemas SHA (Lucas et al., 2006)	25
Tabela 2 - Modelo do Aluno	32
Tabela 3 - Modelo de Domínio	32
Tabela 4 - Técnicas de adaptação utilizadas	33
Tabela 5 - Características mais usadas no MU.....	39
Tabela 6 - Algumas características do MU em SHA	43
Tabela 7 - Características usadas no Modelo do Aluno do PCMAT (Martins, 2012)	67
Tabela 8 - Mapeamento dos Estilos de Aprendizagem de Kolb e as preferências de Aprendizagem de VARK	69
Tabela 9 - Tipos de atributos adicionais usados no PCMAT	82
Tabela 10 - Preferência de aprendizagem por grupo.....	104
Tabela 11 - Resultados obtidos usando o teste de Kolmogorov-Smirnov para cada conceito	106
Tabela 12 - Comparação estatística para cada conceito (teste não paramétrico de Mann- Withney).....	107
Tabela 13 - Alteração percentual do tipo de preferência de aprendizagem	108
Tabela 14 - Média obtida no teste final por preferência de aprendizagem no grupo experimental	108
Tabela 15 - Escala utilizada nos inquéritos	109
Tabela 16 - Percentagens obtidas sobre aceitabilidade e usabilidade do PCMAT	111
Tabela 17 - Escala utilizada nos inquéritos	112
Tabela 18 - Escala utilizada nos inquéritos	112
Tabela 19 - Utilidade no uso de cada funcionalidade do PCMAT.....	113
Tabela 20 - Dificuldade no uso de cada funcionalidade do PCMAT.....	113
Tabela 21 - Frequência do uso da plataforma	113

Lista de Fórmulas

Fórmula 1 - Algoritmo para o nível de conhecimento	71
Fórmula 2 - Algoritmo de atualização do conhecimento em caso de sucesso	74
Fórmula 3 - Algoritmo de atualização do conhecimento em caso de insucesso	75
Fórmula 4 - Algoritmo de atualização do conhecimento do conceitos pré-requisitos em caso de sucesso	75
Fórmula 5 - Algoritmo de atualização do conhecimento pré-requisitos em caso de insucesso	75

LISTAS DE ABREVIATURAS

CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
CMS	<i>Content Management System</i>
DDD	Dados Dependentes do Domínio
DID	Dados Independentes do Domínio
XML	eXtensible Markup Language
XHTML	eXtensible HyperText Markup Language
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FMUP	Faculdade de Medicina da Universidade do Porto
GPL	<i>General Public Licence</i>
GUMS	<i>General User Modeling System</i>
GECAD	Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão
HA	Hipermédia Adaptativa
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IA	Inteligência Artificial
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
I&D	Investigação e Desenvolvimento
JRE	<i>Java Runtime Environment</i>
LMS	<i>Learning Management System</i>
LS	<i>Learning Style</i>
LSI	<i>Learning Style Inventory</i>
LN	Linguagem Natural
MA	Modelo do Aluno
MD	Modelo de Domínio
MI	Modelo de Interação
MP	Modelo Pedagógico
MU	Modelo de Utilizador
MOODLE	<i>Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment</i>
NLG	<i>Natural Language Generation</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OXML	<i>Ontology eXtensible Markup Language</i>
PCMAT	Plataforma de Aprendizagem Colaborativa de Matemática
PERL	<i>Practical Extracting and Reporting Language</i>
PISA	<i>Programme for International Student Assessment</i>
SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados
SHA	Sistemas de Hipermédia Adaptativos
SI	Sistema de Informação
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
WBHS	<i>Web-Based Adaptive Hypermedia Systems</i>
WIRH	<i>Web Information Recovery Hypermedia</i>
XSD	<i>XML Schema Definition</i>

1 INTRODUÇÃO

“Escolhe um trabalho que ames
e não terás que trabalhar
um único dia da tua vida”

Confúcio

A utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para criar ambientes de ensino/aprendizagem, acessíveis através da Internet, tem vindo a ser cada vez mais explorada, quer por instituições académicas, quer por outros intervenientes, nomeadamente empresas, que atuam no “mercado” da educação (Martins, 2003). O seu uso como complemento do ensino tradicional presencial em sala de aula tem merecido crescente atenção, motivando diversos modelos e configurações. No entanto, estes desenvolvimentos são considerados ainda em estado experimental e a sua integração nas atividades de ensino está longe de ter sido alcançada (Nachimias, 2000; Collis e Pals, 2000; Cardoso, 2001; Faria 2002; Cardoso, 2008; Martins, 2012).

1.1 Enquadramento

Atualmente as instituições de ensino enfrentam grandes desafios, resultantes de novos movimentos, que regulam as sociedades desenvolvidas, tais como: a valorização da informação e do conhecimento, com o recurso intensivo às TIC, a globalização e a competição acelerada (Martins, 2003; Cardoso, 2008).

Algumas instituições de ensino têm vindo a manifestar interesse na flexibilização dos processos tradicionais, assumindo claramente uma postura de inovação e aceitação da reconversão dos processos de ensino. Estes movimentos perpassam todas as áreas de atuação, inerentes às funções destas instituições, nomeadamente no ensino, na aprendizagem e nas atividades de Investigação e Desenvolvimento (I&D). Alguns exemplos desta atitude são a exploração de comunidades electrónicas como complemento do ensino tradicional, a consideração de sistemas de *e-learning* baseados na *Web* como instrumentos estratégicos, entre outros (Martins, 2003, Cardoso, 2008).

A nível académico, diversos modelos e configurações têm sido desenvolvidos. No entanto, estes desenvolvimentos são considerados ainda em estado experimental (Nachimias, 2000; Seufert, 2000; Cardoso, 2001; Cardoso, 2008) e a sua integração nas atividades de ensino está longe de ter sido alcançada (Awbrey, 1996; Collis e Pals, 2000; Martins, 2008a).

Algumas dessas experiências tentaram introduzir novas ferramentas tecnológicas com o objetivo de motivar os estudantes, tentando fornecer um apoio mais próximo e interativo. A título de exemplo, podemos dizer que foram desenvolvidas aplicações que permitem a realização de exames, tutoriais interativos, *quizzes*, entre outros. No entanto, a maior parte destas experiências falharam em parte nas suas intenções, porque não tomaram em consideração o perfil individual dos alunos, optando por uma solução genérica para todos os utilizadores. Outras demonstraram serem soluções demasiado complexas para permitir que os estudantes mantenham a motivação durante o processo da aprendizagem (Cardoso, 2008).

Neste contexto é necessário investigar e desenvolver, de uma forma integrada, “ferramentas” que permitam que os estudantes criem e consolidem conhecimentos de uma forma autónoma, personalizada, com permanente *feedback* e apoio. A evolução na área do *e-learning* dessas ferramentas interativas adaptativas e adaptáveis ao utilizador, com diversas funcionalidades, tem estado ligada diretamente à I&D, nomeadamente em áreas relacionadas com sistemas inteligentes ou multiagentes e adaptáveis e com recurso a métodos e técnicas do *data mining* (e/ou *web mining*), de classificação, *clustering*, associação, entre outras (Faria, 2002). Foi nesta área que se pretendeu desenvolver este trabalho de I&D.

1.2 Motivação

A motivação para a realização deste trabalho adveio sobretudo de uma intenção pessoal de desenvolvimento e investigação na área dos Sistemas de Hipermedia Adaptativos (*Adaptive Hypermedia Systems*) (SHA), indo também de encontro às necessidades das instituições às quais está ligado: Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão (GECAD), como investigador, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), como docente, e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), como aluno.

1.2.1 Pessoal

O interesse pelos Sistemas de Hipermédia Adaptativos adveio gradualmente da participação em diversos projetos de investigação na área de *e-learning* na Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (FMUP) e no ISEP como por exemplo:

- ADAPT – “Plataforma Adaptativa de Ensino à Distância”, PTDC/CPE-CED/115175/2009;
- PCMAT - “Plataforma de Aprendizagem Colaborativa de Matemática”, FCT – PTDC/CPE-- CED/108339/2008;
- TINSEL - “Tutores Inteligentes para Ensino do Projeto de Instalações Eléctricas”, POSC/ EIA /61843 / 2004;
- CASPOE – “Caracterização Semântica e Pragmática de Objetos Educativos”, PTDC/EIA/65387/2006;
- MedStatWeb (<http://stat2.med.up.pt>) - Curso interativo de Estatística Médica na Web;
- PLATINEA SIQE 20/2002, Programa: IQE – Incentivo à Qualidade na Educação. Com este projeto procurou-se desenvolver uma estratégia inovadora para a aprendizagem da Matemática (embora possa ser expandida a outras áreas, posteriormente) a nível secundário e superior.

Segundo Diana Laurillard (1993) as estratégias pedagógicas no ensino superior que usam convenientemente as tecnologias podem promover aprendizagens ativas mais centradas no aluno, valorizando as suas experiências pessoais e a sua participação. Como docente e investigador sou da mesma opinião e julgo que estas estratégias representam um desafio a assumir no sentido de melhorar a própria metodologia/qualidade de ensino.

Considero que a metodologia tradicional de ensino, complementada por sistemas adaptáveis ao perfil de aprendizagem dos alunos, é a mais eficaz no sentido de melhorar os resultados escolares e na preparação dos alunos para o mundo profissional atual e para a sua formação ao longo da vida. Para o professor, as funcionalidades dos SHA oferecem instrumentos poderosos e flexíveis para uma reestruturação pedagógica das disciplinas (Martins, 2003; Martins, 2008a; Martins, 2012).

1.2.2 Institucional

O Instituto Superior de Engenharia do Porto e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, assim como outras instituições de ensino superior, têm realizado algumas iniciativas de *e-learning* usando para esse efeito *Learning Management System* (LMS) e *Content Management System* (CMS). No entanto, as respetivas plataformas de apoio não integram ainda as funcionalidades dos SHA, que por exemplo, podem alterar os conteúdos, a apresentação, a estrutura e a anotação das hiperligações. Geralmente, os LMS e CMS ligados ao ensino não utilizam um modelo dos objetivos, preferências e conhecimento de cada indivíduo, para interagir com o aluno com o propósito de se adaptar às necessidades deste (Martins, 2008a).

Este trabalho enquadra-se nos objetivos e planos estratégicos destas duas instituições, uma vez que ambas desejam criar, gerir e apoiar infraestruturas de ensino/aprendizagem baseadas na *Web*, para complementar o ensino tradicional presencial.

1.3 Objetivo

O principal objetivo deste trabalho é o de estudar, discutir, propor e validar um quadro de referência que possibilite configurar, moldar e ajustar a utilização de objetos de aprendizagem em função de uma análise construtivista do aluno e da sua progressão cognitiva.

Por outras palavras, o objetivo deste trabalho é o de conceber um sistema híbrido inovador, que permita relacionar a representação do conhecimento, preferências de aprendizagem e estilos de aprendizagem do aluno com um Modelo Pedagógico dinâmico e regras de adaptação que usam objetos de aprendizagem compatíveis com a norma IEEE LOM, para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo.

Para esse efeito, foram definidos objetivos mais específicos que são enumerados de seguida:

- Determinar novas estratégias de adaptação e uma arquitetura para a implementação de SHA educacionais para apoiar e melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo;
- Precisar os atributos do Modelo do Aluno para descrever a informação, conhecimento, preferências e estilos de aprendizagem necessários para conduzir os mecanismos de adaptação do SHA;
- Definir um Modelo Pedagógico, com as regras de adaptação e os mecanismos de interação entre o utilizador e a aplicação suficiente para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo.

A solução desenvolvida deverá permitir ao aluno consolidar conhecimentos, de forma autónoma e com apoio permanente, através de metodologias de ensino e atividades educacionais exploradas de forma construtivista.

1.4 Metodologia de investigação

Neste secção apresenta-se a metodologia de investigação usada neste trabalho, procurando estabelecer o seu enquadramento neste estudo e a forma como permitiu fornecer a informação que ajudou o investigador a confirmar ou a refutar as questões propostas.

A metodologia de investigação usada neste trabalho foi dividida em quatro fases, descritas de seguida:

1. A primeira fase consistiu na análise das soluções existentes e do estado da arte nas áreas científicas da modelação de utilizadores e dos SHA. Nesta fase foram identificados problemas a serem abordados a partir dos estudos e de propostas existentes (Secções 2, 3 e 4);
2. Na segunda fase foi formulada a proposta de uma solução. Esta fase é resultante dos resultados obtidos na primeira fase. Isto é, depois de estudar as possíveis abordagens já implementadas e identificadas limitações em soluções existentes, foi necessário fazer uma proposta que resolva algumas destas limitações (Secção 5);
3. O desenvolvimento de um protótipo correspondeu à terceira fase, nomeadamente a arquitetura de um novo sistema que pudesse solucionar as limitações das soluções existentes (Secção 5);

4. A quarta fase e última corresponde à avaliação da solução adoptada. Nesta etapa foi necessário verificar se a solução desenvolvida solucionava as limitações detetadas na primeira fase desta metodologia (Secção 6).

No que concerne à fase da avaliação da solução adoptada, a proposta deste trabalho pretendeu observar um processo de inovação no ensino/aprendizagem, nomeadamente na adopção de tecnologias para o suporte de métodos tradicionais de ensino/aprendizagem. Integra-se assim na área de Sistemas de Informação (SI) e, como tal, na avaliação justificou-se uma abordagem qualitativa através de um estudo de caso observatório (Martins, 2003).

Num estudo de caso observatório, a formulação da questão deve identificar o objetivo e explicitar o objeto do trabalho de investigação. A formulação da questão deve ser o mais precisa e cuidada possível, já que todas as restantes fases do trabalho vão ser influenciadas pelo modo como a questão seja colocada (Yin, 1994; Martins, 2003).

A questão central que orientou o trabalho foi a seguinte:

A definição adequada de estratégias de adaptação e de uma arquitetura para a implementação de uma plataforma educacional baseada em hipermedia adaptativa, permite apoiar e melhorar o desempenho dos alunos de matemática ao nível do segundo ciclo do ensino básico?

Para escolher que tipo de dados que foram necessários recolher, foi essencial definir as proposições (Yin, 1994). Cada proposição centra-se diretamente sobre um aspeto relevante da investigação escolhida (Yin, 1994; Martins, 2003).

Para este trabalho a seguinte proposição é suficientemente específica para analisar a questão proposta:

A avaliação da definição adequada de estratégias de adaptação e de uma arquitetura de SHA educacionais para o complemento do ensino tradicional presencial da matemática nas escolas de ensino básico do segundo ciclo é mensurável através da observação dos atores principais do processo de inovação na organização, ou seja professores, alunos e a sua interação com a tecnologia.

As unidades de análise consideradas para o estudo correspondem à escola EB2,3 Dr. Ferreira de Almeida, de Santa Maria da Feira (escola 1), e à escola EB2,3 S. Lourenço de Ermesinde

(escola 2). Para este trabalho, cada uma é caracterizada pelos docentes, alunos e tecnologias de suporte.

De acordo com as proposições definidas, selecionaram-se ferramentas de recolha de dados que permitissem responder à questão formulada. Todos os dados foram guardados num ficheiro Microsoft Excel, tendo sido de seguida importados para uma aplicação de tratamento estatístico de dados, o SPSS¹.

Da mesma forma, definiu-se um faseamento na aplicação dessas ferramentas, essencialmente de acordo com o seguinte plano:

1. Numa primeira fase cada turma envolvida no estudo foi dividida de forma aleatória, em dois grupos: grupo experimental e grupo de controlo;
2. Numa segunda fase foram realizados inquéritos para recolher os dados necessários dos alunos do grupo experimental para instanciar as variáveis do Modelo do Aluno da plataforma desenvolvida;
3. A terceira fase correspondeu à utilização do protótipo ao longo de três semanas pelo grupo experimental. O grupo de controlo durante o mesmo período de tempo frequentou aulas com a metodologia tradicional de ensino usando o MOODLE² (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*) como apoio as aulas presenciais.
4. Uma quarta fase envolveu a resolução de um teste final em papel, igual para todos os alunos (grupos experimental e de controlo);
5. Por fim, a quinta e última fase consistiu na realização de um inquérito para avaliar a adequação, usabilidade e aceitação de algumas funcionalidades do protótipo.

1.5 Contribuições

A aplicação das diversas tecnologias, já referenciadas, de uma forma integrada, para o desenvolvimento de ferramentas para o ensino/aprendizagem com características construtivistas apresenta-se não só como uma importante alternativa, mas também como algo de inovador para o desenvolvimento de sistemas de *e-learning*.

¹ SPSS (Statistical Package for Social Sciences) é uma aplicação para o tratamento estatístico de dados (<http://www.spss.com/>).

² MOODLE (<http://moodle.com/>) é um Learning Management System (LMS) open source de apoio à aprendizagem.

A capacidade de adaptação que estas ferramentas terão em relação às diferentes necessidades e à diversidade de fontes de informação individuais de cada aluno irá mostrar-se essencial, nomeadamente para uma maior eficácia e eficiência do processo de aprendizagem. Estas ferramentas podem ainda introduzir uma responsabilidade acrescida do aluno na sua aprendizagem, designadamente na sua autonomia (autoaprendizagem).

De seguida iremos efetuar uma breve descrição dos contributos e originalidades do presente trabalho:

1. Foi publicado, numa revista, um *survey* na área científica da modelação do utilizador no âmbito dos sistemas adaptativos (Martins, 2008a);
2. Foi publicado, no livro “*Intelligent and Adaptive Educational Learning Systems*”, um capítulo sobre o sistema híbrido e inovador implementado, que relaciona o Modelo do Aluno com um Modelo Pedagógico dinâmico e regras de adaptação (Martins, 2012);
3. Foram definidas novas estratégias e uma arquitetura para a implementação de uma plataforma educacional baseada em hipermedia adaptativa, com o intuito de apoiar e melhorar o desempenho dos alunos de matemática ao nível do segundo ciclo do ensino básico (Secção 5);
4. Foi idealizada uma estrutura para representar o Modelo do Aluno capaz de descrever conhecimento, preferências e estilos de aprendizagem do utilizador. Este modelo expressa e fornece conclusões acerca das características do utilizador (Secção 5.3). A abordagem usada para a modelação do conhecimento e da preferência de aprendizagem do aluno baseia-se no desenvolvimento de uma solução simples e flexível. Apesar da sua simplicidade trata-se de uma inovação (Secção 5.3.1)(Martins, 2012). A definição das características do aluno representadas e a solução híbrida do uso da técnica do método de *Overlay* e de estereótipos para a representação do conhecimento do utilizador obtiveram resultados positivos com significado estatístico (Secções 5.3 e 6.6);
5. A definição de um novo modelo pedagógico para os SHA educacionais. Este modelo possibilita aos alunos melhorarem os resultados da matemática em escolas do ensino básico (Secções 5.4 e 6.6).

A análise, implementação, integração e avaliação das técnicas usadas para adaptar a interação e a navegação nos sistemas de hipermedia adaptativa, através da utilização de metadados caracterizadores dos objetos de aprendizagem e modelação do aluno, irão contribuir para

melhorar a eficácia das ferramentas de *e-learning* nas escolas do ensino básico, tornando o processo educativo mais adaptado às necessidades dos alunos (Secção 6). Esta mais-valia conduz à flexibilização da formação de modo a corresponder à necessidade cada vez mais premente de uma formação dita ao longo da vida. Esta contribuição permitirá também a adaptação dos modelos de ensino à realidade interativa, dinâmica e multimediática.

1.6 Organização da Tese

A organização deste documento parte deste capítulo introdutório para uma contextualização mais abrangente deste trabalho, apresentada nos três capítulos seguintes.

Nos capítulos 2, 3 e 4 apresentam-se os conceitos ligados ao tema da Tese nomeadamente aos SHA, a modelação dos utilizadores e Teorias de Aprendizagem, respectivamente.

No capítulo 5 é apresentado o modelo, a implementação e desenvolvimento do protótipo.

No capítulo 6 são apresentados e discutidos alguns resultados considerados mais relevantes.

No capítulo 7 apresenta-se um resumo de todo o trabalho realizado e as respectivas conclusões, apontando-se pistas para trabalhos futuros.

Em complemento aos capítulos que constituem esta Tese, existem 2 anexos:

- Anexo A: extrato do ficheiro XSD³ do Modelo do Aluno;
- Anexo B: inquérito aos alunos.

³ XML Schema Definition (XSD) descreve a estrutura de um XML.

2 SISTEMAS DE HIPERMEDIA ADAPTATIVOS

"Numa boa oratória,
não deveria o espírito de orador conhecer
a verdade do assunto que vai falar?"

Platão

Neste capítulo apresentam-se os principais conceitos relativos aos Sistemas de Hipermedia Adaptativos (SHA) relevantes para esta Tese. Optou-se por:

1. Definir uma taxonomia da área de Hipermedia Adaptativa (HA) e dos SHA;
2. Apresentar e relacionar com a taxonomia alguns projetos desenvolvidos nessa área;
3. Definir e apresentar aspetos relevantes a serem usados no Modelo de Domínio (MD) nos SHA;
4. Fazer um levantamento das tecnologias e técnicas usadas no Modelo Pedagógico (MP) e nos mecanismos de adaptação nos SHA;
5. Apontar possíveis caminhos futuros da área.

2.1 Introdução

O ano de 1996 é indicado como a data de mudança da investigação realizada na área dos SHA (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007).

Até 1996, a investigação realizada na área de HA era feita por equipas individuais, sobretudo com o intuito de resolver os problemas do hipertexto estático aplicado ou usado em diferentes áreas (Böcker et al, 1990; Kaplan et al, 1993; Brusilovsky, 1993; Brusilovsky, 2001). Foram então estudados diferentes modelos de adaptação da *interface (output/layout)* e da navegação em sistemas de hipertexto para cada utilizador (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2005). Os artigos científicos⁴ nesta área eram geralmente publicados em revistas científicas, congressos, *workshops* nas áreas da modelação do utilizador (*User Modeling*) e/ou da interação adaptada ao utilizador (*User Adapted Interacton - UMUAI*).

⁴Até 1996 os artigos publicados nesta área descreviam investigações clássicas sobre sistemas de hipertexto e hipermedia anteriores à WWW. Depois, a maior parte dos artigos dedicam-se aos denominados *Web-Based Adaptive Hypermedia Systems (WBHS)*.

O primeiro *workshop* sobre HA foi realizado aquando da conferência *User Modeling* sobre modelação do utilizador em 1994 (Brusilovsky e Beaumont, 1994). Em 1996, foi publicada uma edição especial da revista científica “*User Modeling and User Adapted Interaction*, 1996, v 6, n 2-3, pp 87-129 - *Special issue on adaptive hypertext and hypermedia*” sobre HA. Assim, pode-se considerar que o ano de 1996 foi o ponto de mudança nesta área de investigação.

A partir de 1996, a HA teve um rápido crescimento, principalmente devido:

1. Ao aumento do uso da WWW, esse crescimento levou a uma necessidade de adaptabilidade devido à diversificação dos seus utilizadores;
2. À acumulação e à consolidação, nos anos anteriores, da investigação realizada nesta área (Milosavljevic et al., 1997; Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2005).

Depois de 1996, foram muitos os aspetos relevantes a considerar e que contribuíram para este rápido crescimento, nomeadamente (Brusilovsky, 1998; Brusilovsky e de Bra 1998; Milosavljevic et al, 1997; Brusilovsky, 2001):

- Foram lançados um grande número de projetos;
- A escolha deste tema como área de I&D, nomeadamente como tese de doutoramento, por parte de alguns investigadores;
- A existência de um maior número de eventos relacionados com HA, como por exemplo, a realização de *workshops*, entre outros.

2.2 Taxonomia

Os Sistemas HA são referenciados, como sendo uma nova “direção” de investigação da Hipermedia e da modelação do utilizador (Brusilovsky, 2001).

Geralmente, os sistemas HA utilizam um modelo dos objetivos, preferências e conhecimento de cada indivíduo (utilizador), para interagir com o utilizador com o propósito de se adaptar às necessidades deste (De Bra e Calvi, 1998; De Bra, 1999; Brusilovsky, 2001; Martins, 2005; Brusilovsky, 2007; Martins, 2008a).

2.2.1 Definição

De Bra (2006) define SHA como sendo um sistema que pode alterar os conteúdos, a apresentação, a estrutura e a anotação das hiperligações (*hyperlinks*), com os seguintes objetivos:

- Conduzir o utilizador para informação relevante e desviá-lo da informação ou de páginas com conteúdos que ele ainda não conseguiria entender, isto é, realizar de alguma forma uma manipulação da estrutura ou da apresentação das hiperligações; este objetivo é geralmente conhecido com *link adaptation*;
- Fornecer na página informação adicional ou alternativa, para assegurar que a maior parte da informação relevante é mostrada e para que o utilizador a possa melhor entender, também é geralmente conhecida por *content adaptation*.

A arquitetura global usada na construção destes sistemas reflete o cruzamento entre as áreas de hipermedia e modelação do utilizador. A arquitetura proposta por Benyon (1993) e de De Bra (2004) indica que os SHA devem ter três partes essenciais:

1. Um Modelo de Utilizador (*User Model*), que descreva nomeadamente o conhecimento e as preferências de um indivíduo. Este modelo deve exprimir e fornecer conclusões sobre as características do utilizador (Secção 3.3);
2. Um Modelo de Domínio (*Domain Model*), que representa o modelo conceptual do conhecimento do domínio. Uma das funções mais importantes deste modelo é fornecer uma estrutura para a representação do domínio de conhecimento do utilizador (Secção 2.3).
3. Um Modelo Pedagógico (*Pedagogical Model*), que representa e define a interação entre o utilizador e a aplicação. Os dados guardados a partir da monitorização desta interação podem ser usados para inferir algumas características do utilizador, atualizando e validando assim o Modelo de Utilizador (MU). Geralmente este modelo é composto por mecanismos de avaliação, de adaptação e de inferência (Secção 2.4).

Resumindo, os SHA devem possuir funcionalidades que permitam usar e aplicar o conteúdo do MU de um modo dinâmico, com o objetivo de adaptar ao utilizador vários aspetos e características do sistema. Para isso, estes sistemas devem contemplar nomeadamente as seguintes funcionalidades (Chepegin e Aroyo, 2004; De Bra, 2006):

- Usar o MU (modelos/perfis de utilizador) para modelar várias características do utilizador;
- Guardar informações da interação do indivíduo com o sistema (monitorizando, observando, entre outros) permitindo, assim redefinir o modelo;
- Adotar modelos de definição e estruturação de documentos e de conhecimento. Para que tal aconteça devem usar-se: anotações (metadados e atributos, entre outros) para a classificação de objetos; grafos de domínio (*domain graphs*), com a finalidade de modelar as estruturas dos documentos (ou parte da estrutura de relação entre objetos); ou grafos de conhecimento que descrevam o conhecimento contido em cada objeto ou coleção de objetos (grafos de conhecimento, ontologias de domínio, entre outros);
- Possuir mecanismos de adaptação usando as características do utilizador, para aplicar aos modelos de estruturação de documentos e de conhecimentos.

2.2.2 Diferença entre sistemas adaptáveis e adaptativos

Geralmente, os termos adaptáveis e adaptativos são mal entendidos e confundidos (Faria, 2002). Nesta proposta de taxonomia, julga-se relevante, fazer a diferenciação entre sistemas adaptáveis e adaptativos.

Nos sistemas adaptáveis, o utilizador pode fornecer um perfil através de um diálogo (ou caixas de diálogos) ou de um questionário e, como consequência, o sistema fornece uma versão da aplicação adequada ao seu perfil (De Bra, 1999).

Nos sistemas adaptativos é monitorizado o comportamento do utilizador. A apresentação, navegação e estrutura, entre outras características do sistema, são adaptadas consoante este comportamento (Faria, 2002). A evolução das preferências do utilizador e do seu conhecimento pode, em parte, ser deduzida através das páginas às quais acedeu. Alguns destes sistemas também podem utilizar questionários ou testes para conseguirem obter mais informações sobre o utilizador. A maior parte desta informação é obtida com base nas ações de navegação do utilizador (Faria, 2002).

Alguns autores, também fazem referência a um outro tipo de sistema, os sistemas ditos de Hipermedia Dinâmicos (Brusilovsky, 2005; De Bra, 2006). Nestes sistemas, o comportamento do utilizador é monitorizado como nos sistemas adaptativos. No entanto, nestas plataformas é usada a Linguagem Natural (*Natural Language Generation* - NLG) para geração de conteúdos dinâmicos adaptados ao perfil do utilizador (De Bra, 2006).

2.2.3 Áreas de adaptação

A definição de algumas áreas de adaptação permite ao SHA uma melhor aplicação dos mecanismos de adaptação. Geralmente, a taxonomia é dividida em duas áreas em relação à adaptação (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007):

1. Apresentação adaptativa (*adaptive presentation*);
2. Suporte à navegação adaptativa (*adaptive navigation support*).

Brusilovsky (2001) sugere também a divisão da apresentação adaptativa em duas subáreas:

1. Texto adaptativo (*text adaptation*);
2. Tecnologia multimédia adaptativa (*multimedia adaptation technologies*).

Alguns autores sugerem problemas nesta taxonomia. De Bra (1999) evita esses termos, porque os considera confusos. A mudança na apresentação de uma hiperligação pode estar ou ser classificada como sendo uma apresentação adaptativa ou um suporte à navegação adaptativa.

No entanto, e de momento, iremos optar pela classificação de Brusilovsky (2001; 2007), que nos parece mais correta e de momento mais simples. De certa forma, esta taxonomia possibilita a classificação de diversos métodos e técnicas, permitindo, aliás por sugestão do autor, algumas extensões.

Uma dessas extensões, aponta para um novo tipo de classificação relacionado com o tipo de sistema e com a área da sua aplicação, nomeadamente na educação e na medicina⁵.

⁵ Aqui podemos colocar uma questão, como se poderia classificar uma sistema de educação médica?

Julga-se necessário fazer a divisão do texto adaptativo em dois grupos:

1. Inserção, remoção, alteração, ordenação e tornar menos visível parte de texto (*canned text adaptation, stretchtext, altering fragments, sorting fragment, e dimming fragments*);
2. Adaptação da Linguagem Natural (LN).

A navegação adaptativa, que permite conduzir o utilizador para os conteúdos adequados, é subdividida de acordo com os métodos de adaptação:

- Visualização e ocultação de ligações (*link hiding*);
- Ordenação (*sorting*);
- Anotação (*annotation*);
- Encaminhamento direto (*direct guidance*);
- Mapa de hipertexto adaptativo (*hypertext map adaptation*);
- Produção e geração de ligações (*link generation*). Esta técnica inclui 3 casos:
 - Descoberta de novos links úteis entre documentos e adição permanentemente aos links existentes;
 - Geração de links similares baseada na navegação efetuada;
 - Recomendação de links relevantes.

Na criação de um modelo de estrutura de navegação, deve-se permitir chegar a todas as páginas a partir da página inicial definida pelo autor. O modelo deve, na medida do possível, evitar ciclos nas relações das ligações no sentido de evitar situações de impasse para o utilizador (Brusilovsky, 2001).

Outras inovações, realizadas no campo dos SHA, como por exemplo a redescoberta de texto, não se enquadram em nenhum grupo desta taxonomia, nem em outras possíveis extensões destes grupos (Hothi e Hall, 1998; Brusilovsky, 2007).

Na implementação dos SHA, são geralmente usadas técnicas vindas da área da Inteligência Artificial (IA), nomeadamente, o uso de:

1. Redes Semânticas;
2. *Machine Learning*;
3. Modelos *Bayesianos*;
4. Redes Neurais;
5. Linguagem Natural.

2.3 Modelo de Domínio

O Modelo de Domínio (MD) representa a estrutura semântica dos conceitos do domínio da aplicação e as relações entre esse conceitos, isto é, identifica os conceitos considerados na aplicação e descreve os seus atributos e relações (Wu, 1999). Para o termo estrutura semântica alguns sinónimos são os seguintes: *Application Model*, *System Model*, *Device Model* e *Task Model*.

Habitualmente, no MD são definidos os conceitos que vão ser usados ou ensinados e as suas relações semânticas (o MD pode ser considerado como a ontologia⁶ do tema a ser ensinado aos alunos) (Faria, 2002). No MD, são associados aos conceitos um conjunto de atributos que possibilitam definir o conhecimento de um utilizador em relação a cada um deles (Faria, 2002). Os atributos são representados por pares atributo/valor, que expressam o conhecimento sobre o interesse e nível de conhecimento de um determinado conceito para um utilizador em particular (Faria, 2002; Martins, 2008b; Faria, 2010).

Várias especificações podem ser usadas para a implementação do MD nos Sistemas de Hipermedia Adaptativa. Os modelos mais frequentemente referenciados são (Wu, 1999): o *Dexter Model*; o *Amsterdam Hypermedia Model (AHM)*; o *Adaptive Hypermedia Application Model (AHAM)* e o *Munich Reference Model*.

O *Dexter Model* foi o primeiro modelo a ser definido com o objetivo de servir de referência para comparar os diversos modelos usados nos sistemas existentes e, por fim; possibilitar o desenvolvimento de uma norma (Wu, 1999). Este modelo foi elaborado no sentido de capturar a abstração dos diferentes conceitos associados aos SHA, de descrever os conceitos básicos e de fornecer uma base para as arquiteturas para a implementação dos Sistemas de Hipermedia

⁶ Ontologia é uma especificação explícita duma conceptualização (Gruber, 1993).

Adaptativos. Geralmente os SHA existentes adoptam uma soluçao que usa a combinaçao de vrios destes modelos (Koch, 2001).

2.3.1 Definição de MD

Nos Sistemas de Hipermedia Adaptativos o Modelo de Domínio é considerado, na maior parte das vezes, como sendo o seu componente nuclear (De Bra, 2006). Este modelo é basicamente representado por um conjunto de domínios de conceitos. Em alguns sistemas, cada conceito está relacionado com outros conceitos, representando assim uma rede semântica (Faria, 2002). Uma das mais importantes funções daquele modelo é fornecer uma estrutura para a representaçao do domínio de conhecimento do utilizador. Por cada Modelo de Domínio, um modelo de conhecimento do utilizador é guardado com a indicaçao da estimativa do nível de conhecimento para um determinado conceito que o utilizador possui. O valor da estimativa do nível de conhecimento poderá ser quantitativo, qualitativo ou probabilístico (Faria, 2002; Martins, 2008a). O MD é formado pelos seguintes componentes (Faria, 2002):

- Conceitos (ou componente conceptual) associados aos objetos da aplicaçao;
- Atributos e relaçoes entre os objetos.

Um componente conceptual é uma representaçao abstrata de um item de informaçao do domínio da aplicaçao; é um par <**uid**, **info**>, onde **uid** é um identificador único global do conceito e **info** é o componente de informaçao. Um componente de informaçao consiste em:

- Um conjunto de atributos composto por pares atributo/valor;
- Uma sequencia de ligaçoes (*links*, relaçoes, entre outros).

