**Uso de ontologias e mapas conceituais
na descoberta e análise de objetos de
aprendizagem: um estudo de caso
em eletrostática**

Andréia Cristina Grisolio Machion

TESE APRESENTADA AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM CIÊNCIAS

Área de Concentração: **Ciência da Computação**
Orientadora: **Prof. Dra. Leliane Nunes de Barros**

São Paulo, 05 fevereiro de 2007

**Uso de ontologias e mapas conceituais na
descoberta e análise de objetos de aprendizagem:
um estudo de caso em eletrostática**

Este exemplar corresponde à redação final
da tese devidamente corrigida e defendida
por Andreia Cristina Grisolio Machion e
aprovada pela Comissão Julgadora.

São Paulo, 05 de fevereiro de 2007

Banca Examinadora :

- Profa. Dra. Leliane Nunes de Barros (Orientadora) - IME-USP
- Prof. Dr. Leônidas de Oliveira Brandão - IME-USP
- Prof. Dr. Mauricio Pietrocola Pinto de Oliveira - FE USP
- Prof. Dr. Jaime Simão Sichman - EP-USP
- Profa. Dra. Graça Bressan - EP-USP

Dedicatória

Aos meus super pais José Antonio e Edite e à minha linda irmã Ane, com amor e gratidão por sua compreensão e carinho.

Agradecimentos

À professora Leliane Nunes de Barros, pela orientação, confiança
e amizade nas horas todas em que precisei.

Aos professores do Departamento de Computação e da Faculdade de Educação que contribuíram em
muito na minha formação.

Agradeço ao IME e à USP pela oportunidade de realização do curso de doutorado nesta Instituição.

Agradeço aos amigos Paulo, Francisco, Karina e Silvio pelo apoio nas horas difíceis, durante o
trabalho.

Aos amigos lá de Limeira, que sempre estavam me esperando nos finais de semana.

À minha família maravilhosa que sempre esteve do meu lado.

A Deus que nunca deixou me faltar força.

Resumo

A falta de materiais instrucionais digitais disponíveis em larga escala e com baixo custo levou à criação da tecnologia de *Objetos de Aprendizagem* (OAs) [Wiley 2000]. Nessa tecnologia, materiais para ensino e aprendizagem são construídos na forma de pequenos componentes (objetos) para que possam ser combinados de várias maneiras diferentes, ou seja, possam ser reutilizados na composição de seqüências didáticas que cubram um determinado domínio de aprendizagem, por exemplo, Geometria Euclidiana ou Eletrostática. Nessa visão, cabe ao professor (ou ao próprio aluno) decidir qual é a seqüência de OAs mais adequada para um determinado contexto instrucional (ou de acordo com as preferências do aluno). OAs podem estar disponíveis em grandes repositórios na Internet, de maneira que qualquer usuário - professor ou estudante - possa buscá-los e recuperá-los de acordo com suas necessidades. Para tornar a busca e recuperação mais eficientes, cada objeto precisa ser descrito num formato padrão o que permite a sua utilização em diversas plataformas.

Atualmente, cada uma das tarefas associadas à descoberta e utilização de OAs é realizada de forma não automatizada, ou seja, um professor ao elaborar um curso, deve fazer uma busca nos repositórios de OAs disponíveis, ou na própria Web, e selecionar os objetos de interesse. Nessa etapa, é preciso que o professor analise cada OA recuperado a fim de decidir: (a) se ele satisfaz ou não os objetivos didáticos em questão; (b) em que ponto do curso o OA pode ser inserido, dadas as suposições sobre o conhecimento prévio feitas no projeto de construção do OA; (c) qual é o nível de dificuldade, o contexto instrucional e o tipo de recurso de aprendizagem do OA desejados (por exemplo, exercício, simulação, notas de aula, testes etc.). Além disso, quando o professor faz a busca por OAs, ele utiliza somente palavras-chave, sem nenhuma referência sobre a estrutura do domínio de conhecimento. Essa

é a principal limitação dessa tecnologia: não existem padrões para a representação do conteúdo de um OA, que possibilite automatizar a recuperação e análise de OAs em termos do seu conteúdo relacionado ao domínio no qual ele se insere.

Esse trabalho propõe uma ferramenta, chamada SEQUOA (*Seqüenciamento de OAs*), que dê suporte ao professor para a tarefa de seleção e composição de OAs, com base na tecnologia da Web Semântica. Com esse objetivo, foi feito um estudo de caso para o domínio da Eletrostática. Foram construídas ontologias para: formalizar as descrições de OAs, baseando-se em padrões largamente adotados, e descrever o domínio de aprendizagem de uma maneira didática (segundo educadores experientes no domínio em questão). O uso dessas ontologias permite que a ferramenta SEQUOA seja capaz de realizar inferências sobre as diferentes características dos OAs e gerar um conjunto de seqüências alternativas de OAs, para um determinado domínio de aprendizagem, promovendo assim o reuso de OAs.

Abstract

The lack of large amounts of digital instructional material available at a low cost lead to the creation of *Learning Objects* (LOs) [Wiley 2000]. With this technology, instructional material is built in the form of small components (objects) that can be combined in different arrangements allowing for their re-utilization in the composition of didactic sequences that cover a domain, for example, Euclidian Geometry or Electrostatic. Hence it is the teacher (or even the student) who decides which is the more appropriate LO sequence for a determined instructional context (or in accordance with the students' preference). LOs maybe available in Internet repositories, so that any user – a teacher or a student – can search and retrieve them as needed. To make this search and retrieval more effective, every object must be described in a standard format what is also useful to allow its use in any platform.

Currently, the tasks associated with LOs discovery and utilization are accomplished manually. The teacher who needs to elaborate an instructional module must do a search in the available repositories and select useful and relevant objects inspecting one by one, eventually spending large amounts of time searching for keywords. In this stage its necessary that the teacher analyzes each retrieved LO in order to decide: a) if it satisfies or not the course didactic objectives; b) in each part of the course the LO may be inserted, considering its assumptions about the previous knowledge made in its design; c) which are the difficulty level, instructional context and type of earning resource (example, exercise, simulation, notes, tests, etc). Moreover, when a teacher searches for LOs, she only has keywords, there are no references to the knowledge domain structure. This is this technology main shortcoming: there are no standards to represent a LO content which makes it possible to automate

LOs retrieval and analysis considering its content related to the knowledge domain it pertains to.

Automating this search has been the aim of many research projects, with the goal of time saving and optimality, in terms of selecting the LOs that will best satisfy the teacher's needs. Based on Artificial Intelligence techniques, this work proposes a new way of structuring a learning domain and a framework that allows a teacher to select LOs automatically in accordance with her preferences or needs. This work also proposes a set of ontologies to formalize LOs descriptions, based on domain knowledge structure and on standard descriptions that are widely adopted, allowing the utilization of theorem provers based on description logics to make inferences.

Índice

Resumo	ix
Abstract	xi
1 Introdução	1
1.1 Objetos de Aprendizagem	2
1.2 Mapas Conceituais	2
1.3 Ontologias e a Web Semântica	3
1.4 Objetivos	3
1.5 Contribuições	4
1.6 Estrutura da Tese	5
2 Objetos de Aprendizagem	7
2.1 Metadados para objetos de aprendizagem	14
2.2 O padrão LOM de metadados	14
2.2.1 Críticas e Propostas de Extensão no Padrão LOM	21

3	Mapas Conceituais	23
3.1	Mapas conceituais e a teoria cognitiva de Ausubel	25
3.2	Uso dos mapas conceituais	28
3.2.1	Mapas conceituais como instrumento didático	28
3.2.2	Mapas conceituais como instrumento de avaliação	30
3.2.3	Mapas conceituais como ferramenta para análise e planejamento de conteúdo de cursos	31
3.3	Um mapa conceitual sobre Eletrostática	32
3.4	Diferentes leituras do mapa conceitual de Eletrostática	36
3.5	Conclusão	42
4	Ontologias	43
4.1	Linguagens para implementação de ontologias	45
4.1.1	Lógica de Descrições	46
4.1.2	OWL	51
4.2	Desenvolvimento de ontologias e inferências	54
5	Objeto de Aprendizagem Didático	57
5.1	Fragmentos de um mapa conceitual	59
5.2	Objetos de aprendizagem didáticos	62
5.3	Conclusão	64
6	Uma ferramenta de suporte para a composição de OAs: modelo conceitual	65
6.1	O modelo conceitual da ferramenta SEQUOA	69

<i>Índice</i>	xv
6.2 Questões respondidas pela ferramenta SEQUOA	73
6.3 Trabalhos Relacionados	73
7 Estudo de Caso: a ferramenta SEQUOA para Eletrostática	77
7.1 Identificação de fragmentos e seqüências didáticas no MCE	80
7.1.1 Metodologia para o desenvolvimento das ontologias	84
7.1.2 Ontologias da ferramenta SEQUOA	85
7.2 Exemplos de inferências com as ontologias OntoLOM e OntoMCE	89
7.3 Ontologia de fragmentos: OntoFrag	92
7.4 Complexidade	94
8 Análise dos Resultados para o Estudo de Caso	95
9 Conclusão	101
Glossário	105
A Apêndice A	107
B Apêndice B	109
Referências Bibliográficas	120

Lista de Figuras

2.1	Esquema Conceitual do LOM [IMS 2004].	17
2.2	Exemplo para a categoria Classificação	18
3.1	Mapa conceitual dos principais conceitos da Eletrostática e a relação “manifestação da carga elétrica”. A direção das linhas indica que os 4 conceitos $\vec{E}$, $\vec{F}$, V e U são manifestações de Q	24
3.2	Exemplo de mapa conceitual que descreve os tipos de relacionamentos.	24
3.3	Exemplo de hierarquia de conceitos.	26
3.4	Exemplo de diferenciação progressiva, na qual são acrescentados novos conceitos: campos elétricos convergente e divergente.	27
3.5	Exemplo de reconciliação integradora, na qual são estabelecidos relacionamentos entre conceitos já aprendidos.	27
3.6	Mapa básico dos conceitos da Eletrostática.	33
3.7	Mapa conceitual obtido a partir da inclusão dos primeiros conceitos mais específicos no relacionamento campo - carga [Salem 1986].	33
3.8	Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.7 [Salem 1986].	34

3.9	Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.8.	34
3.10	Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.9.	35
3.11	Mapa conceitual completo da Eletrostática (MCE) [Salem 1986].	36
3.12	Interpretações das hierarquias implícitas do MCE.	38
3.13	Interpretações sobre as hierarquias do MCE, feitas em [Salem 1986].	40
4.1	Exemplo de relacionamentos entre termos que podem ser definidos em uma ontologia	44
6.1	Tela inicial da ferramenta SEQUOA.	69
6.2	Tela em que o usuário pode selecionar os fragmentos nas seqüências sugeridas e montar a sua própria seqüência	71
6.3	Tela da ferramenta SEQUOA que mostra seqüências que o usuário construiu e os conceitos associados aos fragmentos escolhidos	72
7.1	Exemplo de OA descrito pelos metadados LOM	80
7.2	Classe ConceitosPrincipais e suas sub-classes da OntoMCE e algumas instâncias.	87
7.3	Ontologia LOM	89
8.1	Frequência de OAs por fragmentos identificados, considerando-se os livros e os sítios na Web.	96
8.2	Fragmentos ordenados pelo número de OAs correspondentes.	96

Lista de Tabelas

2.1	Repositórios de OAs de propósito geral.	11
2.2	Repositórios de OAs específicos por disciplina.	13
2.3	Exemplo de elementos de descrição de metadados - categoria 1.Geral [IEEE 2002]. . .	19
2.4	Exemplo de elementos de descrição de metadados - categoria 5.Educacional [IEEE 2002].	20
3.1	Relacionamentos matemáticos contidos no MCE.	41
4.1	Regras sintáticas para definição de um conceito complexo em LD.	49
5.1	Seqüência de conteúdo adotada em Luz e Alvarenga para Eletrostática ([Luz e Alvarenga 1972]).	59
5.2	Seqüência de conteúdo adotada em Halliday e Resnick para Eletrostática ([Halliday, Resnick e Walker 1993]).	60
5.3	OAs encontrados na Web que não estão de acordo com as recomendações.	63
7.1	Sítios específicos de material didático (nível superior) pesquisados para identificação dos fragmentos didáticos.	78
7.2	Livros utilizados para identificação dos fragmentos didáticos.	79

7.3	Fragmentos identificados nos livros e sítios pesquisados.	82
7.4	Seqüências de fragmentos identificadas nos livros e sítios pesquisados.	84
7.5	Consulta correspondente à Questão 2 para um conceito simples.	90
7.6	Resultado da consulta correspondente à Questão 2 para um conceito simples.	90
7.7	Consulta correspondente à Questão 2 para um conceito que pode ser descrito de várias maneiras diferentes.	91
7.8	Resultado correspondente à consulta da Tabela 7.7.	91
7.9	Axioma que define a classe F06.	93
7.10	Consulta para recuperar OAs para o fragmento F06.	94
8.1	Seqüências de fragmentos identificadas nos livros e sítios pesquisados, com o cálculo do número de seqüências possíveis de OAs geradas por cada seqüência de fragmentos, dado o número de OAs encontrados para cada fragmento.	99
A.1	Exemplo de conjunto de OAs com alguns metadados compilados a partir dos OAs descobertos na Web.	108
B.1	Fragmentos identificados nos livros e sítios pesquisados.	112

Introdução

Em geral, quando um professor prepara um material didático (ou instrucional) para um curso que ele ministra pela primeira vez, seja ele para o ensino tradicional ou para o ensino baseado em computador (também chamado *ensino eletrônico*), ele parte do zero para construir um material instrucional de sua própria autoria. São raras as vezes em que um professor consegue elaborar um curso a partir de uma única fonte, por exemplo, uma apostila, livro ou sítio WWW e selecionar diferentes partes de materiais de cursos de fontes diversas, para combiná-los num conteúdo conciso, coerente e de fácil compreensão não é uma tarefa simples, pois, envolve a descoberta, análise e seleção de conteúdo de diferentes fontes, na Web ou em livros, que sejam relevantes à disciplina em questão e a um contexto instrucional [Downes 2004].