A estrutura dos valores dos atributos, as ligaçoes e a especificaçao da representaçao são geralmente semelhantes às usadas no modelo de Dexter, onde se distinguem os componentes atômicos dos componentes compostos (idem para os conceitos) (De Bra, 1999).

2.3.2 Aspectos relevantes a serem considerados no MD

Alguns aspectos importantes a serem considerados no MD são (Faria, 2002):

- Decidir qual é o nível de descrição com que deve ser representado o conhecimento do domínio da aplicação;
- A ordem pela qual os conceitos deverão ser apresentados;
- As relações entre os conceitos;
- Associar pré-requisitos para aceder a determinado conceito;
- Associar material didático, conteúdos e/ou objetos a cada conceito ou grupo de conceitos.

Segundo Fink (1996) e Faria (2002), o MD vai permitir a representação do domínio do conhecimento do sistema em questão. Esta representação poderá ser de dois tipos:

- Declarativo e procedimental, representada com produção de regra; *frames*, rede semânticas, *scripts*, ou combinações deles;
- A partir de diferentes perspectivas dependendo do tipo de tarefas que o professor queira atribuir.

Para a implementação do MD, existem diferentes tipos de representação de modelos, nomeadamente a representação dos conceitos com atributos que permitem definir se um determinado conteúdo associado a este conceito foi consultado. Como consequência, o valor do atributo do conhecimento do utilizador associado ao conceito será incrementado ou diminuído. Os conceitos poderão estarem relacionados com páginas ou objetos que representam tópicos do domínio da aplicação (Faria, 2002).

As regras de adaptação usadas juntamente com o MD vão definir a forma como o MU é atualizado. Isto é, o MD vai permitir projetar os aspectos da aplicação relevantes em relação às necessidades do sistema adaptativo.

2.3.3 Técnicas para implementação do MD

Com o MD e com a definição das regras de adaptação será selecionados os conceitos a serem apresentados ao utilizador. O MD pode ser representado por um grafo acíclico dirigido, isto é, cada componente não pode ser um subcomponente dele próprio, direto ou indiretamente (Wu, 1999).

As técnicas mais usadas no Modelo de Domínio são geralmente as seguintes (Faria, 2002):

- Anotações (metadados e atributos, entre outros) para a classificação de objetos;
- Grafos de domínios (*domain graphs*) para modelar a estrutura dos documentos (ou parte da estrutura entre objetos);
- Grafos de conhecimentos que descrevem os conhecimentos contidos em cada objeto ou coleção de objetos (*knowledge graphs, domain ontologies*, entre outros).

Os grafos de domínio ou de conhecimento são expressos como predicados sobre os estados de relações entre documentos ou tópicos. A título de exemplo, o MD do sistema AHA! (Adaptive Hypermedia Architecture - <http://aha.win.tue.nl>) é baseado em conceitos que representam o conhecimento do domínio adquiridos a partir da consulta de páginas e da resolução de testes. No AHA! é usado o conhecimento do utilizador acerca dos conceitos do utilizador como um subconjunto do domínio de conceitos.

O termo grafo de conceito é a representação gráfica da informação. Geralmente são caracterizados como gráficos dirigidos acíclicos onde os nós representam as ideias, os tópicos o grafo e os ramos a relação entre esses conceitos.

2.3.4 Ferramentas para criação de MD

Alguns SHA possuem uma ferramenta que possibilitam aos editores a criação do MD. Algumas destas ferramentas a título de exemplo são de seguida abordadas:

1. AHA! (Adaptive Hypermedia Architecture): o AHA! é um projeto *Open Source* (software Livre) construído sobre a tecnologia JAVA Servlet e funciona com o servidor Web Apache/Tomcat. A parte da gestão usa JAVA *Applets*, XML (*eXtensible Markup Language*) e usa como Sistema de Gestão de Base de Dados o MySQL. O sistema AHA! é composto por vários módulos para a construção do MD:
 - a. O *Concept Editor*: trata-se de uma ferramenta de autoria para definir os conceitos, as regras, as condições, as ações e os eventos. Funciona por autenticação e apresenta uma lista de conceitos que podem ser visualizados com as respetivas propriedades, informação hierárquica e atributos. Os Conceitos são compostos:
 - Por um nome que é único e uma só palavra;
 - Pela descrição textual;

- Pelo campo **resource** que pode representar algo de abstrato ou associar ao conceito uma página (conteúdo) com o respetivo URL (*Uniform Resource Locator*);
 - Pelo título (nome a ser dado ao conceito);
 - Pela hierarquia: cada conceito está integrado numa hierarquia;
 - Por um conjunto de atributos: cada conjunto de atributos pode ser diferente de conceito para conceito e possuir propriedades e um conjunto de regras de adaptação. As propriedades podem ser compostas pelo nome, tipo (booleano, inteiro, *string*), campo **ispersisten**, que indica se deve ou não ser atualizados no MU e MD sempre que são acedidos, pelo campo **issytem**, que define se se trata de uma propriedade do sistema, pelo **ischangeable**, pela descrição e pelo campo **default** que define o valor inicial do atributo;
 - As regras de adaptação: a cada atributo de cada conceito podem associar-se as regras de adaptação necessárias para definição, como por exemplo, de como os conteúdos serão apresentados.
- b. Ferramentas de autoria de grafos: permite definir a estrutura do MD. Este módulo permite criar a hierarquia e as relações entre conceitos.
2. MOT (My On-line Teacher - <http://wwwis.win.tue.nl:8080/MOT03/>): MOT foi desenvolvido em PERL⁷ e usa como Sistema de Gestão de Base de Dados o MySQL. Também é *open source*. O MD é construído através de um módulo que funciona com formulários. Esta ferramenta permite a criação de novos conceitos e respetivos atributos a partir da sua inserção através de formulários. O módulo também permite a criação de relações hierárquicas entre conceitos com um conjunto de atributos. Os conceitos também podem ser relacionados com conteúdos;
 3. CGWorld (<http://larflast.bas.bg:8080/CGWorld/>): CGWORLD é implementado em JAVA e Prolog. Possui uma interface gráfica para a criação do MD. Possui as funcionalidades de criação de conceitos, relações entre conceitos e um contexto;

⁷ *Practical Extracting and Reporting Language* (PERL) é uma linguagem de programação interpretada e multiplataforma utilizada para construir aplicações para o Web.

4. JGRAPH (<http://www.jgraph.com/downloads.html>): JGRAPH é uma ferramenta *open source* para a criação e manipulação de grafos;
5. JAVA *concept graph editor* (http://www3.informatik.uni-erlangen.de/Publications/Articles/horton_stja97.pdf): Esta ferramenta também desenvolvida em JAVA permite descrever palavras e proximidades entre palavras.

Muitas das ferramentas desenvolvidas para a criação de grafos de conceitos (*concept graph*) são geralmente todas semelhantes no que respeita as funcionalidades.

2.4 Modelo de Pedagógico

O Modelo de Pedagógico (MP) representa e define os mecanismos de interação do utilizador com o sistema (Martins, 2012).

No MP, o sistema deve possuir funcionalidades que permitem:

1. A apresentação adaptativa (*adaptive presentation*);
2. O suporte à navegação adaptativa (*adaptive navigation support*).

O MP deve permitir a criação de um modelo/estrutura de navegação entre conteúdos. Este modelo deve possibilitar ao utilizador alcançar todas as páginas a partir da página inicial definida pelo autor. No entanto, deve-se evitar a criação de ciclos, no sentido de não existirem problemas de terminação (Brusilovsky, 2001).

A Linguagem Natural pode ser usada no sentido de potenciar ao utilizador, o entendimento da informação. Por outras palavras, o MP pode usar NGL na adaptação da apresentação da informação.

Na implementação das funcionalidades do MP devem ser considerados alguns pontos, nomeadamente:

1. Implementação das funcionalidades para a adaptação da *interface/layout*;
2. Alterar a apresentação dos conteúdos;
3. Definir a estrutura e anotações das hiperligações;
4. Conduzir o utilizador para a informação relevante;
5. Fornecer informações adicionais ou alternativas ao utilizador.

2.4.1 Modelo de Pedagógico, adaptar-se a quê?

Geralmente, nos sistemas ditos adaptativos, a adaptabilidade é realizada com base em várias características dos seus utilizadores representados no MU (Brusolvsky, 2001; Brusolvsky, 2007). No entanto, o processo de adaptação não deve tomar somente em consideração as características do utilizador (Kobsa et al, 1999; Brusolvsky, 2007). Deve também considerar outros aspetos, tais como a interação do utilizador com o sistema, o *hardware* e tipo de ligação a Internet usada pelo utilizador, entre outras (Kobsa et al, 1999; Brusolvsky, 2007).

Kobsa (1999) sugere a distinção entre as diferentes capacidades de adaptabilidade com base na adopção dos seguintes dados:

- Do utilizador (várias características do utilizador);
- De utilização (interação do utilizador com o sistema e que não possa ser resolvidos pela caracterização do utilizador);
- Relacionados com o ambiente (*environment*).

2.4.2 Características do utilizador

Desde 1996 que os objetivos, conhecimentos, antecedentes e preferências do utilizador foram usados na definição do MU (Secção 3) para suportar o processo de adaptação dos SHA. Alguns autores recomendam adicionar mais dois aspetos: os interesses dos utilizadores e as respetivas características individuais (Brusolvsky, 2007; Martins, 2008a).

A proliferação de Sistemas *Web Information Recovery Hypermedia* (WIRH) tem vindo a alterar este facto. Os Sistemas WIRH têm como objetivo modelar os interesses dos utilizadores a longo e médio prazo, e usá-los em paralelo com os objetivos de pesquisa a curto prazo, no sentido de filtrar a informação obtida (Brusilovsky, 2001).

Em relação às características individuais dos utilizadores, estas referem-se ao facto de a partir das características de determinados grupos se conseguir definir individualmente um utilizador. Para esse efeito, são tomados em consideração os aspetos de personalidade (extrovertido/introvertido), fatores cognitivos e estilos de aprendizagem de cada indivíduo (Secção 4.2). Geralmente para obter este tipo de informação são usados testes psicológicos. Brusilovsky (2007) destaca que até ao momento não houve nenhum caso de sucesso que tenha

utilizado estas características para modelar o utilizador a ser usado no processo de adaptação no MP (Brusolvsky, 2007).

2.4.3 Características de utilização

A adaptação do sistema ao utilizador nem sempre pode ser obtida pela definição do perfil do utilizador (Martins, 2008a). Os sistemas deverão permitir a obtenção de informação/dados (características) da sua utilização, de forma a permitir a redefinição e/ou a extensão dinâmica do modelo de utilizador, no sentido de permitir a aplicabilidade nos mecanismos de adaptação (Faria, 2002). Estes dados não podem ser obtidos na caracterização do perfil do indivíduo, mas sim na interação utilizador/sistema (Faria, 2002).

2.4.4 Ambiente

Este tipo de adaptação foi introduzida pelos *Web-Based Adaptive Hypermedia Systems* (WBHS). A motivação para o surgimento deste tipo de sistemas deve-se ao fato dos utilizadores habituais deste tipo de aplicação poderem aceder de qualquer lugar e usando qualquer computador e por isso o ambiente tornou-se mais um ponto da adaptação relevante (Brusilovsky, 2001).

A adaptação deverá ser feita tomando em consideração a localização e a plataforma (*hardware, software*, tipo de ligação, entre outras) usadas pelo utilizador. Estes critérios para adaptação envolvem a seleção do material e dos media a serem apresentados (Joerding, 1999).

2.5 Classificação dos SHA

Geralmente são identificados 6 tipos de SHA (Brusilovsky, 2001; Brusolvsky, 2005):

1. Sistemas de Hipermedia Educacional (*Educational Hypermedia Systems*);
2. Sistemas de Informação Online (*Online Information Systems*);
3. Sistemas de Ajuda Online (*Online Help System*);
4. Sistemas de Hipermedia para Recuperação de Informação (*Hypermedia for Information Retrieval*);
5. Sistemas de Hipermedia Institucional (*Institutional Hypermedia Systems*);
6. Sistemas de Gestão da Informação Personalizada em Ambientes Fechados (*Systems for Managing Personalized View in Information Spaces*).

A maior parte dos desenvolvimentos na área dos Sistemas de Hipermedia Educacional foram realizados a partir de 1996 (Brusolvsky, 2001). Estes sistemas eram geralmente baseados na Web (*Web Based System*) (Brusilovsky et al., 1998, de Bra e Calvi, 1998, Brusilovsky, 2001; Brusolvsky, 2005) e sofreram grande evolução desde 1996, tendo sido ampliados com um número razoável de novas técnicas e recorrendo a diversos casos de estudos experimentais (Brusolvsky, 2005; Brusolvsky, 2007).

Alguns autores dividem os Sistemas de Informação Online em dois grupos: clássicos e específicos (Brusilovsky, 2001). No entanto, julga-se, mais adequado apresentar estes sistemas da seguinte forma:

- Sistemas de Informação ditos clássicos;
- Sistemas de Informação específicos (enciclopédias electrónicas, museus virtuais, etc.), que devido a determinadas especificações permitem melhorar algumas funcionalidades; estes sistemas tomam em consideração o tipo de utilizador, conseguindo assim uma melhor adaptabilidade;
- Sistemas de *e-commerce*: Estes sistemas tentam minimizar a manipulação da interface necessária para que o utilizador chegue à informação pretendida. Geralmente estes sistemas combinam dois domínios: Inteligência Humana e da Máquina.

2.6 Alguns projetos

O objetivo desta secção é apresentar alguns projetos na área dos SHA, assim como uma classificação destes sistemas. A Tabela 1 apresenta uma lista de sistemas, nomeadamente, a designação do projeto/sistema, classificação e uma pequena descrição.

Tabela 1 - Projetos/Sistemas SHA (Lucas et al., 2006)

Designação	Classificação	Descrição
KBS Hyperbook	Hipermedia Educacional	http://www.kbs.uni-hannover.de/hyperbook/ Sistema que permite criar e gerir SHA abertos na internet. Este sistema permite ao utilizador definir os seus próprios objetivos educacionais e propõe qual o caminho que deve seguido.
MEDEA	Sistema de Autoria para HA	http://www.lcc.uma.es/medea Plataforma, que fornece suporte ao desenvolvimento de ambientes educacionais inteligentes baseados na Web, por meio da reutilização de materiais já existentes.
SQL-Tutor	Hipermedia Educacional	http://www.cosc.canterbury.ac.nz/~tanja/sql-tut.html Sistema que pretende ensinar aos alunos o SQL. A adaptação é feita consoante as necessidades e conhecimentos de cada aluno. Este sistema foi desenvolvido pelo <i>Intelligent Computer Tutoring Group</i> .
ATLAS	Sistema de Autoria para HA	http://astreo.ii.uam.es/~atlas/ Sistema para a construção de cursos adaptativos baseado na web.

Evaluating Interbook	Hipermedia Educacional	http://www.education.uts.edu.au/projects/interbook Sistema com uma grande adaptação na parte de navegação
METIORE	Hipermedia para Recuperação de Informação	http://www.lcc.uma.es/metiorew Este sistema personaliza as respostas para cada utilizador, tomando em consideração as suas preferências, características e objetivos.
AHA!	Sistema de Autoria para HA	http://aha.win.tue.nl/ Adaptive Hypermedia for All (AHA!) é um sistema de autoria de SHA Educacionais baseado na Web.
MOT	Sistema de Autoria para HA	http://www.dcs.warwick.ac.uk/~acristea/mot.html My On-line Teacher (MOT) é um sistema de autoria geral para hipermedia adaptativa.
WBI	Sistema de Autoria para HA	http://www.almaden.ibm.com/cs/wbi . Sistema para desenvolvimento aplicações Web personalizadas ou personalizáveis
AVANTI	Sistemas de Informação Online (mas também Hipermedia Institucional)	http://www.gmd.de/fit/projects/avanti.html Financiado pela Comissão Europeia, providencia informação sobre uma determinada área, adaptando a informação às necessidades e características de cada utilizador (por exemplo: cegos, turistas, etc.)
I-DOC	Sistemas de Informação Online	http://www.isi.edu/isd/I-DOC/i-doc.html Sistema de informação que fornece a documentação apropriada sobre determinado software em <i>runtime</i> tomando em consideração o contexto em que cada utilizador trabalha e do grau de familiaridade com o sistema
NETCOACH	Sistema de Autoria para HA	http://netcoach.orbis.de/Na/netcoach
Adaptive Hypermedia Course	Hipermedia Educacional	http://www.wis.win.tue.nl/2L690/ Baseado no Sistema AHA!. Os links para cada página são criados quando o estudante estiver pronto para visualizar estes conteúdos. E são removidos quando o sistema achar que o aluno não necessita mais de os consultar. Os conteúdos são adaptados por inclusão condicional de fragmentos de documentos.
SmexWeb	Hipermedia Educacional	http://pst1.pst.informatik.uni-muenchen.de:8000/indexE.html Foi desenvolvido em Ludwig-Maximilians-University of Munich, Alemanha. Foi desenvolvido em Java, HTML e javascript. Este sistema fornece um curso sobre Extended Backus-Naur Formalism.
ELM-ART	Hipermedia Educacional	Tutor sobre linguagem LISP. Apresenta os conceitos sobre a forma hierárquica.
AdaptWeb	Sistema de Autoria para HA	http://adaptweb.sourceforge.net/ Plataforma desenvolvida com o objetivo de auxiliar professores na autoria de sistemas educacionais de HA

De seguida são apresentados mais detalhadamente alguns sistemas de autoria para HA. A escolha dos critérios de seleção dos SHA analisados teve em consideração o seu estado atual de pesquisa e desenvolvimento, a disponibilidade de fontes científicas para consulta e a disponibilidade de utilização de cada um deles.

Procurou-se ainda destacar a forma como cada SHA possibilita a definição do Modelo de Utilizador, de Domínio e Pedagógico.

2.6.1 AHA!

O AHA! (<http://aha.win.tue.nl/>) é um sistema de autoria para HA baseado na Web e na tecnologia *JAVA Servlets* (De Bra, 2006). O AHA! é disponibilizado como um *software* livre sob a licença GNU GPL⁸. A ferramenta corre no servidor Web Apache/Tomcat com suporte para *JAVA Servlets*. Do lado do cliente, é necessário um navegador que suporte *Java Runtime Environment* (JRE). Como repositório de dados, pode ser usado o Sistema de Gestão de Dados (SGBD) MySQL ou ficheiros em eXtensible Markup Language (XML) (De Bra, 2006).

O Modelo de Domínio é definido por conceitos e relações entre eles. O AHA! utiliza uma abordagem *multi-concept indexing*, ou seja, cada conteúdo deve estar relacionado com pelo menos um conceito (Lucas et al., 2006).

O método usado para definir o Modelo de Utilizador é o *Overlay* (Brusilovsky, 2003). O Modelo de Utilizador é composto por atributos que representam o conhecimento ou interesse do aluno acerca de um determinado conceito. Cada conceito existente no Modelo de Domínio também é representado no Modelo de Utilizador (De Bra, 2006).

As técnicas de adaptação usadas no AHA! possibilitam a adaptação da apresentação de conteúdos e da navegação. A adaptação fornecida na navegação é feita através da avaliação dos requisitos e do Modelo de Utilizador.

O processo de aprendizagem no AHA! é baseado na construção de uma hierarquia de conceitos e de um sistema de regras de adaptação. O AHA! dispõe de três ferramentas de autoria (de Bra, 2006):

1. O “*Form Editor*”, para a criação de formulários para definir e alterar o Modelo do Aluno;
2. O “*Concept Editor*”, que possibilita a criação de conceitos, atributos e regras de adaptação;
3. O “*Graph Authoring Tool*”, que permite a definição dos conceitos e respetivas relações, este componente auxilia na definição do Modelo de Domínio, tornando este processo mais intuitivo através da representação gráfica da estrutura do modelo.

⁸ GNU GPL - *General Public License* é a designação da licença para software livre.

2.6.2 MOT

My On-line Teacher (MOT - <http://www.dcs.warwick.ac.uk/~acristea/mot.html>) é uma ferramenta de autoria de HA implementada em PERL e usa como SGBD o MySQL. O servidor Web utilizado é o Apache.

O MOT é disponibilizado como um software livre sob a licença GNU GPL. A ferramenta possui uma interface gráfica na qual, através de formulários, é possível definir regras de adaptação sem ter conhecimentos específicos sobre *HyperText Markup Language* (HTML) e XML. O servidor Web usado é o Apache.

O MOT baseia-se na especificação proposta pelo Modelo LAOS (*Layered AHS Authoring-Model and Operators*) (Cristea et. al., 2003). O LAOS é composto por cinco camadas: o Modelo Conceptual, o Modelo de Objetivos e Restrições, o Modelo de Utilizador, o Modelo de Adaptação e o Modelo de Apresentação. O Modelo Conceptual expressa o Modelo de Domínio, que contém subcamadas hierárquicas que representam conceitos. O MOT tem uma abordagem “*enhanced concept-based hyperspace*”, ou seja, cada conceito pode ser vinculado a vários materiais educacionais (Lucas et al., 2006).

O Modelo de Objetivos e Restrições representa o Modelo Pedagógico. Os objetivos definem as metas que o aluno deve atingir e as restrições definem limites no espaço educacional (Power et. al., 2005). O Modelo de Utilizador no MOT é composto por um modelo dinâmico do histórico do aluno no sistema e pelo método *Overlay*.

No Modelo de Adaptação são usadas as definições do LAG (*Layers of Adaptivity Granulation*), que definem três camadas para a estruturação de um modelo de adaptação, e uma linguagem que possibilita a especificação de regras que relacionam elementos do Modelo de Utilizador com elementos dos Modelos Conceptual e de Objetivos e Restrições.

2.6.3 AdaptWeb

O AdaptWeb (<http://adaptweb.sourceforge.net/>) foi implementado com o objetivo de auxiliar professores na autoria de sistemas educacionais de HA. Este sistema foi implementado em PHP⁹ e usa como SGBD o MySQL. O servidor Web utilizado é o Apache. O AdaptWeb é disponibilizado como um software livre sob a licença GNU GPL.

A arquitetura do AdaptWeb é composta por cinco componentes (Lucas et al., 2006):

1. Autoria - é o elemento responsável pela criação dos objetos de aprendizagem em ficheiros XML ou HTML. Cada objeto é relacionado com um ou mais conceitos. Tal como o MOT a relação entre os conceitos é estruturada através da especificação de pré-requisitos;
 - Armazenamento - é o responsável pela gestão dos conteúdos educacionais;
 - Definição tecnológica do ambiente - refere-se ao perfil tecnológico do ambiente de trabalho do aluno que é representado no Modelo de Aluno juntamente com as preferências e o estilo cognitivo de aprendizagem;
 - Seleção de conteúdo adaptativo - é o responsável por selecionar, tendo como base as informações contidas no Modelo de Aluno e os conteúdos que posteriormente serão exibidos ao utilizador;
 - Apresentação adaptativa - é o responsável por apresentar os ficheiros XML ou HTML ao aluno. Este componente utiliza informações (preferências de navegação e perfil tecnológico) contidas do Modelo de Utilizador.

2.6.4 ATLAS

O *Authoring Tool for Adaptive educational Software design* (ATLAS - <http://astreo.ii.uam.es/~atlas/>) é uma ferramenta para a criação de cursos adaptativos baseados na Web. Este sistema foi desenvolvido em JAVA.

No ATLAS, ao invés de conceitos, existem tarefas que representam os objetivos de aprendizagem que o aluno deve atingir. As tarefas estão representadas de forma hierárquica. As relações representam dependências entre tarefas. Cada conteúdo é composto por um

⁹ PHP: *Hypertext Preprocessor* (PHP) é uma linguagem de programação interpretada e multiplataforma utilizada para construir aplicações para o web.

conjuntos de fragmentos de páginas HTML que representam as partes do curso. Cada tarefa deve estar associada a pelo menos um conteúdo (Lucas et al., 2006).

O Modelo de Aluno é composto por um conjunto de atributos que representam o conhecimento que o aluno possui sobre determinados conceitos inerentes às tarefas. A adaptação é feita através de um raciocínio baseado em regras, o qual é realizado através de condições definidas entre cada tarefa. A ativação de uma ou outra tarefa é determinada por um predicado, no qual devem ser definidas condições associadas aos atributos do Modelo do Aluno (Lucas et al., 2006).

2.6.5 MEDEA

MEDEA (<http://www.lcc.uma.es/medea>) é uma plataforma baseada na Web e *JavaServer Pages*. A arquitetura do MEDEA é composta por dois elementos: os recursos de aprendizagem e o núcleo (Lucas et al., 2006).

Os recursos de aprendizagem são, de acordo com Trella et. al. (2005), ambientes educacionais externos que realizam tarefas pedagógicas concretas (livros electrónicos, sistemas de simulação, ferramentas de avaliação, entre outros). Por sua vez, o núcleo é constituído pelos seguintes elementos: o Ambiente, o Modelo do Aluno, Modelo de Domínio, Modelo Pedagógico e o Administrador de ligação.

O Ambiente engloba a interface do aluno, executa tarefas pedagógicas e interage com o Modelo do Aluno. O Modelo do Aluno é usado para descrever o conhecimento do aluno acerca do domínio. A descrição é feita através da técnica *Overlay*, no qual existem duas camadas que são inferidas a partir de relações definidas no Modelo de Domínio. Tais inferências são realizadas através de redes *bayesianas*.

O Modelo de Domínio é representado por uma rede semântica de conceitos, na qual são definidas as relações entre os mesmos. O Modelo de Domínio utiliza a linguagem *Ontology eXtensible Markup Language* (OXML) para descrever o domínio através de uma ontologia. Cada conceito possui uma organização hierárquica, podendo estar relacionados com outros conceitos através da especificação de pré-requisitos (Lucas et al., 2006). De acordo com Trella et. al. (2005), as relações entre os conceitos são definidas como relações pedagógicas (*prerequisite_of* e *subtopic_of*) ou relações clássicas de definições ontológicas (*subconcept_of* e *part_of*).

O Modelo Pedagógico é o componente responsável por guiar o aluno durante o processo de aprendizagem. Neste componente estão definidas as regras de adaptação, que são representadas em dois contextos: micro-adaptação e macro-adaptação. O primeiro contexto é responsável por selecionar os recursos mais adequados ao aluno. A macro-adaptação define de que forma os conceitos devem ser apresentados ao aluno através do recurso educacional selecionado (Faria, 2002).

Por fim, o administrador de ligação é o componente responsável por gerir toda a comunicação existente entre os componentes do MEDEA.

2.6.6 NetCoach

O NetCoach (<http://netcoach.orbis.de/Na/netcoach>) é uma plataforma desenvolvida e disponibilizada comercialmente. Possibilita o desenvolvimento de cursos adaptativos baseados na Web, nomeadamente a autoria dos objetos de aprendizagem e dos testes para a avaliação, a definição de objetivos de aprendizagem e adaptação do *layout* e da interface gráfica do curso (Weber, 2001; Lucas et al., 2006).

Outras ferramentas disponíveis no NetCoach são o fórum de discussões e o *chat*, que possibilitam a comunicação entre os utilizadores de um curso, tanto de forma assíncrona como síncrona.

O Modelo do Aluno é implementado pelo método *Overlay*. O histórico do aluno é essencialmente representado pelo seu histórico de navegação. O NetCoach possibilita a definição de objetivos de aprendizagem que o aluno deve atingir. Estes objetivos podem corresponder apenas a algumas partes do curso.

O Modelo de Domínio é composto por conceitos estruturados de forma hierárquica, podendo estar relacionados através da especificação de pré-requisitos ou inferências, nas quais o sistema consegue saber, por exemplo, que se um conceito A é conhecido pelo aluno, o conceito B também o será. Este modelo ainda possui os chamados “itens de teste” que tem a função de avaliar o estado atual do conhecimento do aluno acerca de um conceito (Lucas et al., 2006). No NetCoach cada objeto de aprendizagem só pode envolver um único conceito.

A adaptação num curso é realizada em relação aos objetivos, preferências e conhecimento do aluno. Tais informações podem proporcionar adaptação em relação à navegação ou apresentação de conteúdos. As preferências de aprendizagem não são consideradas.

2.6.7 Comparação dos sistemas de HA

Neste subcapítulo é apresentada a comparação dos sistemas de HA analisados previamente. As características tomadas como critérios de comparação estão relacionadas com o Modelo do Aluno, Modelo de Domínio e as técnicas utilizadas no processo de adaptação.

Em relação ao Modelo do Aluno, todos os sistemas, com exceção do AdaptWeb, baseiam-se fortemente na descrição do conhecimento do aluno acerca dos conceitos (Tabela 2). A Tabela 2 apresenta ainda a distinção em relação à descrição dos interesses, do método *Overlay* e do histórico do utilizador no Modelo do Aluno.

Tabela 2 - Modelo do Aluno

Modelo do Aluno	AHA!	MOT	AdaptWeb	ATLAS	MEDEA	NetCoach
Conhecimento	X	X		X	X	X
Interesses	X		X			X
Método <i>Overlay</i>	X	X			X	X
Histórico		X	X			X

No que diz respeito ao Modelo de Domínio todas as ferramentas permitem que os conceitos sejam organizados de forma hierárquica (Tabela 3). Com exceção do ATLAS, todos os outros sistemas analisados permitem a definição de pré-requisitos entre conceitos. O MEDEA é o único sistema que possui suporte para uma descrição mais precisa e poderosa do domínio através da definição de uma ontologia. Entre estes sistemas, o NetCoach é o único que utiliza redes *bayesianas* para a descrição do domínio.

Tabela 3 - Modelo de Domínio

Modelo de Domínio	AHA!	MOT	AdaptWeb	ATLAS	MEDEA	NetCoach
Organização Hierárquica	X	X	X	X	X	X
Pré-Requisitos	X	X	X		X	X
Inferências						X
Descrição Ontológica					X	

Em relação às técnicas de adaptação utilizadas, o MEDEA utiliza uma rede *bayesiana* e o AdaptWeb é o único que usa descrição ontológica dos conteúdos para suportar a adaptação (Tabela 4).

Tabela 4 - Técnicas de adaptação utilizadas

ADAPTAÇÃO	AHA!	*MOT	AdaptWeb	ATLAS	MEDEA	NetCoach
Raciocínio baseado em regras	X	X		X		
<i>Content adaptation</i>	X	X	X	X	X	X
<i>Link Disabling</i>			X			
<i>Link Annotation</i>			X			X
<i>Link Removal</i>			X			
<i>History List</i>			X			
Rede Bayesiana					X	
Descrição Ontológica de Conteúdos			X			

2.7 Conclusão

A Hipermedia Adaptativa é geralmente referenciada como sendo um cruzamento da investigação nas áreas de hipermedia e da modelação do utilizador (*User Modeling*) (Brusilovsky, 1996; Brusilovsky, 2001; De Bra, 2003; De Bra, 2004). Um sistema de HA constrói um modelo dos objetivos, preferências e conhecimento de cada utilizador e usa-o, dinamicamente, através de um Modelo Pedagógico e de um Modelo de Domínio, com o objetivo de adaptar os conteúdos, a navegação e a interface às necessidades do utilizador (Faria, 2002; Martins, 2008a; Martins, 2008b; Martins, 2008c; Martins, 2009; Martins, 2011; Martins, 2012). A arquitetura global usada na construção destes sistemas reflete este cruzamento, que indica que os SHA devem ter três partes essenciais: Um Modelo de Utilizador (*User Model*); Um Modelo de Domínio (*Domain Model*) e um Modelo Pedagógico (*Pedagogical Model*).

O Modelo de Domínio tem como principal objetivo ser a base de todas as inferências e/ou previsões, que se possam fazer sobre a interação do utilizador com o sistema (aplicação). O Modelo de Domínio é necessário na medida em que vai definir os aspetos em que a aplicação se pode adaptar, ou seja, o nível de abstração para fazer as comparações e existência de mecanismos que permitam que, como resultado de uma observação sobre, por exemplo, o comportamento ou características, prever um problema que vai ocorrer ou inferir quando o utilizador tentar atingir um objetivo (Secção 2.3).

O Modelo de Domínio inclui sequências de ações que são necessárias para alcançar um objetivo específico. Este modelo é usado para inferir os objetivos do utilizador a partir das suas ações observadas pelo sistema (Secção 2.3).

O Modelo de Domínio forma a base de todas as adaptações que o sistema possa fazer. Isto é, o sistema só pode alterar aspetos da aplicação que estejam descritos pelo Modelo de Domínio (Carrilho, 2004).

O objetivo final do Modelo de Domínio é o de permitir formar a base da representação do conhecimento do aluno a partir do UM (Martin, 2008a).

Em quase todos os sistemas, o MD é implícito. A representação está embebida no código do sistema. No entanto, a vantagem de ter a definição de um MD explícito é evidente e reconhecido na Inteligência Artificial (Faria, 2002).

O MD deve descrever o sistema para poder guardar dados sobre o que o utilizador entende sobre os vários conceitos e funções na aplicação (Faria, 2002).

O Modelo Pedagógico (MP) representa e define a interação do utilizador com o sistema (Secção 2.4). No MP, o sistema deve possuir funcionalidades que permitem:

1. Apresentação adaptativa (*adaptive presentation*);
2. Suporte à navegação adaptativa (*adaptive navigation support*).

Os tópicos atualmente em voga nos SHA é a sua aplicação na computação ubíqua aos dispositivos móveis. Estes aspetos não se enquadram no âmbito deste documento.

3 MODELO DO ALUNO

“Nunca me preocupo com o futuro
muito em breve ele virá”

Albert Einstein

Neste capítulo apresentam-se os principais conceitos relativos ao Modelo de Utilizador (MU - *User Model*) e mais propriamente ao Modelo do Aluno (MA) relevantes para esta Tese, procurando estabelecer o seu enquadramento neste estudo. Optou-se ainda por definir o que se pretende com o Modelo do Aluno, apresentar vários Modelos de Utilizador e analisar alguns sistemas.

3.1 Introdução

Os primeiros trabalhos sobre MU datam de 1978/1979 com Allen, Cohen, Perrault e Rich (Kobsa, 2001). Nos 10 anos seguintes, numerosas aplicações e sistemas foram desenvolvidos com a finalidade de guardar diferentes tipos de informação sobre os utilizadores, para permitir diferentes tipos de adaptação. Muitas dessas aplicações, foram analisadas e revistas por trabalhos de Morik, Kobsa e Wahlster e McTear (Kobsa, 2001; Martins, 2008a). Nesses trabalhos iniciais, a modelação do utilizador era feita pelos próprios sistemas e não existia uma clara separação entre os elementos do sistema que serviam para o MU e os outros componentes, impossibilitando assim a reutilização e modularização do MU (Kobsa, 2001; Martins, 2008a).

Em meados dos anos 80, esta separação foi feita, mas nenhum esforço foi realizado para permitir a reutilização e integração entre sistemas adaptativos (Kobsa, 1993). Finin (1989) criou o software “*General User Modeling System - GUMS*” que permitia a definição de estereótipos hierárquicos simples de utilizadores e, para cada um deles, admitia a criação de factos com elementos dos estereótipos e regras de entendimento do sistema em relação a esses factos (Kobsa, 2001). O GUMS aceita e guarda novos factos sobre o utilizador, fornecidos pelo próprio sistema, e verifica a consistência desses novos factos (por exemplo através de respostas do utilizador a questões).

Em 1990, Kobsa foi o primeiro autor que usou os termos “*User Modeling Shell System*” para sistemas deste género. Desde então diferentes sistemas foram desenvolvidos, orientados para a possibilidade de reutilização de Modelo de Utilizador (Kobsa, 2001).

Num SHA, o Modelo de Utilizador é necessário porque possibilita alterações de vários aspetos do sistema, em resposta a certas características (dadas ou inferidas) do utilizador (Brusilovsky, 1995, Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007). Estas características representam o conhecimento e preferências que o sistema assume que o utilizador (individual, grupo de utilizadores ou utilizador não humano) tem. No entanto, em alguns casos estas características podem representar o conhecimento que o utilizador não tem. Nos SHA educacionais, o Modelo do Aluno tem uma relevância ainda mais significativa, uma vez que para o aluno alcançar os objetivos da aprendizagem o sistema deve, por exemplo, adaptar-se aos seus atuais conhecimentos (Brusilovsky, 2001; Laroussi, 2001; Brusilovsky, 2007).

Vários estudos e diversos projetos foram desenvolvidos no sentido de definir as características do utilizador a serem guardadas, técnicas, tecnologias e modelos a serem usados na modulação do utilizador nos SHA (Martins, 2008a).

3.2 Definição do Modelo do Aluno

No caso dos Sistemas de Hipermedia Adaptativos com finalidades educativas, o MU corresponde ao perfil do aluno – Modelo do Aluno - e servirá para invocar e/ou selecionar estratégias pedagógicas, no fundo definir a reação do sistema em resposta às ações do aluno. É, assim, importante que os dados guardados no perfil do estudante sejam usados como argumentos nas funções de decisão dos sistemas de SHA (Laroussi, 2001; Carrillo, 2004; Faria, 2010) e que o modelo (representação) utilizado seja dinâmico e adaptado a utilizadores individuais e raramente a grupos de utilizadores. A observação deve ser usada para atualizar o MU, por exemplo comparando o conhecimento de aluno, com um estereótipo representativo de um utilizador especialista, criado para esse efeito.

O Modelo do Aluno é dividido em duas subcategorias: Dados Dependentes do Domínio (*Domain Dependent Data – DDD*) e Dados Independentes do Domínio (*Domain Independent Data- DID*) (Figura 1)(Martins, 2008a).

Os DDD incluem informação referente aos conhecimentos específicos que o sistema julga que o utilizador tem ou deveria ter sobre o domínio (Figura 1). Os componentes dos DDD derivam diretamente do Modelo de Domínio (Martins, 2008a):

- Nível das tarefas (*Task Level*), que descreve os objetivos e competências do domínio que o utilizador deverá alcançar, neste caso os objetivos globais ou os objetivos intermédios poderão ser alterados consoante a evolução da aprendizagem;
- Nível lógico (*Logical Level*), que descreve o conhecimento do utilizador sobre o domínio e que vai sendo atualizado à medida que o aluno percorre as várias fases da aprendizagem;
- Nível físico (*Physical Level*), que regista e infere o perfil de conhecimento do utilizador.

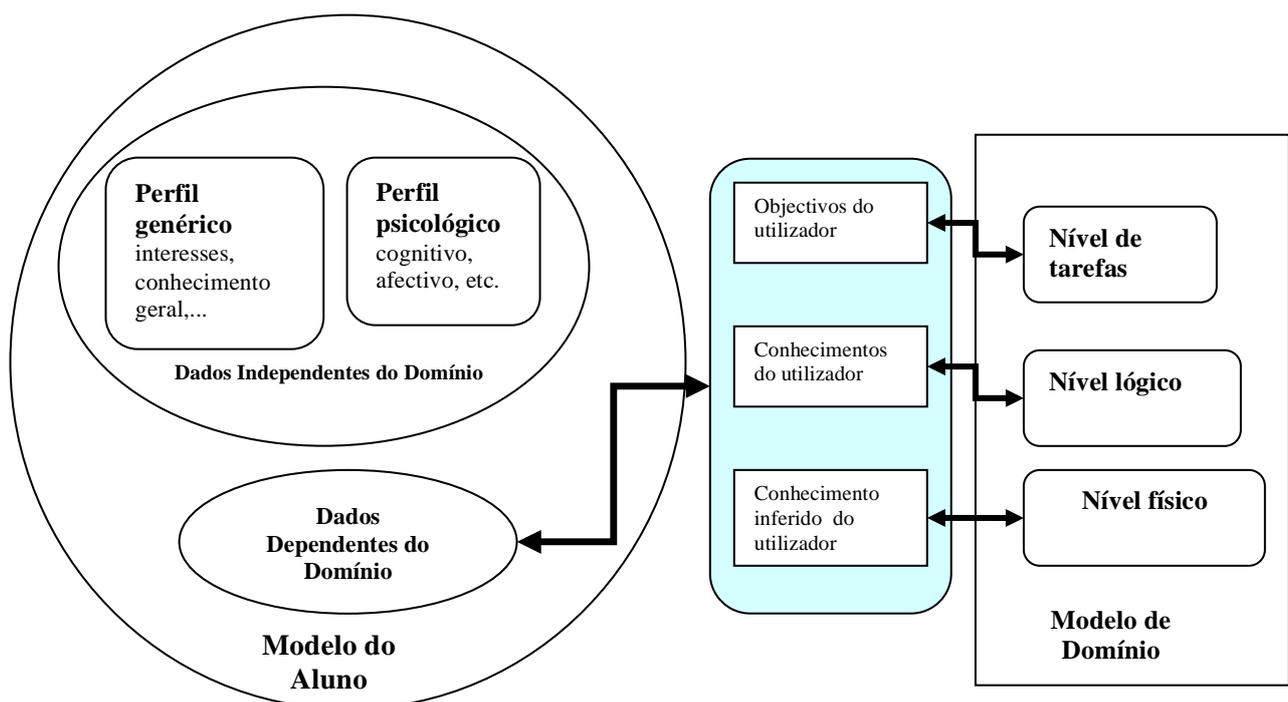


Figura 1 - Arquitetura segundo Benyon para construir o MU

Os DID são compostos por dois elementos:

- O modelo psicológico;
- O modelo genérico do perfil do aluno.

Os dados psicológicos estão relacionados com a parte cognitiva e com os traços afetivos e emocionais do aluno. Alguns estudos demonstraram que a diferença entre as capacidades cognitivas e traços de personalidade afetam a qualidade de alguns modelos ou estilos de interação (Kobsa, 2001; Carrilho, 2004). Uma das vantagens destes dados é que não são, supostamente, alterados, permitindo assim ao sistema saber algumas das características às quais se deve adaptar (Benyon, 1993; Vassileva, 1998; Martins, 2008a).

Os dados relacionados com os interesses do utilizador, conhecimento geral e antecedentes são guardados no modelo genérico do perfil do aluno. O modelo do perfil genérico e o modelo psicológico devem ser representados explicitamente e de preferência usando algum *software* de modelação de utilizador (Kobsa, 2001).

3.3 Características do Modelo do Aluno

Deve ser guardado no Modelo do Aluno (MA) as características relacionadas com os conhecimentos (conjunto base de conhecimento), os objetivos e planos, as capacidades cognitivas, os estilos de aprendizagem, as preferências, as orientações académicas (estudos tecnológicos versus estudos económicos e de gestão, conhecimentos de literatura, capacidades artísticas), a idade e o género do estudante (Kobsa, 1997). Para além destas características poderão ainda ser consideradas as aptidões cognitivas, verbais, espaciais, matemáticas e lógicas (Benyon, 1993; Kobsa, 2001; Carrilho, 2004). O estilo cognitivo (afetivo, impulsivo ou reflexivo), os traços de personalidade (introvertido, extrovertido, etc.) e áreas de conhecimento em que o utilizador é autónomo ou dependente foram mais tarde tomados em consideração na implementação dos SHA (Laroussi, 2001).

A maior parte dos autores refere que algumas dessas características são relevantes consoante o tipo de Modelo de Domínio (Brusilovsky, 1996; Brusilovsky, 2001; Martins, 2008a). Este facto motiva que em cada SHA se deve definir quais são as características e parâmetros relevantes do utilizador a serem guardados (Martins, 2008a). Na Tabela 5, são apresentados algumas das características do MU mais usadas e citadas na literatura.

Tabela 5 - Características mais usadas no MU

Modelo	Perfil	Característica	Descrição/exemplos
DID	Perfil Genérico	Registo de informação pessoais	Nome, email, password, etc.
		Dados demográficos	Idade, sexo etc.
		Orientações académicas	Estudo tecnológicos versus económicos etc.
		Habilitações	Certificados, diplomas, etc.
		Conhecimentos (conjunto de conhecimento de base)	Uma coleção de conhecimentos traduzida em conceitos. Possibilidade de uma indicação qualitativa, quantitativa ou probabilística de conceitos e conhecimentos adquiridos pelo utilizador (estes devem ser usados no modelo de domínio, definição e estruturação de documentos e de conhecimentos).
	Perfil Psicológico	Deficiências auditivas, visuais ou outras	Vê bem, usa óculos, ouve bem, ...
		O domínio da aplicação	A localização do utilizador , ...
		Herança de características	Criação de estereótipos que permitam classificar e associar características a um utilizador.
		Estilo de aprendizagem	Definição do estilo de aprendizagem, usando os <i>learning styles</i> , com o objetivo de definir qual será a melhor metodologia de ensino / aprendizagem a ser usada
		Traços da personalidade	Perfil psicológico (introverso, extroverso, ativo, domínio das situações, etc.).
DDD	Perfil Psicológico	Herança de características	Criação de estereótipos que permitam classificar um utilizador e associação das características deste estereótipo a este utilizador
		Objetivos	Questionário que permita determinar com que objetivo o utilizador pretende usar o sistema (curso, programa, conhecimentos que pretende adquirir).
	Perfil Psicológico	Planificação / Plano	Guia do curso, ...
		Histórico completo da navegação	Registo guardado de cada página acedida e desativada (deixada de consultar). É usado na adaptação da navegação.
		Conhecimentos adquiridos	Uma coleção de conhecimentos traduzida em conceitos. Possibilidade de uma indicação qualitativa, quantitativa ou probabilística de conceitos e conhecimentos adquiridos pelo utilizador (estes devem ser usados no modelo de domínio e na definição e estruturação de documentos e de conhecimentos).
		Resultados de avaliações	Dados sobre todos os testes, exercícios, etc.
		Modelo de contexto	Dados relacionados com o ambiente do utilizador (resolução do monitor, etc.)
		Aptidão	Definição da aptidão, da capacidade e do conhecimento para usar o sistema
		Interesses	Definição dos interesses do indivíduo com o objetivo de adaptar a navegação e os conteúdos
		Extensão temporal	Longa, curta ou normal

3.4 Implementação de Modelos do Aluno

Os dois tipos de técnicas mais usadas para a implementação de Modelos do Aluno são: as que são baseadas em conhecimento (*Knowledge-Based*) e as que são baseadas em comportamento (*Behavioral*) (Kobsa, 2001). A adaptação baseada em conhecimento é tipicamente resultante de dados recolhidos através de questionários, inquéritos e estudos sobre o utilizador, com o propósito de produzir um conjunto de heurísticas. A adaptação comportamental resulta, geralmente, da monitorização do utilizador durante a sua atividade.

Os estereótipos constituem uma forma simples de implementar o Modelo de Utilizador. Estes podem ser aplicados aos dois casos, classificando assim os utilizadores em grupos, com o objetivo de aplicar generalizações às pessoas pertencentes a um determinado grupo (Kobsa, 1993; Kobsa, 1997; Kobsa, 2001). A definição das características necessárias para a classificação em estereótipos deve tomar em consideração o grau de granularidade desejado (Martins, 2008a).

A adaptação comportamental é referenciada como sendo a mais adequada para ser usada nos SHA (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007), podendo implementar-se de duas formas: recorrendo aos métodos *Overlay* e *Perturbation* (Kobsa, 2001). Estes métodos têm como função relacionar o nível de conhecimentos do utilizador com os objetivos e competências de aprendizagem que ele pretende atingir (Kobsa, 2001).

3.4.1 Método Overlay

Neste método são representados os conhecimentos do utilizador, camada a camada, a partir do Modelo de Domínio, sendo feita uma correspondência direta ao modelo de conhecimento do utilizador (Figura 2). É criado um modelo individual do domínio estimando-se o nível de conhecimento do utilizador em cada conceito. Este valor pode ser binário (conhece ou não conhece), qualitativo (muito bom, bom, médio, fraco, não existente) ou quantitativo (uma probabilidade de conhecer ou não, um valor real entre 0 e 1).

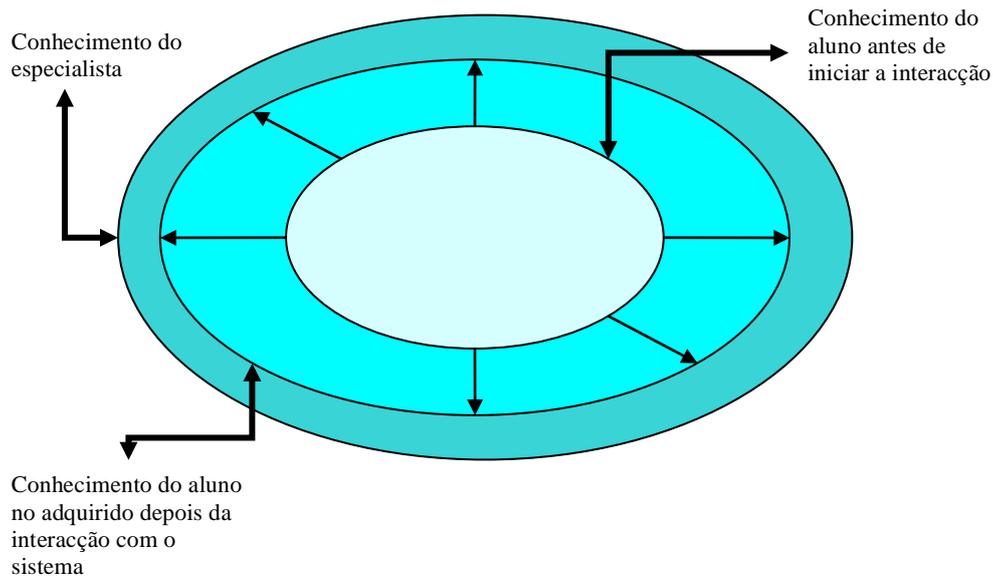


Figura 2 - Representação do Método *Overlay*

Neste método, o conhecimento do aluno é um subconjunto do conhecimento do sistema e não permite representar o conhecimento errado que o aluno adquiriu ou possa ter adquirido. Esta solução exige uma grande flexibilidade por parte do modelo de conhecimento do aluno para cada tópico (Brusivlosky, 2001; Martins, 2008a).

Este método exige que o Modelo de Domínio seja modularizado em tópicos e conceitos específicos. A complexidade do método vai depender da granularidade da estrutura do Modelo de Domínio e da granularidade da estimativa do conhecimento do estudante. Geralmente esta estimativa deve ser construída analisando as secções do domínio a que o aluno teve acesso e o seu desempenho nas tarefas (testes, exercícios, entre outros) que tenha realizado.

As técnicas de *Overlay* baseadas em estereótipos são geralmente combinadas nos sistemas de SHA para a educação. O aluno pode ser inicialmente categorizado num estereótipo e este modelo será gradualmente modificado à medida que o modelo *Overlay* for construído a partir do conhecimento adquirido pelo estudante e da interação com o sistema (Brusilovsky, 2001; Martins, 2008a). É construída uma rede semântica de conceitos que corresponde a um subconjunto do conhecimento do domínio, com correspondência ao Modelo de Domínio. As relações entre os conceitos são definidas e modularizadas por mecanismos determinados no sistema.

3.4.2 Método de Perturbação

Este método considera que o conhecimento e as aptidões do estudante são uma perturbação dos conhecimentos do especialista, e não um subconjunto dos seus conhecimentos (como no método anterior)(Figura 3). Este método pode ser usado para representar saberes que se encontram fora do Modelo de Domínio definido pelo especialista. Os estereótipos representam a estrutura para recolha dos traços ou características do utilizador, associando, como opção, a cada uma delas um valor de confiança. Geralmente, as características estão representadas de uma forma hierárquica.

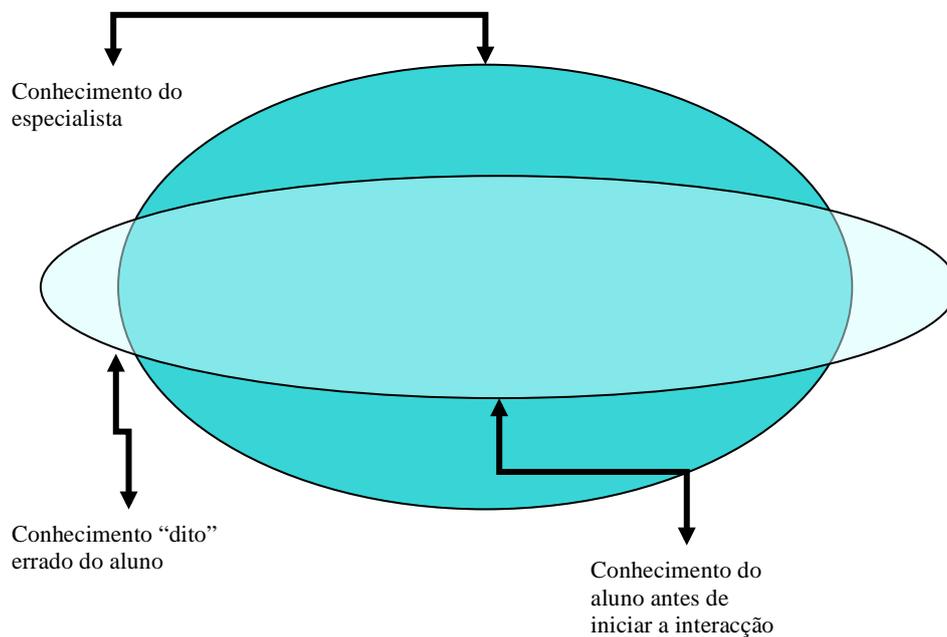


Figura 3 - Representação do Método de Perturbação

Existem dois tipos de métodos para implementar o Método de Perturbação, dependendo da ferramenta que se utiliza para inferir o perfil do aluno a partir das suas respostas a questionários ou outras ferramentas de recolha de dados. O primeiro, chamado *Buggy Model* e implementado no sistema DEBUGGY (Brown, 1978), permite associar a cada regra do especialista um conjunto de regras ditas erradas (*mal-rules*) derivadas das experiências pedagógicas do tutor. O Modelo do Aluno é obtido ao substituir as regras corretas pelas regras erradas que, quando são aplicadas, levam às respostas do aluno. Como podem existir diversas interpretações possíveis de uma resposta de um aluno (diversas regras erradas que levam à resposta), o sistema procede à geração de problemas de discriminação que coloca ao aluno para conhecer exatamente as regras erradas que este último utilizou.

O segundo tipo de método consiste em inferir o nível de compreensão do aluno por indução, a partir de um conjunto de respostas dadas pelo aluno (Laroussi, 2001). Neste sistema, o modelo do estudante contém conhecimentos errados, mas que não estão representados no sistema como no modelo BUGGY. Estes são obtidos por aplicação de perturbações ao conhecimento do especialista ao utilizar informações de ordem tutorial.

A aplicação da teoria de aprendizagem construtivista é também cada vez mais generalizada já que sugere que os alunos não guardam simplesmente a informação de uma forma estática, mas procuram blocos de antigos conhecimentos relacionados com a situação atual do estudo em questão para construir uma nova e mais significativa aprendizagem (Laroussi, 2001). Por outras palavras, a aprendizagem é mais eficaz quando é construída com base em conhecimento adquirido anteriormente e será ainda mais profícua se o estudante for ativamente implicado no processo de aumento do nível de associação com este conhecimento (Jonassen, 1991).

3.5 Exemplos de Modelo de Utilizador em SHA

Diversos SHA foram desenvolvidos com diferentes objetivos e usando diferentes modelos de utilizador. Na Tabela 6, são apresentadas algumas das características de MU usadas nos SHA mais significativos.

Tabela 6 - Algumas características do MU em SHA

Some Systems\ Characteristics	User Knowledge	Stereotypes	User Objectives	Prerequisite and experience	Preferences	User Interests	History
ADAPTWEB				X		X	X
AHA	X		X	X		X	
AVANTI	X	X	X				
C-BOOK		X					
ANATOM-TUTOR	X	X					
ELM-ART	X		X			X	X
INTERBOOK	X		X	X	X	X	X
KBS HYPERBOOK	X		X	X	X	X	X
INSPIRE	X		X			X	
HYPADAPTER,	X				X		
HYPERFLEX	X		X		X		
HYPLAN			X				
HYNECOS		X		X	X		X
ISIS-TUTOR	X						
KN-AHS	X						
METADOC	X	X					
XAHM	X		X		X	X	

De seguida, são apresentados alguns exemplos de desenvolvimentos académicos que permitem a criação de MU:

- UMT (Brajnik, 1994): permite a definição hierárquica do tipo de utilizador através de estereótipos e da definição das regras para produzir inferências no MU; também permite a detecção de contradições; as informações recebidas sobre o utilizador da aplicação podem ser classificadas como geração de hipóteses;
- BGP-MS (Kobsa, 1994): permite suposições sobre o estereótipo do utilizador e ou grupo de utilizadores. Estas suposições são representadas com predicados lógicos e subconjuntos destas suposições são guardados usando termos lógicos. São efetuadas inferências através de diferentes tipos de suposições para definir o conhecimento do utilizador;
- DOPPELGÄNGER (Orwant, 1995): é uma aplicação que funciona como servidor e que aceita informações sobre o utilizador através de sensores no *hardware*. Disponibiliza algumas técnicas para recolher os dados dos sensores como por exemplo Modelos de Markov. Os utilizadores podem visualizar e editar os seus MU;
- TAGUS (Kobsa, 2001): permite a definição de uma hierarquia de estereótipos e contém um mecanismo de inferência;
- UM (Kay, 1995): *toolkit* para a modelação do utilizador que tenta representar suposições do conhecimento do utilizador, preferências e outras. Cada informação é acompanhada por um valor que representa o seu nível de confiança.

3.6 Conclusão

Na área científica da modelação do utilizador, numerosas investigações e sistemas já desenvolvidos parecem prometer bons resultados (Kule, 2000, Martins, 2008a), mas a experimentação e implementação já efetuadas ainda ficam aquém do necessário para se poder concluir da sua utilidade (Martins, 2008a). Isto é, a experimentação e implementação destes sistemas ainda são muito escassas para determinar a utilidade de algumas das aplicações referidas (Faria, 2002; Martins, 2008a).

Nos SHA de natureza educacional, o ênfase é colocado no conhecimento do aluno relacionado com o domínio, no sentido de tornar a adaptação mais efetiva e de permitir ao aluno atingir os objetivos propostos na sua formação (Chepegin, 2004), sendo o método

Overlay a implementação mais utilizada nestes sistemas (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007).

O número e tipo de características a usar dependem da finalidade de cada sistema, existindo alguma relevância na parte cognitiva, estilos de aprendizagem e conhecimento do aluno (Chepegin, 2001; Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2003; De Bra, 2004; Martins, 2008a; Brusilovsky, 2012).

Atualmente, a investigação na área da modelação do aluno aplicada aos SHA vai no sentido de possibilitar a reutilização de cada Modelo do Aluno em diferentes sistemas (Chepegin, 2004). As normas são cada vez mais relevantes para esse efeito, permitindo aos sistemas comunicar e partilhar dados, componentes e estruturas, a nível sintático e semântico (Chepegin, 2004), embora a maior parte ainda só permita a integração sintática (Brusilovsky, 2001; De Bra, 2004). No âmbito desta tese foi publicado um *survey* que aborda em parte este assunto (Martins, 2008a).

4 Teorias e Estilos de Aprendizagem

A criatividade é um tipo
de processo de aprendizagem
em que o professor e o aluno
se encontram no mesmo indivíduo

Arthur Koestler

Aprendizagem é muitas vezes considerada como sendo a aquisição de conhecimentos e o Ensino (ato de ensinar) tem sido entendido como o processo de transmissão de conhecimentos e de competências. A temática Ensino/Aprendizagem foi alvo de diversos estudos que resultaram em diversas teorias que evoluíram no sentido de definir quais são as estratégias mais adequadas a serem usadas nesse processo. Neste capítulo, pretende-se abordar e apresentar de uma forma resumida as Teorias de Ensino/Aprendizagem mais divulgadas e os modelos ou estratégias de estilos de aprendizagem (*Learning Styles*) que serão usados nesta Tese.

4.1 Teorias de Aprendizagem: Breve Síntese

A Aprendizagem é entendida diversas vezes como sendo “a modificação do comportamento, relativamente permanente e resultante da experiência” (Rabello, 2010). Para ensinar, o professor leva a cabo um conjunto de ações orientadas para alcançar determinados objetivos de aprendizagem que se têm em vista, designado por estratégia de ensino (Pinto-Ferreira, 2009).

Estratégia de ensino é um plano de ação para conduzir o ensino em direção a objetivos fixados, traduzindo-se tal plano num determinado modo de se servir de métodos e meios para atingir esses resultados (Rabello, 2010). Esta estratégia pode estar vinculada a orientações educativas e a princípios teóricos de atuação pedagógica, designados por modelo de ensino (Pinto-Ferreira, 2009).

Modelo de Ensino é uma estratégia docente articulada, assente em princípios teóricos, resultando em ações do professor e atividades dos alunos, que obedecem a uma certa estrutura

e sequência e que criam um determinado ambiente de aprendizagem (Costa-Lobo, 2008). Os Modelos de Ensino podem ser reunidos em grandes grupos, caracterizando-se cada um destes grupos por uma orientação fundamental, um tipo predominante de objetivos educacionais, um papel do professor e do aluno, uma determinada estrutura da situação de ensino e um ambiente de aprendizagem. Estes grupos constituem Teorias de Aprendizagem (Rabello, 2010).

A Teoria da Aprendizagem dá uma explicação geral das observações feitas ao longo do tempo, explicando e ajudando a prever o comportamento. Pode ser modificada, podendo ser aceite durante longos períodos de tempo para depois ser rejeitada. Contudo, há sempre partes da teoria que continuam a ser válidas (Costa-Lobo, 2011).

Sendo assim, a construção de teorias no campo de educação é um processo constante e contínuo em que os paradigmas são permanentemente colocados em discussão (Pinto-Ferreira, 2009). Ao longo dos tempos, foram desenvolvidas inúmeras teorias, no entanto nenhuma parece satisfazer todos os especialistas desta área (Costa-Lobo, 2011).

Algumas das Teorias da Aprendizagem mais conhecidas são as seguintes (Lefrançois, 2008):

- Comportamentalismo: Baseado em mudanças observáveis de comportamento do aluno. O ensino limita-se a cuidar da apresentação da informação e a organizar as contingências de reforço que facilitem a sua aquisição;
- Cognitivismo: Baseado no processo de pensamento por trás do comportamento. Destacam-se os processos cognitivos internos que medeiam entre a codificação da informação e a resposta (comportamento). Durante a década de 70 muitos domínios começaram a experimentar uma mudança dramática em direção ao cognitivismo, num fenómeno frequentemente designado revolução cognitiva. O cognitivismo tem origem na Alemanha com o advento na psicologia da Teoria de Campo - Gestalt. Os quatro líderes do seu desenvolvimento foram Max Wertheimer (1880-1943), Wolfgang Kohler (1887-1967), Kurt Koffka (1886-1941) e Kurt Lewin (1890-1947);
- Construtivismo: Assente na premissa que construímos a nossa própria perspectiva do mundo, através de experiências individuais. Os alunos aprendem, desenvolvendo-se.

Neste subcapítulo, serão abordados as duas Teorias de Aprendizagem consideradas de maior interesse para este trabalho de Investigação e Desenvolvimento (I&D), a saber, a Teoria de Aprendizagem Comportamental e a Teoria de Aprendizagem Construtivista.

4.1.1 Teoria de Aprendizagem Comportamental

A Teoria de Aprendizagem Comportamental é baseada na observação sistemática e experimentação em condições onde se pode verificar que todas as variáveis são controladas. Pretende-se estabelecer fatos, para se poder construir teorias que demonstrem confiança e previsibilidade nas ações (Costa-Lobo, 2011). A observação é focada no comportamento, durante a experiência (Costa-Lobo, 2011). Esta corrente teórica tentou demonstrar que a aprendizagem deve ocorrer através de um processo desenvolvido em ambientes controlados, relacionando o comportamento do aluno com objetivos e associando, ainda, a memória do aluno à exposição de situações que poderão ser repetidas (Pinto-Ferreira, 2009). Esta teoria tentou demonstrar que o comportamento de um aluno pode ser moldado pela intervenção do professor. Este fato deixou marcas importantes na história da aprendizagem, na medida que se pode concluir que grande parte do comportamento dos elementos da sociedade é moldado nas escolas (Pinto-Ferreira, 2009). John B. Watson (1928) foi o pioneiro desta teoria.

Influenciados por esta teoria, os modelos pedagógicos eram muitas vezes compostos pelos seguintes itens:

- Ensino centrado no professor;
- Cursos com objetivos e resultados muito bem definidos;
- Uso repetidos de exercícios, problemas, situações, entre outros;
- Uso de incentivos (prêmios) ou uso de desincentivos (castigos) como estratégias para alcançar os objetivos propostos no curso.

Uma das críticas mais frequentes à Teoria de Aprendizagem Comportamental vai no sentido de que a mente de um aluno é considerada como um molde (*template*) que se pode adaptar e definir (Spiro, 1991). Basicamente, os alunos eram considerados como invólucros vazios que se poderiam preencher com conhecimento. Por outras palavras e de forma metafórica, podemos afirmar que o professor era entendido como o dono do conhecimento e os estudantes analisados como representam recipientes passivos que seriam moldados pelos professores (Rowe, 1986).

Diversas teorias surgiram a partir da Teoria de Aprendizagem Comportamental, nomeadamente:

1. Condicionamento Clássico: A aprendizagem é feita por associativismo, isto é, associar estímulos e antecipar situações. Muitas vezes esta teoria é usada na indústria, por exemplo associando a um produto imagens positivas. Um dos nomes diretamente associados às abordagens comportamentais é o de Pavlov (Gail, 1984);
2. Condicionamento Operante: Esta teoria é baseada no facto de que o professor pode controlar ou formar o comportamento do aluno, definindo objetivos através de diversos incentivos positivos ou castigos, considerados por isso desincentivos (Gail, 1984);
3. Aprendizagem social: Representa a modelagem cognitiva e a teoria da auto eficácia (Bandura, 1997).

4.1.2 Teoria de Aprendizagem Construtivista

O investigador mais famoso relacionado com esta teoria foi Jean Piaget. Uma das ideias principais desta teoria é de que somente poderemos entender como melhorar os métodos de ensino/aprendizagem, se entendermos como o cérebro lida com a informação (Gail, 1984).

A Teoria Construtivista¹⁰, afirma que o processo de ensino/aprendizagem envolve um construtivismo ativo, o que implica que o aluno não seja passivo, mas sim ativo (Pedrosa, 1987). Os alunos possuem diferentes estilos de aprendizagem, na medida em que percebem e entendem os conteúdos de maneiras diferentes, dependendo do conhecimento que eles tenham adquirido ao longo do tempo (Martins, 2008b).

A chave desta teoria reside em que o aluno deve estar ativamente envolvido no processo de ensino/aprendizagem, sobretudo na parte da construção, aquisição e entendimento de um determinado conhecimento (Martins, 2008b).

É importante que o professor entenda que a construção e aquisição de um determinado conhecimento ocorre a partir do conhecimento que o aluno já possui e que difere de aluno

¹⁰ Baseado na premissa que construímos a nossa própria perspetiva do mundo, através de experiências individuais. Os alunos aprendem, desenvolvendo-se.

para aluno. Assim o professor passa a ter um papel de guia e não de sábio como na teoria comportamental (Pedrosa, 1987).

Na Teoria Construtivista são focadas as diferenças individuais de cada aluno, sendo este facto importante para se reconhecer, desenhar e suportar determinadas atividades, que vão servir de base à auto aprendizagem dos alunos (Costa-Lobo, 2008).

As características principais dos cursos que usam a teoria construtivista (Costa-Lobo, 2008) são as seguintes:

- Fortemente focados na exploração tendo em vista elaboração de projetos, pesquisas, atividades laboratoriais, simulações e problemas práticos, relacionados com situações reais;
- Focados não somente no que o aluno pensa, mas também e sobretudo no processo de ensino. Assim é conveniente incentivar estratégias que possibilitem aos estudantes emitir ideias sobre determinados assunto, com o objetivo de se apelar à criatividade, espírito crítico e exploratório de cada um deles. É também importante o uso de grupos de trabalho tendo em vista a exploração da opinião dos outros, criando e incentivando o debate e a discussão de ideias, enriquecendo assim todo o processo de aprendizagem;
- Baseados no reconhecimento e na exploração do potencial do aluno: suporte gradual feito pelo professor antes de deixar o aluno “sozinho” e usando grupos de trabalhos constituídos por alunos com diferentes níveis de conhecimento, aptidões, capacidades e estilos de aprendizagem, no sentido de se ajudarem uns aos outros, criando assim incentivos à criatividade;
- Reconhecimento de diferenças e aptidões: o professor deve estar ciente de que os alunos têm conhecimentos, meio social e culturas diferentes;
- Controle de informação: evitar sobrecarga de informação para o estudante e relacionar o novo material (informação) com conhecimentos já adquiridos e reforçar a memória usando sumários e resumos.

De acordo com os pressupostos do construtivismo, o professor deve:

- Procurar e usar as questões e ideias dos alunos;
- Promover a iniciativa e a pesquisa, por parte dos alunos;
- Usar os conhecimentos e experiências dos alunos;
- Encorajar o recurso a fontes exteriores às aulas;
- Incentivar a procura de causas e a predição de consequências;
- Ouvir as ideias dos alunos, antes de expor as suas;
- Encorajar a troca de ideias entre os alunos;
- Promover a análise e a reflexão;
- Encorajar a autoanálise;
- Usar problemas com interesse local.

4.2 Estilos de Aprendizagem

A sociedade atual é dita de Sociedade do Conhecimento, onde o desenvolvimento tecnológico é cada vez mais rápido (Martins, 2008c). Por exemplo, na Educação existem diversos e diferentes recursos tecnológicos que os professores e os alunos podem usar (Driver, 1996). No entanto, o processo de Ensino/Aprendizagem não deve estar centrado no uso da tecnologia mas sim no objetivo de aumentar o nível de conhecimento e competências cognitivas de cada aluno (Driver, 1996). Diversos autores referem que o uso de estilos de aprendizagem (*Learning Styles*) é uns dos fatores de maior relevância para alcançar estes objetivos (Driver, 1996; Carr, 1998).