Por exemplo, se fizermos uma busca na Internet por material instrucional para o ensino básico de ciências, veremos que existem milhares de sítios no assunto. Depois de fazer uma pré-seleção, escolhendo aqueles aparentemente mais relevantes, veremos que ainda restam muitos. Além disso, é possível perceber que vários desses materiais são muito similares senão idênticos (por exemplo, definições, gráficos etc.). Se existissem apenas algumas cópias desses materiais distribuídas estrategicamente na Web, seria possível compartilhá-las e reutilizá-las na construção de materiais instrucionais [Downes 2001]. Essa é uma das motivações que levaram à criação dos **Objetos de Aprendizagem**.

1.1 Objetos de Aprendizagem

Objetos de aprendizagem constituem uma nova tecnologia [Wiley 2000] para construção de material didático na Web, na qual se criam vários componentes (objetos) que podem ser reutilizados em múltiplos contextos instrucionais. O termo Objeto de Aprendizagem (OA) tornou-se popular a partir de 1994¹ e foi originalmente proposto para descrever materiais de aprendizagem criados da maneira mais independente possível que pudessem ser combinados com vários outros. Esses materiais, compostos de modo adequado, devem permitir a construção de módulos instrucionais personalizados e com menor custo. É importante observar que o professor não é o único beneficiado com essa facilidade: **projetistas instrucionais**, que são profissionais especialistas na construção de materiais didáticos, sob a supervisão ou não de educadores conforme a necessidade, também podem fazer uso da modularidade dos OAs para tornarem o seu trabalho mais produtivo; além disso, um aluno pode, por exemplo, escolher o seu material de estudo de acordo com as características que melhor correspondem às suas necessidades, estilo, conhecimento prévio, ritmo de aprendizagem etc.

No entanto, falta ainda estabelecer padrões e ferramentas de edição, descoberta, análise e composição de OAs que permitam que professores, projetistas instrucionais ou alunos utilizem amplamente essa tecnologia para que ela se torne uma realidade no ensino atual.

1.2 Mapas Conceituais

Para representar a estrutura conceitual de um domínio é comum, entre os educadores, a modelagem e utilização de **mapas conceituais** [Moreira 2006]: representações gráficas que indicam relações entre conceitos, desde os mais gerais até os mais específicos. Os mapas mostram ainda uma organização hierárquica do conteúdo de ensino e aprendizagem, de forma a oferecer uma visão geral do domínio que está sendo estudado. Acredita-se também que um estudante construa o seu próprio mapa conceitual quando está aprendendo um determinado assunto, com uma estrutura similar, se não idêntica, ao mapa conceitual original construído pelo professor quando elaborou a estrutura do

¹Esse termo foi escolhido dentro do grupo de trabalho *Computer Education Management Association* chamado *Learning Architectures, APIs, and Learning Objects* [CEDMA 2003].

conteúdo a ser ensinado.

Além disso, um professor procura fragmentar o seu curso em unidades didáticas, ou seja, em conjuntos de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de determinados objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto por ele quanto pelos alunos [Zabala 1998], para um melhor aproveitamento dos estudantes.

Sendo assim, os mapas conceituais podem ser utilizados como instrumento didático (na apresentação e fragmentação de um conteúdo), porém, não é claro como eles podem ser usados na definição de objetivos didáticos ou atividades didáticas de objetos de aprendizagem, sendo essa uma das motivações desta tese.

1.3 Ontologias e a Web Semântica

A proposta da Web Semântica é que os dados disponíveis na Web sejam definidos e relacionados de modo que possam ser processados por máquinas, não só para apresentação, mas também para o seu processamento em aplicações avançadas na Web. As tecnologias da Web Semântica [Berners-Lee, Hendler e Lassila 2001] fornecem tais técnicas utilizando representações formais (ontologias) e ferramentas para realizar inferências lógicas sobre essas ontologias e suas instâncias.

As ontologias fornecem o vocabulário necessário para definir os conceitos de um domínio e as relações entre eles. Elas podem ser usadas por pessoas, bancos de dados e aplicações que necessitam compartilhar informações.

1.4 Objetivos

Neste trabalho, acredita-se que OAs possam ser selecionados e compostos de modo semi-automático (isto é, com o uso de uma ferramenta de suporte), utilizando-se:

1. os mapas conceituais como base para a identificação de fragmentos do domínio que correspondam a atividades didáticas e

2. formalismos mais ricos para a representação de OAs e seu conteúdo, com base nos fundamentos da Web Semântica.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia original para modelagem de um domínio de aprendizagem com base (i) na definição de fragmentos didáticos de mapas conceituais, cujas instâncias foram chamadas de *objetos de aprendizagem didáticos*; e (ii) nas idéias da Web Semântica. Pretende-se também desenvolver o protótipo de uma ferramenta, chamada de SEQUOA, que sirva como suporte ao professor, nas tarefas de descoberta, análise, seleção e composição de OAs. Essa ferramenta deve utilizar a tecnologia de ontologias da Web Semântica para descrever formalmente OAs e mapas conceituais sobre o domínio de aprendizagem, permitindo assim o uso de um mecanismo automático de inferência lógica para dar suporte a um professor durante a elaboração de um curso baseado em objetos de aprendizagem. Para o desenvolvimento da ferramenta foi feito um estudo de caso em Eletrostática.

1.5 Contribuições

As contribuições deste trabalho são:

- uma metodologia original para modelagem de um domínio de aprendizagem com base na definição de fragmentos didáticos de mapas conceitual, cujas instâncias são chamadas de objetos de aprendizagem didáticos;
- uso da tecnologia de objetos de aprendizagem, mapas conceituais e ontologias para Web, para o desenvolvimento de um protótipo de uma ferramenta de descoberta, análise e composição de material didático para um curso;
- uma ferramenta que, a partir de um mapa conceitual sobre um domínio específico e um conjunto de seqüências didáticas, é capaz de habilitar ou desabilitar OAs nessas seqüências para serem escolhidos pelo professor;
- uma revisão do padrão LOM que acrescenta informações pedagógicas, tais como objetivos

didáticos e suposições sobre o conhecimento prévio necessário, para prover suporte na seleção e composição de OAs didáticos em seqüências que cubram um determinado mapa conceitual.

1.6 Estrutura da Tese

O restante dessa tese está organizado da seguinte maneira:

Capítulo 2: Mostra uma visão geral sobre OAs e sua utilização. Também são definidos metadados para objetos de aprendizagem e mostra-se o padrão LOM, o mais utilizado atualmente.

Capítulo 3: Contém a definição, fundamentação teórica e utilizações dos mapas conceituais. Explica como são construídos esses mapas e explora a elaboração de um mapa conceitual específico para o domínio de estudo de caso deste trabalho: a Eletrostática.

Capítulo 4: Define o que são ontologias, como são construídas e sua utilização, além de mostrar algumas linguagens que permitem implementá-las. Explica lógicas de descrições, sua sintaxe e semântica.

Capítulo 5: Define o que são fragmentos didáticos de Mapas Conceituais (MCs) e mostra que, dado um conjunto de fragmentos didáticos que cobrem um MC, é possível utilizá-los para recuperar OAs na Web (OAs didáticos).

Capítulo 6: Apresenta o modelo conceitual da ferramenta de suporte para a composição de OAs, proposta nesta tese e contém uma descrição dos trabalhos correlatos.

Capítulo 7: Mostra como a ferramenta SEQUOA e as ontologias utilizadas neste trabalho podem ser usadas para compor seqüências de fragmentos didáticos por meio de um estudo de caso em Eletrostática.

Capítulo 8: Faz a análise do estudo de caso.

Capítulo 9: Contém as conclusões tiradas a partir desta tese.

Objetos de Aprendizagem

Embora o nome *Objeto de Aprendizagem* seja consenso entre vários grupos de desenvolvimento de tecnologias para educação, muitos termos diferentes ainda são usados para designar um material de aprendizagem na forma eletrônica: *objeto de conhecimento* [Merrill, Li e Jones 1991], *componente instrucional* [Merrill 2001], *documento pedagógico* [ARIADNE 2000], *componente de software educacional* [ESCOT 2000], *material de aprendizagem online* [MERLOT 2000] e *recurso* [ALI 2000]. Neste texto, adotaremos o nome objeto de aprendizagem, ou simplesmente OA.

Uma das definições mais adotadas para objeto de aprendizagem é: “qualquer recurso de aprendizagem digital que possa ser utilizado em vários contextos instrucionais para dar suporte à aprendizagem” [Wiley 2000]. No entanto, alguns autores também consideram recursos de aprendizagem não-digitais como um OA.

Atualmente, existem vários grupos de pesquisa, distribuídos pelo mundo, visando alcançar os objetivos propostos para a tecnologia de OAs [ADL 2005] [IMS 1997] [IEEE 2002] [IEEE-LTSC 2000] [ARIADNE 2000] [W3C 1994] [DCMI 2005] [CETIS 2005] [EdNA 2003] [ALIC 2004] [Distância 2006] [Sul 2006] [USP 2006]. Esses grupos desenvolvem padrões, especificações técnicas e ferramentas para promover a interoperabilidade e reuso de objetos de aprendizagem. As especificações [ADL 2005] [IMS 1997] incluem padrões de metadados para descrição de OAs [IEEE-LTSC 2000] [DCMI 2005] e formas de empacotamento de conteúdos para sua distribuição. Alguns grupos constituem instituições governamentais [EdNA 2003] [ALIC 2004] criadas para divulgar os currículos de seus

países, de forma padronizada. Outros produzem conteúdos pedagógicos digitais, com o objetivo de melhorar o aprendizado em disciplinas de educação básica [Distância 2006].

De maneira geral, é possível sintetizar três funcionalidades fundamentais para os OAs [Robson 2001]: reusabilidade, acessibilidade e interoperabilidade. No entanto, como sua definição é bastante abrangente, eles podem ter diferentes tamanhos, níveis de agregação e números de objetivos. Sendo assim, para que um OA possa ser largamente utilizado, ele deve ter idealmente as seguintes características [Longmire 2000]:

- Ser construído de forma modular. Nesse caso, os módulos (OAs) podem ser combinados em diferentes seqüências para compor as unidades didáticas, em diferentes contextos instrucionais.
- Ser autocontido no que se refere aos seus conceitos fundamentais.
- Cobrir um único objetivo didático, pois um OA que cobre o conteúdo inteiro de um curso, por exemplo, na forma de uma apostila, não pode ser usado em diferentes contextos.
- Ser coerente, de forma que uma pequena quantidade de termos (palavras-chave) consiga capturar a idéia principal do conteúdo.
- Ser facilmente descoberto (recuperado na Web) com o uso de tecnologias como, por exemplo, metadados para sua descrição. Com isso, tanto a busca quanto o gerenciamento de conteúdo podem ser feito utilizando-se filtros que selecionam somente elementos relevantes para um determinado contexto.
- Ser portátil entre diferentes aplicações e plataformas.

OAs podem ser desenvolvidos para comporem um curso específico ou para ficarem disponíveis individualmente em repositórios de materiais didáticos. O fundamental é que um educador ou um projetista instrucional construa pequenos componentes didáticos (quando comparados com um curso inteiro), que facilitem o reuso.