Outro fator para o sucesso da aprendizagem é dar a conhecer os objetivos e competências a serem alcançados em determinado curso aos alunos (Costa-Lobo, 2011). Este fator é talvez um dos meios mais eficazes para obter resultados positivos no processo de aprendizagem (Costa-Lobo 2011). O conhecimento das competências que se pretende que o aluno atinge em determinado curso, permite que o estudante tome “consciência daquilo que lhe vai ser pedido e a possibilidade de distinguir o essencial do acessório” (Costa-Lobo 2009). A definição dos objetivos e competências que o aluno deverá alcançar num determinado curso permitirá ter um ponto de referência para avaliar e controlar os progressos da construção da aprendizagem (Barton, 2004).

A chave da Teoria do Construtivismo é que o aluno deve participar ativamente no processo de aprendizagem. É importante que os professores entendam que a construção de aquisição de conhecimento ocorre a partir do conhecimento que o aluno já possui e difere de aluno para aluno (Jonassen, 1991; Martins, 2008c). Os alunos aprendem de formas diferentes (Ritu, 1999).

A ênfase nas diferenças individuais do aluno também é importante com intuito de definir, desenhar e apoiar atividades para os alunos (Ritu, 1999). Na Teoria de Aprendizagem Construtivista, os alunos podem ser representados por diferentes estilos de aprendizagem. Além disso, e de acordo com Jonassen (1991) e Martins (2008b), a capacidade de adaptação a diferentes contextos sociais e ao aspeto construtivo social do conhecimento deve ser levados em consideração.

Um estilo de aprendizagem corresponde a um conjunto de fatores cognitivos, afetivos e fisiológicos que serve como indicador relativamente estável da forma como um aluno percebe, interage e reage ao ambiente de aprendizagem (Brown, 2007).

Desde a década de 60, tem-se procurado descobrir como o ser humano identifica e processa informações. O tema foi abordado originalmente na psicologia, com o propósito de compreender como a informação é processada e a sua influência nos relacionamentos interpessoais (Milome, 1999). Recentemente, esses estudos vêm sendo progressivamente considerados por pesquisadores envolvidos em práticas educacionais.

Para Felder (1993), os estilos de aprendizagem, assentes nos estilos cognitivos, são a expressão dos estilos cognitivos e consistem nas preferências ou características dominantes da forma como as pessoas recebem e processam informações.

Diversos métodos foram propostos para determinar o estilo de aprendizagem de um indivíduo, entre eles destacam-se o *Myers Briggs Type Indicator* (O'Brien et al, 1998) o *Índex of Learning Styles* (Felder and Soloman¹¹) e o *Learning Style Inventory* (Kolb, 2005). Apesar das diferenças existentes entre eles, todos pretendem ser úteis no sentido de determinar o estilo de aprendizagem predominante num indivíduo, para entender como ele assimila melhor as informações recebidas. Num ambiente de ensino/aprendizagem, conhecendo os estilos de aprendizagem dos alunos e agrupando-os adequadamente, pode-se explorar melhor as

¹¹ Felder e Soloman, "Index of Learning Styles" url: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/>

habilidades do grupo e minimizar os atritos que ocorrem devido às diferenças individuais. O conhecimento dos estilos de aprendizagem dos alunos permite também que o professor direcione as suas aulas, de forma a que os alunos tenham melhor aproveitamento.

Alguns estudos têm proposto que os professores devem avaliar os estilos de aprendizagem de seus alunos e adaptar a sua sala de aula e métodos de aprendizagem de forma a serem mais adequados a cada estilo de aprendizagem de cada aluno (Kolb, 2005; Stash, 2005).

Existem diferentes modelos de estilos de aprendizagem (com base em diferentes teorias psicológicas), como por exemplo (Ritu, 1999):

1. Modelos baseados na personalidade (Witkin e Myers-Briggs Type Indicator);
2. Modelos baseados na abordagem de processamento da informação (Schmeck e Kolb's);
3. Modelos baseados em interação social (Reichmann e Grasha);
4. Modelos baseados em fatores multidimensionais (Keefe e Dun & Dun).

Os modelos de estilos de aprendizagem refletem características pessoais estáveis e que podem ser observadas (Ritu, 1999).

Nos SHA, para a realização adequada da adaptação, uns dos fatores mais relevantes é a preferência do utilizador na abordagem ao processamento da informação (Martins, 2011). Nos SHA educacionais a definição das preferências de aprendizagem do aluno é fundamental (Martins, 2012). Tomando em consideração estes fatores, este estudo será centrado no modelo proposto por Kolb e na estratégia VARK.

4.2.1 VARK

VARK (<http://www.vark-learn.com/english/index.asp>) não é considerado um modelo, mas sim uma estratégia que permite definir preferências de aprendizagens de um modo muito simples (Fleming, 2001; Martins, 2012).

A estratégia VARK é muitas vezes procurada devido à sua flexibilidade e facilidade de implementação (Martins, 2008b). Esta estratégia consiste num questionário a ser colocado aos alunos. Consoante as respostas dadas, o estudante é classificado em uma de três categorias de preferência de aprendizagem definidas neste “modelo” (Martins, 2011):

- Aprendizagem Visual;
- Aprendizagem Teórica;
- Aprendizagem Prática.

Estas classificações fornecem informações acerca da preferência de aprendizagem dos alunos (Martins, 2011). No modelo VARK são referenciadas diversas medidas a serem tomadas no processo de ensino/aprendizagem, como por exemplo:

- Alunos com preferências visuais, é sugerido distribuir os documentos da aula (para a leitura e apontamentos) com bastante conteúdo para que os alunos os possam analisar depois da aula. É aconselhável que os diversos documentos, usados nas aulas, tenham espaços para que os estudantes possam tomar notas. O uso de algumas ferramentas, por parte dos professores, para escrever os principais pontos da aula como os quadros (pretos ou brancos), retroprojetores ou computador, irá incentivar o estudante ao levantamento de apontamentos. Também é recomendado apoiar o conteúdo escrito e oral com ferramentas visuais como gráficos, diagramas, mapas e ilustrações entre outras;
- Alunos com preferência teóricas, os conteúdos devem ser apresentados através de palavras. Esta preferência é baseado no uso de texto, leitura e escrita. Alunos com preferências teóricas optam por consultar listas, dicionários, glossários e citações entre outras fontes de informação;
- Os alunos ditos com preferências prática optam pela utilização e experimentação. Geralmente, os conteúdos usados para estes tipos de alunos são simulações, vídeos e filmes, bem como estudos de casos, exemplos e aplicações práticos.

4.2.2 Estilos de Aprendizagem de Kolb

O conceito de que as pessoas aprendem melhor fazendo foi introduzido por David Kolb (1984) com o seu livro “*Experiential Learning*”, que foi construído sobre o trabalho de Piaget. Kolb utiliza os ensinamentos de Lewin, Dewey e Piaget, valorizando uma sequência de etapas (ou fases) que compõem o ciclo de aprendizagem de um indivíduo que, segundo Kolb, é composto por um ciclo de interação, permitindo que as informações sejam experimentadas, observadas, qualificadas e avaliadas. Este ciclo de aprendizagem é definido por quatro fases de construção (Figura 4)(Kolb, 2005).

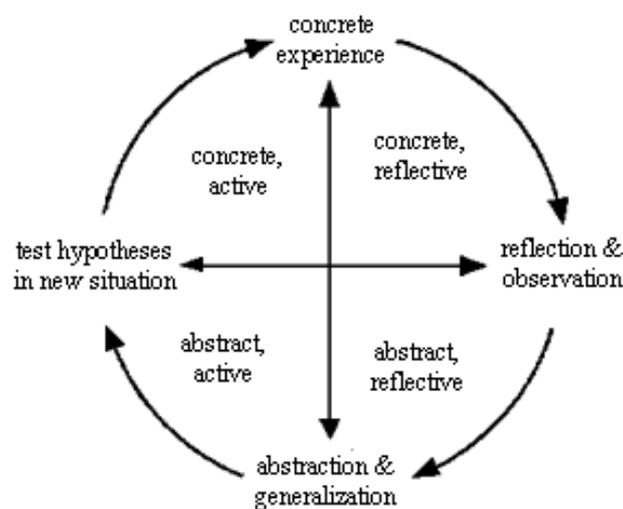


Figura 4 - Ciclo de aprendizagem de Kolb (Kolb, 2005)

Segundo Kolb, cada pessoa tem quatro fases de aprendizagem interligadas com as suas características individuais de aprendizagem. Kolb (1976) implementou com Fry o *Learning Style Inventory* (LSI). O LSI foi concebido para colocar as pessoas nas seguintes situações de aprendizagem: Experiência Concreta, Conceptualização Abstrata, Experimentação Ativa e Observação Reflexiva.

O LSI baseia-se na Teoria da Aprendizagem Experimental, que define a aprendizagem como “o processo pelo qual o conhecimento é criado através da transformação da experiência” (Kolb, 2005). Para Kolb (2005), o ser humano defronta-se frequentemente com novas experiências e situações de aprendizagem em diferentes esferas de sua vida. Com o passar do tempo, o indivíduo tende a tornar-se melhor em alguns dos passos do processo de

aprendizagem do que outros e como resultado desenvolve um estilo próprio de aprendizagem. O LSI toma como base o modo pelo qual as pessoas aprendem ou preferem aprender. Neste contexto, aprender é o processo através do qual o conhecimento está em constante transformação, que depende de um contínuo “captar” e “transformar”, sendo continuamente criado e recriado, e não uma entidade independente a ser adquirida ou transmitida. O captar pode ser visto sob dois ângulos: o contacto direto com o mundo exterior através dos sentidos, mediante o envolvimento com novas experiências, denominado Experiência Concreta (EC) ou através de uma representação figurativa, criando os conceitos que integram as observações, denominado Conceituação Abstrata (CA). O transformar é visto sob dois ângulos: a introversão, que compreende refletir e observar as experiências a partir de várias perspectivas, que Kolb denomina Observação Reflexiva (OR), e a extroversão, que envolve usar as teorias para tomar decisões e resolver problemas, denominada Experimentação Ativa (EA)(Kolb, 2005).

Da combinação entre Experiência Concreta e Observação Reflexiva, é obtido o estilo DIVERGENTE, caracterizado por estudantes criativos, geradores de alternativas, capazes de analisar as situações sob muitas perspectivas e relacioná-las como um todo organizado, mas que apresentam um pouco de dificuldade na tomada de decisões (Kolb, 2005).

Da combinação entre Conceituação Abstrata e Observação Reflexiva, é obtido o estilo ASSIMILADOR, caracterizado por estudantes com um excelente raciocínio indutivo e habilidade para criar modelos abstratos e teóricos, mas que necessitam de tempo para refletir. Interessam-se mais pelo aspeto lógico de uma ideia do que pelo seu uso prático (Kolb, 2005).

Da combinação entre Conceituação Abstrata e Experimentação Ativa, é obtido o estilo CONVERGENTE, caracterizado por estudantes que têm como ponto forte a aplicação prática das ideias, com capacidade para definir bem os problemas e tomar decisão com rapidez, que aprendem por tentativa e erro (Kolb, 2005). Da combinação entre Experimentação Ativa e Experiência Concreta, é obtido o estilo ACOMODADOR, caracterizado por estudantes que se adaptam bem às circunstâncias imediatas e que gostam de riscos, aprendem fazendo e aceitando desafios e apoiam-se nos outros para a busca de informações (Kolb, 2005). Estudantes com os estilos CONVERGENTE e DIVERGENTE tendem a ser complementares, apesar de haver oposição de ideias entre eles. De modo análogo, os estilos ACOMODADOR e ASSIMILADOR também são considerados complementares (Sharp, 1998). O LSI consiste num questionário com 12 questões, cada uma com quatro alternativas. Cada alternativa é

classificada pelo aluno de um a quatro, sendo que quatro corresponde à forma como ele melhor aprende e um corresponde à forma que ele considera pior para aprender.

Baseado nas respostas, o LSI utiliza seis variáveis para calcular a pontuação que identifica o estilo predominante da pessoa. Os detalhes associados à determinação do estilo de aprendizagem podem ser encontrados em (Kolb, 2005).

Em resumo, Kolb define um ciclo com quatro estados:

1. Experiência concreta (CE);
2. Observação reflexiva (RO);
3. Conceitualização abstrata (AC);
4. Experimentação ativa (AE).

Os estilos de aprendizagem definidos por Kolb são os seguintes:

- Sentir e ver (CE/RO);
- Ouvir e pensar (AC/RO);
- Fazer e pensar (AC/AE);
- Fazer e sentir (CE/AE).

A partir destes dois níveis é definido uma matriz que vai permitir classificar o aluno através de respostas obtidas a inquéritos.

As definições são as seguintes (Kolb, 2005):

- Sentir e ver: Consegue ver as coisas de diferentes perspectivas. É emocional. Prefere ver em vez de fazer e usam imaginação para resolver os problemas. Prefere trabalhos em grupos e de receber *feedback*;
- Ouvir e pensar: Entendimento lógico. Ideias e conceitos mais importantes de que as pessoas. Requer uma boa e clara explicação em vez de prática. A informação tem que estar bem organizada e de uma forma lógica. Prefere ler e explorar modelos analíticos e ter tempo para pensar;
- Fazer e pensar: Consegue resolver problemas e encontrar soluções práticas. Prefere tarefas mais técnicas. É melhor a encontrar soluções práticas em vez de ideias ou teorias. Consegue tomar decisões;

- Fazer e sentir: Intuitivo e prefere por a “mão na massa”. Gostam de ter uma experiência prática como aproximação a um problema real. Preferem trabalhar em equipa. Tentam atingir um objetivo de diferentes maneiras possíveis.

4.2.3 Crítica aos Estilos de Aprendizagem

Os modelos propostos para análise dos estilos de aprendizagem têm recebido como crítica genérica a referência ao facto de não tomarem em consideração o meio em constante alteração em que o aluno se encontra e que pode depender ou alterar o seu estilo de aprendizagem (Stahl, 2002; Brown, 2007). Isto é, cada aluno pode não assumir o mesmo estilo de aprendizagem em diferentes contextos sociais e ambientais.

Alguns estudos também indicam que a adaptação aos estilos de aprendizagem não é significativo para a melhoria na eficácia de aprendizagem (Hargreaves, 2005). No entanto, estes estudos não encontraram evidências de que o uso de estilos de aprendizagem fosse prejudicial (Stahl, 2002; Brown, 2007).

4.3 Conclusão

Atualmente as estratégias de ensino/aprendizagem fazem a associação de diversas teorias, nomeadamente a componente de ajustamento académico é tomada em consideração. A presença e intervenção do meio em que se encontra o aluno nomeadamente pela intervenção de outros alunos deve ser tomada em consideração (Secção 4.1.2). A capacidade a adaptação em diferentes contextos sociais e o aspeto social construtivo do conhecimento devem ser tomado em consideração (Secção 4.1.2).

Outros dos aspetos tomado em consideração são os humanísticos, nomeadamente o que é que pode motivar ou motiva o aluno, quais são as dimensões emocionais para a aprendizagem, em que medida aspetos considerados frustrantes, aborrecidos, causar dores de ansiedade vão influenciar o processo de ensino/aprendizagem (Secção 4.1).

Os modelos de estilos de aprendizagem são geralmente entendidos como algo que tenta definir modelos de como melhor uma pessoa aprende. É geralmente entendido que cada pessoa tem um estilo de aprendizagem diferente e preferido com o intuito de obter melhores resultados (Secção 4.2).

A estratégia VARK, sobre a forma de um questionário que fornece um perfil de aprendizagem e preferências do aluno (Martins, 2008a), permite avaliar as preferências de aprendizagem, que estão relacionadas com a forma como os alunos querem aceder e selecionar a informação (Martins, 2008a). A definição destas preferências apresenta-se como fundamental para a aplicação das regras de adaptação nos SHA educacionais (Martins, 2012).

Nos SHA, para a realização adequada da adaptação, uns dos fatores mais relevantes é constituído pelas preferências assumidas pelo utilizador na abordagem ao processamento da informação (Martins, 2012).

O modelo de estilos de aprendizagem proposto por Kolb é baseado na abordagem de processamento da informação. Os estilos de aprendizagem definidos neste modelo são os seguinte: Sentir e ver; ouvir e pensar; fazer e pensar e fazer e sentir (Secção 4.2.2).

O processo de aprendizagem deve levar em consideração as componentes cognitivas e emocionais do aluno. Em resumo, cada estudante é único. O processo de aprendizagem do aluno tem de ser adaptado e não generalizado e repetitivo (Jonassen, 1991).

5 Implementação

"Numa boa oratória,
não deveria o espírito do orador conhecer
a verdade do assunto que vai falar?"

Platão

Neste capítulo é descrito, em detalhe, o Sistema de Hipermedia Adaptativo (SHA), desenvolvido no âmbito deste trabalho. São apresentados os componentes que compõem este sistema e suas respectivas funções.

O capítulo começa por apresentar o Modelo do Aluno, que constitui um componente fundamental do sistema para manter a informação necessária à modelação do utilizador, nomeadamente: o conhecimento do aluno em relação ao domínio e as suas preferências de aprendizagem. O segundo componente descrito é o Modelo de Domínio e inclui a descrição dos conceitos no domínio de aprendizagem selecionado.

O Modelo Pedagógico é o terceiro componente a ser descrito. Este modelo é responsável por conduzir o aluno durante a aprendizagem e aproveitar os erros que são cometidos pelo estudante como oportunidades para corrigir ou completar conhecimentos que não foram consolidados (Martins, 2012).

Por fim, são apresentados os mecanismos de interação do utilizador com o sistema com o objetivo de adaptar os conteúdos, a navegação e a interface às necessidades do utilizador (Martins, 2012).

5.1 Requisitos

O protótipo desenvolvido permite ao aluno consolidar conhecimentos, de forma autónoma e com apoio permanente, através de metodologias de ensino e atividades educacionais exploradas de forma construtivista (Martins, 2012).

A adaptação da plataforma é baseada na seleção de atividades adaptadas ao perfil do aluno. O currículo é definido pelo professor, mas é dinamicamente individualizado de acordo com o nível de conhecimento, preferências de aprendizagem, competências e percurso de

aprendizagem do aluno. A plataforma permite o acesso a tutoriais contextualizados caso o aluno tenha experimentado algum episódio de insucesso durante a aprendizagem.

O domínio escolhido para avaliar o protótipo foi o da matemática ao nível do segundo ciclo, mais especificamente, os conceitos relacionados com **Proporcionalidade Direta**. A razão desta escolha deveu-se a dois fatores, que se consideram relevantes para alcançar os resultados esperados e que se apresentam de seguida:

1. O estudo efetuado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), denominado *Programme for International Student Assessment* (PISA) 2006 (Pinto-Ferreira, 2006), sobre a competência científica dos alunos portugueses, concluiu que, a nível de conhecimentos matemáticos, Portugal não obteve melhorias em relação ao estudo realizado em 2003. Os resultados deste estudo vieram revelar que os alunos dos 6º, 7º e 8º anos obtiveram um baixo desempenho na literacia matemática, tal como tinha acontecido em 2003. Os dados quantitativos demonstraram que, a nível de conhecimentos matemáticos, Portugal continua abaixo do nível de muitos dos países da OCDE;
2. A proporcionalidade direta é abordada em vários anos de escolaridade, garantindo assim uma maior diversidade do público alvo.

A designação dada ao protótipo foi Plataforma de Aprendizagem Colaborativa da Matemática (PCMAT¹²). O protótipo é uma ferramenta de aprendizagem baseada numa avaliação progressiva no âmbito da matemática, ao nível do segundo ciclo do ensino básico (Figura 5). A implementação das funcionalidades colaborativas não fizeram parte deste projeto, mas serão desenvolvidas num âmbito mais alargado do projeto. O propósito final do projeto PCMAT será uma plataforma de aprendizagem da matemática que ira abranger outros ciclos de ensino.

A plataforma de aprendizagem desenvolvida é baseada numa abordagem construtivista, avaliando o nível de conhecimento dos utilizadores e apresentando conteúdos e atividades adaptadas às características e estilos de aprendizagem dos alunos.

¹² Projeto financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com referência PTDS/CPE-CED/108339/2008, URL do sistema PCMAT: <http://pcmat.dei.isep.ipp.pt/aha/proporcionalidade/>

isep

PCMAT
Plataforma Colaborativa da Matemática

2010
2011

Login:

Password:

PCMAT! Reset

Seja vindo ao PCMAT, uma plataforma de apoio ao ensino da Matemática para os 1º, 2º e 3º ciclos.

PCMAT é uma ferramenta de aprendizagem colaborativa baseada numa avaliação progressiva.
PCMAT é baseada numa abordagem construtivista, avaliando o nível de conhecimento dos utilizadores e apresentando conteúdos e actividades adaptadas às características e estilos de aprendizagem dos alunos.
Por outro lado, a plataforma permite aos alunos adquirir e consolidar conhecimento de forma autónoma, com apoio permanente, através da aplicação de metodologias e actividades educacionais exploradas de forma construtivista.

Se é um novo utilizador p.f. de ir a [Página de registo](#). Caso contrário faça Login.

Copyright © 2009/2010 DEI-ISEP | XHTML 1.0 Strict | CSS | Design: Constantino Martins

Figura 5 - Protótipo PCMAT

Os principais objetivos do sistema desenvolvido incluem:

- A definição de novas estratégias e uma arquitetura para a implementação de SHA educacionais para apoiar e melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo (Secção 5.2);
- A definição dos atributos do Modelo do Aluno que descrevem a informação, conhecimento, preferências e estilo de aprendizagem necessários para conduzir os mecanismos de adaptação do SHA (Secção 5.3);
- O desenvolvimento do Modelo de Domínio e respetivos componentes (Secção 5.4);
- A concepção de um sistema híbrido inovador, que permite relacionar a representação do conhecimento, preferências de aprendizagem e estilos de aprendizagem do aluno com um Modelo Pedagógico dinâmico e regras de adaptação que usam objetos de aprendizagem compatíveis com a norma IEEE LOM (Secções 5.5 e 5.7).

O sistema desenvolvido é construído sobre as tecnologias JAVA Servlet, eXtensible Markup Language (XML), eXtensible HyperText Markup Language (XHTML), Javascript e Cascading Style Sheets (CSS). O Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) usado foi o MySQL.

5.2 Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema PCMAT (Figura 6) é baseada em algumas estratégias já utilizadas no modelo AHAM e pelo sistema AHA!¹³ (Secção 2.6.1). O AHA! é um sistema de autoria de HA baseado na Web, em que a adaptação é baseada em ações de navegação do aluno (De Bra et al., 2004).

A escolha desta sistema foi fundamentada pelos seguintes fatores:

- Disponibilizado como um software livre sob a licença GNU GPL¹⁴ e usa como SGBD o MySQL¹⁵, também este possuindo licença GNU GPL;
- Disponibilização de uma ferramenta que permite visualizar grafos de conceitos;
- Implementação em JAVA e XHTML, permitindo a sua utilização em diferentes plataformas.

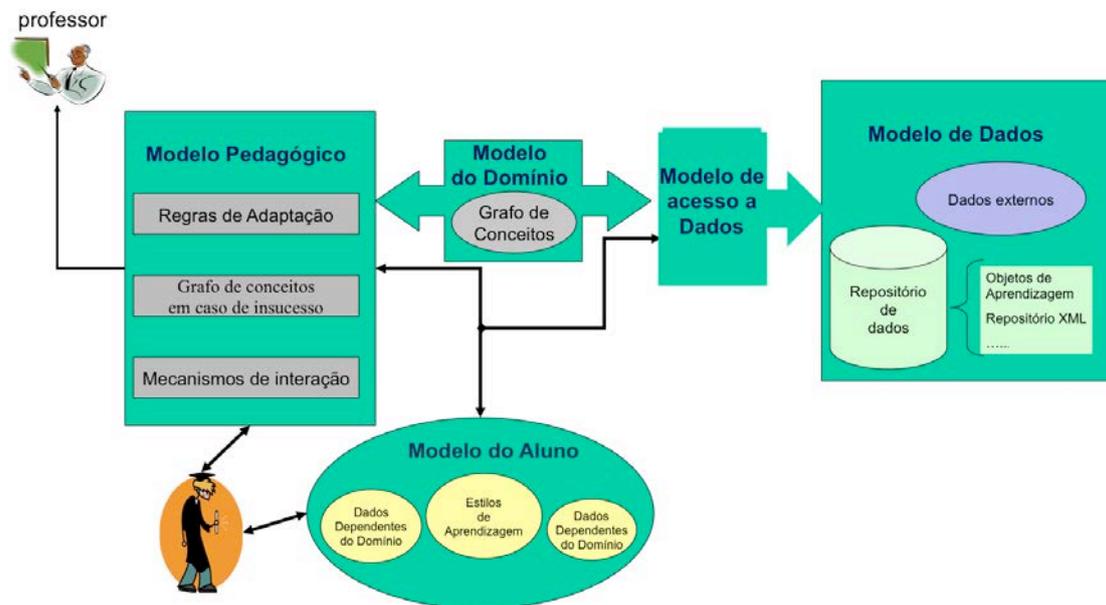


Figura 6 - Arquitetura do sistema (Martins, 2012)

¹³ O AHA! foi desenvolvido em *open source*. URL: <http://aha.win.tue.nl/>

¹⁴ Licença GNU pública 2.0. *General Public License* (GNU) é a designação da licença para software livre.

¹⁵ MySQL é um SGBD *open source*.

A arquitetura global do PCMAT é composta por 4 componentes, representados na Figura 6. São eles:

1. Modelo do Aluno, que mantém uma estimativa do conhecimento e das preferências do utilizador (Secção 5.3);
2. Modelo de Domínio, representado por um grafo de conceitos que fornece uma estrutura para a representação do domínio (Secção 5.4);
3. Modelo Pedagógico, que define as regras de adaptação e os mecanismos de interação entre o utilizador e a aplicação. Os dados guardados a partir da monitorização desta interação são usados para inferir algumas características do utilizador, atualizando assim o Modelo do Aluno (Secção 5.5);
4. Modelos de Dados e de Acesso a Dados, constituído por uma base de dados para armazenar as atividades (Secção 5.6) e por ficheiros XML que representam os dados do aluno, regras de adaptação e grafo de conceitos.

A arquitetura desenvolvida é orientada ao componente facilitando a tarefa de substituição de componentes. Esta arquitetura tem diferenças significativas e inovadores em relação à plataforma AHA! e outros SHA educacionais, nomeadamente:

- A definição e a implementação do Modelo do Aluno que toma em consideração as preferências de aprendizagem do utilizador;
- A definição e implementação do Modelo Pedagógico com as regras de adaptação baseadas numa abordagem construtivista, avaliando o nível de conhecimento dos utilizadores e apresentando conteúdos e atividades adaptadas às características e preferências de aprendizagem do aluno.

No sistema PCMAT, o aluno solicita uma atividade clicando numa hiperligação na página Web. Cada página corresponde a um conceito do domínio ou a um conjunto de conceitos do domínio. O sistema verifica a adequação da página solicitada pelo utilizador. As regras utilizadas para verificar se a página é adequada ao aluno são definidas no Modelo Pedagógico. O Modelo do Aluno é independente da plataforma, podendo ser reutilizado noutra SHA. As atualizações deste modelo são inferidas a partir da interação entre o aluno e o sistema. As respostas do aluno às atividades permitem ao sistema estimar o nível de conhecimento do aluno sobre os conceitos relacionados com o conteúdo solicitado.

Nas secções seguintes, serão apresentados em detalhe as implementações dos Modelos do Aluno, de Domínio, Pedagógico e de Acesso a Dados.

5.3 Implementação do Modelo do Aluno

Duas metodologias diferentes podem ser utilizadas para implementar o Modelo do Aluno: baseada em Conhecimento e baseada em Comportamento (Kobsa, 1993; Faria, 2002; Martins, 2008a).

A adaptação resultante do uso de técnicas baseadas em conhecimento advém geralmente de dados obtidos através de inquéritos, com a finalidade de produzir um conjunto de heurísticas iniciais. Em contrapartida, a adaptação obtida com técnicas baseadas em Comportamento resulta genericamente de dados obtidos através da observação e monitorização do aluno durante as suas atividades (Faria, 2002; Martins, 2008a).

O uso de estereótipos permite classificar os utilizadores em grupos que irão herdar as características que são associadas ao grupo (Martins, 2008a). A definição das características necessárias para a classificação em estereótipos deve ter em consideração o grau de granularidade desejável (Martins, 2008a).

Na plataforma PCMAT, a abordagem utilizada para construir o Modelo do Aluno é uma solução híbrida, combinando o uso de estereótipos com o método *Overlay*.

O processo de definição do perfil do aluno é iniciado com a identificação do grupo em que o aluno melhor se enquadra. Para esse efeito foram usados inquéritos e estilos de aprendizagem (Figura 7).

A integridade de cada inquérito foi determinado através do coeficiente de confiabilidade Alfa de Cronbach (Woodward, 1983). A ferramenta usada para análise estatística foi o SPSS¹⁶. No que diz respeito ao inquérito que permitiu estimar os estilos de aprendizagens do aluno, o valor do coeficiente Alfa de Cronbach obtido foi de 0,91. Assim, pode-se afirmar que a consistência interna do inquérito é elevada.

¹⁶ SPSS (Statistical Package for Social Sciences) é uma aplicação para o tratamento estatístico de dados (<http://www.spss.com/>).

Solicitamos que preencha a seguinte informação pessoal que permitira a plataforma guardar os seus contactos e adaptar o curso de Proporcionalidade Directa de acordo com o seu perfil de aprendizagem.

Dados Pessoais

Nome:

E-mail:

Login:

Password:

Learning Style, Questionário VARK

Learning Style, Questionário VARK	Seleciona a resposta que representa a resposta mais próxima do seu comportamento		
Quando necessita de indicações de direcção durante uma viagem, geralmente:	<input type="radio"/> a) Olha para o mapa	<input type="radio"/> b) Solicita indicações as pessoas	<input type="radio"/> c) Segue a sua intuição
Se tiver que ensinar a alguém algo de novo, também geralmente:	<input type="radio"/> a) Escrever o que ele tiver que aprender para ele	<input type="radio"/> b) Dar uma explicação verbal	<input type="radio"/> c) Demonstrar primeiro e depois debater

Copyright © 2009/2010 DEHSEP | XHTML 1.0 Strict | CSS | Design: Constantino Martins

Figura 7 - Inquérito para definir os estilos de aprendizagem no PCMAT

Na definição das características do aluno, é tomado em consideração o Modelo de Domínio e a abordagem construtivista da aplicação. Na Tabela 7 são apresentadas as características do perfil genérico do aluno usado no PCMAT. No protótipo implementado, nem todas as características definidas na Tabela 7 são usadas, no entanto, estão previstas para permitir a evolução da plataforma PCMAT.

Tabela 7 - Características usadas no Modelo do Aluno do PCMAT (Martins, 2012)

Modelo	Perfil	Características
Dados Independentes do Domínio (DID)	Perfil Genérico	Registo de informação pessoais Dados demográficos Habilitações Conhecimentos (conjunto de conhecimento de base) Deficiências auditivas, visuais ou outras Herança de características
	Perfil Psicológico	Estilos de aprendizagem Preferências de aprendizagem Traços da personalidade Herança de características
Dados Dependentes do Domínio (DDD)		Objetivos Planificação / Plano Histórico completo da navegação Conhecimentos adquiridos Resultados de avaliações Interesses

As ferramentas utilizadas para recolha dos dados foram as seguintes (Figura 8):

- Para o Dados Independentes do Domínio (DID): Formulários, inquéritos para os estilos de aprendizagem e testes de diagnóstico;
- Para o Dados Dependentes do Domínio (DDD): Formulários, inquéritos, testes de diagnóstico, e testes de avaliação.

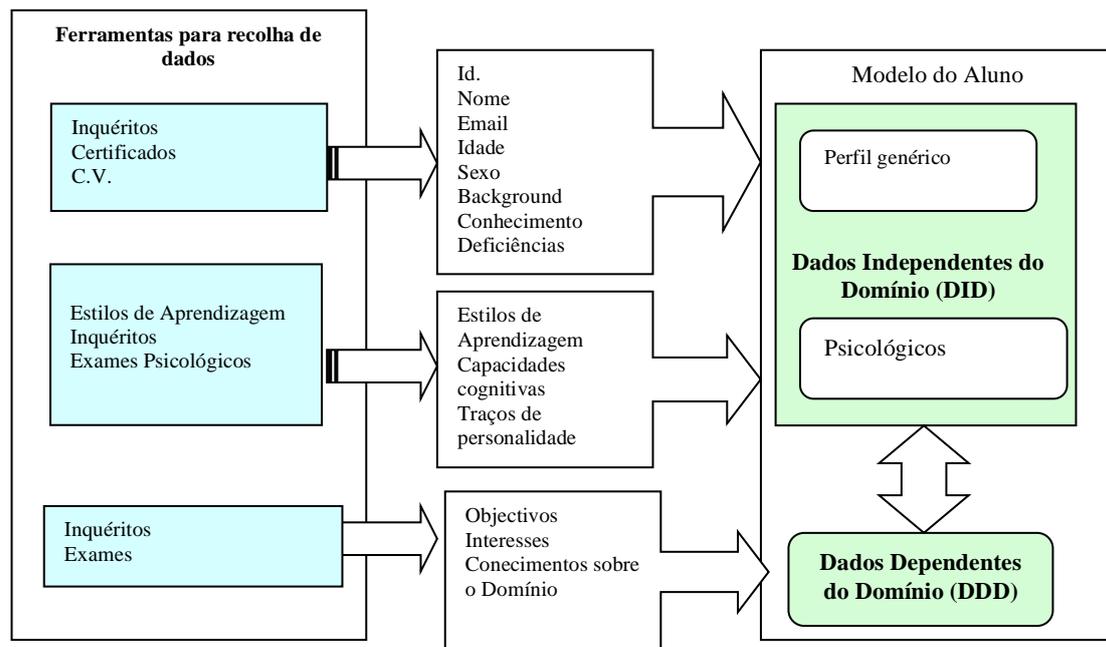


Figura 8 - Ferramentas para recolha de dados do MA do PCMAT (Martins, 2012)

Os estilos de aprendizagem devem estar relacionados com as preferências e estratégias de aprendizagem para as quais os alunos estão mais disponíveis (Martins, 2012). Para a definição dos estilos de aprendizagem foi usado o Modelo Kolb (Kolb, 2005). Para a definição das preferências de aprendizagem foi usada a estratégia VARK (Martins, 2008a; Martins, 2008b; Martins, 2008c; Martins, 2011).