Sob o ponto de vista pedagógico, Wiley [Wiley 2000] cita as pesquisas de Reigeluth e Nelson [Reigeluth e Nelson 1997] sobre a modularização de material instrucional, observando que professores,

quando recebem um novo material, primeiro fazem a sua fragmentação para depois recombiná-lo a seu modo. Essa idéia não é exclusiva da Educação, ela é similar à metodologia de Orientação a Objetos (OO) que tem como fundamentos o reuso e a prototipagem de componentes de software [Leavens e Sitaraman 2000] visando reduzir a complexidade no desenvolvimento e aumentar a produtividade.

Como consequência do crescente interesse na tecnologia de OAs, tanto na pesquisa quanto no uso, existe atualmente um grande número de repositórios de OAs (Tabelas 2.1 e 2.2) distribuídos na Web. Esses repositórios correspondem a bancos de dados que armazenam metadados e referências (URLs) para objetos de aprendizagem e, em alguns casos, armazenam os próprios objetos. Nesses repositórios, é possível localizar e recuperar OAs para incorporá-los a qualquer aplicação ou para uso direto por professores e aprendizes.

Repositório	Localização
Apple Learning Interchange - Learning Resources	http://ali.apple.com/ali/resources.shtml
ARIADNE - European knowledge Pool System	www.ariadne-eu.org/
Blue Web'n	www.kn.sbc.com/wired/bluewebn/
Canada's SchoolNet	www.schoolnet.ca/home/e/
CAREO - Campus Alberta Repository of Educational Objects	http://careo.netera.ca
CLOE - Cooperative Learning Object Exchange	http://cloe.on.ca/
Connexions	http://cnx.org/
EdNA - Education Network Australia	www.edna.edu.au/edna/go
EOE ¹ - Educational Object Economy: Learning Objects Java Applet Library	www.natomagroup.com/eoe.html
continua na próxima página...	

¹Permite busca por palavra-chave.

Tabela 2.1 – continuação

Repositório	Localização
ESCOT - Educational Software Components of Tomorrow	www.escot.org/
Fathom Archive	www.fathom.com
Filamentality ²	www.kn.pacbell.com/wired/fil/
Gateway ³ to 21 st Century Skills of the GEM Exchange	www.thegateway.org/browse
IDEAS - Interactive Dialogue with Educators from Across the State	http://ideas.wisconsin.edu/
Interactive University (IU) Project	http://interactiveu.berkeley.edu:8000/DLMIndex/
Intute	www.intute.ac.uk/
LRC - Learning Resource Catalogue	www.lrc3.unsw.edu.au
Learn-Alberta	www.learnalberta.ca/
Learning-Objects.net	www.learning-objects.net/modules.php?name=Web_Links
LoLa Exchange: Learning Objects, Learning Activities	http://www.lolaexchange.org/
MLX - Maricopa Learning Exchange	www.mcli.dist.maricopa.edu/mlx
MERLOT	www.merlot.org
Merlot-CATS: Community of Academic Technology Staff	http://cats.merlot.org/Home.po
MIT OpenCourseWare	http://ocw.mit.edu/index.html
National Learning Network: Materials	http://www.nln.ac.uk/Materials/default.asp
PBS TeacherSource	www.pbs.org/teachersource/
continua na próxima página...	

²Oferece busca usando filtros.

³Permite busca por palavra-chave e outros requisitos.

Tabela 2.1 – continuação

Repositório	Localização
Problem-Based Learning Clearinghouse	https://chico.nss.udel.edu/Pbl/
Wisconsin Online Resource Center	www.wisc-online.com/Info/L0DevProc.htm

Tabela 2.1: Repositórios de OAs de propósito geral.

A Tabela 2.1 mostra repositórios de propósito geral, com coletâneas de objetos sobre os mais diversos assuntos. A maioria deles é de acesso e utilização livres, permitindo a utilização e a inclusão de OAs, sem a necessidade de se inscrever; outros permitem a utilização livre, mas requerem a inscrição (gratuita) para inclusão de objetos; são raros os repositórios que não são livres. Também é possível observar na Tabela 2.1, que vários repositórios oferecem serviços de busca, sendo que cada um deles possui o seu próprio sistema de indexação de OAs, o que torna difícil a interoperabilidade entre eles. Por exemplo, o repositório *Filamentality* (www.kn.pacbell.com/wired/fil/) oferece um campo de busca na página, no qual é possível digitar qualquer palavra. Uma busca com a palavra *geometry* resulta numa lista com pelo menos 730 itens sendo que para se encontrar algo específico é necessário analisar o conteúdo desse resultado um a um.

Repositório	Localização
CSTC ¹ - Computer Science Teaching Center	www.cstc.org
CITIDEL ¹ - Computing and Information Technology Interactive Technology Interactive Digital Education Library	www.citidel.org
Exploratories ¹	www.cs.brown.edu/exploratories/home.html
DLESE ² - Digital Library for Earth System Education	www.dlese.org
HEAL ² - Health Education Assets Library	www.healcentral.org/index.jsp
The Harvey Project ³	http://opencourse.org/Collaboratories/harveyproject
FLORE ³ - French Learning Object Repository for Education	http://flore.uvic.ca/welcome.php
Digital Scriptorium ³	http://sunsite.berkeley.edu/Scriptorium
The Learning Exchange ³	www.sieswe.org/learnx
iLumina ⁴	www.ilumina-dlib.org/
Math Forum ⁴	http://mathforum.org
NEEDS - National Engineering Education Delivery System ⁴	http://www.needs.org
NSDL ⁴ - National Science Digital Library	http://nsdl.org/
SMETE ⁴	www.smete.org/smete/
CESTA ⁴ - Coletânea de Entidades de Suporte ao uso de Tecnologia na Aprendizagem	www.cinted.ufrgs.br/CESTA/
RIVED ⁴	http://rived.proinfo.mec.gov.br/site_objeto_lis.php
continua na próxima página...	

Tabela 2.2 – continuação

Repositório	Localização
LABVIRT ⁴ - Laboratório Didático Virtual	http://www.labvirt.futuro.usp.br/
Objetos de Aprendizagem ⁴ - NOA/UFPB	www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/index.html

Tabela 2.2: Repositórios de OAs específicos por disciplina.

1- Ciência da Computação. 2- Ciências Biomédicas e Saúde.

3- Humanidades e Trabalho Social. 4- Ciências, Matemática,

Engenharia e Tecnologia.

Os repositórios mostrados na Tabela 2.2 são específicos por disciplina e também são todos livres. A maioria deles possui materiais para as áreas de Ciências, Matemática, Engenharia e Tecnologia.

Como visto anteriormente, a construção de materiais instrucionais na forma de objetos de aprendizagem tem como objetivo promover a interoperabilidade e a reusabilidade desses materiais, porém, a definição de OAs é bastante abrangente, permitindo que eles variem desde um parágrafo de texto explicativo até um curso completo.

Assim, uma forma dessa tecnologia atingir seus objetivos é descrever os OAs utilizando elementos que permitam a sua descoberta de acordo com algum critério de uso e a combinação de vários OAs para formar uma unidade instrucional maior. Tal descrição pode ser feita utilizando-se *metadados*, os quais, se adotados dentro de um padrão, podem facilitar a descoberta, análise e seleção de OAs, bem como sua composição em seqüências para a construção de módulos instrucionais maiores. No entanto, atualmente, não existem muitos OAs descritos por um padrão de metadados e, ainda que existisse, a composição de OAs só poderia ser feita com a participação ativa de um especialista humano no domínio de conhecimento, uma vez que é difícil representar o conteúdo de um OA utilizando-se metadados.

2.1 Metadados para objetos de aprendizagem

Na seção anterior mostrou-se que vários repositórios fornecem mecanismos próprios de busca para recuperar OAs baseados, essencialmente, em palavras-chave. No caso do OA ser um documento do tipo HTML, txt, doc, pdf ou ps, é possível recuperá-lo por palavras-chave internas ao OA. Já no caso de um OA na forma de um documento binário (forma que a maioria dos *applets*⁴ de educação são disponibilizados na Web), esse tipo de busca dificilmente devolve os resultados desejados. Portanto, a descoberta de objetos de aprendizagem pode ser mais eficiente se eles forem descritos externamente, isto é, por um documento à parte. Uma solução possível é a utilização da tecnologia de metadados.

Uma definição simples para metadados é que eles são “dados sobre dados”. Os metadados para OAs devem trazer informações que permitam conhecer as suas características facilitando assim, o compartilhamento de informações pelas comunidades de interesse e a interoperabilidade entre os diferentes repositórios.

Alguns padrões de metadados para OAs incluem desde elementos básicos como título, autor, ano de publicação etc., até características técnicas como direitos autorais e formas de empacotamento do software. Entre os vários padrões de metadados para OAs existentes, um deles tem sido mais utilizado: o padrão LOM de metadados proposto pelo IEEE (que define um modelo conceitual de metadados para OAs).

2.2 O padrão LOM de metadados

A especificação IEEE *Learning Object Metadata* (LOM) [IEEE 2002] foi desenvolvida para dar uma estrutura taxonômica, isto é, uma hierarquia de categorias de metadados para descreverem OAs. Essa especificação define uma taxonomia (Figura 2.1) que agrupa os metadados

⁴Applets são programas em Java que podem ser inseridos em páginas HTML

em nove categorias, a saber:

Geral. Descreve os aspectos gerais do OA, incluindo elementos tais como identificador, título, língua, palavras-chave etc.

Ciclo de Vida. Descreve as características relacionadas ao histórico e ao estado atual do OA. Também descreve as pessoas ou organizações que trabalharam no seu desenvolvimento, versão, status e contribuidores.

Meta-metadados. São informações sobre as instâncias dos metadados de um OA⁵, incluem um identificador para a instância do metadado, contribuidores (autores da descrição do OA), versão do padrão LOM utilizada, língua no qual são escritos etc.

Técnica. Contém os requisitos e as características técnicas do OA, descrevendo, por exemplo, o tamanho, a localização, os requisitos de software e hardware etc.

Educacional. Inclui as características instrucionais do OA, indicando grau e tipo de interatividade, tipo de recurso (exercício, simulação, ...), contexto instrucional (educação básica, educação superior, treinamento profissional ...), faixa etária alvo etc.

Direitos Autorais. Informações sobre as propriedades intelectuais e as condições de uso de um OA.

Relação. Informações que definem como um OA se relaciona com outros, caso isso ocorra, indicando o tipo de relacionamento (baseado em, parte de etc.).

Anotação. Permite incluir comentários sobre o uso dos OAs e informações sobre quando e quem criou tais comentários.

Classificação. Permite definir novas taxonomias para classificação de um OA e com isso, pode-se criar classificações mais elaboradas do que as já existentes no próprio padrão

⁵Existem diferentes instâncias de metadados, devido ao fato de não existir ainda um consenso geral sobre o conjunto metadados necessários para descrever OAs.

(nível de agregação, nível de interatividade etc.) ou mesmo acrescentar detalhes a essas. Um exemplo pode ser visto na Figura 2.2, que ilustra a classificação do nível de dificuldade de um determinado objeto de aprendizagem, de acordo com a série na qual ele está sendo aplicado. Nessa figura, a classificação do OA `Eletro_01` usando a taxonomia `Taxonomia_USP_escalaA` pode resultar em dois conjuntos de dados (Táxons): `Série9/MuitoDifícil` ou `Série11/Fácil`.

Ainda observando a Figura 2.1, verifica-se que algumas categorias podem ser subdivididas, permitindo acrescentar detalhes às descrições em termos de elementos agregados (compostos) e elemento simples (nós folha da hierarquia), sendo que somente os últimos possuem valores. No exemplo ilustrado na Figura 2.2, os elementos `Classificação`, `Caminho do Táxon` e `Táxon` são agregados, enquanto que `Propósito`, `Origem`, `Id` e `Entrada` são simples. Observe que cada metadado do padrão LOM é definido por:

nome: nome pelo qual o metadado é referido (por exemplo, relação, tipo, recurso etc.);

explicação: a definição do metadado (por exemplo, identificação do OA relacionado);

tamanho: número de valores permitidos;

ordem: informa se os valores do metadado constituem uma lista e se a ordem da lista importa;

exemplo: um exemplo ilustrativo.

Além disso, para os nós folha, que possuem valores individuais, também são descritos:

espaço de valores: conjunto de valores permitidos para o metadado;

tipo de dados: tipo do metadado, por exemplo, cadeia de caracteres, data etc.

Figura 2.1: Esquema Conceitual do LOM [IMS 2004].

Figura 2.2: Exemplo para a categoria Classificação.

Exemplos de detalhamento e instanciação das categorias **Geral** e **Educacional** do padrão LOM são mostrados nas Tabelas 2.3 e 2.4.