A escolha da estratégia VARK foi devido ao facto de permitir definir preferências de aprendizagens de um modo muito simples (Secção 4.2.1). A escolha do modelo de estilos de aprendizagem proposto por Kolb permite implementar uma solução de grande flexibilidade e facilidade de implementação (Secção 4.2.2).

As definições dos estilos de aprendizagem de Kolb são as seguintes: sentir e ver; ouvir e pensar; fazer e pensar e fazer e sentir (Marrins, 2012).

A estratégia VARK classifica em uma das três seguintes categorias de preferência de aprendizagem: aprendizagem visual, aprendizagem teórica e aprendizagem prática. A classificação de VARK será usada para categorizar os conteúdos e atividades do PCMAT (Martins, 2012).

O mapeamento entre os estilos de aprendizagem de Kolb e as preferências de aprendizagem da estratégia VARK permite ao sistema decidir qual o tipo de conteúdo ou atividade que será mais adequado apresentar ao aluno. Este mapeamento está representado na Tabela 8.

Tabela 8 - Mapeamento dos Estilos de Aprendizagem de Kolb e as preferências de Aprendizagem de VARK

Estilos de aprendizagem Kolb	Estratégia VARK
sentir e ver	Aprendizagem visual
ouvir e pensar	Aprendizagem teórica
fazer e pensar	Aprendizagem prática
fazer e sentir	Aprendizagem prática

Não foi encontrado na literatura o uso de uma estratégia semelhante, ou seja, a associação entre os estilos de aprendizagem de Kolb e a estratégia VARK, tal como descrito Tabela 8. A utilização destas associações correspondem a uma das inovações deste trabalho.

No que diz respeito à atualização do perfil do aluno, esta é efetuada a partir do Modelo Pedagógico, nomeadamente a partir dos resultados obtidos nas atividades e na monitorização do utilizador pela aplicação (Figura 9).

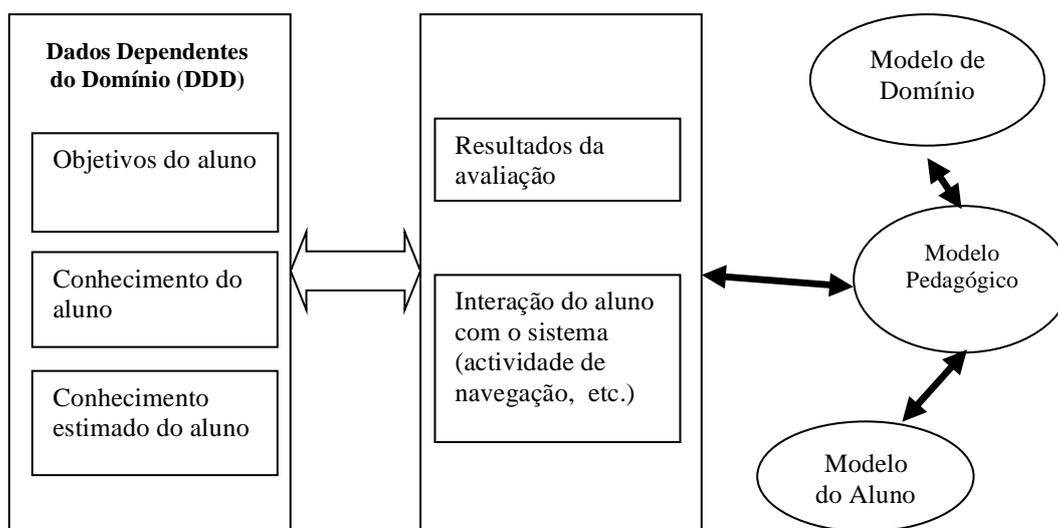


Figura 9 - Arquitetura do DDD (Martins, 2012)

O perfil de cada aluno é implementado através de um ficheiro XML. Este ficheiro contém os dados relacionados com o DDD e DID. A estrutura do esquema do Modelo do Aluno do PCMAT é apresentada na Figura 10. No Anexo A pode ser consultado um extrato do ficheiro XSD que define a estrutura do XML do Modelo do Aluno.

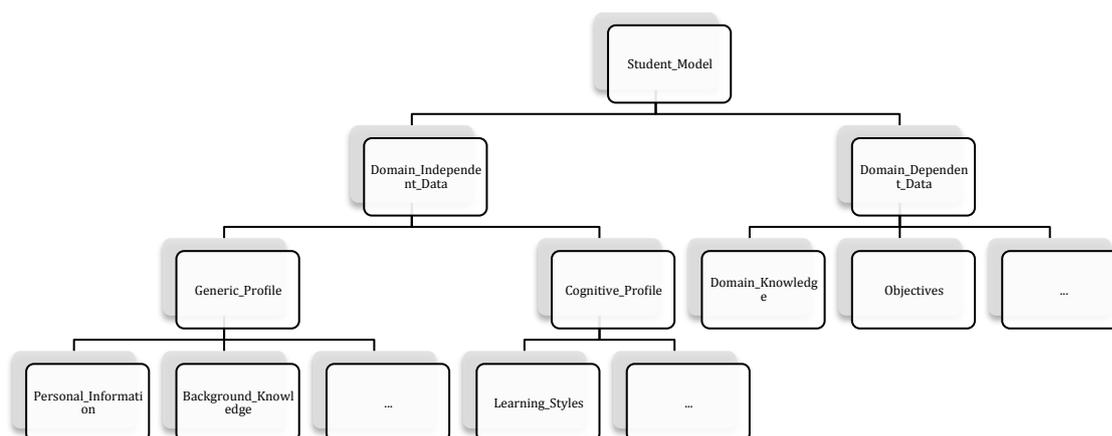


Figura 10 - Estrutura do ficheiro XML do Modelo do Aluno

5.3.1 Representação das variáveis de conhecimento

O Modelo do Aluno do PCMAT mantém uma estimativa do nível de conhecimento do utilizador acerca de cada conceito do domínio. Não é objetivo deste trabalho desenvolver aspetos de representação de baixo nível associados aos respetivos modelos. Não é objetivo desta tese de doutoramento obter crenças através de métodos mais formais como é o caso, por exemplo, das redes *bayesianas*, entre outros. Pretende-se obter um modelo que represente uma estimativa do nível de conhecimento do aluno acerca de cada conceito do domínio e das preferências de aprendizagem. Este facto irá permitir ao sistema adaptar-se às necessidades de aprendizagem do aluno.

Nos SHA educacionais, a representação do conhecimento do aluno acerca de cada conceito é a informação mais relevante para a adaptação (Martins, 2012). No PCMAT é usado um vetor associativo V para representar a estimativa do nível de conhecimento do aluno em relação a cada conceito:

$$V = (\text{fraco; não satisfaz; satisfaz; bom; muito bom})$$

Cada elemento de V corresponde a um intervalo de valores que representa um nível de conhecimento do aluno em relação a um determinado conceito.

Os níveis considerados são os seguintes:

- $0 \leq \textit{fraco} < 20$;
- $20 \leq \textit{não satisfaz} < 40$;
- $40 \leq \textit{satisfaz} < 60$;
- $60 \leq \textit{bom} < 80$;
- $80 \leq \textit{muito bom} \leq 100$.

Seja então K o valor estimado de conhecimento de um aluno para um determinado conceito. Este valor é instanciado da seguinte forma na nossa plataforma:

- K é um valor inteiro tal que $0 \leq K \leq 100$;
- Se é aplicado o teste de diagnóstico então o valor atribuído a K é obtido na avaliação do teste, caso contrário $K = 0$.

Para identificar o nível de conhecimento V , de um conceito i , a partir do valor K , é aplicado o seguinte algoritmo:

Seja $i = 0, 1, \dots, n$, onde n representa o número de conceitos associados ao domínio, então:

$$V_i = \begin{cases} \textit{fraco}, & 0 \leq k_i < 20 \\ \textit{não satisfaz}, & 20 \leq k_i < 40 \\ \textit{satisfaz}, & 40 \leq k_i < 60 \\ \textit{bom}, & 60 \leq k_i < 80 \\ \textit{muito bom}, & 80 \leq k_i \leq 100 \end{cases}$$

Fórmula 1 - Algoritmo para o nível de conhecimento

O nível de conhecimento V_i que um aluno alcançou num determinado conceito pré-requisito, em relação ao conceito a que pretende aceder, será usado nas decisões de adaptação da plataforma.

Entende-se como conceito pré-requisito X de um determinado conceito Y, uma relação de dependência. Isto é, para aceder ao conceito Y, é condição necessária o aluno alcançar um determinado nível de conhecimento no conceito X.

Na plataforma PCMAT, o nível de conhecimento mínimo que o aluno deve possuir em relação ao conhecimento dos conceitos pré-requisitos é **satisfaz**. Esta condição encontra-se definida nas regras de adaptação (Secção 5.5.2).

Esta solução de conjugação do vetor associativo, que representa o nível de conhecimento e definido pelo sistema expresso na Fórmula 1, a partir do valor estimado de conhecimento de um determinado conceito, aplicado aos SHA educacionais, permite lidar com a o processo de modelação do utilizador de uma forma flexível e perceptível para os professores envolvidos neste projeto.

5.3.2 Representação da preferência de aprendizagem

A representação das preferências de aprendizagem do aluno foi implementada recorrendo à estratégia VARK (Martins, 2012).

A solução passou pela definição de um vetor com três variáveis que designamos por **VA**. Cada variável de **VA** representa uma distribuição sobre o conjunto de possíveis preferências de aprendizagem do aluno. A utilização deste vetor permite contemplar situações em que o aluno apresenta um estilo de aprendizagem preferencial, apesar de poder, ainda assim, apresentar alguma apetência por outros estilos de aprendizagem.

Sendo assim, **VA** é representado da seguinte forma:

$$\mathbf{VA} = (\text{personal.lst}; \text{personal.lsv}; \text{personal.lsp})$$

Onde:

- O valor correspondente ao índice i do vetor VA indica o valor estimado de um determinado tipo de preferência de aprendizagem do aluno, sendo instanciado a partir:
 - Do inquérito que determina o estilo de aprendizagem do aluno e ;
 - Pela matriz de mapeamento entre os estilos de aprendizagem de Kolb e a estratégia VARK (Secção 5.3.1).
- $personal.lst$ representa a preferência de aprendizagem teórica;
- $personal.lsv$ representa a preferência de aprendizagem visual;
- $personal.lsp$ representa a preferência de aprendizagem prática;
- $personal.lst$, $personal.lsv$ e $personal.lsp$ são valores inteiros no intervalo $[0,10]$;
- O somatório dos três elementos deve ser sempre igual a 10.

A preferência de aprendizagem dominante considerada pelo sistema corresponde à preferência de aprendizagem com maior valor, ou seja, ao maior valor das três variáveis do vetor VA .

Tomando em consideração o exemplo $VA = (5, 2, 3)$, este representa 50% de possibilidade do aluno ter preferência de aprendizagem teórica, 20% de preferência visual e 30% de prática. Neste exemplo, a preferência dominante de aprendizagem do aluno é teórica, sendo apresentados assim conteúdos e atividades proeminentemente teóricos.

Se não existir um valor dominante, a preferência de aprendizagem será escolhida pela ordem crescente do índice do vetor VA onde se encontra um dos valores máximos.

No entanto, como ao longo do processo de ensino a preferência de aprendizagem do aluno pode sofrer alteração, os valores do vetor VA serão atualizados consoante o sucesso ou insucesso do aluno em relação às atividades apresentadas (Secção 5.5.2)

O sistema PCMAT monitoriza a evolução dessas preferências com o objetivo de acompanhar as preferências de aprendizagem manifestadas pelo aluno. Para esse efeito, o sistema guarda os valores de preferência de aprendizagem ao longo do percurso de aprendizagem do aluno. Estes valores são guardados em vetores auxiliares VA_n .

Esta solução, para a representação das preferências de aprendizagem, também se apresenta como umas das originalidades deste trabalho.

5.3.3 Atualização das variáveis do nível de conhecimento

A atualização das variáveis do nível de conhecimento é realizada aquando da resolução de atividades propostas ao aluno de forma progressiva e construtivista.

Cada atividade incorpora um conjunto de conceitos do Modelo de Domínio, encontrando-se a estimativa do nível de conhecimento de cada um representado no Modelo do Aluno. O valor estimado do conhecimento sobre cada conceito é atualizado pelas regras de adaptação. A preferência de aprendizagem para cada aluno também é atualizada pelas regras de adaptação, sendo estas descritas na secção 5.5.2.

Em relação ao mecanismo de atualização do conhecimento, este usa uma taxa de atualização que depende do sucesso ou insucesso na resposta às atividades colocadas ao aluno.

O processo de atualização do conhecimento em caso de sucesso é definido pelo algoritmo representado pela Fórmula 2 e em caso de insucesso pelo algoritmo representado pela Fórmula 3.

$$k_i = \begin{cases} 40, & \text{int}(k_i + \alpha k_i) < 40 \\ \text{int}(k_i + \alpha k_i), & 40 \leq \text{int}(k_i + \alpha k_i) \leq 100 \\ 100, & \text{int}(k_i + \alpha k_i) > 100 \end{cases}$$

Fórmula 2 - Algoritmo de atualização do conhecimento em caso de sucesso

Na Fórmula 2, α representa a taxa de atualização usada, sendo parametrizável e podendo tomar valores entre 0% e 100%.

A plataforma PCMAT permite classificar o valor de α em três categorias: baixo, intermédio e elevado. O valor poderá ser alterado automaticamente consoante a intensidade de atualização definida pelo professor. Esta abordagem permite que a taxa de atualização possa ser diferente no percurso de aprendizagem do aluno. No entanto, na experimentação do protótipo esta funcionalidade não foi usada por opção dos professores que não acharam necessário alterar a intensidade de atualização.

Na Fórmula 3, β representa a taxa percentual de atualização pretendida em caso de insucesso, sendo parametrizável e podendo tomar valores entre 0% e 100%.

$$k_i = \begin{cases} 0, & \text{int}(k_i - \beta k_i) < 0 \\ \text{int}(k_i - \beta k_i), & 0 \leq \text{int}(k_i - \beta k_i) \leq 100 \\ 100, & \text{int}(k_i - \beta k_i) > 100 \end{cases}$$

Fórmula 3 - Algoritmo de atualização do conhecimento em caso de insucesso

A ideia subjacente a esta solução é a de provocar um deslocamento no nível de conhecimento V_i , usando o novo valor de k_i e aplicando o algoritmo para identificar o nível de conhecimento (Fórmula 1).

Quando o nível de conhecimento de um conceito é atualizado, o nível de conhecimento acerca dos conceitos pré-requisitos é também atualizado no mesmo sentido, embora em proporções diferentes. Isto é, as taxas de atualização α e β tem um valor mais reduzido: $\alpha = 5\%$ e $\beta = 5\%/ncp$, onde ncp é igual ao número de conceitos pré-requisitos.

A ideia desta solução é a de provocar um deslocamento de forma moderada em relação ao nível de conhecimento V_i dos conceitos pré-requisitos. O processo de atualização do conhecimento dos conceitos dos pré-requisitos é definido pelos seguintes algoritmos definidos pelas Fórmulas 4 e 5:

$$k_i = \begin{cases} 40, & \text{int}(k_{ci} + \alpha k_{ci}) < 40 \\ \text{int}(k_{ci} + 5\%k_{ci}), & 40 \leq \text{int}(k_{ci} + 5\%k_{ci}) \leq 100 \\ 100, & \text{int}(k_{ci} + 5\%k_{ci}) > 100 \end{cases}$$

Fórmula 4 - Algoritmo de atualização do conhecimento do conceitos pré-requisitos em caso de sucesso

$$k_i = \begin{cases} 0, & \text{int}(k_i - (5\%/ncp)k_i) < 0 \\ \text{int}(k_i - (5\%/ncp)k_i), & 0 \leq \text{int}(k_i - (5\%/ncp)k_i) \leq 100 \\ 100, & \text{int}(k_i - (5\%/ncp)k_i) > 100 \end{cases}$$

Fórmula 5 - Algoritmo de atualização do conhecimento pré-requisitos em caso de insucesso

A solução implementada é simples, flexível e aponta ser inovadora em SHA educacionais. A parametrização dos valores α e β bem como a alteração do intervalo de valores do vetor V permitem alterar o comportamento de adaptação do sistema.

5.4 Implementação do Modelo de Domínio

Os Modelos de Domínio e Pedagógico usam as características representadas no Modelo do Aluno, nomeadamente os objetivos, preferências e conhecimento de cada indivíduo. O domínio escolhido, como já referenciado, foi o da Proporcionalidade Direta e foi definido com a participação dos professores de matemática envolvidos na experimentação do protótipo. No sentido de tornar mais claros a visualização, compreensão e representação dos Modelos de Domínio e Pedagógico (Secção 5.5) foi tomada a decisão de codificar cada conceito do domínio. A codificação dos conceitos foi efetuada da seguinte forma:

- A - Razão;
- A1 - Razões equivalentes;
- A2 - Noção de antecedente e consequente;
- A3 - Leitura de uma razão;
- A4 - Aplicações do conceito de razão;
- B - Proporção;
- B1 - Meios e extremos;
- B2 - Leitura de proporções;
- B3 - Propriedade das proporções;
- B4 - Regra de três simples;
- B5 - Método de redução à unidade.

O Modelo de Domínio é representado por um grafo de conceitos *GPCMAT* (Figura 11). O grafo de conceitos é representado por um grafo dirigido acíclico, em que as arestas definem os pré-requisitos de cada conceito (Figura 11).

Seja então $GPCMAT(V, E)$ o grafo que representa as relações de pré-requisitos, em que:

- V : é o conjunto dos vértices (ou nós);
- E : é o conjunto de pares ordenados de vértices, denominados caminhos.

O grafo usado para definir o Modelo de Domínio usado no protótipo implementado é o seguinte:

$$V = \{A, A1, A2, A3, A4, B, B1, B2, B3, B4, B5\}$$

$$E = \left\{ \begin{array}{l} (A, A1), (A, A2), (A, A3), (A, A4), \\ (A1, A2), (A2, A3), (A3, A4), (A, B), \\ (B, B1), (B, B2), (B, B3), (B, B4), (B, B5), \\ (B1, B2), (B2, B3), (B3, B4), (B4, B5), \end{array} \right\}$$

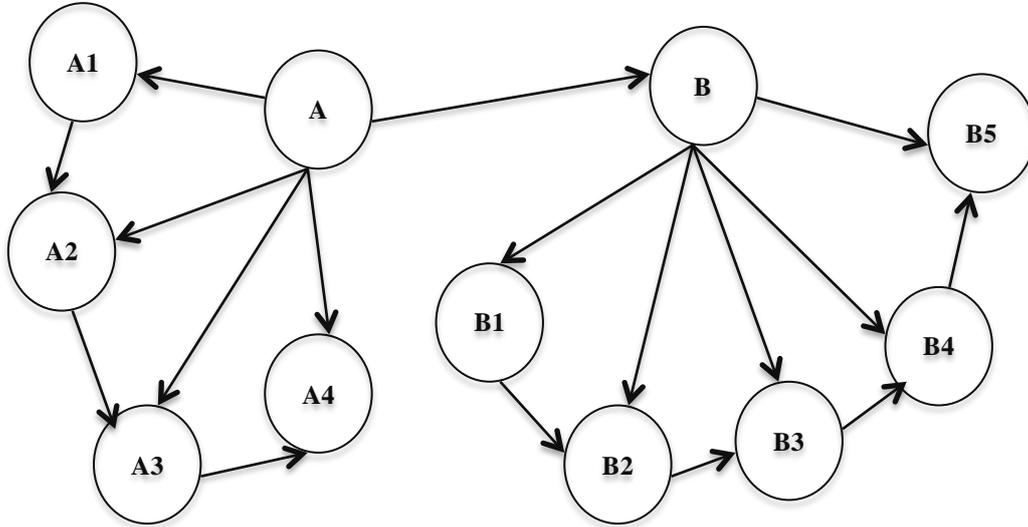


Figura 11 - GPCMAT: o grafo que representa as relações de pré-requisitos

A estrutura do esquema do ficheiro XML que representa o grafo é apresentado na Figura 12.

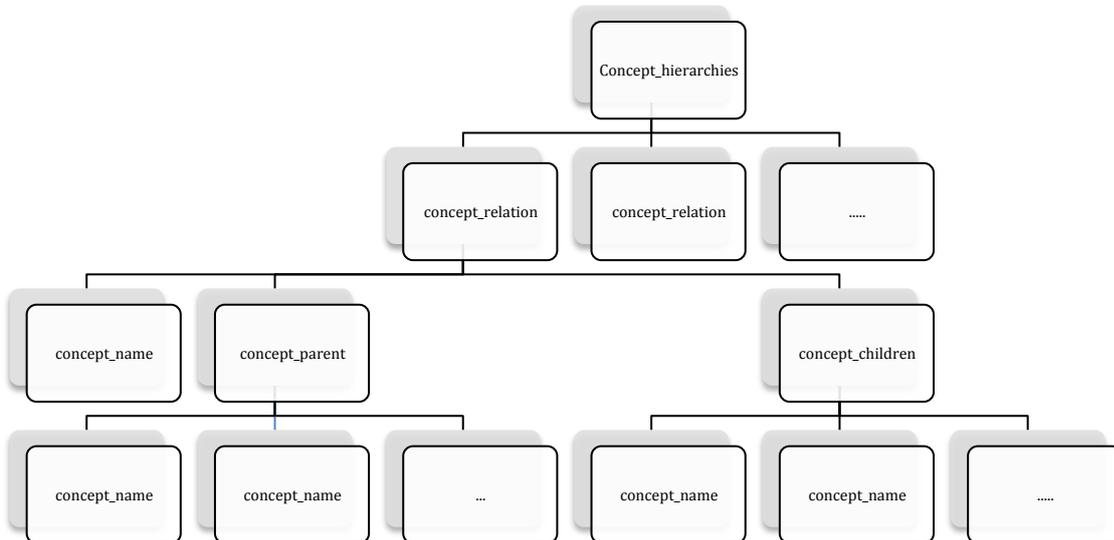


Figura 12 - Estrutura do ficheiro XML do grafo de conceitos

Este ficheiro contém a descrição das relações entre conceitos e representa o grafo da Figura 11. A estrutura do XML incorpora as relações entre os conceitos. Para cada conceito é indicado o nome do conceito e a hierarquia definida por 2 elementos:

- Vértices de origem (*concept_parent*), que representam os conceitos pré-requisitos;
- Vértices de destino (*concept_children*), que representam os conceitos dos quais o vértice atual é pré-requisito (Figura 12).

5.5 Implementação do Modelo Pedagógico

O Modelo Pedagógico define as regras de adaptação e os mecanismos de interação entre o utilizador e o sistema (Faria, 2002; Martins 2008a). Este Modelo Pedagógico foi definido com a colaboração dos professores de matemática envolvidos no desenvolvimento do protótipo. No Modelo Pedagógico o conhecimento sobre o utilizador, representado no Modelo do Aluno, é usado pelo módulo de regras de adaptação para definir o caminho no grafo de conceitos (Figura 11) que o aluno irá percorrer, a fim de atender às suas necessidades de aprendizagem.

O caminho que o aluno irá percorrer no Modelo de Domínio é dinâmico, sendo definido pelos seguintes aspetos:

- Interação com o aluno através de atividades sugeridas;
- Representação do estado atual do conhecimento do aluno, definido pelo método *Overlay*;
- Características do utilizador representadas no XML do Modelo do Aluno.

5.5.1 Representação do grafo de conceitos em caso de insucesso

No grafo de conceitos GPCMAT (Figura 11) não existe uma representação do caminho que o aluno deverá seguir em caso de insucesso na realização de alguma atividades.

Neste sentido foi criado um grafo dirigido acíclico, onde as arestas definem a relação entre os conceitos em caso de insucesso na aprendizagem (Figura 13). Isto é, caso o aluno não tenha um desempenho positivo numa atividade, as arestas do grafo indicam os conceitos para os quais o aluno deve ser reencaminhado.

O grafo dirigido acíclico, onde as arestas definem a relação entre os conceitos em caso de insucesso na aprendizagem usa a mesma codificação em relação ao grafo de conceitos feita no Modelo de Domínio (Secção 5.4).

Seja então $GI(V_1, E_1)$ o grafo que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso na aprendizagem, em que:

- V_1 : é o conjunto de vértices de GI ;
- E_1 : é o conjunto de pares ordenados de vértices, que pode ser representado por uma seta.

O grafo usado para representar a relação entre os conceitos em caso de insucesso no protótipo implementado é definido da seguinte forma:

$$V_1 = \{A, A1, A2, A3, A4, B, B1, B2, B3, B4, B5\}$$

$$E_1 = \left\{ \begin{array}{l} (A1, A), (A2, A), (A3, A), \\ (A4, A), (A4, A1), (B, A), \\ (B1, B), (B2, B), (B3, B), \\ (B3, B1), (B4, B), \\ (B4, B1), (B5, B) \end{array} \right\}$$

A Figura 13 apresenta o grafo que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso, sendo este definido através de um ficheiro XML.

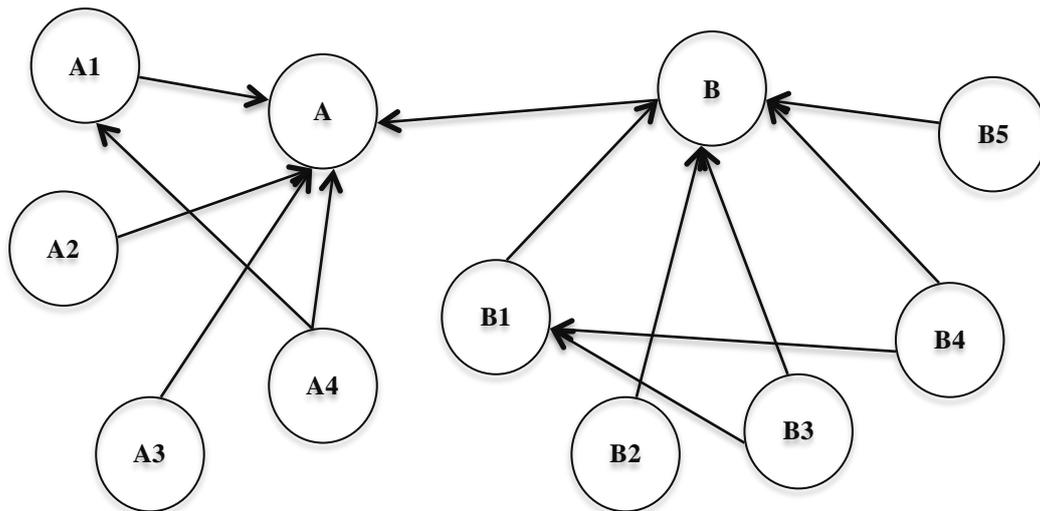


Figura 13 - GI: grafo que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso

5.5.2 Regras de adaptação

As regras de adaptação são baseadas no comportamento mostrado na realização de atividades, no nível de conhecimento e nas preferências de aprendizagem do aluno. O currículo é estabelecido pelo professor, sendo este, no entanto, individualizado pela ferramenta, tendo em conta o nível de conhecimento e preferência de aprendizagem de cada aluno, as suas competências e trajeto de aprendizagem.

As regras de adaptação desenvolvidas permitem dotar o PCMAT das seguintes funcionalidades (Martins, 2012):

1. Validar o acesso do aluno a um conteúdo ou a uma atividade, cada conteúdo e atividade estão relacionados com um ou mais conceitos;
2. Atualizar as preferências de aprendizagem e o nível de conhecimento do aluno;
3. Mostrar conteúdos adaptados ao conhecimento e preferência de aprendizagem do aluno;
4. Adaptar o percurso do aluno ao longo do grafo de conceitos de acordo com o seu conhecimento e preferências de aprendizagem;
5. Ao longo do percurso do aluno, a preferência de aprendizagem por um estilo de aprendizagem pode ser alterada, esta eventual alteração depende do desempenho do aluno na execução das atividades que lhe são apresentadas.

5.5.3 Representação das regras de adaptação

No PCMAT, cada conceito é representado pelos seguintes elementos (Figura 14):

- **Name** - corresponde ao nome do conceito e é do tipo *string*;
- **Description** - descrição do conceito e é do tipo *text*;
- **Label** - representa a designação do conceito que será visualizado pelo aluno e é do tipo *string*;
- Por um conjunto de outros atributos associados ao conceito, do tipo *complextype*.

A seguir é apresentada a estrutura do XML que define os conceitos e contém as regras de adaptação do PCMAT (Figura 14).

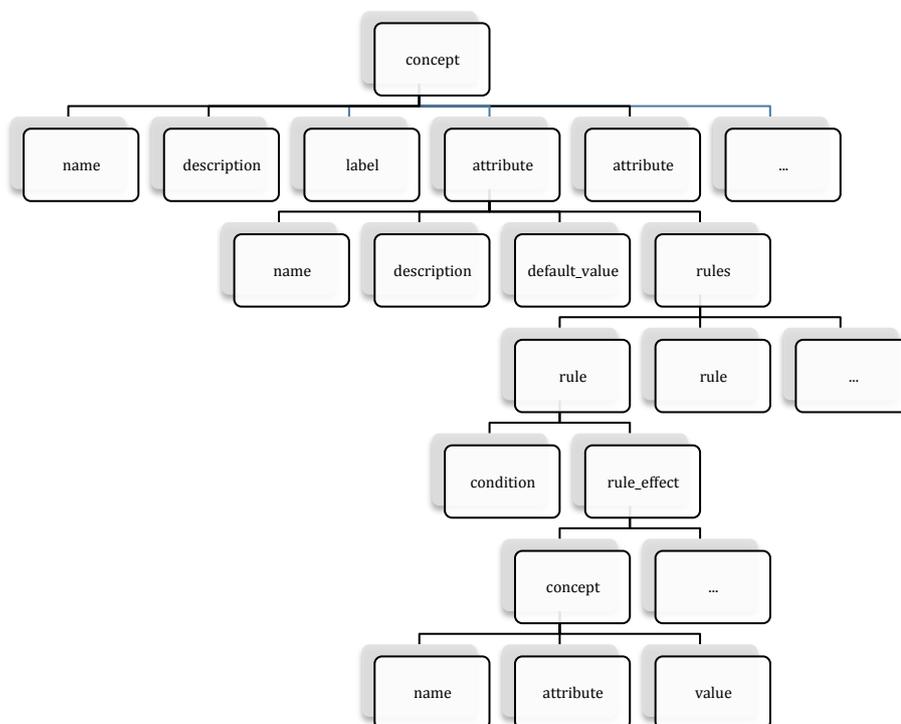


Figura 14 - Estrutura do ficheiro XML das regras de adaptação

A representação dos atributos dos conceitos no PCMAT foi implementada de forma a ser flexível. Para esse efeito, no ficheiro XML, o atributo foi definido como sendo do tipo *complextype*. Cada atributo é composto pelos seguintes elementos:

- **Name** - nome do atributo, do tipo *string*;
- **Description** - descrição do atributo, do tipo *text*;
- **Default_value** – valor atribuído por omissão ao atributo, podendo ser do tipo numérico ou booleano;
- Um conjunto de regras de adaptação associadas ao conceito que são disparadas no caso de avaliação positiva de uma condição.

Para além dos atributos **name**, **description** e **label**, cada conceito é caracterizado por quatro atributos adicionais. A utilidade de cada um desses atributos é descrita na tabela Tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de atributos adicionais usados no PCMAT

Nome	Descrição	Utilidade	Valor por defeito
Access	Sempre que um conteúdo é acedido, todas as regras de adaptação do atributo de <i>access</i> de cada conceito relacionado com o conteúdo são selecionadas e as respetivas listas de condições avaliadas	O acesso a um conteúdo é condicionado pela avaliação de um conjunto de regras de adaptação associadas aos conceitos envolvidos no recurso O valor deste atributo resulta da avaliação de uma condição representada pelos pré-requisitos para aceder ao conceito	O valor deste atributo é booleano e por omissão é <i>false</i>
Suitability	Permite definir a adequação do conceito	Se o valor deste atributo for True , o conteúdo relacionado com o conceito é definido como adequado ao aluno. O valor por omissão deste atributo é definido como False	Valor booleano
Knowledge	Representa a estimativa do nível de conhecimento do aluno em relação a um determinado conceito. O aluno somente poderá visualizar determinados conteúdos se o conhecimento adquirido acerca dos pré-conceitos (pré-requisitos) deste conteúdo for no mínimo satisfaz	Permite guardar o conhecimento do aluno para um determinado conceito. Este atributo é atualizado a partir da observação do aluno durante a execução das atividades. O valor deste atributo é usado, por exemplo, para tomar uma decisão sobre a visualização ou ocultação de fragmentos de conteúdos	O valor por omissão deste atributo é 0
Resource	Define um conjunto de recursos associados ao conceito	Este atributo é representado na forma de um “ <i>switch case</i> ”, com o objetivo de associar diversos recursos ao conceito em questão	Os valores a atribuir ao atributo resource são os seguintes: 1 no caso do aluno ser proeminentemente teórico, 2 caso seja visual e 3 caso seja prático

Uma regra de adaptação é definida por uma condição e por uma lista de ações:

- Uma condição, constituída por uma expressão booleana, que engloba atributos de conceitos ou atributos do Modelo do Aluno e cuja avaliação condiciona o disparo da regra;
- Um conjunto de ações que serão executadas e que podem atualizar alguns atributos do Modelo do Aluno.

O extrato de código XML que se apresenta a seguir ilustra a estrutura de uma regra de adaptação:

```
<rule>
  <condition><!-- Condition definition --></condition>
  <rule_effect>
    <concept>
      <name><!--nome do conceito --></name>
      <attribute><!--nome do atributo --></attribute>
      <! Value pode corresponder a uma expressão -->
      <value><!-- novo valor do atributo --></value>
    </concept>
  </rule_effect>
</rule>
```

A solução adoptada permite dotar a plataforma de mecanismos de adaptação adicionais, através da criação de novas regras associadas a novos atributos. O facto das regras estarem definidas como um elemento *complextype* dos atributos dos conceitos possibilita alterar de forma simples o modelo de adaptação permitindo por exemplo adaptar o curriculum do aluno.

5.5.4 Aplicação das regras de adaptação

As decisões de adaptação do PCMAT são conduzidas pela aplicação de regras de adaptação. As condições destas regras são definidas através da utilização de atributos associados aos conceitos do domínio. Associado a cada conceito, existem três regras de definição obrigatórias:

- Regra para avaliar o valor do atributo de adequação (*suitability*) do conceito;
- Regra responsável pela atualização do atributo *knowledge*, que representa a estimativa de conhecimento do aluno em relação a um determinado conceito;
- Regra responsável por seleccionar o *Uniform Resource Identifier* (URI) adequado de acordo com a preferência dominante de aprendizagem do aluno e respetivos conceitos envolvidos; os valores a atribuir ao atributo *resource* são os seguintes: 1

no caso do aluno ser proeminentemente teórico, 2 caso seja visual e 3 caso seja prático.