Nr.	Nome	Explicação	Tamanho	Ordem	Espaço de Valores	Tipo de Dados	Exemplo
1	Geral	Esta categoria agrupa as informações gerais que descrevem o objeto de aprendizagem como um todo	1	não especificada			
1.1	Identificador	Rótulo global único que identifica o objeto de aprendizagem	menor máximo permitido: 10 itens	não especificada			
1.1.2	Entrada	Valor do identificador dentro de um esquema de catalogação que identifica o objeto de aprendizagem. Uma cadeia de caracteres especifica dentro de um contexto	1	não especificada	Repertório da ISO/IEC 10646-1:2000	Cadeia de Caracteres (menor máximo permitido: 1000 caracteres)	"Eletro_01", "www.ime.usp.br/~amachion/oas"
1.2	Título	Nome dado ao objeto de aprendizagem	1	não especificada		Língua e Cadeia (menor máximo permitido: 1000 caracteres)	("pt", "Fenômenos provocados pela Força Elétrica")
1.5	Palavra-Chave	Uma palavra ou uma frase que descreve o tópico abrangido pelo OA	menor máximo permitido: 10 itens	não ordenado		Língua e Cadeia (menor máximo permitido: 1000 caracteres)	("pt", "Eletrização")

Tabela 2.3: Exemplo de elementos de descrição de metadados - categoria 1.Geral [IEEE 2002].

Nr.	Nome	Explicação	Tamanho	Ordem	Espaço de Valores	Tipo de Dados	Exemplo
5.2	Tipo de Recurso de Aprendizagem	Tipo do OA. O tipo predominante deve aparecer antes.	menor máximo permitido: 10 itens	ordenado	exercício, simulação, questionário, diagrama, figura, gráfico, índice, apresentação, tabela, texto, exame, experimento, problema, auto-avaliação, aula	Vocabulário	
5.6	Contexto	Ambiente de aprendizagem dentro do qual o OA deve ser utilizado	menor máximo permitido: 10 itens	não ordenado	escola, ensino superior, treinamento, outros	Vocabulário	
5.8	Dificuldade	Quão difícil é trabalhar com o OA, dentro do contexto recomendado	1	não especificada	muito fácil, fácil, médio, difícil, muito difícil	Vocabulário	

Tabela 2.4: Exemplo de elementos de descrição de metadados - categoria 5.Educacional [IEEE 2002].

Entre os repositórios listados nas Tabelas 2.1 e 2.2, vários deles permitem a descrição de OAs utilizando o padrão LOM, a saber: ARIADNE, EdNA e Merlot, sendo esse último um dos maiores repositórios de OAs da Web.

2.2.1 Críticas e Propostas de Extensão no Padrão LOM

Uma das críticas que se pode fazer ao padrão LOM é que ele foi proposto especificamente para permitir o gerenciamento dos repositórios de OAs, particularmente com relação aos aspectos técnicos e de catalogação de objetos dentro de ambientes de redes e não para dar subsídios pedagógicos a quem o utiliza. Embora o LOM contenha algumas categorias que descrevam os OAs sob o aspecto pedagógico (**Categoria 5 - Educacional**), essas informações nem sempre são suficientes para dar suporte ao professor (ou sistemas de busca) na seleção de OAs relevantes.

Note que o metadado **palavra-chave** é definido como: “*uma palavra-chave ou frase descrevendo o tópico do OA*”. Porém, como será discutido nos próximos capítulos, um tópico tratado por um OA pode envolver um conjunto de conceitos e seus relacionamentos, identificados em um Mapa Conceitual. Por exemplo, um OA que é descrito por “eletrização” envolve os conceitos força, carga, atrito, entre outros. Esse conjunto de conceitos e suas relações que deverão ser aprendidos pelo aluno com o uso do OA são os *objetivos didáticos* do OA, de acordo com a definição de unidade didática (Capítulo 1). Neste trabalho, adotaremos o metadado **palavra-chave** para descrever os objetivos didáticos do OA.

Já a **Categoria 7 - Relação** descreve como um OA específico se relaciona com outros OAs específicos, mas não identifica explicitamente os conceitos que são pré-requisitos para o seu uso efetivo. Assim sendo, apesar do metadado **palavras-chave** poder ser usado para indicar os objetivos didáticos do OA, não é possível determinar em que ponto de uma sequência de atividades didáticas propostas pelo professor o OA pode ser utilizado, nem saber quais são os conceitos que esse OA supõe como já aprendidos, simplesmente por meio da **Categoria 7**

- **Relação**. Isto é, o padrão LOM não faz referência ao conhecimento prévio necessário para que um OA possa ser utilizado efetivamente. Seria interessante então, acrescentar ao LOM na Categoria Geral, o metadado **suposições sobre o conhecimento prévio do aprendiz**, que chamaremos de **1.9 - Suposições**. Esse novo metadado deve conter uma lista de conceitos e seus relacionamentos que permitam que o professor possa analisar OAs em termos de suas dependências conceituais e não dependências entre objetos.

Sendo assim, uma das propostas desse trabalho é estender o padrão LOM com um novo metadado dentro da Categoria Geral **1.9 - Suposições** e também re-definir o Metadado **1.5 - Palavra-chave** como uma lista de conceitos e seus relacionamentos que correspondem aos objetivos didáticos do OA.

É importante frisar que os objetivos didáticos, junto com as suposições definem um OA com mais detalhes sob o ponto de vista pedagógico do que simplesmente o tópico que ele aborda. No Capítulo 5 será visto que as duas listas de conceitos, palavras-chave e suposições, representam fragmentos da estrutura conceitual do domínio de aprendizagem - aspecto fundamental desta tese para garantir que uma composição de OAs cubra um determinado conteúdo.

Mapas Conceituais

Mapas Conceituais (MCs) são representações gráficas, freqüentemente utilizadas por educadores no processo ensino e aprendizagem, que indicam **relações** entre os **conceitos** de um domínio de conhecimento [Cañas et al. 2003]. Nesses diagramas, os conceitos aparecem sempre representados por termos geralmente circunscritos por figuras geométricas (por exemplo, elipses ou retângulos) as quais não têm significado específico. As relações são expressas por linhas conectando os conceitos. Sobre essas linhas, podem ser escritos outros termos que funcionam como conectivos, de modo que os dois conceitos mais o conectivo indicam uma proposição (não uma frase completa) que dê uma idéia da relação entre eles [Moreira 2006]. Num MC, sempre deve ficar claro quais são os conceitos mais importantes, chamados de conceitos principais, e quais são os conceitos secundários. Setas podem, mas não necessariamente, ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações. Em alguns casos, as setas podem definir relações de hierarquia (ou subordinação) entre conceitos, ou seja, exibir os conceitos numa ordem que vai dos mais inclusivos para os menos inclusivos (ou seja, dos mais gerais ou principais para os mais específicos ou secundários). Um exemplo de mapa conceitual é ilustrado na Figura 3.1. Esse mapa mostra os principais conceitos da Eletrostática, campo ($\vec{E}$), força ($\vec{F}$), potencial (V) e energia potencial U como manifestação da carga elétrica (Q). A Figura 3.2 mostra um exemplo de representação gráfica da relação “é manifestação de” entre

Q e $\vec{E}$, utilizando um conectivo sobre a linha.

Figura 3.1: Mapa conceitual dos principais conceitos da Eletrostática e a relação “manifestação da carga elétrica”. A direção das linhas indica que os 4 conceitos $\vec{E}$, $\vec{F}$, V e U são manifestações de Q .

Figura 3.2: Exemplo de mapa conceitual que descreve os tipos de relacionamentos.

Uma representação formal para mapas conceituais pode ser feita utilizando-se o conceito de grafos: sejam C um conjunto de conceitos e R um conjunto de relacionamentos entre esses conceitos; um mapa conceitual M pode ser definido como um par ordenado $M = (C, R)$ em que os elementos de C são chamados de vértices e os de R , arestas. Para o caso em que o mapa conceitual possuir setas, cada aresta de R é um par ordenado de vértices de C , caso contrário, cada aresta é um par não-ordenado.

MCs podem ser construídos para representar os conceitos envolvidos em uma disciplina, parte dela ou somente um tópico específico. MCs desenhados por diferentes especialistas em uma mesma área de conhecimento podem refletir pequenas diferenças de compreensão ou interpretação das relações entre conceitos principais dessa área, sendo assim, podemos ter mapas conceituais diferentes para representar um mesmo conjunto de conceitos e suas relações. O ponto importante é que um mapa conceitual deve ser sempre visto como uma das várias maneiras possíveis de modelar [Moreira 2006] um domínio de conhecimento.

3.1 Mapas conceituais e a teoria cognitiva de Ausubel

A idéia de mapa conceitual foi originalmente desenvolvida em 1972 durante um projeto de pesquisa de Joseph Novak na Universidade de Cornell, no qual ele pretendia entender como ocorrem as mudanças no conhecimento sobre ciências em crianças [Novak e Canas 2006]. Durante esse estudo, muitas crianças foram entrevistadas, porém, era muito difícil identificar tais mudanças através das entrevistas. A partir da necessidade de se encontrar uma forma de representar graficamente o entendimento conceitual das crianças, surgiu a idéia dos mapas conceituais. O projeto de pesquisa em questão era baseado na teoria de David Ausubel [Ausubel, Novak e Hanesian 1978] sobre **Aprendizagem Significativa**: processo em que uma nova informação, para ser aprendida, deve se relacionar com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento existente do indivíduo (em oposição a uma aprendizagem de memorização ou aprendizagem receptiva). Essa estrutura de conceitos, que corresponde a uma abstração da experiência de um indivíduo, é denominada **estrutura cognitiva**. Os conceitos preexistentes são chamados nesta teoria de **subsunçores** e servem como âncora para as novas informações¹. O processo de ligar novas informações a segmentos de uma estrutura cognitiva preexistente é chamado **subsunção**² [Ausubel, Novak e Hanesian 1978]. Na aprendizagem significativa há uma interação entre o conhecimento prévio e o novo, na qual ambos se modificam: à medida que o conhecimento prévio serve de âncora para dar significado à nova informação, os conceitos que formam esse conhecimento vão adquirindo novos significados, interagindo entre si e com os novos, com isso, novas âncoras vão se formando. Ou seja, de acordo com Ausubel, a estrutura cognitiva é constantemente reestruturada durante a aprendizagem significativa [Moreira 2003]. Por exemplo, na aprendizagem de Eletrostática, um aluno, antes mesmo de aprender o conceito força elétrica, provavelmente já tenha o conceito sobre força ou sobre atração e repulsão de corpos diante dos fenômenos de eletrização (por exemplo, quando os pelos do corpo se levantam

¹Neste trabalho, chamaremos os conceitos subsunçores de âncoras.

²No dicionário [Ferreira 2004]: 1. Conceber (um indivíduo) como compreendido numa espécie; 2. conceber (uma espécie) como compreendida em um gênero; 3. considerar (um fato) como aplicação de uma lei. Na lógica, subsunção é um tipo de inferência correta da Lógica de Descrições [Baader, Horrocks e Sattler 2003].

nas proximidades da tela da televisão).

O *modelo ausubeliano* de mapa conceitual supõe um tipo de hierarquia de conceitos [Cañas et al. 2003] na qual os conceitos mais gerais ou mais inclusivos ficam no topo do mapa e os mais específicos ou menos inclusivos, organizados abaixo. A Figura 3.3 ilustra um exemplo de mapa conceitual que tem conceitos mais inclusivos (Força) acima dos menos inclusivos (Força Elétrica). Na Eletrostática, o conceito Carga também pode ser considerado mais geral do que seu sinal, sua quantização e a própria Força Elétrica, uma vez que essa é uma de suas manifestações.

Figura 3.3: Exemplo de hierarquia de conceitos.

De acordo com sua definição, com a aprendizagem significativa de Ausubel ocorrem dois processos na estrutura cognitiva de um indivíduo: **diferenciação progressiva** e **reconciliação integradora** [Moreira 2003].

Diferenciação progressiva é o princípio segundo o qual os conceitos mais gerais ou inclusivos da disciplina devem ser apresentados primeiro para depois serem progressivamente diferenciados em detalhes e especificidades, com a introdução de novos conceitos. A Figura 3.4 mostra um exemplo no qual o professor, depois de ter ensinado que carga elétrica gera campo elétrico, acrescenta a informação de que dependendo do sinal da carga que gerou o campo, esse pode ser convergente ou divergente.

Reconciliação integradora é o estabelecimento de relações entre os conceitos e propo-

Figura 3.4: Exemplo de diferenciação progressiva, na qual são acrescentados novos conceitos: campos elétricos convergente e divergente.

sições já conhecidas, ou seja, conceitos já aprendidos são relacionados, levando a uma reorganização da estrutura cognitiva. A Figura 3.5 ilustra a situação em que o professor já ensinou os conceitos de campo e força elétrica e agora é possível mostrar que esses dois conceitos se relacionam.

Figura 3.5: Exemplo de reconciliação integradora, na qual são estabelecidos relacionamentos entre conceitos já aprendidos.

Com base na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel, o professor assume um papel importante: o de encorajar o aprendiz a pensar sobre os conceitos sob diferentes perspectivas, usando os conceitos âncora para a aprendizagem de novos conceitos.

3.2 Uso dos mapas conceituais

Como são ferramentas flexíveis, os MCs podem ser usados: (i) como instrumento didático, (ii) como instrumento de avaliação e (iii) como um recurso auxiliar na análise e planejamento de conteúdo de cursos [Moreira 2006], como é descrito nas próximas sub-seções.

3.2.1 Mapas conceituais como instrumento didático

Como instrumento didático, os mapas podem ser usados pelo professor ou diretamente pelo aluno. O professor pode utilizar um MC para mostrar tanto as relações hierárquicas entre os conceitos que estão sendo ensinados quanto outros tipos de relações explícitas no mapa. Isso pode facilitar a aprendizagem [Moreira 2006]. Por exemplo, na Figura 3.4 o professor pode ter discutido com os alunos sobre como a força elétrica se manifesta na presença de uma carga elétrica e depois explicar que diferentes tipos de carga podem gerar diferentes tipos de força, usando o mapa conceitual.

O modelo hierárquico dos mapas conceituais está de acordo com o princípio ausubeliano da diferenciação progressiva. Porém, a utilização de um MC não precisa ser exclusivamente de cima para baixo, como sugere esse modelo. Para promover a reconciliação integradora, é preciso também explorar, explicitamente, relações entre proposições e conceitos de mesmo nível, evidenciando semelhanças, diferenças e resolvendo inconsistências reais ou aparentes [Moreira e Masine 1982].

O uso de MCs no processo ensino e aprendizagem apresenta vantagens e desvantagens [Moreira 2006]. Entre as possíveis vantagens, pode-se mencionar:

1. a ênfase na estrutura conceitual de uma disciplina;
2. a possibilidade de mostrar que os conceitos de uma determinada disciplina diferem quanto ao grau de generalidade e apresentar esses conceitos nessa ordem hierárquica

de maneira a facilitar a aprendizagem;

3. uma visão integrada do assunto e uma espécie de listagem dos tópicos que foram abordados nos materiais instrucionais.

Algumas desvantagens que ocorrem quando os mapas são diretamente apresentados para os alunos são:

1. se o mapa não tem significado para os alunos, eles podem encará-lo como algo mais a ser memorizado;
2. os mapas podem ser muito complexos e confusos, dificultando a aprendizagem, ao invés de facilitá-la;
3. a habilidade dos alunos em construir suas próprias hierarquias conceituais pode ficar inibida em função de já receberem prontas as estruturas propostas pelo professor (segundo sua própria percepção e preferência, que pode ser uma entre várias).

Outra forma de uso dos mapas conceituais como instrumento didático é propor que eles sejam criados pelo próprio estudante e assim serem utilizados de diversas formas para facilitar a aprendizagem significativa. Os mapas resumem esquematicamente o que os alunos sabem, podendo ser usados para mostrar o seu conhecimento prévio sobre um determinado tópico e também o que eles aprenderam depois de uma aula. Dessa forma, MCs são usados como anotações para ajudar nos estudos. Além disso, por ser uma atividade criativa, na qual o estudante deve esclarecer suas dúvidas, identificando os conceitos principais, seus relacionamentos e a estrutura do domínio estudado, a elaboração de mapas conceituais também estimula a reflexão sobre o próprio conhecimento, fornecendo uma ferramenta que pode ajudar o aluno a monitorar seu aprendizado [Cañas et al. 2003].

3.2.2 Mapas conceituais como instrumento de avaliação

Como instrumento de avaliação os MCs têm como objetivo fornecer para o instrutor, informações sobre o tipo de estrutura que o aluno absorve em um dado conjunto de conceitos, não necessariamente para testar seu conhecimento e dar-lhe uma nota. Para isso, pode-se solicitar ao aluno que construa seu próprio mapa ou esse pode ser obtido indiretamente através de suas respostas a testes escritos ou entrevistas orais. Numa avaliação utilizando mapas conceituais, a principal idéia é avaliar o que o aluno sabe em termos conceituais, isto é, como ele relaciona os conceitos que lhe foram transmitidos.

Segundo Ausubel, o conhecimento prévio de um aluno é o fator isolado que mais influencia a aprendizagem subsequente [Ausubel, Novak e Hanesian 1978]. Portanto, é importante avaliar esse conhecimento da melhor maneira possível para que o professor possa decidir qual será a próxima atividade a ser proposta ao aluno. Considerando que a estrutura cognitiva de um indivíduo em uma área de conhecimento é representada pela organização conceitual de suas idéias nessa área e sabendo que os MCs são uma visualização de conceitos e suas relações, pode-se dizer que os MCs são úteis na determinação do conhecimento prévio do aluno. Além disso, os MCs servem para investigar as mudanças que ocorrem na estrutura cognitiva do aprendiz durante a instrução.

Finalmente, MCs podem ser usados tanto em avaliações continuadas quanto em avaliações finais. Em avaliações continuadas, os alunos devem desenhar MCs em vários pontos da aprendizagem e os professores podem usar esses mapas para avaliar os alunos e também para adaptar o currículo de acordo com as necessidades. Nas avaliações finais, MCs podem ser usados para avaliar o entendimento dos alunos e atribuir-lhes nota.

3.2.3 Mapas conceituais como ferramenta para análise e planejamento de conteúdo de cursos

MCs também podem ser utilizados pelo professor para definir o conteúdo de uma aula, de uma disciplina, de um conjunto de disciplinas ou de um currículo completo. Cada uma dessas funcionalidades requer diferentes níveis de generalidade ou especificidade dos conceitos que estão no mapa. Por exemplo, conceitos mais abrangentes podem servir de base para o planejamento curricular de um determinado curso, enquanto conceitos mais específicos podem orientar a seleção de material e atividades instrucionais específicas [Moreira 2006].

Um bom planejamento de currículo requer uma análise cuidadosa sobre quais são os conceitos centrais para o entendimento de uma disciplina, ou parte dela que está sendo considerada. Por exemplo, ao construir um mapa conceitual de um curso completo já existente, é possível observar que o número de conceitos importantes é relativamente pequeno (sendo que esses conceitos às vezes são repetidos com nomes diferentes em várias disciplinas). Não é raro, ao fazer isso, chegar-se à conclusão de que o programa está cheio de repetições e não focaliza adequadamente os conceitos que são realmente importantes [Moreira 2006].

Um planejamento curricular também pode ser dinâmico: dependendo da avaliação dos alunos, o professor pode decidir selecionar diferentes atividades didáticas.

Neste trabalho, MCs são usados para dar suporte à análise de conteúdo na elaboração de material didático, ou seja, o mapa conceitual é usado para auxiliar um professor na decisão sobre como construir uma seqüência do conteúdo de um curso, utilizando OAs. Isso é feito gerando-se automaticamente várias seqüências possíveis de OAs e deixando para o professor escolher, dinamicamente, a(s) próxima(s) atividades didáticas num curso.

3.3 Um mapa conceitual sobre Eletrostática

Existem várias pesquisas [Moreira 2006] [Tavares 2006] [Konrath 2002] [Navarro et al. 2005] [Faria 1995] sobre a elaboração e verificação de mapas conceituais junto com alunos. Entre essas pesquisas, é possível citar o trabalho de Sonia Salem [Salem 1986], no qual foi elaborado um mapa conceitual sobre o domínio da Eletrostática sob a supervisão de educadores experientes no assunto. Esse mapa, que chamaremos MCE, é utilizado para o estudo de caso deste trabalho. O MCE descreve a teoria da Eletrostática na forma como ela é abordada em cursos básicos oferecidos a estudantes dos cursos de Física, Matemática ou Engenharia das universidades brasileiras. Nesse caso, a Eletrostática é tratada com mais ênfase nos conceitos físicos e o formalismo matemático não é muito avançado [Salem 1986]. Esse mesmo mapa pode ser simplificado e servir ainda para o ensino médio.

A construção do mapa foi feita como um trabalho de mestrado pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Para isso partiu-se dos conceitos mais significativos da Eletrostática e seus relacionamentos, tendo como fonte principal a leitura detalhada da bibliografia utilizada no curso Física III do Instituto de Física da Universidade de São Paulo [Purcell 1970]. O primeiro esboço do mapa pode ser visto na Figura 3.6 na qual são mostrados os principais conceitos e relações que compõem a estrutura conceitual da Eletrostática [Salem 1986]. Como visto anteriormente, essa estrutura exhibe a *carga elétrica* (Q) como elemento central e suas manifestações: *campo elétrico* ($\vec{E}$), *força elétrica* ($\vec{F}$), *potencial elétrico* (V) e *energia potencial elétrica* (U), bem como as suas inter-relações.

A seguir, fazemos uma descrição detalhada dos relacionamentos entre os conceitos principais, carga (Q) e campo ($\vec{E}$) com os conceitos menos inclusivos. Uma propriedade básica da *carga elétrica* é ser uma grandeza *escalar*. Supondo que o espaço vazio seja isotrópico, isto é, sem variação nas suas características, o *campo vetorial* criado por uma carga deve ser *esfericamente simétrico* e portanto, *radial*. O mapa conceitual obtido para essas relações é mostrado na Figura 3.7.

Figura 3.6: Mapa básico dos conceitos da Eletrostática.

Figura 3.7: Mapa conceitual obtido a partir da inclusão dos primeiros conceitos mais específicos no relacionamento **campo - carga** [Salem 1986].

Uma carga é medida em unidades discretas, isto é, em múltiplos inteiros de uma mesma quantidade *elementar e*. Assim sendo, uma carga elementar é puntiforme, ou seja, não é constituída por outras cargas, não é separável em partes, nem tem estrutura interna. Com isso, uma carga elétrica puntiforme colocada sobre um ponto no espaço não é alterada por qualquer outra carga situada nas suas proximidades. Isso implica que o *campo elétrico* criado por uma carga puntiforme não se altera pela presença de outras cargas. É por isso que o campo criado por um sistema de cargas, em um determinado ponto, é igual à soma vetorial dos campos criados pelas cargas isoladamente. Essa propriedade é conhecida como *Princípio da Superposição*. A Figura 3.8 mostra o mapa anterior (Figura 3.7) acrescido desses novos conceitos e relacionamentos.

Figura 3.8: Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.7 [Salem 1986].

Como existem dois tipos de carga (*positiva* e *negativa*), temos dois *sentidos* para campo elétrico: *carga positiva* gera *campo divergente* e *negativa* gera *campo convergente*. A *intensidade* do vetor campo elétrico é *proporcional* à carga que o gerou e *ao inverso do quadrado da distância* r dessa carga. O mapa conceitual obtido com a inclusão desses novos conceitos e relacionamentos é mostrado na Figura 3.9.

Figura 3.9: Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.8.

O campo elétrico pode ser definido também pela *Lei de Gauss*, a partir do conceito de *fluxo* (Φ) do vetor campo elétrico que atravessa uma superfície fechada. Essa lei afirma que o fluxo do vetor campo elétrico através da superfície é diretamente proporcional à carga elétrica

e também ao inverso do quadrado da distância r dessa carga. A Figura 3.10 mostra o mapa conceitual obtido acrescentando-se esse novo conceito ao mapa anterior (Figura 3.9).

Figura 3.10: Mapa conceitual obtido a partir da inclusão de novos conceitos e relacionamentos ao mapa anterior mostrado na Figura 3.9.

O mapa conceitual completo contendo todas os conceitos e relacionamentos da Eletrostática elaborado por Sonia Salem ([Salem 1986]) é mostrado na Figura 3.11. Esse mapa tem por objetivo explicitar a estrutura conceitual completa da Eletrostática que é abordada num curso superior do nível descrito no início desta seção.

A validação do mapa foi feita verificando-se a maneira como os alunos do curso de Física III, citado anteriormente, construíam a estrutura conceitual da Eletrostática ao final do curso. Na pesquisa realizada, 50% dos alunos foram capazes de reproduzir mais que 90% dos conceitos e relacionamentos do mapa e 70% dos alunos foram capazes de reproduzir pelo menos 70% do mapa original [Salem 1986].

O mapa conceitual MCE construído por Sonia Salem, foi elaborado a partir dos conceitos principais e dos relacionamentos entre eles. No entanto, não está claro nesse mapa quais são os conceitos mais inclusivos da teoria, ou seja, quais são as relações hierárquicas entre os

conceitos do mapa. Na Figura 3.12, são mostradas algumas hierarquias que, apesar de não estarem explícitas no MCE original, são facilmente identificadas.