Quando um utilizador tenta aceder a um recurso, associado a um ou vários conceitos, são executadas duas ações por cada conceito, tal como descrito no diagrama da Figura 15:

1. O atributo *access* por cada conceito é acedido;
2. Todas as regras de adaptação associadas ao atributo de acesso de cada conceito envolvidos no recurso são selecionadas e as respetivas listas de condições são avaliadas.

Associadas ao atributo *access* de cada conceito existem duas regras de adaptação de definição obrigatórias:

1. A primeira regra é responsável por atualizar o valor do atributo de adequação (*suitability*). Este atributo é utilizado para definir se um recurso (associado a um ou mais conceitos) é adequado ao estado atual do aluno. O valor desse atributo resulta da avaliação de uma condição que define os pré-requisitos que condicionam o acesso ao conceito atual. Esses pré-requisitos representam os níveis de conhecimento mínimos que o aluno deve possuir em relação a um conjunto de conceitos. No PCMAT, o nível de conhecimento V mínimo que o aluno deve possuir em relação ao nível de conhecimento dos conceitos pré-requisitos é *satisfaz*. Para obter esse valor é usado o sistema representado na Fórmula 1 da secção 5.3.1 para identificar o nível de conhecimento;
2. A segunda regra de adaptação instancia o valor do atributo *resource*. A definição do valor deste atributo permite tomar a decisão acerca da escolha do tipo de conteúdo compatível com a preferência de aprendizagem dominante (teórico, visual ou prático) do aluno.

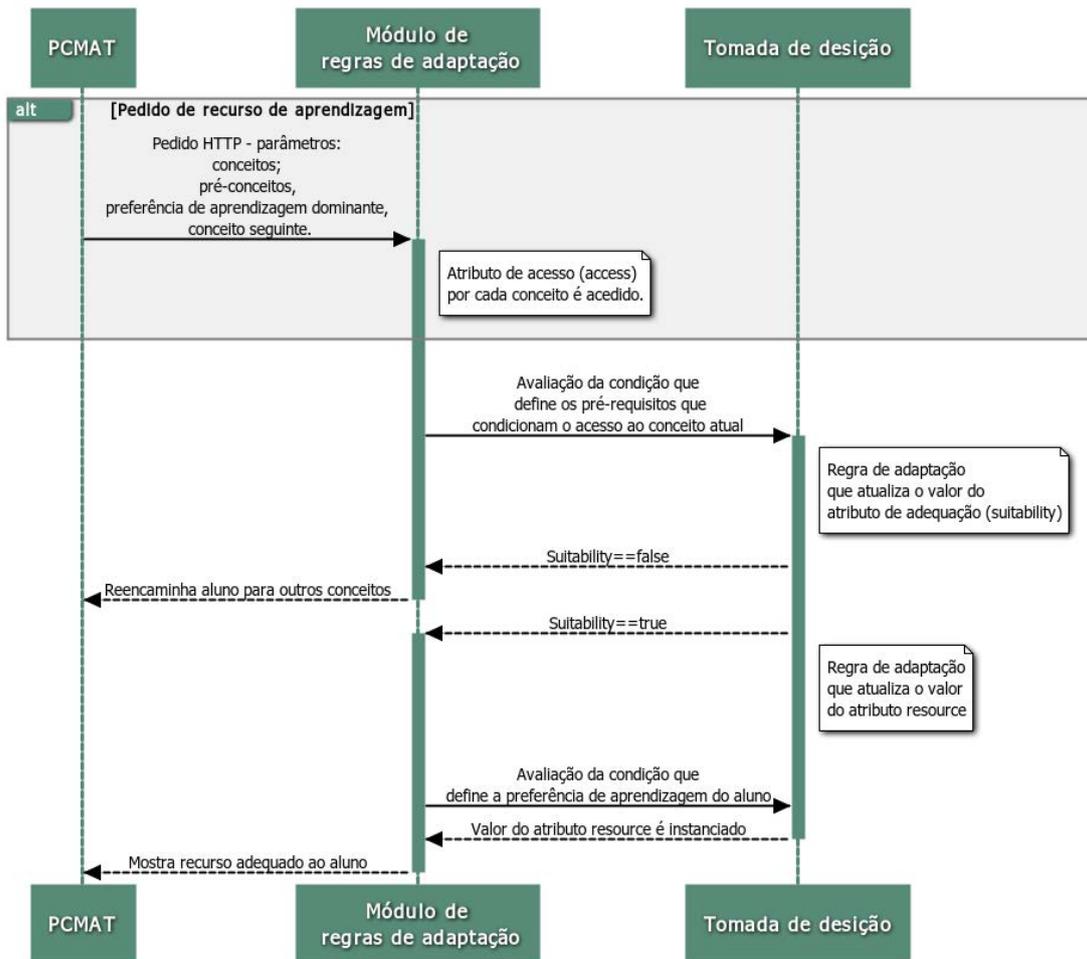


Figura 15 - Descrição da aplicação das regras de adaptação

O exemplo seguinte apresenta o formato de uma regra de adaptação que ilustra o mecanismo usado para atualizar o atributo de adequação (*suitability*):

```

<rule>
  <condition>
    <!-- Condição dos pré-requisitos que condicionam o acesso
    ao conceito atual -->
  </condition>
  <rule_effect>
    <concept>
      <name>concept_name</name>
      <attribute> suitability </attribute>
      <value>true</value>
    </concept>
  </rule_effect>
</rule>

```

Se o valor do atributo *suitability* associado a um conceito de um recurso for falso, então o conteúdo do recurso não é mostrado e o aluno é conduzido para outros conteúdos ou

fragmentos de conteúdos específicos. Neste caso é usado o grafo *GI*, que define a relação entre os conceitos em caso de insucesso na aprendizagem. Pelo contrario, se o valor for verdadeiro, então o conteúdo da página é mostrado e o aluno é conduzido para a realização de atividades e para este efeito é usado o grafo *GPCMAT*, definido no módulo pedagógico, e que representa a relação entre os conceitos em caso de sucesso na aprendizagem.

A próxima regra de adaptação define o mecanismo usado para tomar a decisão acerca da escolha do tipo de conteúdo mais apropriado à preferência de aprendizagem dominante (teórico, visual ou prático) a apresentar ao aluno. O valor do atributo *resource* é instanciado nas regras definidas no atributo *access*:

```
<attribute>
  <name>resource</name>
  <default_value>0</default_value>
  <switch>
    <case>
      <value>1</value>
      <source>URI conteúdo teórico</source>
    </case>
    <case>
      <value>2</value>
      <source> URI conteúdo visual </source>
    </case>
    <case>
      <value>3</value>
      <source> URI conteúdo prático </source>
    </case>
  </switch>
</attribute>
```

O atributo *knowledge* representa a estimativa do nível de conhecimento do aluno em relação a um determinado conceito. Este atributo é atualizado a partir da observação do aluno durante a execução das atividades que lhe são propostas. O valor deste atributo é usado, por exemplo, para tomar uma decisão sobre a visualização ou ocultação de fragmentos de conteúdos, ou para adaptar a navegação das hiperligações (ocultando ou mostrando as hiperligações). O aluno somente poderá visualizar determinados conteúdos se o conhecimento adquirido acerca dos pré-conceitos (pré-requisitos) deste conteúdo atingir o valor **satisfaz**.

A abordagem construtivista é implementada na medida em que são sugeridos conteúdos e atividades ao aluno de acordo com o seu comportamento em atividades anteriores (Martins, 2012). De modo a minimizar a repetição de atividades sugeridas ao aluno, o sistema mantém um histórico de atividades realizadas e sempre que possível o sistema irá propor uma nova

atividade, evitando-se a repetição de atividades. Caso não exista qualquer atividade ainda não realizada pelo aluno, o sistema irá escolher a atividade realizada há mais tempo.

Cada atividade ou conteúdo está associada a uma preferência de aprendizagem dominante (teórico, visual ou prático). A preferência de aprendizagem associada ao aluno é representada no Modelo do Aluno. Quando o aluno utiliza o sistema pela primeira vez, estes atributos são inicializados pelo processo descrito na secção 5.3.2.

Quando o aluno realiza com sucesso uma atividade, o nível de conhecimento dos conceitos envolvidos é atualizado pelo seguinte mecanismo:

Seja $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ o conjunto dos conceitos associados à atividade
 Por cada i em $\{1, 2, 3, \dots, n\}$

Usar sistema de atualização do conhecimento Fórmula 2
 descrito na secção 5.3.3 e onde $\alpha = 20\%$

Seja $B_1, B_2, B_3, \dots, B_m$ o conjunto de conceitos pré-requisito de A_i
 Por cada i em $\{1, 2, 3, \dots, m\}$

Usar sistema de atualização do conhecimento do conceitos pré-requisitos Fórmula 4 descrito na secção 5.3.3 e onde $\beta = 10\%$

Em caso de fracasso do aluno numa atividade, é usada uma abordagem semelhante para atualizar o nível de conhecimento dos conceitos relacionados e os valores dos atributos de preferência de aprendizagem. Neste caso, o nível de conhecimento acerca dos conceitos envolvidos é atualizado pelo seguinte mecanismo:

Seja $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ o conjunto dos conceitos associados à atividade
 Por cada i em $\{1, 2, 3, \dots, n\}$

Usar sistema de atualização do conhecimento em caso de insucesso Fórmula 3 descrito no secção 5.3.3

Seja $B_1, B_2, B_3, \dots, B_m$ o conjunto de conceitos pré-requisito de A_i
 Por cada i em $\{1, 2, 3, \dots, m\}$

Usar formula sistema de atualização do conhecimento em caso de insucesso Fórmula 5) descrito no secção 5.3.3

A atualização de preferência de aprendizagem depende do desempenho nas atividades realizadas. No caso da atividade ser realizada com sucesso, considera-se que o tipo de atividade é compatível com a preferência de aprendizagem do aluno. Neste caso, a plataforma irá reforçar a crença que detém acerca da preferência de aprendizagem do aluno. Para atualizar preferência de aprendizagem do utilizador foi implementado um mecanismo

semelhante ao usado para atualizar o nível de conhecimento do aluno. De seguida, descreve-se o processo de atualização da preferência de aprendizagem caso o aluno tenha tido sucesso na realização das atividades propostas:

1. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lst**, isto é, preferência de aprendizagem mais teórica:

```
personal.lst = min(personal.lst + 1;10)
se personal.lsv >= personal.lsp
    então personal.lsv = max(personal.lsv-1;0)
se personal.lsv < personal.lsp
    então personal.lsp = max(personal.lsp-1;0)
```

2. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lsv**, isto é, preferência de aprendizagem mais visual:

```
personal.lsv = min(personal.lsv + 1;10)
se personal.lst >= personal.lsp
    então personal.lst = max(personal.lst-1;0)
se personal.lst < personal.lsp
    então personal.lsp = max(personal.lsp-1;0)
```

3. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lsp**, isto é, preferência de aprendizagem mais prática:

```
personal.lsp = min(personal.lsp + 1;10)
se personal.lsv >= personal.lst
    então personal.lsv = max(personal.lsv-1;0)
se personal.lsv < personal.lst
    então personal.lst = max(personal.lst-1;0)
```

Em caso de insucesso, as preferências de aprendizagem do utilizador no Modelo do Aluno são atualizadas do seguinte modo:

1. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lst**, isto é, preferência de aprendizagem mais teórico:

```
personal.lst = max(personal.lst - 1;0)
se personal.lsv >= personal.lsp
    então personal.lsv = min(personal.lsv+1;10)
```

```

se personal.lsv < personal.lsp
    então personal.lsp = min(personal.lsp+1;10)

```

2. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lsv**, isto é, preferência de aprendizagem mais visual:

```

personal.lsv = max(personal.lsv - 1;0)
se personal.lst >= personal.lsp
    então personal.lst = min(personal.lst+1;10)
se personal.lst < personal.lsp
    então personal.lsp = min(personal.lsp+1;10)

```

3. No caso da preferência de aprendizagem associada ao aluno e à atividade ser **personal.lsp**, isto é, preferência de aprendizagem mais prática:

```

personal.lsp = max(personal.lsp - 1;0)
se personal.lsv >= personal.lst
    então personal.lsv = min(personal.lsv+1,10)
se personal.lsv < personal.lst
    então personal.lst = min(personal.lst+1;10)

```

Este processo permite, por um lado, que em caso de sucesso na execução de uma atividade adaptada ao perfil de aprendizagem do aluno, reforçar o nível de preferência de aprendizagem dominante (Martins, 2012). Por outro lado, em caso de insucesso, este mecanismo de atualização reduz o nível de preferência de aprendizagem dominante e reforçar o nível de preferência de aprendizagem que representa o segundo valor mais elevado (Mota, 2008; Montgomery, 1998).

5.5.5 Mecanismos de interação

Os mecanismos de interação permitem que o sistema PCMAT tenha as seguintes funcionalidades:

- Adaptação da apresentação dos conteúdos e atividades à preferência de aprendizagem dominante do aluno;
- Manipulação da estrutura das hiperligações, orientando o utilizador para a informação relevante e mantendo-o afastado da informação irrelevante ou conteúdos para os quais não esteja preparado; neste caso, é usada a técnica conhecida por *link hiding*, que consiste em ocultar ligações.

As Figura 16, 17 e 18 ilustram exemplos de conteúdos teóricos, visuais e práticos do PCMAT.

Bem vindo alunoteorico (teorico@gffs) Consultou 22 pages ainda falta consultar 1 page
 Pode alterar: [log out](#) - [knowledge of proporcionalidade](#) - [password](#) - [Log off](#)

Razões Equivalentes

Duas razões dizem-se **equivalentes quando representam a mesma quantidade.**

Considera a razão $\frac{2}{7}$.

Se multiplicares ambos os termos da razão pelo mesmo número, por exemplo, por 3, obtemos uma nova razão equivalente à inicial:

$$\frac{2 \times 3}{7 \times 3} = \frac{6}{21}$$

Actividade

Para **poder continuar**, deve responder ao seguinte exercício:

A razão 120/210 é equivalente a razão 40/70

Verdadeiro

Falso

- Proporcionalidade directa
- Razao
 - Equivalentes
 - Antecedente e conseqente
 - Leitura
 - Aplicar conceito
- Proporcao
- Percentagens
- Unidades de peso e medida

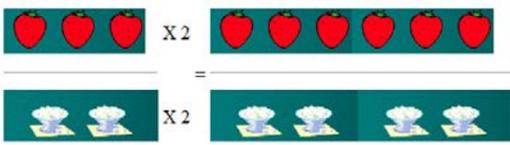
Figura 16 - Exemplo de conteúdo tipo teórico do PCMAT

isep PCMAT 2010
 Plataforma Colaborativa da Matemática 2011

Razões Equivalentes

Duas razões dizem-se **equivalentes quando representam a mesma quantidade.**

Considera a razão $\frac{3}{2}$



- Proporcionalidade directa
- Razao
 - Equivalentes
 - Antecedente e conseqente
 - Leitura
 - Aplicar conceito
 - Proporcao
 - Percentagens
 - Unidades de peso e medida

Figura 17 - Exemplo de conteúdo tipo visual do PCMAT

Bem vindo alunopratico (alunopratico@pr) Consultou 14 pages ainda falta consultar 9 pages
 Pode alterar: [Ver perfil](#) - [Knowledge of Proportionalidade](#) - [Settings](#) - [Log off](#)

Noção de Razão

Exemplo 1:
 Para fazer uma bebida usaram-se 4 litros de sumo de maracujá e 3 litros de água.
 O sumo de maracujá está para a água na **razão de 4:3 ou na razão 4/3**.

Exemplo 2:
 A Mafalda e o Pedro dividiram uma pizza entre si. A Mafalda ficou com 3 fatias da pizza e o Pedro ficou com 5 fatias.
 A razão entre o número de fatias da Mafalda e o número de fatias do Pedro é de **3 : 5 ou na razão 3/5**.

Actividade

Para poder continuar, deve responder ao seguinte exercício:

A Gabriela e o Gustavo dividiram uma pizza entre si. A Gabriela ficou com 4 fatias da pizza e o Gustavo ficou com 6 fatias. A razão entre o número de fatias da Gabriela e o número de fatias do Gustavo é de

3 : 5 ou na razão 3/5
 3 : 6 ou na razão 3/6
 4 : 5 ou na razão 4/5
 5 : 3 ou na razão 5/3
 4 : 6 ou na razão 4/6

Proportionalidade directa
 Razão
 Equivalentes
 Antecedente e consequente
 Leitura
 Aplicar conceito
 Proporcao
 Percentagens
 Unidades de peso e medida

Content

Figura 18 - Exemplo de conteúdo tipo prático do PCMAT

A plataforma fornece informação adicional para garantir que a informação mais relevante é visualizada. A técnica usada com este objetivo é geralmente conhecida por *content adaptation*. A título de exemplo apresenta-se a seguir o uso de algumas técnicas usadas no PCMAT, nomeadamente *content adaptation* e *link hiding*:

```
<!-- objeto header -->
<object data="../header.xhtml" />
<!-- Conteúdos -->
<p><b><u>Regras de Tr&ecirc;s Simples</u></b></p>

<!-- condição para ser visível instanciado no XML -->
<if expr="proporcionalidade.B4.suitability==true">
<block>
    <br />
    <blockquote>
    <p><b><u>Considere a seguinte propor&ccedil;&atilde;o</u></b></p>
    ...
    ...
    <!-- mostra fragmento caso conhecimento de conceito B3 for superior a
    30 -->

    <if expr="proporcionalidade.B3.knowledge>30">
    <block>
        <br />
        ...
    </block>
    <block>
        ...
        ...
    </block>
```

```

</if>
<!-- pedido de atividade adaptada ao perfil do aluno-->

<object

data="http://193.136.62.21/aha/Output?c1=B4&c2=&c3=&c4=&
mp;c5=&n=1&pc1=B&pc2=B1&pc3=&pc4=&pc5=&ls
=1&cseguinte=B5"
height="550"
width="100%" />
<block>
<!-- aluno ainda não pode ver conteúdo associado ao conceito B4-->
Aluno <variable name="personal.name" />
ainda n&atilde;o alcan&ccedil;ou conhecimento para aceder a este conceito.
<br />
Deve consultar os seguintes conceito: <br />
<a href="proporcionalidade.B" class="conditional"
target="_top">Propor&ccedil;&atilde;o</a>
<a href="proporcionalidade.B1" class="conditional" target="_top">Meios e
Extremos</a>
</block>
</if>
...
<!-- footer -->
<object data="../footer.xhtml" />

```

No exemplo anterior é avaliado o atributo **suitability** do conceito **B4**: (`<if expr="proporcionalidade.B4.suitability==true">`). Caso a condição seja verdadeira, então é mostrado o conteúdo relacionado com esse conceito. Caso contrário é apresentada uma mensagem informando o aluno que ainda não está em condições de aceder ao conteúdo do conceito B4, sendo reencaminhado para outros conceitos.

Ainda em relação ao exemplo do conteúdo relacionado com o conceito B4, um fragmento é visualizado se o valor do nível de conhecimento do aluno em relação ao conceito B3 for superior a 30 (`<if expr="proporcionalidade.B3.knowledge>30">`). Caso contrário o fragmento é ocultado.

5.5.6 Mecanismo responsável pela apresentação de atividades

As atividades são apresentadas de forma dinâmica, através de um pedido feito por **HTTP**, através do método **GET**, a um script desenvolvido em JAVA. Este script consulta a base de dados das atividades e devolve um XHTML, contendo os conteúdos e atividades de acordo com os parâmetros recebidos. Este processo é ilustrado na Figura 19.

O pedido GET é construído dinamicamente, através de um script em Javascript e é realizado automaticamente pela inserção da marca XHTML *<object>* no conteúdo da página

correspondente aos conceitos envolvidos. A marca *<object>* define um elemento incorporado num documento XHTML. No caso do PCMAT, a marca *<object>* é usada para incorporar uma atividade através de um documento XHTML nos conteúdos a apresentar ao utilizador. A atividade é selecionada de acordo com o Modelo Pedagógico e com a preferência de aprendizagem dominante do aluno.

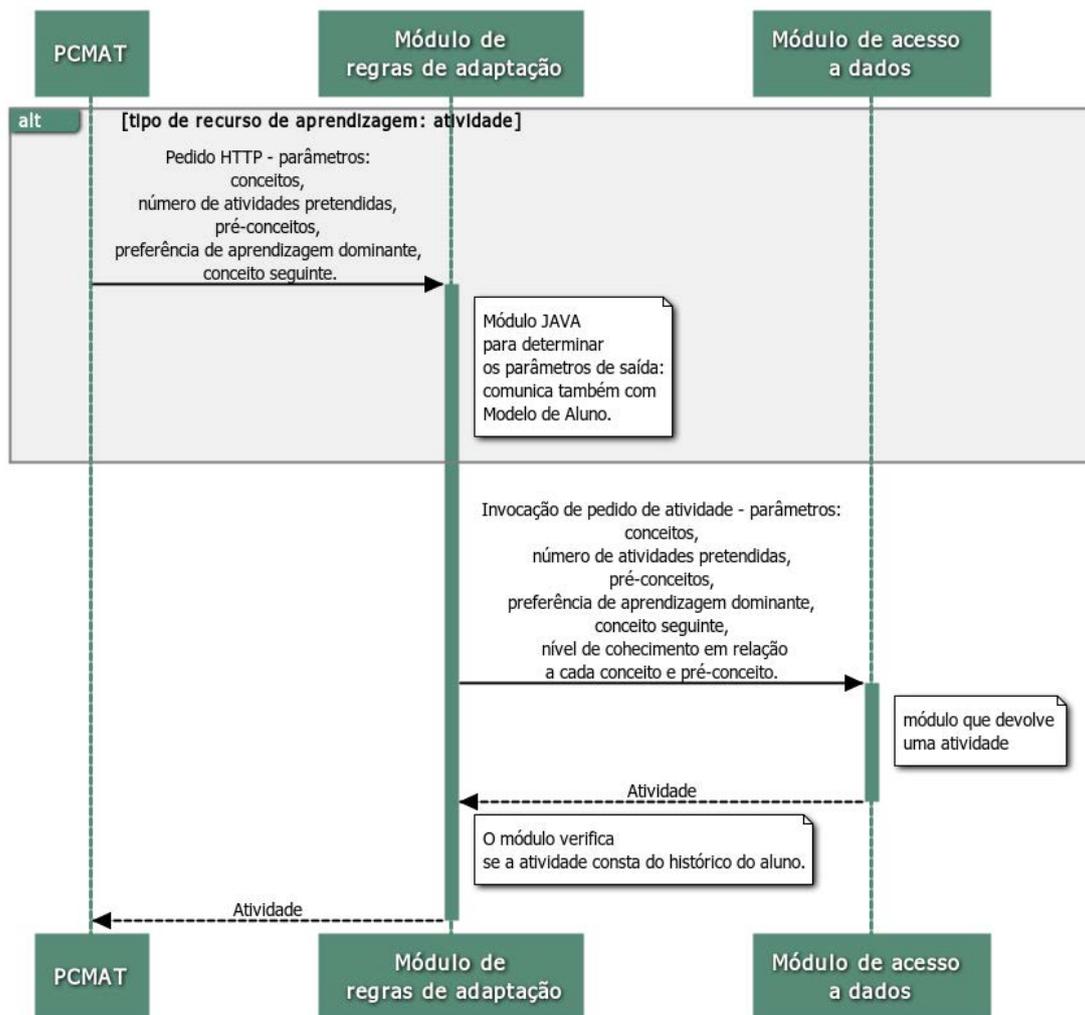


Figura 19 - Descrição do pedido de uma atividade

Os parâmetros enviados pelo método GET são os seguintes:

- **c₁,...,c_n**: sequência contendo até cinco conceitos com os quais a atividade deve estar relacionada;
- **n**: número de atividades pretendidas;
- **pc₁,...,pc_n**: sequência contendo até cinco pré-conceitos, para os quais o aluno será reencaminhado em caso de insucesso (definidos no grafo **GI** que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso);
- **ls**: tipo dominante de preferência de aprendizagem do aluno (1=teórico; 2=visual e 3=prático); este valor é instanciado dinamicamente, a partir do Modelo do Aluno, avaliando para esse efeito os valores do vetor **LV=(personal.lst, personal.lsv, personal.lsp)**;
- **cseguinte**: corresponde ao próximo conceito a ser visualizado pelo aluno; este valor está definido no grafo **GPCMAT**.

A título de exemplo apresenta-se a seguir um pedido de atividade:

```
<object  
width="100%" height="550"  
data="http://pcmat.dei.isep.ipp.pt/aha/Output?c1=A1&c2=&c3=&  
c4=&c5=&n=1&pc1=A&pc2=&pc3=&pc4=&pc5=  
&ls=2&cseguinte=A2"  
>
```

Onde:

- **A1** é o conceito com os qual a atividade deve estar relacionada;
- **N=1** é o número de atividades pretendidas;
- **A** é o pré-conceito, para os qual o aluno será reencaminhado em caso de insucesso (definidos no grafo **GI** que representa a relação entre os conceitos em caso de insucesso);
- **Ls=2** é o tipo de preferência de aprendizagem do aluno;
- **A2** corresponde ao próximo conceito a ser visualizado pelo aluno; este valor está definido no grafo **GPCMAT**.

5.6 Ferramenta de autoria para a criação das atividades

A utilização da plataforma requer a existência de uma ferramenta de autoria para a criação das atividades. Com este objetivo e para facilitar a tarefa dos professores, foi desenvolvido um módulo de criação de exercícios e de geração automática de testes de avaliação de conhecimento. O *front-end* desta ferramenta foi desenvolvido em XHTML, CSS e Javascript, tendo o *back-end* sido desenvolvido em JAVA. Esta ferramenta foi desenvolvida no âmbito de um projeto de mestrado em Engenharia Informática no ISEP, pela aluna Marta Fernandes, que ainda está a decorrer, coorientado pelo autor deste documento.

A ferramenta disponibiliza dois mecanismos de criação de perguntas: simples e parametrizáveis. No primeiro caso, é gerada uma única pergunta. No segundo caso, a questão gerada é definida em função de parâmetros que podem ser instanciados. Estas questões parametrizáveis permitem a criação automática de diferentes contextos para um mesmo problema.

Todas as questões estão relacionados com um ou mais conceitos, até um máximo de cinco conceitos. Cada questão é classificada de acordo com a sua compatibilidade com um dos tipos de preferência de aprendizagem (teórico, visual ou prático).

O corpo da questão é diretamente inserido pelo professor (Figura 20) ou através de *upload* de um ficheiro contendo o texto da pergunta. A ferramenta permite ainda a inserção de figuras. O utilizador pode optar por dois tipos de questões: escolha múltipla ou verdadeiro ou falso (Figura 20).

Criação de perguntas

Indique o conceito (ou conceitos) ao qual a pergunta está associada:

A ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾

Indique o estilo de aprendizagem ao qual a pergunta está associada:

Visual ▾

Indique se deseja adicionar um recurso de:

Texto: Outro:

|proporção_maças.jpg

Insira uma pergunta:

A percentagem correspondente às maçãs é:

Indique o tipo de pergunta:

Escolha múltipla ▾

Insira as respostas possíveis e indique qual delas é a resposta correcta:

22%

20%

115%

30%

70%

Figura 20 - Ferramenta para criação de perguntas

Na criação de perguntas parametrizada (Figura 21), o professor deve respeitar a seguinte regra: utilizar um máximo de cinco variáveis diferentes, que devem ter nomes e estrutura específicos. Assim, será possível encontrar as variáveis no texto (pergunta e resposta) e substituí-los pelos parâmetros fornecidos. Para esse efeito, cada variável é representada por um duplete atributo-valor, no sentido de se poder criar contextos e conjuntos de valores diferentes em relação a um determinado enunciado.

Criação de perguntas

Indique o conceito (ou conceitos) ao qual a pergunta está associada:

A4 ▾ B3 ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾

Indique o estilo de aprendizagem ao qual a pergunta está associada:

Prático ▾

Indique se deseja adicionar um recurso de:

Texto: Outro:

Insira uma pergunta:

A Joana está empenhada na reciclagem e costuma separar as embalagens de iogurtes e as garrafas de plástico numa razão de 9 : 2. Se no fim do mês separou 45 embalagens de iogurtes, quantas garrafas de plástico separou?

Indique o tipo de pergunta:

Resposta aberta ▾

Indique o conjunto Objecto/Atributo/Valor da resposta correcta:

Objecto	Atributo	Valor
garrafas	plástico	10

Figura 21 - Exemplo de criação de perguntas

Além de adicionar novas questões ao sistema, o professor também pode usar esta ferramenta para gerar testes. Neste caso, o utilizador deve indicar o conjunto de conceitos e o número de questões a incluir no teste. O sistema irá criar um teste escolhendo aleatoriamente questões que respeitem as características indicadas.

No caso das questões parametrizadas (Figura 22), o sistema escolherá aleatoriamente um dos conjuntos possíveis de parâmetros, substituindo as variáveis nas perguntas pelos seus respetivos valores. Finalizado o processo de escolha, o sistema gera um ficheiro XHTML com a descrição do teste.

Criação de perguntas parametrizadas

Indique o conceito (ou conceitos) ao qual a pergunta está associada:

B ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾ (vazio) ▾

Indique o estilo de aprendizagem ao qual a pergunta está associada:

Teórico ▾

Indique se deseja adicionar um recurso

Imagem:

Insira uma pergunta:

Considere a proporção: ***param1***
Qual a leitura correcta da proporção:

Indique o tipo de pergunta:

Escolha múltipla ▾

Introduza os valores possíveis para os parâmetros:

param1	param2	param3	param4	param5	param6	Solução	opção1	opção2	opção3	opção4
3/4=6/8						Três está pa	Três quantos	Três sextos	Três está pa	
1/2=4/8						Um está pari	Um meio est	Um quarto er	Um está pari	
15/10=3/2						Quinze está j	Quinze deza	Quinze terço	Quinze está j	
20/2=100/10						Vinte está ps	Vinte meios	Vinte centési	Vinte está ps	

Figura 22 - Criação de perguntas parametrizadas

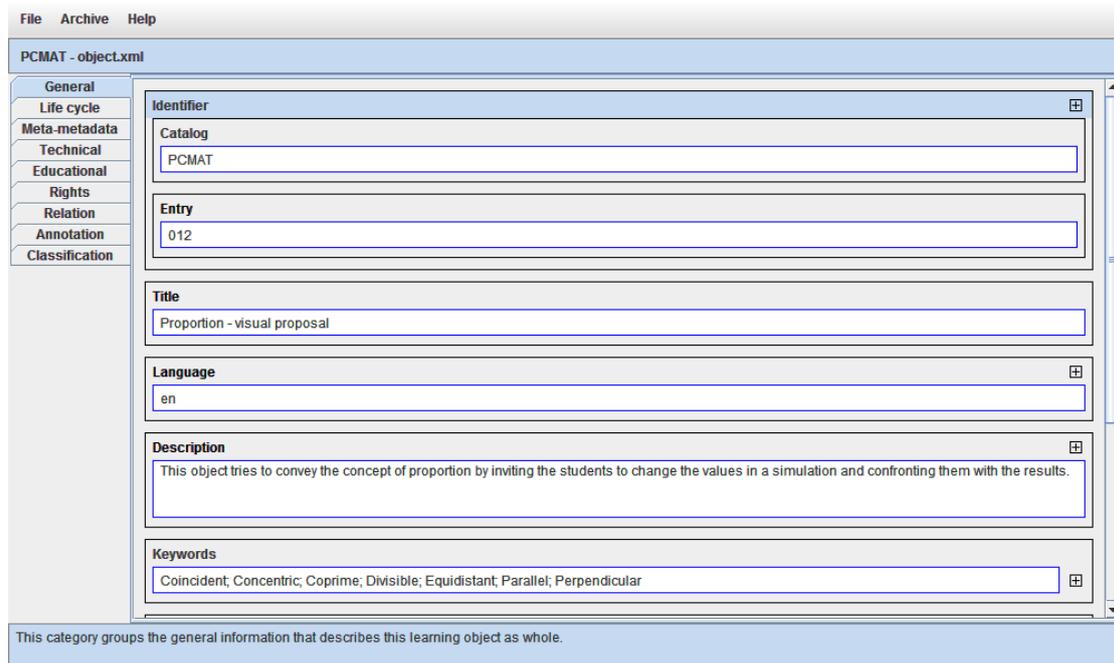
5.7 Ferramenta de classificação de objetos de aprendizagem

Com o objetivo de facilitar a tarefa de classificação de objetos de aprendizagem de acordo com a norma IEEE LOM, foi construída uma aplicação Web (Figura 23). Esta ferramenta foi desenvolvida pelo bolseiro Paulo Couto, no âmbito do projeto PCMAT¹⁷ que ainda está a decorrer, coorientado pelo autor deste documento.

A ferramenta foi desenvolvida em JAVA e utiliza um ficheiro XML como ficheiro de configuração, facilitando assim a sua integração com a plataforma PCMAT. Este ficheiro XML contém os elementos definidos pela norma IEEE LOM (IEEE, 2002; IEEE, 2005; DCMI, 2010) e outros elementos incluídos não pertencentes à norma mas necessários ao funcionamento da plataforma PCMAT. Estes elementos são definidos através do ficheiro de configuração e permitem classificar o objeto de aprendizagem de acordo com seu tipo de conteúdo proeminente (teórico, visual ou prático).

Esta ferramenta permite gerar, de acordo com a norma IEEE LOM, um ficheiro XML contendo meta-informação para a caracterização do objeto de aprendizagem. Por outro lado, esta meta-informação permite a partilha e reutilização dos objetos de aprendizagem do PCMAT. Na versão atual do sistema o subconjunto de meta-informação usada diz respeito às preferências de aprendizagem e aos conceitos envolvidos no objeto.

¹⁷ Plataforma de Aprendizagem Colaborativa de Matemática, PTDC/CPE-CED/108339/2008.



File Archive Help

PCMAT - object.xml

General

Life cycle

Meta-metadata

Technical

Educational

Rights

Relation

Annotation

Classification

Identifier

Catalog

PCMAT

Entry

012

Title

Proportion - visual proposal

Language

en

Description

This object tries to convey the concept of proportion by inviting the students to change the values in a simulation and confronting them with the results.

Keywords

Coincident, Concentric, Coprime, Divisible, Equidistant, Parallel, Perpendicular

This category groups the general information that describes this learning object as whole.

Figura 23 - Aplicação do PCMAT para gerar os metadados

O desenvolvimento desta ferramenta foi necessário na medida em que cada objeto de aprendizagem do PCMAT deve estar classificado de acordo com o tipo de conteúdo dominante (teórico, visual ou prático) e ainda de acordo com os conceitos envolvidos, permitindo que a plataforma possa adaptar-se de modo a acompanhar a evolução do aluno.

5.8 Sumário

A abordagem usada para a modelação do conhecimento e da preferência de aprendizagem do aluno baseou-se no desenvolvimento de uma solução simples e flexível. Apesar da sua simplicidade trata-se de uma inovação (Martins, 2012). A identificação do nível de conhecimento do aluno para um determinado conceito é definido através de um vetor associativo e do algoritmo representado na Fórmula 1.