A Figura 3.12 (a) indica que a carga Q é um conceito mais importante que $\vec{E}$, $\vec{F}$, U e V , pois é ela que os gera. A Figura 3.12 (b) indica que carga é um conceito mais importante que suas propriedades. A parte (c) da figura mostra que o conceito de campo ($\vec{E}$) é mais importante que suas propriedades, o mesmo acontece com a parte (d) que mostra que $\vec{F}$ também é mais importante que suas propriedades.

Além disso, o MCE possibilita várias interpretações para a Eletrostática, ou seja, pode-se escolher qualquer um dos relacionamentos entre os conceitos representados nos vértices ($\vec{E}$, $\vec{F}$, U e V) e o conceito central (Q), como o relacionamento inicial e, a partir desse, deduzir os demais conceitos e relacionamentos. Isso permite leituras diferentes do mapa, que por sua vez refletem diferentes abordagens pedagógicas para o ensino da disciplina [Salem 1986].

Uma possível leitura do MCE é feita começando-se com o par ordenado $(Q, \vec{E})$, e sua relação de *manifestação*, ou seja, *campo elétrico é uma manifestação da carga elétrica*. Sendo a carga elétrica fonte de campo elétrico, pode-se dizer que uma carga elétrica q , quando colocada em um campo elétrico $\vec{E}$ criado por outra carga q' , sente uma *força* $\vec{F}$, sendo que as propriedades da força a partir das propriedades do campo são: a *direção* da reta que une as duas cargas; o *sentido* atrativo quando as cargas possuem sinais opostos e o sentido repulsivo, caso contrário; a *intensidade* é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas (*Lei de Coulomb*).

O *potencial eletrostático* V também pode ser definido a partir do campo $\vec{E}$. Para isso, pressupõe-se que esse seja *conservativo*. A relação entre o potencial e o campo eletrostático passa, então, pelo seguinte caminho de conceitos e relações:

$$\text{campo elétrico} \rightarrow \text{radial} \rightarrow \text{simetria esférica} \rightarrow \text{conservativo} \rightarrow \text{potencial elétrico}.$$

Finalmente, a *energia potencial eletrostática* U também pode ser definida a partir do

Figura 3.12: Interpretações das hierarquias implícitas do MCE.

campo elétrico, pressupondo a relação $\vec{E} - \vec{F}$ já discutida, nesse caso, a *energia* U pode ser associada à força por ser *conservativa*. Assim, a relação entre a energia potencial e a força passa pelo seguinte caminho de conceitos e relações:

força elétrica $\rightarrow$ *central* $\rightarrow$ *coordenada relativa* $\rightarrow$ *conservativa* $\rightarrow$ *energia potencial*.

Como o campo também transfere o *princípio da superposição* para a energia, um caminho alternativo para definir a energia U em função do campo $\vec{E}$ diretamente baseia-se no fato da *densidade de energia* num volume de espaço ser dada em função do campo elétrico resultante. Nesse caso, o caminho de conceitos e relações percorrido é:

$$\text{campo elétrico} \rightarrow \text{fluxo} \rightarrow \text{princípio da superposição} \rightarrow \text{energia potencial}.$$

Essa primeira leitura determinou o caminho cognitivo que passa pela seguinte sequência de conceitos principais

$$Q \rightarrow \vec{E} \rightarrow \vec{F} \rightarrow V \rightarrow U \quad (3.1)$$

As outras leituras são descritas em detalhe em [Salem 1986] e identificam os seguintes caminhos:

$$Q \rightarrow \vec{F} \rightarrow \vec{E} \rightarrow U \rightarrow V \quad (3.2)$$

$$Q \rightarrow U \rightarrow V \rightarrow \vec{E} \rightarrow \vec{F} \quad \text{ou} \quad Q \rightarrow U \rightarrow \vec{F} \rightarrow \vec{E} \rightarrow V \quad (3.3)$$

$$Q \rightarrow V \rightarrow U \rightarrow \vec{E} \rightarrow \vec{F} \quad (3.4)$$

Note que as seqüências de conceitos correspondentes às diferentes leituras do MCE (caminhos 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4) foram apresentadas somente com seus conceitos principais. Num curso real, essas seqüências podem ser bem mais complexas, envolvendo além dos conceitos secundários, vários conceitos e relacionamentos definidos matematicamente. Algumas dessas definições constituem leis conhecidas da teoria da Eletrostática. A Tabela 3.1 contém a lista

das relações entre conceitos, indicadas no MCE (Figura 3.11) pelos números da coluna da esquerda.

Figura 3.13: Interpretações sobre as hierarquias do MCE, feitas em [Salem 1986].

Um exemplo de seqüência mais complexa de conteúdo do mapa conceitual de Eletrostática

Identificação no mapa da Figura 3.11	Conceitos envolvidos	Caracterização
(1)	força e campo	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ ou $\vec{F} = q\vec{E}$
(2)	potencial e campo	$V = -\int \vec{E}d\vec{s}$ ou $\vec{E} = -gradV$
(3)	energia potencial e potencial	$V = \frac{U}{q}$ ou $U = qV$ ($V \propto U$)
(4)	força e energia	$U = -\int \vec{F}d\vec{s}$ ou $\vec{F} = -gradU$
(5)	fluxo do vetor campo elétrico e carga	$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0}$ (<i>Lei de Gauss</i>)
(6)	campo elétrico e carga	$E = k\frac{Q}{r^2}$ (<i>Lei de Coulomb</i>)
(7)	potencial elétrico e carga	$V = k\frac{Q}{r}$
(8)	energia potencial e carga	$U = k\frac{qQ}{r}$
(9)	força e carga	$F = k\frac{qQ}{r^2}$ (<i>Lei de Coulomb</i>)
(10)	campo e fluxo	$\oint \vec{E}d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$ ($\vec{E} \propto$ <i>Lei de Gauss</i>)

Tabela 3.1: Relacionamentos matemáticos contidos no MCE.

é dado por:

$$\begin{aligned}
 Q &\rightarrow \text{ sinal } \rightarrow \text{ atração } \rightarrow \text{ repulsão } \rightarrow \text{ elementar } \rightarrow \text{ conservação } \rightarrow V \rightarrow \vec{F} \rightarrow \\
 &\text{ Lei de Coulomb } \rightarrow \text{ superposição } \rightarrow \vec{E} \rightarrow \text{ módulo } \rightarrow \text{ direção } \rightarrow \\
 &\text{ Lei de Gauss } \rightarrow \text{ fluxo } \rightarrow \text{ Lei de Coulomb } \times \text{ Lei de Gauss } \rightarrow \\
 &\vec{E} \times \text{ Lei de Gauss } \rightarrow U \rightarrow V \times U
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

É importante destacar que os conceitos principais do MCE também podem ser vistos como uma hierarquia de conceitos (segundo a teoria de aprendizagem significativa), na qual os mais gerais servem como âncora para a aprendizagem dos conceitos subseqüentes. Dependendo das escolhas do professor ou do conhecimento prévio do aluno, pode-se definir diferentes hierarquias entre os conceitos principais, como mostra a Figura 3.13. Note que essas hierarquias seguem as possíveis seqüências geradas pelas diferentes leituras do MCE propostas pela autora. Na Figura 3.13, a hierarquia (a) corresponde ao caminho (3.1), a (b) ao caminho (3.2), a (c) à primeira opção do caminho (3.3), a (d) à segunda e a (e) corresponde ao caminho (3.4).

3.5 Conclusão

Neste capítulo foram definidos mapas conceituais e a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Também, foi apresentado um exemplo de mapa conceitual para a Eletrostática (MCE) que será utilizado no estudo de caso que será feito no Capítulo 7. Além disso, foram descritas diferentes leituras desse mapa conceitual, gerando diferentes seqüências de conceitos e relacionamentos. Foi mostrado ainda que essas seqüências estão de acordo com a teoria de Ausubel em que os conceitos mais gerais aparecem antes dos mais específicos, de acordo com as relações de hierarquia implícitas no MCE.

Todas as interpretações de hierarquias de conceitos e de relações nesta tese foram feitas a partir do trabalho de Sonia Salem [Salem 1986].

Como será visto no próximo capítulo, a idéia de *dependência hierárquica* nas seqüências de um MC será usada para definir fragmentos de um *mapa conceitual*, uma nova forma de se representar conteúdos que será usada como base para a construção da ferramenta de análise, seleção e composição de OAs.

Ontologias

A WWW tornou-se nos últimos anos uma das formas mais importantes de divulgar e recuperar conteúdos digitais. No entanto, a busca por recursos na Web, feita nos moldes atuais, não é satisfatória para o usuário. Ela traz muitas informações irrelevantes e não garante que as mais importantes sejam recuperadas. Uma das razões para isso é que a maioria dos recursos Web é projetada para uso de pessoas. As ferramentas atuais fornecem apenas um formato para visualização de informações, sem se preocupar com a descrição do conteúdo e seu significado, por exemplo, utilizando linguagens de marcação.

A Web Semântica [Berners-Lee, Hendler e Lassila 2001] tem por objetivo prover informações mais refinadas sobre o conteúdo dos recursos disponíveis na Web, que possam ser processadas por máquinas. Para isso, são necessárias marcações semânticas, isto é, anotações que contenham informações sobre o conteúdo do recurso Web, por meio de uma linguagem expressiva o bastante para descrever os detalhes relevantes. Além disso, para que os recursos possam ser compartilhados por diferentes sistemas da Web, essa linguagem deve ser adotada como padrão pelas comunidades afins.

Um elemento chave para a Web Semântica é a idéia de ontologias. Segundo o dicionário [Ferreira 2004], ontologia “...é a parte da filosofia que trata do ser enquanto ser, isto é, do ser concebido como tendo uma natureza comum, que é inerente a todos e a cada um dos

seres”. A área de Representação de Conhecimento da IA adotou esse termo dando-lhe um novo significado, sendo que a definição mais adotada é “...uma especificação formal, explícita e compartilhada de uma conceitualização” [Gruber 1993]. Sendo assim, pode-se dizer que uma ontologia descreve formalmente um domínio de conhecimento.

As ontologias incluem definições que podem ser utilizadas por pessoas ou máquinas, constituindo-se em listas finitas de termos e relacionamentos [Antoniou e Harmelen 2004]. Os *termos* referem-se aos conceitos básicos de um domínio (*classes* de objetos) enquanto que os *relacionamentos* podem expressar hierarquias entre os conceitos ou outros tipos de relações, como mostrado no exemplo da Figura 4.1.

Figura 4.1: Exemplo de relacionamentos entre termos que podem ser definidos em uma ontologia

Sendo assim, no contexto da Web, as ontologias podem oferecer um entendimento compartilhado sobre um domínio, necessário para superar diferenças entre as diversas terminologias da rede WWW. Além disso, elas podem ser utilizadas para representar a semântica de documentos, permitindo que esses sejam utilizados por aplicações de software na Web, por exemplo, aplicações que precisam realizar buscas “inteligentes” de informações.

Para que as ontologias na Web possam ser de fato processadas pelos computadores é preciso que a linguagem utilizada para descrevê-las seja bem projetada, bem definida, compatível com a Web e com suporte para mecanismos de inferência. Finalmente, a expressividade da linguagem de ontologias deve ser adequada, para comportar a definição dos conceitos e relacionamentos com detalhes suficientes, sem prejudicar a factibilidade das inferências em termos de tratabilidade computacional [Baader, Horrocks e Sattler 2003]. Para satisfazer esses objetivos, normalmente, as ontologias são expressas em linguagens baseadas em lógica e, dessa forma é possível realizar inferências lógicas automáticas por meio de provadores de

teoremas e fornecer serviços sofisticados para Web.

4.1 Linguagens para implementação de ontologias

Desde o começo dos anos 90, foram desenvolvidas várias linguagens para implementação de ontologias, entre elas: KIF [Genesereth e Fikes 1992], baseada na lógica de primeira ordem; Ontolingua [Gruber 1993], OCML [Motta 1998] e FLogic [Kifer, Lausen e Wu 1995], todas baseadas na combinação de *frames* com lógica de primeira ordem; e Loom [MacGregor e Bates 1987], baseada em lógica de descrições. Com o crescimento da Internet, foram desenvolvidas novas linguagens para explorar suas características. A primeira linguagem para desenvolver ontologias na Internet, SHOE [Heflin, Hendler e Luke 1999], começou a ser desenvolvida em 1996 utilizando a sintaxe HTML, porém, quando a linguagem XML passou a ser uma recomendação W3C para troca de informações na Web, a linguagem SHOE teve sua sintaxe alterada e várias outras linguagens foram desenvolvidas a partir dessa nova sintaxe. Por exemplo, a linguagem RDF [Klyne e Carroll 2003], baseada no formalismo de redes semânticas (desenvolvida pela W3C, para descrever recursos Web). Uma extensão da linguagem RDF, RDF *Schema* (RDF(S)) [Brickley e Guha 2003], foi desenvolvida utilizando primitivas baseadas em *frames*. Essas três linguagens passaram a ser os padrões da Web [Baader, Horrocks e Sattler 2003]. Nesse contexto, novas linguagens para implementação de ontologias foram desenvolvidas:

DAML: *DARPA Agent Markup Language* [Connolly et al. 2001] - foi desenvolvida como uma extensão da XML e RDF com o objetivo de aumentar a interoperabilidade entre agentes de software para Web;

OIL: desenvolvida [Fensel et al. 2001] sobre a sintaxe RDF(S), considerando as primitivas de ontologias baseadas em *frames* e tem seu formalismo baseado em lógica de descrições.