A atualização do nível de conhecimento é realizada aquando da resolução de atividades. O mecanismo de atualização do conhecimento usa uma taxa de atualização que depende do sucesso ou insucesso na resposta às atividades colocadas ao aluno. O processo de atualização do conhecimento em caso de sucesso é definido pelo algoritmo representado pela Fórmula 2 e em caso de insucesso pelo algoritmo representado pela Fórmula 3.

A ideia subjacente a esta solução é a de provocar um deslocamento no nível de conhecimento, usando o novo valor de k_i (estimativa do nível de conhecimento acerca do conceito i). A

parametrização dos valores α e β , bem como o aumento da dimensão do vetor associativo, que representa o nível de conhecimento do aluno para um determinado conceito, permitem alterar o comportamento de adaptação do sistema.

A solução usada para estimar a preferência de aprendizagem do aluno (mapeamento da matriz de Kolb com a estratégia VARK) permite determinar um estilo de aprendizagem dominante. Este estilo de aprendizagem será usado para conduzir a adaptação dos conteúdos e atividades a propor ao aluno.

Ao longo do processo de aprendizagem, a preferência de aprendizagem por um estilo de aprendizagem pode ser alterada. Esta eventual alteração depende do desempenho do aluno na execução das atividades que lhe são apresentadas.

O comportamento adaptativo da ferramenta é baseado na realização de atividades por parte do aluno à medida que este progride no domínio de aprendizagem. O currículo é estabelecido pelo professor, sendo este, no entanto, individualizado pela ferramenta, tendo em conta o nível de conhecimento e preferência de aprendizagem de cada aluno, as suas competências e trajeto de aprendizagem. A Figura 24 ilustra o mecanismo usado para conduzir o comportamento adaptativo da plataforma.

Implementação

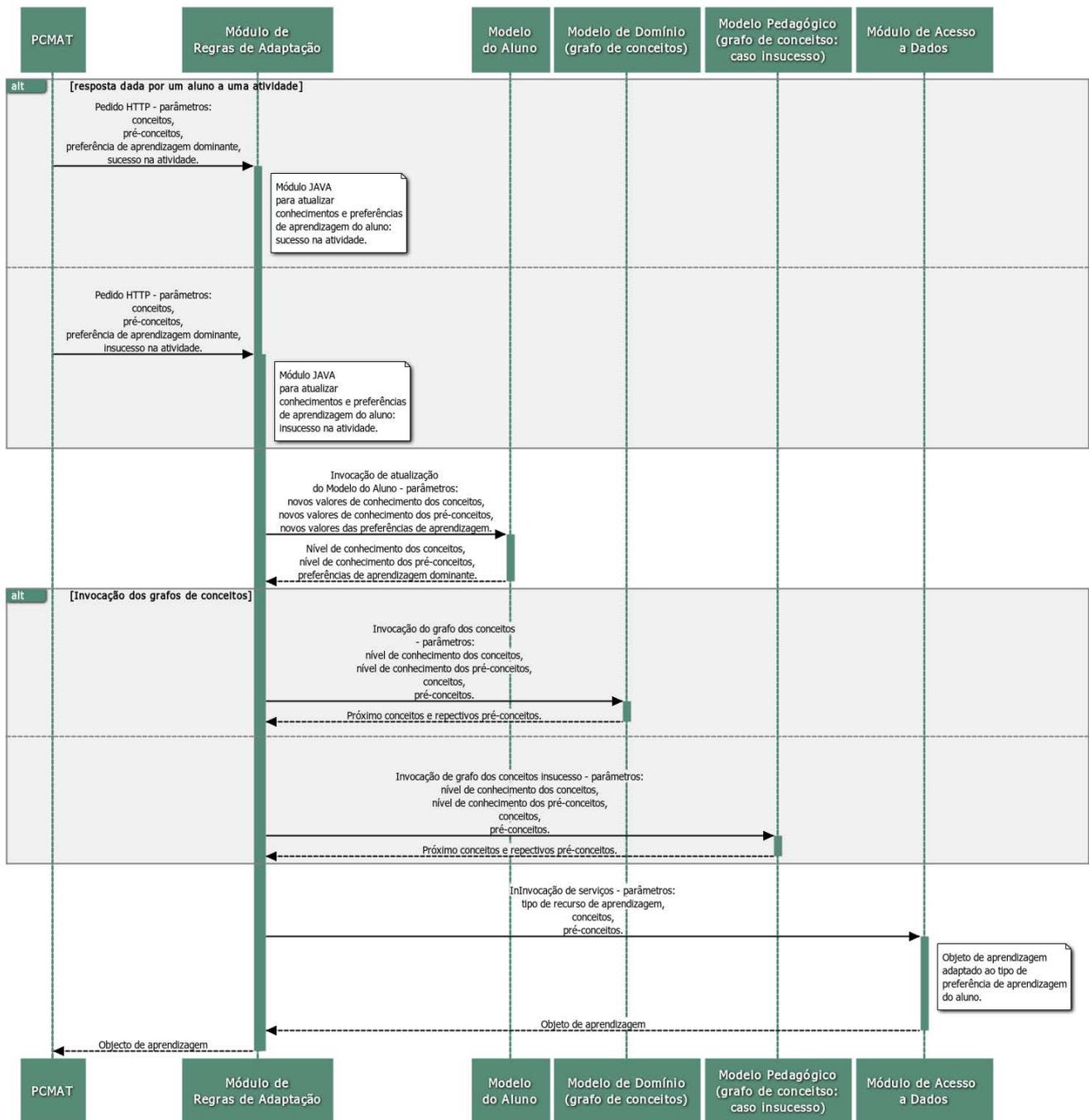


Figura 24 - Comportamento adaptativo da ferramenta na realização de atividades

Os modelos desenvolvidos e a sua respetiva integração permitem dotar o PCMAT das seguintes funcionalidades:

1. Mostrar conteúdos em diferentes formatos, adaptados ao conhecimento e preferência de aprendizagem do aluno;
2. Definir a estrutura das ligações adaptadas ao conhecimento e às preferências de aprendizagem do aluno;
3. Ajustar conteúdos e atividades ao conhecimento e às preferências de aprendizagem do aluno.

A análise, implementação, integração e avaliação das técnicas usadas para adaptar a interação e a navegação no SHA, através da modelação do aluno, irão contribuir para melhorar a eficácia das ferramentas de *e-learning* nas escolas do ensino básico, tornando o processo educativo mais adaptado às necessidades dos alunos.

A disponibilização de uma ferramenta de autoria para a criação das atividades diminui o esforço necessário para a criação dos objetos de aprendizagem (Neven, 2002; Baker, 2010). A disponibilização de uma ferramenta para a criação de meta-informação para descrição dos objetos de aprendizagem permite à ferramenta selecionar os conteúdos mais adequados ao aluno. Por outro lado, esta meta-informação permite a partilha e reutilização dos objetos de aprendizagem do PCMAT.

6 Avaliação

"Mas, não vamos aqui tratar de esperanças e temores,
mas apenas da verdade na medida em que
a razão nos permitir descobri-la."

Charles Darwin

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos relativamente à avaliação da adequação dos modelos e funcionalidades da plataforma PCMAT, aplicada ao ensino da matemática no ensino básico.

6.1 Introdução

A primeira versão do protótipo já foi implementada e avaliada nos processos de aprendizagem da matemática, mais concretamente no tópico “Proporcionalidade Direta”, em duas escolas básicas: escola EB2,3 Dr. Ferreira de Almeida, de Santa Maria da Feira (escola 1) e a escola EB2,3 S. Lourenço, de Ermesinde (escola 2). Este tema está incluído no programa de matemática do 6º ano e é novamente abordado no 7º ano de escolaridade.

O estudo decorreu ao longo de três semanas, em três turmas: uma da escola 1 e duas da escola 2. A primeira turma era constituída por 25 alunos. As duas outras turmas eram constituídas por 17 e por 19 alunos, respetivamente. A idade dos alunos estava compreendida entre os 12 e os 14 anos de idade.

Nenhum dos alunos detinha experiência no uso de SHA. No entanto, mais de 85% estavam familiarizados com o uso de computadores pessoais (PC), nomeadamente para navegar na Internet, frequência de redes sociais e para jogar.

Todos os dados foram armazenados num ficheiro Microsoft Excel, tendo sido de seguida, importados para uma aplicação de tratamento estatístico de dados, o SPSS¹⁸.

¹⁸ SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) é uma aplicação para o tratamento estatístico de dados (<http://www.spss.com/>).

6.2 Processo de avaliação

O processo de avaliação do protótipo foi dividido em 4 fases. Na primeira fase dividiu-se cada turma, de forma aleatória, em dois grupos: grupo experimental e grupo de controlo. O processo aleatório obedeceu a alguns critérios para distribuir os alunos pelos diferentes grupos. Estes critérios foram os seguintes:

- O número de alunos em cada grupo é o mesmo ou aproximado;
- Os alunos excelentes, bons, médios e maus são distribuídos por cada grupo, se possível, na mesma proporção. Além da classificação constante no perfil académico dos alunos, também foi usado um teste diagnóstico para avaliar o conhecimento de cada um em relação ao domínio em questão;
- O número de alunos com as mesmas preferências de aprendizagem é similar em cada grupo. Para esse efeito foi usado um inquérito a fim de definir o estilo de aprendizagem¹⁹;
- A distribuição de alunos por género é semelhante em cada grupo.

Os resultados desta primeira fase foram os seguintes:

- Criação de dois grupos na escola 2 (experimental e controlo), tendo cada um 18 alunos. Em relação à escola 1, o grupo que utilizou o PCMAT tem 12 alunos e o de controlo 13. Além disso, nas duas escolas, cada grupo tem um professor para acompanhar o processo de aprendizagem;
- A análise dos dados relacionada com a preferência de aprendizagem, mostrou que 46,6% dos estudantes do grupo experimental apresentam uma preferência de aprendizagem visual. No grupo de controlo, o valor de preferência de aprendizagem visual foi de 48,4% (Tabela 10).

Tabela 10 - Preferência de aprendizagem por grupo

Grupo/Preferência	Teórico	Visual	Prático
Experimental	20,0%	46,7%	33,3%
Controlo	19,3%	48,4%	32,3%

¹⁹ Inquérito disponível no seguinte url: <http://pcmat.dei.isep.ipp.pt/aha/proporcionalidade/Registration.html>

Assim, com o objetivo de aprender o tópicos proporcionalidade direta, 30 alunos do grupo experimental usaram a plataforma PCMAT e 31 alunos do grupo de controlo frequentaram aulas com a metodologia tradicional de ensino usando o MOODLE²⁰ (*Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment*) como apoio as aulas presenciais.

A segunda fase consistiu na utilização de inquéritos para recolher os dados necessários para instanciar as variáveis do Modelo do Aluno da plataforma PCMAT. A terceira fase, envolveu a resolução de um teste final em papel, igual para todos os alunos (grupos experimental e de controlo). E por fim, a quarta e última fase consistiu na realização de um inquérito para avaliar a adequação, usabilidade e aceitação de algumas funcionalidades do PCMAT.

6.3 Resultados do teste final

Os dados de avaliação recolhidos permitiram obter os seguintes resultados:

- Na escola 1, a média alcançada no teste final pelos alunos do grupo experimental foi superior à média obtida no teste final pelos alunos do grupo de controlo, tendo o primeiro grupo alcançado uma média de 56,9% (desvio padrão (dp) de 18,7) e o segundo grupo uma média de 45,7% (dp=18,5). As diferenças observadas não são estatisticamente significativas ($p=0,164$). No entanto estes valores são um bom indicador de que, com uma amostra maior, se poderiam obter diferenças estatisticamente significativas. Dada a normalidade de distribuição, os dois grupos foram comparados estatisticamente usando o teste t para a comparação de médias entre amostras independentes (*independent samples t-test*), com um nível de significância de 0,05 (5%) (Bland, 2000);
- Na escola 2, a média alcançada no teste final pelos alunos do grupo experimental também é superior à média obtida no teste final pelos alunos do grupo de controlo, tendo o primeiro grupo alcançado uma média de 60,5% (dp=20,8) e o segundo grupo uma média de 43,1% (dp=24,6). As diferenças observadas são estatisticamente significativas ($p=0,035$). Os dois grupos foram estatisticamente comparados usando novamente o teste t para amostras independentes, com um nível de significância de 0,05 (5%);

²⁰ MOODLE (<http://moodle.com/>) é um *Learning Management System* (LMS) *open source* de apoio à aprendizagem

- Juntando os resultados das duas amostras das duas escolas, obtiveram-se os seguintes resultados: a média alcançada no teste final pelos alunos do grupo experimental é positiva e superior à média obtida no teste final pelos alunos do grupo de controle, com um valor médio de 59,1% (dp=19,7) e o segundo grupo com um valor médio de 44,2% (dp=21,8). As diferenças observadas são estatisticamente significativas ($p=0,010$). Esta comparação foi feita usando o teste t para amostras independentes, com um nível de significância de 0,05 (5%).

Para além da análise do desempenho global dos alunos, procedeu-se também a um estudo semelhante aplicado a cada conceito. No entanto, procedeu-se à junção dos resultados das duas escolas, no sentido de se conseguir uma amostra maior. O teste para realizar a comparação estatística foi o teste não paramétrico de Mann-Whitney, pelo fato de estarmos, nestes casos, perante distribuições não normais. Concluiu-se que as distribuições não são normais ($p<0,05$) depois de se ter aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultados obtidos usando o teste de Kolmogorov-Smirnov para cada conceito

Conceito	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	B5	Teste final
P	0,017	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000	0,0015	0,001	0,000	0,691

Analisando os resultados descritos na Tabela 12, verificou-se que para os conceitos A2 (razões equivalentes), A4 (aplicação do conceito da razão) e B4 (regra de três simples), com valores de $p<0,05$ ($p=0,036$, $p=0,005$ e $p=0,020$, respetivamente), as diferenças encontradas são estatisticamente significativas (Tabela 12).

Em todos os conceitos, a aquisição de conhecimento alcançada pelos alunos do grupo experimental foi superior a dos alunos do grupo de controle (Tabela 12). No entanto, somente nos resultados obtidos relativos aos conceitos A2, A4 e B4 é que existe significado estatístico ($p<0,05$) (Tabela 12).

Tabela 12 - Comparação estatística para cada conceito (teste não paramétrico de Mann-Withney)

	Grupos	Média	Ranking médio	P
A1	Controlo	43,69	27,54	0,671
	Experimental	50,60	29,33	
A2	Controlo	57,69	23,85	0,036
	Experimental	79,00	32,53	
A3	Controlo	28,67	15,60	0,381
	Experimental	43,33	18,17	
A4	Controlo	15,53	12,23	0,005
	Experimental	57,39	20,97	
B1	Controlo	72,12	26,23	0,188
	Experimental	86,67	30,47	
B2	Controlo	31,92	26,85	0,410
	Experimental	42,67	29,93	
B3	Controlo	60,00	25,58	0,198
	Experimental	72,33	31,03	
B4	Controlo	35,58	23,35	0,020
	Experimental	63,33	32,97	
B5	Controlo	8,65	26,69	0,246
	Experimental	19,17	30,07	

Os conceitos mencionados pelos professores como sendo os de mais difícil compreensão são os seguintes: A4 (aplicar conceito da razão), B4 (regra de três simples) e B5 (métodos de redução à unidade). A média dos resultados alcançados nos conceitos A4 e B4 pelos alunos que usaram a plataforma foi positiva. Em contrapartida, os alunos que não usaram a plataforma alcançaram, nos três conceitos, resultados negativos (Tabela 12).

Excetuando os conceitos B2 e B5, as médias de resultados alcançados pelos alunos do grupo experimental foram positivas. Em contrapartida, somente nos conceitos A2, B1 e B3 é que as médias de resultados dos alunos do grupo de controlo foram positiva.

Os resultados da avaliação obtidos através do teste final, sendo estatisticamente significativos, confirmam a hipótese de que a integração dos vários modelos (Modelos do Aluno, de Domínio e Pedagógico), assim como as funcionalidades oferecidas pelo PCMAT, contribuem para que os alunos alcancem melhores resultados. Mesmo os dados estáticos onde não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas apontam no sentido da eficácia da ferramenta de aprendizagem. No entanto, a realização de novos testes, usando amostras de maiores dimensões, poderá confirmar a relevância do uso da plataforma.

6.4 Preferências de aprendizagem

O PCMAT permite monitorizar e adaptar as preferências de aprendizagem de cada aluno (Secção 5.5). Como se pode verificar pelos dados obtidos na Tabela 13, não existem diferenças significativas na alteração percentual do tipo de preferência de aprendizagem entre os momentos inicial e final.

Tabela 13 - Alteração percentual do tipo de preferência de aprendizagem

	Preferência de aprendizagem inicial	Preferência de aprendizagem final
Teórico	20,0%	16,7%
Visual	46,7%	53,3%
Prático	33,3%	30,0%

A percentagem da preferência de aprendizagem inicial foi obtida através da realização de um inquérito, cujos resultados foram usados para instanciar as variáveis do Modelo do Aluno. Os valores finais correspondem aos valores registados no Modelo do Aluno no final da experiência. Verificou-se que dois alunos com perfil de aprendizagem teórico passaram a ter perfil visual e um aluno com perfil inicial do tipo prático evoluiu para um perfil do tipo teórico. Todos estes alunos alcançaram um resultado positivo no teste final.

Em resumo, estes dados estatísticos permitem validar o processo definido no PCMAT para manter o registo das preferências de aprendizagem de cada aluno. No entanto, será necessário uma amostra maior para confirmar a relevância dos dados.

Calculando a média alcançada no teste final pelos alunos do grupo experimental por preferência de aprendizagem, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, $p=0,213$ (Tabela 14). Usou-se o teste *One-way ANOVA* para a comparação das médias nos 3 grupos.

Tabela 14 - Média obtida no teste final por preferência de aprendizagem no grupo experimental

Preferência de aprendizagem inicial	Média de resultados obtidos no teste final
Teórico	57,0%
Visual	64,6%
Prático	49,6%

Este conjunto de dados estatísticos apontam no sentido de que a adaptação dos conteúdos e atividades às preferências de aprendizagem do aluno poderá possibilitar a obtenção de melhores resultados. No entanto, não havendo diferenças estatisticamente significativas nos

resultados obtidos, não podemos cabalmente concluir esse facto. Será assim necessário uma amostra de maiores dimensões para que se possa validar esta hipótese.

As opiniões evidenciadas pelo professores envolvidos na experimentação são que a capacidade da plataforma PCMAT para adaptar os conteúdos e atividades às preferências de aprendizagem dos alunos foi um fator fundamental para que a aquisição de conhecimento alcançada pelos alunos do grupo experimental tenha sido superior à aquisição de conhecimento obtida pelos alunos do grupo de controlo.

No entanto, apesar desta conclusão não ter ainda significado estatístico, os dados obtidos são bons indicadores, que esperamos virem a ser comprovados através da utilização de uma amostra de maiores dimensões.

Foi ainda referido pelos docentes envolvidos que, em relação aos alunos do grupo de controlo, não houve adaptação das aulas lecionadas às preferências de aprendizagem de cada aluno.

6.5 Resultados dos inquéritos de usabilidade

Em primeiro lugar, apresentam-se os resultados obtidos na determinação da aceitação do PCMAT. Em segundo, surgem os resultados obtidos na determinação do grau de utilidade e de dificuldade no uso de cada funcionalidade. Em último lugar, são apresentados os dados resultantes da frequência de utilização da plataforma, bem como se esta deveria ser usada noutras disciplinas. Os inquéritos aplicados nas duas escolas foram idênticos (Anexo B).

6.5.1 Aceitação do PCMAT

Para avaliar a aceitação do PCMAT, foi usada uma escala de 1 a 4 (Tabela 15). Caso o inquirido não tenha opinião, pode optar pela coluna “Sem opinião”.

Tabela 15 - Escala utilizada nos inquéritos

	Escala
Discordo totalmente	1
Discordo maioritariamente	2
Concordo maioritariamente	3
Concordo totalmente	4
Sem opinião	0

Os resultados obtidos na escola 1 e na escola 2 mostraram uma grande aceitação da plataforma por parte dos alunos (Tabela 16). Foram inquiridos todos os alunos que usaram a plataforma (12 na escola 1 e 18 na escola 2). A taxa de resposta foi de 100%.

Com o intuito de avaliar se os alunos consideram que a plataforma PCMAT é uma ferramenta relevante para apoio à aprendizagem fora de aulas, foi incluída a seguinte afirmação: “O PCMAT facilita o estudo da disciplina fora de aulas”. O resultado da análise das respostas foi claro nas duas escolas: 83,4% na escola 1 e 100% na escola 2, o que indica que os alunos concordaram que o PCMAT ajuda o estudo da matéria fora de aulas. No entanto, somente 59,0% dos inquiridos da escola 1 concordam que a plataforma facilita o estudo durante as aulas, mas em contrapartida, a percentagem dos alunos com igual opinião na escola 2 sobe para 93,3%. A menor percentagem obtida na escola 1 deve-se à elevada percentagem (41,0%) de respostas “Sem opinião” (Tabela 16).

No que diz respeito às afirmações, "O PCMAT é de fácil acesso", "A informação do PCMAT está bem organizada, ou seja, encontra-se facilmente aquilo que se procura", "Consegue-se aceder facilmente aos conteúdos da disciplina no PCMAT" e "Consegue-se aceder facilmente às atividades do PCMAT", os resultados globais dos alunos inquiridos que responderam afirmativamente são bastante semelhantes e situam-se acima de 65% (Tabela 16). Estes dados são um bom indicador sobre a adequação, usabilidade e aceitação do SHA PCMAT por parte dos alunos.

Em relação à opinião sobre se “Recomendava o uso do PCMAT”, 91,7% dos participantes na escola 1 e 93,4% na escola 2 responderam afirmativamente (Tabela 16). Estes dados reforçam a tese da aceitação da plataforma pelos alunos. Os resultados obtidos nesta afirmação estão de acordo com a percentagens de respostas afirmativas à frase “Gostava que todas os professores usassem o PCMAT nas respetivas aulas”. Com efeito, 83,4% dos participantes na escola 1 e 100% na escola 2 responderam afirmativamente.

Na afirmação sobre se o “PCMAT é útil para melhorar os seus resultados na disciplina”, 91,7% dos participantes da escola 1 e 93,4% na escola 2 concordam. Estes valores traduzem uma opinião favorável dos alunos sobre a contribuição da plataforma para a obtenção de melhores resultados em matemática.

Na afirmação de que “O PCMAT tem um bom grafismo/*design*”, os resultados não foram tão positivos: 25,0% dos inquiridos discordam na escola 1 (Tabela 16), o que aponta para um aspeto a ser melhorado na plataforma.

Tabela 16 - Percentagens obtidas sobre aceitabilidade e usabilidade do PCMAT

	Discordo totalmente		Discordo maioritariamente		Concordo maioritariamente		Concordo totalmente útil		Sem opinião	
	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2
O PCMAT facilita o estudo fora de aulas	0,0	0,0	8,3	0,0	33,4	33,3	50,0	66,7	8,3	0,0
O PCMAT facilita o estudo durante as aulas	0,0	0,0	0,0	6,6	17	46,6	42,0	46,7	41,0	0,0
A informação do PCMAT está bem organizada, ou seja encontro facilmente aquilo que procuro	0,0	0,0	16,7	0,0	25,0	20,0	58,3	73,4	0,0	6,6
O PCMAT tem um bom grafismos	0,0	0,0	25,0	6,6	33,3	53,4	33,4	40,0	8,3	0,0
O PCMAT é de fácil acesso	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	40,0	66,7	53,4	8,3	6,6
Consegue aceder facilmente aos conteúdos do PCMAT	0,0	0,0	0,0	0,0	41,7	40,0	50,0	60,0	8,3	0,0
O PCMAT é útil para melhorar os seus resultados na disciplina	0,0	0,0	8,3	0,0	58,4	46,7	33,3	46,7	0,0	6,6
Recomendava o uso de PCMAT	0,0	0,0	8,3	0,0	58,4	20,0	33,3	73,4	0,0	6,6
Gostava que todos os professores usassem o PCMAT nas respetivas aulas	0,0	0,0	8,3	0,0	33,4	33,3	50,0	66,7	8,3	0,0
Consegue aceder facilmente as atividades do PCMAT	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	40,0	58,4	60,0	16,6	0,0

6.5.2 Utilidade e dificuldade no uso das funcionalidades

Em relação à utilidade no uso de cada funcionalidade do PCMAT foi usado uma escala de 1 a 4 (Tabela 17). Caso o inquirido não conheça a funcionalidade, pode, escolher a opção “Não conheço”.

Tabela 17 - Escala utilizada nos inquéritos

	Escala
Inútil	1
Pouco útil	2
Útil	3
Muito útil	4
Não conheço	0

Em relação à dificuldade no uso das funcionalidades da plataforma, foi usada a escala representada na Tabela 18. Caso o inquirido não conheça a funcionalidade, pode indicar a opção “Não conheço”.

Tabela 18 - Escala utilizada nos inquéritos

	Escala
Difícil	1
Pouco fácil	2
Fácil	3
Muito Fácil	4
Não conheço	0

As respostas aos inquéritos foram de 100%, isto é, a totalidade dos alunos do grupo experimental (12 na escola 1 e 18 na escola 2).

Existe uma natural concordância entre a classificação do grau de utilidade de cada uma das ferramentas do PCMAT (Tabela 19) e o grau de dificuldade na utilização de cada uma das ferramentas do PCMAT (Tabela 20).

Esta concordância é mais evidente em relação à questão sobre a avaliação dos “Índices de conteúdos”, com 76% de correspondências ($\kappa^{21}=0,54$), e é menos evidente para a pergunta sobre “Funcionalidades de *links*”, com 62% ($\kappa=0,21$) (Anexo B).

Nas restantes questões, nomeadamente “Conteúdos” e “Atividades”, existe uma correspondência de 64%, com o coeficiente kappa igual a 0,33 e 0,38, respetivamente.

²¹ Kappa é uma medida de concordância. A escala usada foi a de Landis e Koch (1977).

A funcionalidade que obteve percentagens mais elevadas de aceitação foi a das “Atividades”: 100% na escola 1 e 100% na escola 2 (Tabela 19).

Tabela 19 - Utilidade no uso de cada funcionalidade do PCMAT

	Inútil		Pouco útil		Útil		Muito útil		Não conheço	
	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2
Índice de conteúdos	0,0	0,0	0,0	73,4	75,0	0,0	16,7	26,6	8,3	0,0
Conteúdos	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	33,3	50,0	66,7	0,0	0,0
Atividades	0,0	0,0	0,0	0,0	41,7	40,0	58,3	60,0	0,0	0,0
Links	0,0	0,0	8,3	13,3	66,7	53,4	25,0	33,3	0,0	0,0

A funcionalidade que obteve percentagens mais elevadas de usabilidade foi a das “Atividades”: 100% na escola 1 e 93,4% na escola 2 (Tabela 20).

Tabela 20 - Dificuldade no uso de cada funcionalidade do PCMAT

	Difícil		Pouco fácil		Fácil		Muito fácil		Não conheço	
	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2	Escl.1	Escl.2
Índice de conteúdos	0,0	0,0	0,0	13,3	66,7	53,4	25,0	33,3	8,3	0,0
Conteúdos	0,0	6,7	0,0	6,6	66,7	53,4	33,3	33,3	0,0	0,0
Atividades	0,0	0,0	0,0	6,6	41,7	73,4	58,3	20,0	0,0	0,0
Links	0,0	13,3	0,0	13,4	41,7	46,7	33,3	26,6	25,0	0,0

6.5.3 Frequência do uso da plataforma

No que diz respeito à frequência do uso da plataforma, na escola 1, 33,3% dos inquiridos usaram a plataforma pelo menos uma vez por semana fora de aulas e 66,7% mais de uma vez por semana. Na escola 2, os dados indicam que 53,3% usaram a plataforma pelo menos uma vez por semana e 40% mais de uma vez (Tabela 21).

Tabela 21 - Frequência do uso da plataforma

Frequência do uso da plataforma	Escola 1	Escola 2
Nunca	0,0%	0,0%
Pelo menos uma vez por semana	33,3%	53,3%
Mais de uma vez por semana	66,7%	40%
Todos ou quase todos os dias	0,0%	0,0%

No que concerne à questão dicotômica sobre se “Gostariam que outras disciplinas pudessem funcionar com o PCMAT?”, a resposta foi 91,7% afirmativa na escola 1 e de 100% na escola 2. Estas respostas estão concordantes com a resposta dada sobre a aceitação do PCMAT, nomeadamente em relação à questão “Gostava que todas os professores usassem o PCMAT nas respetivas aulas”. Nesta questão, 83,4% dos inquiridos na escola 1 e 100% na escola 2 concordaram (Tabela 16).

6.6 Sumário

Os dados obtidos vieram mostrar que a solução inovadora, desenvolvida para implementar o Modelo do Aluno, é válida. A definição das características do aluno representadas e a solução híbrida do uso da técnica do método *Overlay* e de estereótipos para a representação do conhecimento do utilizador obtiveram resultados positivos com significado estatístico. Além disso, os resultados obtidos validam a nossa convicção de que o presente trabalho permitiu definir um novo Modelo Pedagógico para os SHA educacionais. Este modelo possibilite aos alunos melhorarem os resultados da matemática em escolas do ensino básico.

A análise dos dados, que demonstrou ser muito positiva, também é um indicador forte para a validação da arquitetura concebida no âmbito do PCMAT e destinada à implementação de SHA educacionais em escolas do ensino básico.

A aquisição média de conhecimento nos conceitos A2, A4 e B4 pelos alunos do grupo experimental foi positiva e superior à aquisição média obtida pelos alunos do grupo de controlo. Também a média dos resultados alcançados no teste final pelos alunos que usaram o PCMAT foi superior à média dos resultados obtidos no teste final pelos alunos do grupo de controlo. Como existe significado estatístico nestes dados, conclui-se que o SHA desenvolvido possibilita aos alunos melhorar os resultados na matemática.

Alguns resultados obtidos com significado estatístico também permitem suportar a tese de que o uso das preferências de aprendizagem adequadas ao aluno contribui para melhorar os seus resultados no domínio da matemática.

Adicionalmente, os professores envolvidos na experimentação do protótipo são da opinião que os alunos do grupo experimental aumentaram as suas competências, no que diz respeito à proporcionalidade direta, devido, sobretudo, à evidência de que os conteúdos e atividades adaptadas às preferência de aprendizagem dos alunos facilitaram a aquisição de

conhecimento. Em contrapartida, não existiu adaptação dos conteúdos e atividades às preferências de aprendizagem por cada um dos alunos do grupo de controlo.

Estas opiniões foram resultantes das observações efetuadas pelos professores envolvidos no estudo. No entanto, estes bons indicadores não têm significado estatístico. Os resultados alcançados sobre usabilidade e aceitação da plataforma pelas alunos foram muito positivos. No entanto, o aspeto gráfico da aplicação deve ser melhorado.

A opinião dos alunos de que o PCMAT deveria ser usado em outras disciplinas foi de encontro à opinião dos professores envolvidos na experimentação do protótipo.

A análise dos dados originou resultados que correspondem a indicadores fortes de que a capacidade de adaptação destas ferramentas em relação às diferentes necessidades e à diversidade de preferências de aprendizagem de cada aluno é necessária para se alcançar maior eficácia e eficiência no processo de aprendizagem. Tal conclusão poderá eventualmente vir a ser reforçada com mais resultados com significado estatístico se a experiência for realizada com uma amostra de maiores dimensões.

7 CONCLUSÕES

"Ah! Mas isso é que não!

Ninguém se iluda!

Ninguém pense que vou desanimar!..."

Miguel Torga

A realização deste trabalho centrou-se principalmente na questão de conceber um sistema híbrido inovador, que permitiu relacionar a representação do conhecimento, preferências de aprendizagem e estilos de aprendizagem do aluno com um Modelo Pedagógico, dinâmico e as regras de adaptação que usam objetos de aprendizagem compatíveis com a norma IEEE LOM, para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico (Secção 5).

Na primeira fase deste investigação, a análise das soluções existentes e do estado da arte nas áreas científicas da modelação de utilizadores e dos SHA teve como resultado a publicação de um *survey* sobre modelação do utilizador em SHA na "*Educational Technology & Society* (ISSN 1436-4522) [*Journal indexado no Social Sciences Citation Index* (listado em *Web of Science*)]" (Martins, 2008a). Nesta fase chegou-se à conclusão de que:

- A arquitetura global dos SHA indica que estes devem ter três partes essenciais: um Modelo de Utilizador, um Modelo de Domínio e um Modelo Pedagógico (Secção 2.2.1);
- Nos SHA educacionais, o realce é colocado no conhecimento do aluno relacionado com o domínio, no sentido de tornar a adaptação mais efetiva (Chepegin, 2004). O método de *Overlay* para representar o Modelo do Aluno é a implementação mais utilizada nos SHA educacionais (Brusilovsky, 2001; Brusilovsky, 2007);
- No que diz respeito ao conjunto de características a usar na definição do Modelo do Aluno, este é dependente da finalidade de cada sistema (Martins, 2008a).

A investigação na área da modelação do utilizador aplicada aos SHA vai no sentido de possibilitar a reutilização de cada Modelo do Aluno em diferentes sistemas (Chepegin, 2004). Como consequência, as normas são cada vez mais relevantes para esse efeito, permitindo aos

sistemas comunicar e partilhar dados, componentes e estruturas, aos níveis sintático e semântico (Chepegin, 2004).

Uns dos elementos importantes a representar no Modelo do Aluno é o estilo de aprendizagem, que é geralmente entendido como uma característica do aluno associada a um modelo que descreve de que forma a aprendizagem do aluno se processa de forma mais eficiente.

O modelo de estilos de aprendizagem proposto por Kolb é baseado na abordagem de como é processada a informação. Neste modelo, os estilos de aprendizagem definidos são os seguintes: sentir e ver, ouvir e pensar, fazer e pensar e fazer e sentir (Martins, 2012).

A estratégia VARK permitida obter informações acerca da preferência de aprendizagem dos alunos (Martins, 2012). Nesta estratégia, o estudante é classificado numa de três categorias de preferência de aprendizagem: Aprendizagem Visual; Aprendizagem Teórica ou Aprendizagem Prática (Martins, 2012).

Na área científica da modelação do utilizador, a experimentação e implementação já efetuadas em algumas investigações e sistemas já desenvolvidos ainda são muito escassas para se poder concluir da sua utilidade (Faria, 2002; Martins, 2008a; Martins, 2012).

Os estilos de aprendizagem devem estar relacionados com as preferências e estratégias de aprendizagem para os quais os alunos estão mais disponíveis (Martins, 2012). Em resumo, todas estas considerações apresentadas anteriormente serviram de base a definição do SHA proposto.

7.1 Objetivos alcançados

A questão central que orientou o trabalho foi a seguinte:

A definição adequada de estratégias de adaptação e de uma arquitetura para a implementação de uma plataforma educacional baseada em hipermédia adaptativa permite apoiar e melhorar o desempenho dos alunos de matemática ao nível do segundo ciclo do ensino básico?

A proposição para analisar esta questão central neste estudo foi:

A avaliação da definição adequada de estratégias de adaptação e de uma arquitetura de SHA educacionais para o complemento do ensino tradicional presencial da matemática nas escolas de ensino básico do segundo ciclo é mensurável através da observação dos atores principais do processo de inovação na organização, ou seja professores, alunos e a sua interação com a tecnologia.

Os resultados obtidos no secção 6 permitem comprovar esta proposição e responder à questão central, com base em dados recolhidos através de inquéritos aos alunos, da observação e experimentação. Foi feita a avaliação da adequação do sistema desenvolvido através da utilização do protótipo em duas escolas: escola EB2,3 Dr. Ferreira de Almeida, de Santa Maria da Feira (escola 1), e escola EB2,3 S. Lourenço de Ermesinde (escola 2).

A análise dos resultados demonstrou que a solução desenvolvida permitiu, na maior parte dos casos, ao estudante consolidar conhecimentos, de forma autónoma e com apoio permanente, através de metodologias de ensino e atividades educacionais exploradas de forma construtivista (Secção 6).

O significado estatístico associado aos resultados também permite comprovar que a hipótese colocada de que o uso das preferências de aprendizagem adequadas ao aluno contribui para melhorar os seus resultados no domínio da matemática é verdadeira.

Esta conclusão é reforçada pelos resultados alcançados no teste final pelos alunos que não usaram o PCMAT. A média dos resultados obtidos por estes alunos no teste final foi inferior à média obtida pelos alunos do grupo experimental. Como comprovado na secção 6, existe significado estatístico nestes dados, o que leva a concluir que o protótipo desenvolvido possibilita aos alunos melhorar os resultados na matemática.

Por outras palavras, os dados recolhidos são bons indicadores para se poder concluir que as estratégias de adaptação e a arquitetura usadas na implementação do protótipo da plataforma educacional baseada em hipermedia adaptativa permitiu apoiar e melhorar o desempenho dos alunos de matemática ao nível do segundo ciclo do ensino básico.

Os objetivos traçados inicialmente neste trabalho de investigação foram plenamente alcançados. O objetivo geral, materializado pelo cumprimento dos objetivos específicos, foi o de definir e validar uma nova estratégia e uma arquitetura para a implementação de SHA educacionais para apoiar e melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico (Secção 5.2). A análise dos dados efetuada permite afirmar que existe um indicador forte para a validação da arquitetura concebida no âmbito do PCMAT e destinada à implementação de SHA educacionais em escolas do ensino básico.

As características do Modelo do Aluno necessárias para a correta representação da informação, do conhecimento, das preferências e dos estilos de aprendizagem para conduzir os mecanismos de adaptação do SHA no domínio considerado em que incidiu o estudo foram descritas e validadas (Secção 5.3).

A solução usada para a modelação do conhecimento e da preferência de aprendizagem do aluno baseia-se no desenvolvimento de uma solução simples e flexível que se apresenta como sendo uma inovação (Secção 5.3)(Martins 2012).

Na definição dos estilos de aprendizagem foi usado o modelo de Kolb (Kolb, 2005). Para a identificação das preferências de aprendizagem foi usada a estratégia VARK (Martins, 2008b). Cada conteúdo e atividade do PCMAT foram categorizados de acordo com a classificação de VARK (Martins, 2012).

O mapeamento entre as preferências de aprendizagem da estratégia VARK e os estilos de aprendizagem de Kolb permite ao sistema decidir qual o tipo de conteúdo ou atividade mais adequados a apresentar ao estudante. Esta solução permitiu determinar um estilo de aprendizagem dominante. Este estilo de aprendizagem foi usado para conduzir a adaptação dos conteúdos e atividades a propor ao aluno.

Os dados obtidos com a experiência vieram demonstrar que a solução inovadora, desenvolvida para implementar o Modelo do Aluno, é válida (Secção 6.6). A definição das

características do aluno representadas e a solução híbrida do uso da técnica *Overlay* e de estereótipos para a representação do conhecimento do utilizador (Secção 5.3) permitiram obter resultados positivos com significado estatístico (Secção 6.6).

O Modelo Pedagógico, contemplando a definição das regras de adaptação e dos mecanismos de interação com o utilizador e a aplicação, usado para melhorar a aprendizagem da matemática nas escolas de ensino básico, ao nível do segundo ciclo, foi criado e validado (Secção 5.5). Neste modelo, o currículo é estabelecido pelo professor, sendo este, no entanto, individualizado pela ferramenta, tendo em conta o nível de conhecimento e preferência de aprendizagem de cada aluno, as suas competências e trajeto de aprendizagem (secção 5.5).

Os modelos desenvolvidos e a sua integração permitiram dotar o PCMAT das seguintes funcionalidades:

1. Mostrar conteúdos, atividades e definir a estrutura das ligações adaptados ao conhecimento e à preferência de aprendizagem do aluno;
2. Ajustar conteúdos e atividades ao conhecimento e às preferências de aprendizagem do aluno.

Além disso, os resultados obtidos validam a nossa convicção de que o presente trabalho permitiu definir um novo Modelo Pedagógico para os SHA educacionais (Secção 6). No modelo proposto, as regras de adaptação são baseadas numa abordagem construtivista, avaliando o nível de conhecimento dos utilizadores e apresentando conteúdos e atividades adaptadas às características e preferências de aprendizagem do aluno. O Modelo Pedagógico é ainda responsável pela atualização do perfil do aluno, que é efetuada a partir dos resultados obtidos nas atividades e na monitorização do utilizador.

A análise, implementação, integração e avaliação das técnicas usadas para adaptar a interação e a navegação no protótipo, a partir do conhecimento descrito no Modelo do Aluno, pode contribuir para melhorar a eficácia das ferramentas de *e-learning* nas escolas do ensino básico, tornando o processo educativo mais adaptado às necessidades dos alunos (Secção 6.6).

A disponibilização de uma ferramenta para a criação de meta-informação para descrição dos objetos de aprendizagem permitiu a partilha e reutilização dos objetos de aprendizagem do PCMAT (Secção 5.6).

Adicionalmente, os professores envolvidos na experimentação do protótipo foram da opinião que os alunos do grupo experimental aumentaram as suas competências, no que diz respeito à proporcionalidade direta, devido, sobretudo, à evidência de que os conteúdos e atividades adaptadas às preferências de aprendizagem dos alunos facilitaram a aquisição de conhecimento.

Os resultados alcançados sobre usabilidade e aceitação da plataforma por parte dos alunos foram muito positivos. No entanto, concluiu-se também que o aspeto gráfico da aplicação deve ser melhorado.

Em resumo, a análise dos dados originou resultados que correspondem a indicadores fortes de que a capacidade de adaptação do protótipo em relação às diferentes necessidades e à diversidade de preferências de aprendizagem de cada aluno foi fundamental para se alcançar maior eficácia e eficiência no processo de aprendizagem da matemática no ensino básico. Tal dedução poderá eventualmente vir a ser reforçada com mais resultados com significado estatístico se a experiência for realizada com novas amostras de maiores dimensões.

Por outras palavras, a plataforma PCMAT pode contribuir para aumentar a literacia matemática de alunos portugueses do ensino básico.

7.2 *Desenvolvimentos futuros*

Encontramo-nos num contexto em que existe uma crescente disponibilidade e qualidade de plataformas para a gestão de conteúdos de ensino/aprendizagem, em que é crescente a pressão social para a adopção das novas tecnologias e em que a utilização de modelos e contextos pedagógicos adequados não acompanha, necessariamente, as evoluções tecnológicas (Martins, 2003).

O conhecimento sobre o próprio processo de inovação, mais especificamente o processo de mudança pedagógica e organizacional que lhe está associado, é um dos objetivos que traçamos como futura investigação.

Pretende-se alargar o protótipo a outros domínios da matemática no ensino básico e realizar a experiência com uma amostra de maiores dimensões, com o propósito de obter mais resultados com significado estatístico ainda maior.

Outro aspeto que será investigado é o da possibilidade de considerar a atribuição de recursos ao aluno que não correspondam ao tipo de aprendizagem preferencial dominante do aluno. De acordo com alguns estudos (Mota, 2008) há vantagens para o processo de aprendizagem do aluno sugerir conteúdos que não sejam compatíveis com sua preferência de aprendizagem. A apresentação de outros tipos de conteúdos poderá estimular a preferências de aprendizagem não dominantes que deveriam ser treinadas no sentido de melhorar a capacidade de aprendizagem dos alunos (Montgomery, 1998). Segundo Grasha (1996), os docentes deveriam colocar atividades correspondente aos estilos de aprendizagem mais fracos dos alunos com o objetivo de as desenvolver.

Outro área que será estudada e que será incorporada no Modelo Pedagógico do PCMAT está relacionada com as emoções e com a forma como estas influenciam o processo de aprendizagem de um aluno. Por outras palavras, pretendemos que a plataforma seja capaz de analisar os estados emocionais do aluno e que consiga provocar as emoções adequadas para promover uma aprendizagem mais eficaz.

Outra opção de investigação a ser desenvolvida será a de possibilitar o acesso à plataforma a partir de outros tipos de dispositivos, nomeadamente através das tecnologias móveis.

Outro aspeto a considerar, e já referido anteriormente como um aspeto menos positivo da plataforma, diz respeito ao design da plataforma; neste sentido, a curto prazo, o grafismo do PCMAT será alterado de forma a ser mais apelativo.

Por fim, pretende-se ainda dotar a plataforma PCMAT de outras funcionalidade como por exemplo:

- A possibilidade das atividades corresponderem a jogos matemáticos interativos adaptados ao conhecimento e aprendizagem do aluno. A disponibilização destes recursos poderá ser facilitada pela adoção da norma IEEE LOM para a descrição de conteúdos, possibilitando assim o acesso a repositórios externos em que os conteúdos estejam descritos através dessa norma;
- A consulta de notícias de atividades de matemática, nomeadamente EQUAmat²² e concursos a decorrer a nível nacional e internacional;

²² EQUAmat é competição nacional da matemática á distancia realizada todos os anos entre escolas - http://pmate4.ua.pt/compete/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=84

- Dotar a plataforma com a capacidade para processar respostas dos alunos expressas em linguagem natural;
- Implementar funcionalidades colaborativas, nomeadamente ligadas às redes sociais;
- A representação das regras de adaptação é feita através de um ficheiro XML. Caso seja necessário alterar as regras, o utilizador deverá conhecer a sintaxe XML. No sentido de facilitar este processo, será desenvolvida uma ferramenta de autoria que permita a alteração das regras de adaptação de forma mais simples.

REFERÊNCIAS

- Awbrey, S. (1996). Successfully Integrating New Technologies into the Higher Education Curriculum. *Education Technology Review*, 6, 7-9-17.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W.H. Freeman, New York.
- Barker, P., Campbell, L. M. (2010). Metadata for learning materials: an overview of existing standards and current developments. *Journal of Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 7(3– 4), 225–243.
- Barton, R. (2004). *Teaching Secondary Science with ICT*. New York: Open University Press, McGraw-Hill Education.
- Benyon, D. (1993). Adaptive systems: A solution to usability problems. *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 3(1), 65–87.
- Bland, M. (2000). *An introduction to medical statistics*, 3rd ed. Oxford: Oxford University Press.
- Böcker et al., (1990). ADAPT: Individualizing Hypertext. In *Human-Computer Interaction - INTERACT'90*, pages 931–936, Amsterdam, The Netherlands.
- Brajnik, G., & Tasso, C. (1994). A shell for developing non-monotonic user Modeling systems. *International Journal of Human-Computer Studies* 40 , 31-62.
- Brown, E., Fisher, T, Brailsford, T. (2007). Real Users, Real Results: Examining the Limitations of Learning Styles within AEH. *Proc. 18th Conf. Hypertext and Hypermedia*, pp. 57-66.
- Brown, J. S., & Burton, R. (1978). A paradigmatic example of an artificially intelligent instructional system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 10 , 323-339.
- Brusilovsky P., Pesin, L., and Zyryanov M. (1993). Towards an adaptive hypermedia component for an intelligent learning environment. In Bass L.J., Gornostaev J. and Unger C. (eds.) *Human-Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science*, v. 753, Springer-Verlag, Berlin, 1993, 348-35.

Brusilovsky, P. and Beaumont, I. (eds.) (1994). Proceedings of the Workshop Adaptive Hypertext and Hypermedia at 4th International Conference on User Modeling, UM97. Hyannis, MA.

Brusilovsky, P. (1996). Adaptive hypermedia: An attempt to analyze and generalize. In P. Brusilovsky, P. Kommers, N. Streitz (Eds.), *Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality*, 1077, pp. 288–304. Berlin: Springer.

Brusilovsky, P. (1998). Adaptive Educational Systems on the World-Wide-Web: A Review of Available Technologies. In: Proceedings of Workshop "WWW-Based Tutoring" at 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'98), San Antonio, TX, August 16-19.

Brusilovsky, P., De Bra, P. (eds.) (1998). Proceedings of the Second Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia at Ninth ACM International Hypertext Conference, Hypertext'98. Pittsburgh, USA. Also available as Report No. 98/12, Computer Science Reports, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands.

Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), 87–110.

Brusilovsky, P. (2003). Developing adaptive educational hypermedia systems: From design models to authoring tools. In: T. Murray, S. Blessing and S. Ainsworth (eds.): *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environment*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 377-409.

Brusilovsky, P. and Nejdil, W. (2005). Adaptive Hypermedia and Adaptive Web. In: M. P. Singh (ed.) *Practical Handbook of Internet Computing*. Baton Rouge: Chapman Hall & CRC Press, pp. 1.1-1.14.

Brusilovsky, P. (2007). Adaptive navigation support. In: P. Brusilovsky, A. Kobsa and W. Neidl (eds.): *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization*. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4321, Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, pp. 263-290.

Brusilovsky, P. (2012). Adaptive Hypermedia for Education and Training. In: P. Durlach and A. Lesgold (eds.): Adaptive Technologies for Training and Education. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 46-68.

Carr, D. (1998). The Art of Asking Questions in the Teaching of Science. *School Science Review*, 79(289), 47-50.

Cardoso, E.L., Machado, B.A. (2001). “A Problemática da Adopção de Ambientes de Ensino Distribuído no Ensino Superior”, 2ª Conferência APSI.

Cardoso, E.L., Pimenta, P., Pereira, D.C. (2008). Adopção de Plataformas de e-Learning nas Instituições de Ensino Superior – modelo do processo. *Revista de Estudos Politécnicos. Polytechnical Studies Review*, Vol VI, nº 9, ISSN: 1645-9911.

Carrilho, C. (2004). Intelligent Agents To Improve Adaptivity in a Web-Based Learning Environment. Tese de Doutoramento [online - http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UdG/AVAILABLE/TDX-0506104-122836//tcipc1de3.pdf - último acesso, Junho 2009].

Chepegin, V., Aroyo L., De Bra P., Heckmann D. (2004). User modeling for modular adaptive hypermedia. In proceedings of Applications of Semantic Web Technologies for Educational Adaptive Hypermedia Workshop.

Collis, B. & Pals, N. (2000). A Model for Predicting an Individual’s Use of a Telematics Application for a Learning-Related Purpose. *International JI. of Educational Telecommunications*, 6 (1), 63-103.

Costa-Lobo, C. (2008). Organizar e animar situações de aprendizagem. E-book Labs on the web. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Costa-Lobo, C. (2011). Abordagem Socio-Cognitiva do Ajustamento à Carreira no Ensino Superior: O Papel das Actividades em Grupo, da Auto-Eficácia e dos Interesses. Braga: Escola de Psicologia, Universidade do Minho.

Cristea, A., Kinshuk (2003). Considerations on LAOS, LAG and their Integration in MOT. In D. Lassner & C. McNaught (Eds.), *Proceedings of World Conference on Educational*

Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2003 (ED-MEDIA'03), Honolulu, AACE, pp. 511-518.

DCMI (2010). Dublin core metadata element set, version 1.1. Resource document. Dublin Core Metadata Initiative Limited. [online - <http://dublincore.org/documents/dces/> - último acesso, Outubro 2011].

De Bra, P., Calvi, L. (1998). AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture. *The New Review of Hypermedia and Multimedia* 4: 115-140.

De Bra, P., Brusilovsky, P., Eklund, J., Hall, W., Kobsa, A. (1999). Adaptive Hypermedia: Purpose, Methods, and Techniques (Panel). *Hypertext 1999*: 199-200.

De Bra, P., Aerts, A. T. M., Berden, B., De Lange, B., Rousseau, B., Santic, T., Smits, D., Stash, N. (2003). AHA! The adaptive hypermedia architecture. *Hypertext 2003*: 81-84.

De Bra P., Aroyo L., Chepegin V. (2004). The next big thing: Adaptive Web-based systems. *Journal of Digital Information*, 5(1).

De Bra, P., Smits, D., Stash, N. (2006). The design of AHA! *Hypertext 2006*: 133-134

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.

Faria, L. (2002). *Treino e Apoio a Operadores de Centros de Controlo e Condução de Redes Eléctricas – uma abordagem baseada em Conhecimento e Tutores Inteligentes*; Tese de Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e Computadores, FEUP.

Faria, L., Silva, A., Ramos, C., Vale, Z., Marques, A. (2010). Intelligent Training in Control Centres Based on an Ambient Intelligence Paradigm. *Trends in Applied Intelligent Systems* Nicolás García-. Pedrajas, Colin Fyfe, José Benítez, Moonis Ali (eds). *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6096, pp. 143-153, Springer.

Felder, R. M. (1993). Reaching the second tier: learning and teaching styles in college science education. *Journal of College Science Teaching*, 23(5):286-290.

Finin, T.W. (1989). GUMS: A general user Modeling shell. *User Modeling dialog Systems*, Berlin: Springer, 411-420.

Fink, J., Kobsa, A., & Nill, A. (1996). User-oriented Adaptivity and Adaptability in the AVANTI Project. *Proceedings of the Conference on Designing for the Web: Empirical Studies*, October, Redmond, WA.

Fleming, N. (2001). Teaching and learning styles VARK strategies. Christchurch, New Zealand: Neil Fleming. Gall, M. D.: Synthesis of research on teachers' questioning. *Educational Leadership*, 42, 40-47.

Gall, M. D. (1984). Synthesis of research on teachers' questioning. *Educational Leadership*, 42, 40-47.

Grasha, A.F. (1996). *Teaching with Style: A practical guide to enhancing learning by understanding teaching and learning styles*. Pittsburg: Alliance Publishers.

Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Journal of Knowledge Acquisition*; 5(2) 199-220; Academic Press.

Hargreaves, D., et al. (2005). *About learning: Report of the Learning Working Group*. Demos.

Hothi, J., & Hall, W. (1998). An evaluation of adapted hypermedia techniques using static user modeling. In *Proceedings of the Second Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia*, Pittsburgh, PA.

IEEE (2002). IEEE standard for learning object metadata. Resource document. Learning Technology Standards Committee of the IEEE Computer Society. [online-
http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf - último acesso, Outubro 2011].

IEEE (2005). IEEE standard for learning technology-extensible markup language (xml) schema definition language binding for learning object metadata. Resource document. Learning Technology Standards Committee of the IEEE Computer Society. [online -
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1532505> - último acesso, Outubro 2011].

Joerding, T. (1999). A temporary user modeling approach for adaptive shopping on the Web. Proceedings of Second Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the World Wide Web, Toronto and Banff, Canada. Computer Science Report 99-07, Eindhoven University of Technology, pp. 75-79.

Jonassen, D. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm? *Journal of Educational Technology Research and Development*. DOI: 10.1007/BF02296434.

Kaplan, c., Fenwick, J., Chen, J. (1993). Adaptive Hypertext Navigation Based on User Goals and Context. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 3(3):193–220.

Kavcic, A. (2000). The role of user models in adaptive hypermedia systems. In proceedings of MELECON 2000. pp. 119–122.

Kay, J. (1995). The um toolkit for reusable, long term user model. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(3), 149-196.

Koch, N. (2001). Software engineering for adaptive hypermedia systems: reference model, modeling techniques and development process. Ludwig Maximilians University Munich 2001, ISBN 3-87821-318-2, pp. 1-355

Kobsa, A. (1993). User modeling: Recent work, prospects and hazards. In M. Schneider-Hufschmidt, T. Kühme and U. Malinowski (Eds.), *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice* (pp. 111-128). Amsterdam: North Holland Elsevier.

Kobsa, A., D. Müller, & Nill, A. (1994). KN-AHS: An Adaptive Hypertext Client of the User Modeling System BGP-MS. Proceedings of the Fourth International Conference on User Modeling , Hyannis, MA, 99-105.

Kobsa, A., Nill, A, & Fink, J. (1997). Hypertext and Hypermedia Clients of the User Modeling System BGP-MS. In *Intelligent Multimedia Information Retrieval* , Boston, MA: MIT Press.

Kobsa, A., Koenemann, J. and Pohl, W. (1999). Personalized hypermedia presentation techniques for improving online customer relationships. Technical report No. 66 GMD, German National Research Center for Information Technology, St. Augustin, Germany.

Kobsa, A. (2001). Generic User Modeling Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11 (1-2), 49-63.

Kolb, D. (1984). *Learning Styles Inventory*. Boston: McBer & Co.

Kolb, D. A. (1976). *Learning Style Inventory*. Boston, MA: Hay Group, Hay Resources Direct.

Kolb, A. Y. (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Journal of Academy of Management Learning & Education*, 4(2), 193–212.

Kules, B. (2000). User modeling for adaptive and adaptable software systems. Resource document. *Learning Technologies*. [online - <http://otal.umd.edu/UUGuide/wmk/> - último acesso, Novembro 2012].

Landis, J.R.; & Koch, G.G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33 (1): 159-174.

Laroussi, M. (2001). *Conception et Réalisation d'un Système Didactique Hypermédia Adaptatif: CAMELEON*, PhD Thesis. [online - <http://wwwis.win.tue.nl/ah/thesis/laroussi.pdf> - último acesso, Novembro 2012]

Laurillard, D. (1993). *Rethinking University Teaching: a framework for the effective use of educational technology*. London: Routledge.

Lefrançois, G. R. (2008). *Teorias da Aprendizagem*. São Paulo: Cengage Learning.

Lucas, P.J., Martins, C., Silveira, R. and Carvalho, C. (2006). Capítulo 5: “Authoring Tools For Adaptive Learning Hypermedia Systems: An Overview”. Martín Llamas Nistal, Carlos Vaz de Carvalho, y Carlos Rueda Artunduaga, editores *TICAI2006: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería*. ISBN 978-84-8158-375-5 Pags.:37-43 ©IEEE, Sociedad de Educación: Capítulos Español, Portugués y Colombiano.

Martins, C. (2003). Infra-estruturas de "campus-learning": aplicabilidade no ensino da Engenharia - Dissertação de mestrado em Gestão de Informação, com classificação final de Muito Bom, apresentada na FEUP dia 09 de Julho 2003.

Martins, C., Azevedo, I., Carvalho, C. (2005). The use of an Adaptive Hypermedia Learning System to support a new pedagogical model - The 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies – ICALT 2005 (ICALT2005), Proceedings publicado pela the IEEE Computer Society, Kaohsiung, Taiwan, 5 a 8 July.

Martins, C., Faria L., Carvalho C. V., Carrapatoso E. (2008a). User modeling in adaptive hypermedia educational systems. *Journal of Educational Technology & Society*, 11(1), 194–207.

Martins C., Faria L. and Carrapatoso E. (2008b): Constructivist Approach for an Educational Adaptive Hypermedia Tool. The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008), University of Cantabria, Santander on July 1st to 5th.

Martins, C., Faria, L. and Carrapatoso, E. (2008c). An Adaptive Educational System For Higher Education. The 14th International Conference of European University Information Systems (EUNIS 2008), Denmark 24th - 27th of June.

Martins, C., Faria, L., Carrapatoso, E. (2009). Educational Adaptive Hypermedia Platform Based on Progressive Assessment and Adapted to the Characteristics and Learning Style of the Student. International Symposium on Computational Intelligence for Engineering Systems-Porto Portugal, 18-19 November.

Martins, C., Couto, P., Fernandes, M., Bastos, C., Lobo, C., Faria, L., Carrapatoso, L.(2011). PCMAT - Mathematics Collaborative Learning Platform. Highlights in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 2011, Volume 89/2011, 93-100, DOI: 10.1007/978-3-642-19917-2_12.

Martins, C., Couto, P., Fernandes, M., Bastos, C., Faria, L., Carrapatoso, E. (2012). PCMAT – Mathematics Collaborative Learning Platform. *KES-Springer Book Series: Smart Innovation, Systems and Technologies, Special book on: Intelligent and Adaptive Educational Learning Systems: Achievements and Trends*. Peña Ayala, Alejandro (Ed.) Vol. 17, 2012, 2012, XII, ISSN: 2190-3018, ISBN: 978-3-642-642-30170-4 532 p.

- Milome, M. C M. (1999). Uma Nova Abordagem ao Processo de Ensino e Aprendizagem. IV SEMEAD – Seminários em Administração. [online - http://www.ead.fea.usp.br/Semead/4semead/Artigos/adm_geral/Milone.PDF - último acesso, Novembro 2012].
- Milosavljevic, M., Brusilovsky, P., Moore, J., Oberlander, J., Stock, O. (Eds). (1997). Proceedings of the Flexible Hypertext Workshop, held at The Eighth ACM International Hypertext Conference. April 6-11 1997. Southampton, UK. Macquarie University Technical Report C/TR97-06.
- Montgomery, S. & Groat, L.N. (1998). Student Learning Styles and Their Implications for Teaching, Occasional Paper, Center for Research on Learning and Teaching, University of Michigan. [online - http://www.crlt.umich.edu/publinks/CRLT_no10.pdf - último acesso, Novembro de 2012].
- Mota, D. (2008). Um Método de Adaptabilidade de Conteúdos Multimédia num Contexto Semi-Presencial. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Multimédia, FEUP.
- Nachmias, R. et al. (2000). Web-Supported Emergent-Collaboration in Higher Education Courses, *Educational Technology & Society* 3(3).
- Neven F., Duval E. (2002). Reusable learning objects: a survey of LOM-based repositories. In proceedings of MULTIMEDIA. pp. 291-294. New York: ACM.
- O'Brien, T.P., Bernold, L.E., Akroyd, D., Myers-Briggs (1998). Type Indicator and Academic Achievement in Engineering Education, *Int. Journal of Engineering Education* . 14(5):311-315.
- Orwant, J. (1995). Heterogeneous learning in the Doppelgänger user modeling system. *User Modeling and Useradapted Interaction*, 4 (2), 107-130.
- Pedrosa de Jesus, H. (1987). A Descriptive Study of Some Science Teachers Questioning Practices. Unpublished Master Thesis, University of East Anglia, Norwich, U.K..
- Pinto-ferreira C. (2006). PISA 2006 – Competências Científicas dos Alunos Portugueses. [online - <http://www.gave.min->

edu.pt/np3content/?newsId=33&fileName=relatoio_nacional_pisa_2006.pdf - último acesso, Novembro 2012].

Pinto-Ferreira, E.; Costa-Lobo, C. (2009). Active learning in Large introductory Classes in Mathematic. Singapore: 5th International CDIO Conference. Reframing Engineering Education: Impact and Future Direction.

Power, G., Davis, H. C., Cristea, A. I., Stewart, C. and Ashman, H. (2005). Goal Oriented Personalisation with SCORM. In: International Conference on Advanced Learning Technologies, 5., 2005, Kaohsiung, Taiwan. Anais. Kaohsiung: IEEE.

Rabello, E.T., Passos, J. S. (2010). Erikson e a teoria psicossocial do desenvolvimento. [online - <http://www.josesilveira.com> - último acesso, Novembro de 2012].

Reichmann, S.W., Grasha, A.F. (1974) A rational approach to developing and assessing the construct validity of a student learning style scale instrument. *Journal of Psychology*, 87, 213-223.

Ritu, D., Sugata M., (1999). Learning styles and perceptions of self. *Journal of International Education*, 1(1), 61-71.

Rowe, M. B. (1986). Wait-time: Slowing down may be a way of speeding up. *Journal of Teacher Education*, 37(1), 43-50.

Schmeck, R. R. (1983). Learning styles of college students. In R. Dillon, R. Schmeck (Eds.), *Individual differences in cognition* (pp.233-279). New York: Academic Press.

Seufert, S. (2000). The NetAcademy as a Medium for Learning Communities. *Educational Technology & Society* 3(3).

Spiro, R., Feltovich, P., Jacobson, M., & Coulson, R. (1991). Cognitive Flexibility, Constructivism and Hypertext: random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology* 31(5), 24-33.

Stash, N., Cristea A., De Bra, P. (2005). Explicit intelligence in adaptive hypermedia: Generic adaptation languages for learning preferences and styles. In proceedings of Workshop CIAH of HT'05. pp. 75-84.

- Sharp, J. (1998). Learning Styles and Technical Communication: Improving Communication and Teamwork Skills. Proceedings of the Frontiers in Education 1998 29 the Annual Conference, 29-1358.
- Stahl, S. A. (2002). Different strokes for different folks? In L. Abbeduto (Ed.), Taking sides: Clashing on controversial issues in educational psychology (pp. 98-107). Guilford, CT, USA: McGraw-Hill.
- Trella, M., Et al. (2005). MEDEA: an Open Service-Based Learning Platform for Developing Intelligent Educational Systems for the Web. In: Workshop on Adaptive Systems for Web-Based Education: Tools and reusability, 2005, Amsterdam, Holanda.
- Vassileva, J. (1998). A Task-Centred Approach for User Modeling in a Hypermedia Office Documentation System. In Brusilovsky, P., Kobsa, A. & Vassileva J. (Eds.), Adaptive Hypertext and Hypermedia , Dordrecht: Kluwer Academic, 209-247.
- Watson, J. (1928). The ways of behaviorism. New York, NY: Harper & Brothers Pub.
- Weber, G., Kuhl, H.-C., & Weibelzahl, S. (2001). Developing adaptive internet based courses with the authoring system NetCoach. In: Workshop on Adaptive Hypertext and Hypermedia, 3., 2001, Sonthofen, Alemanha. Anais. Sonthofen: 4th Conference on User Modeling, 2001. p.35-48.
- Woodward, C. A., Chambers L. (1983). Guide to questionnaire construction and question writing. Ottawa: Canadian Public Health Association.
- Wu H., Houben G. J., De Bra P. (1999). User modeling in adaptive hypermedia applications. In proceedings of INFWE99. pp. 10-21.
- Yin, R. K. (1994). Case Study research - Design and Methods, second edition Sage Publication ISBN 0-8039-5663-0.

Anexo A - Extrato do Ficheiro XSD do Modelo do Aluno

Extrato do ficheiro XSD que define a estrutura do XML do Modelo do Aluno:

```

<xsd:element name="Student_Model">
  <xsd:complexType>
    <xsd:sequence minOccurs="1" maxOccurs="1">
      <!--definition of data related with DDD and DID -->
      <xsd:element name="Domain_Independent_Data"
        type="TDomain_Independent_Data" />
      <xsd:element name="Domain_Dependent_Data"
        type="TDomain_Dependent_Data" />
    </xsd:sequence>
  </xsd:complexType>
</xsd:element>

<xsd:complexType name=" TDomain_Independent_Data ">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="Generic_Profile"
      type="TGeneric_Profile" />
    <xsd:element name="Cognitive_Profile"
      type="TCognitive_Profile" />
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>

<xsd:complexType name=" TGeneric_Profile ">
  <xsd:sequence minOccurs="1" maxOccurs="1">
    <xsd:element name="Personal_Information"
      type="TPersonal_Information" />
    <xsd:element name="Academic_Background" type="TAcademic"/>
    <xsd:element name="Demographic_data"
      type="TDemographic_data" />
    <xsd:element name="Background_Knowledge"
      type="TBackground_Knowledge" />
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>

<xsd:complexType name=" TDomain_Dependent_Data ">
  <xsd:sequence>
    <xsd:element name="Domain_Knowledge"
      type="TBackground_Knowledge" />
    <xsd:element name="Task made" type="TTask_made" />
    ...
    ...
  </xsd:sequence>
</xsd:complexType>

```

Anexo B - Inquérito aos Alunos

Inquérito aos alunos	
Caro(a) Aluno(a)	
Assunto: Avaliação do PCMAT.	
Pensamos ser altura de fazer um balanço, e último; acerca da aceitabilidade e interesse do PCMAT por parte dos alunos. Esta avaliação é muito importante para podermos saber como o melhorar e, claro está, identificando problemas ou obstáculos à sua utilização! Neste âmbito, pedíamos-lhe que respondesse anonimamente ao seguinte inquérito.	
Muito grato pela sua colaboração.	

A. Assinale o seu grau de concordância relativamente às seguintes afirmações sobre o PCMAT:

	Discordo totalmente	Discordo maioritariamente	Concordo maioritariamente	Concordo totalmente	Sem opinião
1. O PCMAT facilita o estudo da disciplina fora das aulas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. O PCMAT facilita o estudo da disciplina durante as aulas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. A informação no PCMAT está bem organizada, ou seja, encontro facilmente aquilo que procuro.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. O PCMAT tem um bom grafismo / design.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5. PCMAT é de fácil acesso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6. Consegue aceder facilmente aos conteúdos da Disciplina no PCMAT.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7. PCMAT é útil para melhorar os seus resultados na disciplina.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8. Recomendava o uso do PCMAT.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. Gostava que todas os professores usassem O PCMAT nas respectivas aulas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10. Consegue aceder facilmente as atividades da Disciplina no PCMAT.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

B. Como classificaria o grau de utilidade de cada uma das ferramentas do PCMAT?

	Inútil	Pouco útil	Útil	Muito útil	Não conheço
1. Índice de conteúdos	<input type="radio"/>				
2. Conteúdos	<input type="radio"/>				
3. Atividades	<input type="radio"/>				
4. Links	<input type="radio"/>				

C. Como classificaria o grau de dificuldade na utilização de cada uma das ferramentas do PCMAT?

	Difícil	Pouco Fácil	Fácil	Muito Fácil	Não conheço
--	---------	-------------	-------	-------------	-------------

1. Índice de conteúdos	<input type="radio"/>				
2. Conteúdos	<input type="radio"/>				
3. Atividades	<input type="radio"/>				
4. Links	<input type="radio"/>				

Assinale a frequência com que utilizou o PCMAT fora das aulas da disciplina

Nunca	Menos de uma vez por semana	Pelo menos uma vez por semana	Todos ou quase todos os dias
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Gostaria que outras disciplinas pudessem funcionar com o PCMAT

Sim Não

Sugestões comentários

AGRADECEMOS A SUA COLABORAÇÃO