É possível representar conceitos, classificações de conceitos, relações binárias, funções e instâncias;

DAML-OIL: criada a partir de um comitê que uniu esforços americano (DARPA) e europeu (OIL) [Connolly et al. 2001]. Também considera primitivas de ontologias baseadas em *frames* e tem seu formalismo baseado em lógica de descrições;

OWL: recomendação atual da W3C [McGuinness e Harmelen 2004], teve forte influência da linguagem DAML-OIL. Portanto, seu formalismo é baseado em lógica de descrições e sua estrutura baseada em *frames*. No entanto, sua sintaxe é baseada em RDF. O que diferencia esta linguagem das anteriores é a preocupação com a decidibilidade das inferências realizadas, o que será descrito mais adiante.

4.1.1 Lógica de Descrições

A **Lógica de Descrições** (LD) constitui uma família de linguagens que podem ser usadas para representar o conhecimento de um domínio de aplicação de uma maneira formal, estruturada e bem definida [Baader, Horrocks e Sattler 2003]. O nome *Lógica de Descrições* significa, por um lado, que os conceitos relevantes de um domínio são apresentados na forma de *descrições*, ou seja, expressões que são construídas a partir de conceitos (predicados unários) e papéis atômicos (predicados binários), usando um conjunto de construtores da linguagem. Por outro lado, a LD está fundamentada em uma semântica formal baseada na lógica de primeira ordem.

A LD permite vários padrões de inferência que ocorrem no processamento de informações, entre elas a classificação de conceitos e de indivíduos (similar ao que os mapas conceituais se propõem a fazer, porém, usando lógica e raciocínio formal). A classificação de conceitos, também chamada teste de inclusão, determina os relacionamentos subconceito/superconceito (*subsumption*) entre os conceitos de uma terminologia, ou seja, se um subconceito está incluso

num superconceito, permitindo estruturar essa terminologia numa hierarquia. Tal hierarquia fornece informações úteis para a conexão entre diferentes conceitos e pode ser utilizada para acelerar outros serviços de inferência. A classificação dos indivíduos (ou objetos) verifica se um determinado indivíduo é sempre uma instância de um conceito, isto é, se o relacionamento do tipo *instance-of* pode ser inferido pela descrição formal do indivíduo e do conceito. Assim, é possível obter informações úteis sobre as propriedades dos indivíduos. Além disso, o relacionamento *instance-of* pode disparar regras de inferência que incluem fatos adicionais à base de conhecimento, ampliando a capacidade de encontrar informações relevantes a partir de uma simples consulta (busca).

4.1.1.1 Definição do Formalismo

Um sistema de representação de conhecimento baseado na Lógica de Descrições possibilita: (i) a construção de bases de conhecimento; (ii) inferências sobre o conteúdo dessas bases; e (iii) manipulação dos seus elementos. Uma base de conhecimento, nesse caso, possui dois componentes, o *TBox* e o *ABox*. O primeiro introduz a terminologia, isto é, o vocabulário do domínio de conhecimento (ou metadados). O segundo contém as asserções sobre os indivíduos desse domínio, em termos do vocabulário [Baader e Nutt 2003]. Tal vocabulário consiste em **conceitos**, que denotam conjuntos de indivíduos e em **papéis** que denotam relações binárias entre esses indivíduos. Além de conceitos e papéis atômicos, os sistemas baseados na LD, chamados *Sistemas LD*, permitem a construção de descrições complexas para seus elementos, designando nomes a essas descrições (utilizando uma linguagem com semântica baseada em modelos). Sendo assim, tanto as declarações no TBox quanto no ABox podem ser identificadas com fórmulas da lógica de primeira ordem ou, em alguns casos, com extensões da mesma.

Como dito anteriormente, os Sistemas LD não só armazenam terminologias e asserções, mas também permitem realizar inferências sobre as mesmas. As tarefas características de inferência sobre uma terminologia (TBox) são: (i) determinar se uma descrição é satisfável,

isto é, não contraditória; e (ii) determinar se uma descrição é mais geral que outra, ou seja, se a primeira inclui a segunda. No caso das asserções sobre os indivíduos (ABox), essas tarefas são: (i) verificar se o conjunto de asserções é consistente, isto é, se ele possui um modelo (uma valoração verdadeira ou falsa para as asserções que tornem todas as interpretações da teoria verdadeiras); e (ii) verificar se as asserções acarretam o fato de que um indivíduo é instância de uma descrição de um conceito. Em resumo, a satisfatibilidade verifica as descrições, enquanto a consistência verifica a utilidade das asserções para determinar uma base de conhecimento com significado. Além disso, os testes de *subsumption* organizam os conceitos da terminologia numa hierarquia.

Sintaxe: A sintaxe das linguagens LD é formada por símbolos que representam conceitos, papéis, construtores e quantificadores. Os conceitos são representações de classes, ou seja, conjuntos de indivíduos que apresentam as mesmas características. Os papéis são propriedades dos conceitos, isto é, representam os relacionamentos entre os elementos da base de conhecimento (conceitos e instâncias). Tanto os conceitos quanto os papéis podem ser atômicos - não dependem de outros conceitos ou relacionamentos para serem definidos - ou complexos - os quais utilizam outros conceitos, construtores e quantificadores para a sua descrição.

Considerando A um conceito atômico, R um papel atômico; C e D descrições de conceitos complexos, a descrição de conceitos numa linguagem minimal¹, chamada Linguagem Atributiva (AL) é dada de acordo com a regra sintática ilustrada na Tabela 4.1 [Baader, Horrocks e Sattler 2003]:

A maneira como os conceitos (C e D) e os papéis (R e S) se relacionam é dada pelos *axiomas terminológicos*. Os casos mais gerais são:

- axiomas de subsunção (hierarquia): $C \sqsubseteq D$ ou $R \sqsubseteq S$; e
- axiomas de igualdade (equivalência): $C \equiv D$ ou $R \equiv S$.

¹Uma linguagem com o menor conjunto de símbolos e constantes que ainda assim seja de interesse prático.

C, D	$\longrightarrow$	A		(conceito atômico)
		$\top$		(verdadeiro)
		$\perp$		(falso)
		$\neg A$		(negação atômica)
		$C \sqcap D$		(intersecção)
		$\forall R.C$		(restrição de valor)
		$\exists R.\top$		(limitação existencial)

Tabela 4.1: Regras sintáticas para definição de um conceito complexo em LD.

Por exemplo, considerando-se o conceito (da lógica de descrições) **CampoEletrico** e o papel atômico **temPalavraChave**, pode-se definir OAs que tratam o conceito campo elétrico da Eletrostática (**OA_CE**) da seguinte forma:

$$OA_CE \equiv \exists \text{temPalavraChave.CampoEletrico}$$

isto é, **OA_CE** é o conjunto dos indivíduos (OAs) para os quais existe o relacionamento **temPalavraChave** com o valor **CampoEletrico**.

Semântica: A semântica formal é definida por meio de interpretações. Uma *interpretação* I consiste num conjunto de indivíduos não vazio Δ^I (o domínio da interpretação) e de uma função de interpretação, que leva cada conceito atômico A a um conjunto $A^I \subseteq \Delta^I$ e cada papel atômico R a uma relação binária $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$. Ou seja, a semântica define como o conjunto de indivíduos (instâncias) tornam o conceito ou o papel verdadeiros.

4.1.1.2 Inferências

Ao modelar um domínio, constrói-se a sua terminologia ($\mathcal{T}$), definindo-se novos conceitos, possivelmente em termos de outros já definidos previamente. Nesse caso, é importante verificar se esses novos conceitos são coerentes com os anteriores. Sob o ponto de vista da lógica, um conceito é coerente se existe alguma interpretação que satisfaça os axiomas de $\mathcal{T}$, isto é, existe

um modelo de $\mathcal{T}$ no qual esse conceito denota um conjunto não vazio nessa interpretação. Um conceito nessas condições é chamado *satisfatível* com relação a $\mathcal{T}$.

Outro problema de inferência é verificar se um conceito é mais geral que outro, conhecido como *subsumption* (inclusão). Um conceito C está incluído em um conceito D se em todo modelo de $\mathcal{T}$, o conjunto denotado por C é um subconjunto do conjunto denotado por D . Existe também a verificação de *equivalência* e *disjunção*.

Considerando $\mathcal{T}$ um TBox, formalmente temos:

Satisfatibilidade: Um conceito C é *satisfatível* com relação a $\mathcal{T}$ se existe um modelo $\mathcal{I}$ de $\mathcal{T}$ tal que $C^{\mathcal{I}}$ é não vazio.

Inclusão: Um conceito C está *incluído* em um conceito D com respeito a $\mathcal{T}$ se $C^{\mathcal{I}} \subseteq D^{\mathcal{I}}$ para todo modelo $\mathcal{I}$ de $\mathcal{T}$.

Equivalência Dois conceitos C e D são *equivalentes* com respeito a $\mathcal{T}$ se $C^{\mathcal{I}} = D^{\mathcal{I}}$ para todo modelo $\mathcal{I}$ de $\mathcal{T}$.

Disjunção: Dois conceitos C e D são *disjuntos* com respeito a $\mathcal{T}$ se $C^{\mathcal{I}} \cap D^{\mathcal{I}} = \emptyset$ para todo modelo $\mathcal{I}$ de $\mathcal{T}$.

4.1.1.3 Complexidade

A expressividade de uma lógica refere-se ao seu poder de expressar os detalhes do domínio que está sendo representado enquanto que a complexidade computacional refere-se a problemas de inferência de decisão. Tanto a complexidade quanto a expressividade de uma lógica de descrições são dadas pelo conjunto de construtores que a caracterizam [Haarslev, Möller e Wessel 2005]. Quanto mais expressiva uma lógica, maior a sua complexidade.

A Lógica de Descrições Básica é chamada $\mathcal{ALC}$ - Lógica Atributiva com Complementos. Ela admite as seguintes construções: $\perp$, A , $\neg A$, $\sqcup$, $\sqcap$, $\forall$, $\exists$. Essa lógica acrescida da proprie-

dade de transição de papéis é chamada $\mathcal{S}$. Outras funcionalidades podem ser acrescentadas a essas lógicas e cada uma delas tem uma denominação diferente, por exemplo, nominais ($\mathcal{O}$), papéis inversos ($\mathcal{I}$), restrição de cardinalidade qualificada ($\mathcal{Q}$), restrição de cardinalidade não qualificada ($\mathcal{N}$), funcionalidade ($\mathcal{F}$) e hierarquia de papéis ($\mathcal{H}$).

O nome de cada uma das lógicas é formado pelos símbolos das funcionalidades que fazem parte da lógica, por exemplo, a lógica $\mathcal{SHIQ}$ possui as seguintes construções: $\perp$, A , $\neg A$, $\sqcup$, $\sqcap$, $\forall$, $\exists$, transição $\mathcal{S}$, hierarquia $\mathcal{H}$, inversão de papéis $\mathcal{I}$ e restrição de cardinalidade $\mathcal{Q}$.

A complexidade das lógicas $\mathcal{ALC}$, $\mathcal{S}$, $\mathcal{SHIQ}$ e $\mathcal{SHOQ}$ é ExpTime^2 , enquanto que a complexidade da lógica $\mathcal{SHIQ}$ é NExpTime^3 .

4.1.2 OWL

Como vimos, para representar uma ontologia, é necessária uma conceitualização formal de um domínio que forneça:

- uma sintaxe bem definida;
- uma semântica formal;
- conveniência de expressão;
- suporte eficiente para inferências; e
- poder de expressividade suficiente.

Idealmente, a OWL (*Web Ontology Language*) deveria ser uma extensão do RDFS, utilizando o significado das classes e propriedades e adicionando elementos para dar suporte a uma

²a classe de complexidade EXPTIME é o conjunto de todos os problemas de decisão resolvíveis por uma máquina determinística de Turing em tempo $O(2^{p(n)})$ sendo $p(n)$ uma função polinomial de n .

³a classe de complexidade NEXPTIME é o conjunto de todos os problemas de decisão resolvíveis por uma máquina não determinística de Turing em tempo $O(2^{p(n)})$ sendo $p(n)$ uma função polinomial de n .

expressividade maior necessária. No entanto, essa extensão não permite maior expressividade nem inferência eficiente [Antoniou e Harmelen 2004]. Para contornar essa situação, foram definidas três sublinguagens da OWL, cada uma delas com diferentes objetivos:

OWL Full: É a linguagem completa, usa todas as primitivas da OWL e permite a combinação dessas primitivas de formas arbitrárias com o RDF e RDFS. Por exemplo, na OWL Full, uma classe pode ser tratada simultaneamente como uma coleção de indivíduos ou como um único indivíduo. Sua vantagem é a total compatibilidade com RDF o que permite grande expressividade. Por outro lado, é indecidível, ou seja, não oferece suporte eficiente para inferências.

OWL DL (*Description Logic*): Esse dialeto restringe a OWL Full na forma como os construtores devem ser utilizados para garantir completude (todas as conclusões são inferidas) e decidibilidade (todas as inferências são obtidas em tempo finito). Por exemplo, uma classe pode ser subclasse de muitas classes, mas não pode ser instância de uma delas.

OWL Lite: Restringe a OWL DL, excluindo as classes enumeradas, disjunções e cardinalidade arbitrária. A vantagem é a facilidade de implementar e a desvantagem é a expressividade limitada.

Neste trabalho, as ontologias foram modeladas utilizando a linguagem OWL DL, pela sua capacidade de inferência e poder de expressividade suficientes para as definições necessárias.

Um dos elementos mais importantes da linguagem OWL são as *classes*, que definem coleções de indivíduos (ou os conceitos da ontologia). Por exemplo, a definição de campo elétrico como uma classe de uma ontologia (`CampoEletrico`) escrita em OWL é dada a seguir. Nesse exemplo, o conceito da Eletrostática campo elétrico é definido como subclasse da classe `ConceitosPrincipais` da ontologia:


```

<owl:Class rdf:about="#CampoEletrico">
  <rdfs:subClassOf rdfs:resource="#ConceitosPrincipais"/>
</owl:Class>

```

Outro elemento importante da linguagem são as propriedades. Uma propriedade pode ser um conjunto de relacionamentos entre objetos ou uma forma de escrever um tipo de relacionamento entre eles. Em OWL, existem dois tipos de propriedades, as propriedades de objetos e as propriedades de tipos de dados. Um exemplo de propriedade de objeto pode ser visto a seguir, na definição da propriedade palavra-chave (`temPalavraChave`). No exemplo, essa propriedade tem como domínio a classe que representa o identificador de um OA (`titulo`) e como contra-domínio a classe que representa os conceitos da Eletrostática (`Eletrostatica`).

```

<owl:ObjectProperty rdf:about="#temPalavraChave">
  <rdfs:domain rdf:resource="#titulo"/>
  <rdfs:range rdfs:resource="#Eletrostatica"/>
</owl:ObjectProperty>

```

Instâncias também fazem parte da sintaxe da OWL. Elas são os objetos do mundo e pertencem às classes definidas. Instâncias podem estar relacionadas a outras ou até mesmo a valores por meio das propriedades. A seguir, temos um exemplo no qual são definidas as instâncias da classe que representa o conceito campo elétrico da Eletrostática:

```

<CampoEletrico rdf:ID="campoeletrico"/>
<CampoEletrico rdf:ID="electricfield"/>
<CampoEletrico rdf:ID="campoeletrostatico"/>
<CampoEletrico rdf:ID="campo"/>
<CampoEletrico rdf:ID="E"/>
<CampoEletrico rdf:ID="field"/>

```

A linguagem OWL tem outras características relevantes, que a diferencia de sistemas de banco de dados:

- não existe, por exemplo, a restrição de que as propriedades de uma instância sejam somente aquelas definidas para as classes às quais o indivíduo pertence;
- não existe a suposição de mundo fechado;
- tanto classes quanto propriedades podem ter múltiplas definições;
- as afirmações sobre os indivíduos não precisam estar num mesmo documento.

A linguagem OWL DL é baseada na lógica $\mathcal{SHOIN}(\mathcal{D})$ enquanto que seu subconjunto OWL Lite é baseado na lógica menos expressiva $\mathcal{SHIF}(\mathcal{D})$, sendo D um conjunto elementar de tipos de dados. A linguagem OWL Full opera fora dos limites da lógica de descrições, o que lhe confere maior poder e expressividade, porém, é indecidível.

4.2 Desenvolvimento de ontologias e inferências

O desenvolvimento de ontologias ainda não está totalmente sistematizado, porém, existem algumas propostas que estão sendo utilizadas por vários grupos de pesquisa, entre elas podemos citar:

Uschold e King: metodologia desenvolvida dentro do projeto Enterprise Ontology [Uschold e King 1995], que define quatro fases para o desenvolvimento de uma ontologia: identificação dos propósitos, construção, avaliação e documentação, sendo que a construção é dividida em três fases: captura, codificação e integração a ontologias existentes. Durante a captura, identificam-se os conceitos chave e relacionamentos; na codificação, constrói-se a representação das informações obtidas na captura da ontologia utilizando-se uma

linguagem formal; e na integração a ontologias existentes, verifica-se a possibilidade de reutilização de ontologias criadas anteriormente.

Grüninger e Fox: esta metodologia foi baseada no desenvolvimento do projeto TOVE [Grüninger e Fox 1995] e envolve a construção de um modelo formal do conhecimento em seis fases: descrição do cenário motivacional, formulação informal das questões de competência, especificação dos termos da ontologia numa linguagem formal, descrição formal das questões de competência, especificação dos axiomas de definição em linguagem formal e verificação da completude da ontologia. Na fase de descrição do cenário, considera-se o domínio específico para a aplicação, a partir do qual se faz a lista de questões que a ontologia deve responder, de maneira informal. Para a especificação dos termos em linguagem formal, utilizam-se as questões de competência definidas anteriormente e, a partir daí, constrói-se a formalização dessas questões. Na fase de especificação de axiomas, criam-se as regras para definir a semântica dos termos e relacionamentos da ontologia. Finalmente, para caracterizar a completude da ontologia, definem-se soluções para que as questões de competência sejam completas.

Methontology: esta metodologia foi desenvolvida pelo grupo de Inteligência Artificial da Universidade Politécnica de Madri [Lopez et al. 1999] e está dividida em três fases: gerenciamento de projeto, desenvolvimento e suporte. As atividades de gerenciamento incluem planejamento - definição de quais tarefas serão desenvolvidas, controle - para garantir que o planejamento será executado e garantia de qualidade. O desenvolvimento envolve especificação, conceitualização, formalização e implementação, sendo que a especificação define porque a ontologia está sendo construída, a conceitualização estrutura o domínio de conhecimento em um modelo conceitual, a formalização transforma o modelo conceitual em um modelo formal e a implementação codifica os modelos em linguagens computacionais. A fase de suporte trata da aquisição de conhecimento (estudo do domínio), avaliação (comparação entre ontologias), integração (verifica se é possível

desenvolver uma ontologia a partir de outras já existentes), documentação e gerenciamento.

Dada a necessidade das ontologias para muitas aplicações, é necessário fornecer serviços e ferramentas que permitam aos usuários verificarem a qualidade das ontologias desenvolvidas, com relação à sua criação, garantindo que elas sejam [Horrocks e Sattler 2001]:

1. significativas: todas as classes tenham instâncias;
2. corretas: contenham as idéias dos especialistas no domínio;
3. pouco redundantes: sem sinônimos não intencionais; e
4. ricamente axiomatizadas: suficientemente detalhada nas suas descrições.

Tais mecanismos também devem responder consultas sobre as classes e as instâncias da ontologia, recuperando triplas ou indivíduos que satisfaçam tais consultas. Uma vez que os quatro itens acima sejam satisfeitos, uma ontologia serve para um usuário final fazer as suas consultas. No caso deste projeto, ela serve para um professor fazer consultas sobre OAs.

Ontologias descritas em OWL DL possuem semântica e propriedades formais (complexidade e decidibilidade) bem definidas, com algoritmos de inferências bem conhecidos. Alguns mecanismos de inferência baseados na Lógica de Descrições são bastante conhecidos, entre eles, Racer [Haarlev e Moller 2001] e Pellet [Parsia e Sirin 2004]. O Racer funciona para OWL-Lite e não fornece suporte para instâncias. O Pellet é eficiente para dois fragmentos da OWL-DL e fornece suporte para instâncias. Neste trabalho, utilizaremos o Pellet e o Racer como mecanismos de inferência.

Objeto de Aprendizagem Didático

Com base nas idéias introduzidas no Capítulo 3 sobre os Mapas Conceituais, surgem as seguintes questões:

Questão 1 Orientando-se por um mapa conceitual, por exemplo, o MCE, pode-se esperar que um aprendiz construa mentalmente um mapa conceitual semelhante?

Questão 2 Quais conceitos e relacionamentos de um MC poderão ser aprendidos por um determinado grupo de alunos, de acordo com um determinado contexto instrucional?

Questão 3 De que forma um MC pode auxiliar nas tarefas de análise, seleção e composição de OAs para dar suporte ao professor na elaboração de um curso?

A Questão 1 pode ser respondida levando-se em consideração o próprio método de validação do MCE: ele traduz o MC que a maioria dos estudantes é capaz de construir sozinha [Salem 1986]. Portanto, MCs construídos com base em avaliações com alunos.

A Questão 2 pode ser trivialmente respondida propondo-se atividades didáticas que ensinem somente os conceitos do MC considerados adequados ao contexto instrucional em questão. No caso da Eletrostática, os conceitos que devem ser aprendidos tanto no ensino médio quanto no superior são praticamente os mesmos, o que varia é o nível de complexidade com que se

aborda cada um dos conceitos e também as relações matemáticas que são exploradas para cada um deles. Portanto, o material disponível para cada domínio deve deixar bem claro qual é o nível de ensino tratado (no caso de OAs descritos pelo padrão LOM, essa informação é dada pelo metadado `contexto instrucional`) (Seção 2.2).

Responder à Questão 3 é mais difícil, pois não existem ainda propostas de trabalho que discutam como um MC pode ser usado para elaborar um curso a partir de material didático preexistente, como por exemplo, material didático disponível na Web na forma de OAs. Pode-se pensar inicialmente nas seqüências de conceitos e relações extraídas das diferentes leituras do MCE apresentadas na Seção 3.4. No entanto, como foi dito na Seção 2.2, o padrão de metadados LOM adota somente o metadado `palavra-chave` para descrever a abrangência do OA, sendo que ele é normalmente usado para descrever o tópico abordado e não o conjunto completo de conceitos e relações ensinados pelo OA, isto é, seus objetivos didáticos. Para resolver isso, no Capítulo 2 fizemos a proposta de (1) redefinir o metadado `palavra-chave` como sendo o objetivo didático do OA constituído por conceitos e relações; (2) acrescentar a esse padrão um novo metadado que descreve as suposições sobre o conhecimento prévio do aprendiz, também constituído por uma lista de conceitos e seus relacionamentos, a qual chamaremos de `suposições`.

Nesta tese, supõe-se que, com base num MC construído por educadores experientes e validado por um grupo de alunos, é possível construir uma ferramenta de seleção de OAs que sirva para dar suporte ao professor ou ao próprio aluno na tomada de decisão sobre a seqüência de OAs que poderão ser usados durante seu curso. Para isso, nas seções seguintes será apresentada uma forma de representação de conteúdo de MCs que visa facilitar a seleção de OAs.

5.1 Fragmentos de um mapa conceitual

Como foi discutido na Seção 3.4, existem várias maneiras, todas igualmente válidas, isto é, didáticas, que um professor pode adotar para abordar os conceitos do MCE. Além disso, é necessário decidir com que granularidade (quantidade de conceitos e relacionamentos envolvidos em cada atividade didática¹) o professor irá cobrir os tópicos do domínio, ou seja, de um mapa conceitual. Isso pode ser observado ao se comparar livros didáticos clássicos adotados em Eletrostática, tanto para o ensino médio quanto para o ensino superior. Por exemplo, em [Luz e Alvarenga 1972], um livro bastante adotado para o ensino médio, os autores definem a seqüência de conteúdo mostrada na Tabela 5.1. Os fragmentos identificados nesse livro estão de acordo com a divisão em capítulos, os quais constituem unidades com objetivo didático bem definido.

Capítulo 1		Capítulo 2		Capítulo 3
Q , sinal, $\vec{F}$ atração, repulsão, Lei de Coulomb	→	$\vec{E}$, intensidade, direção, sentido, linhas de força	→	V , U

Tabela 5.1: Seqüência de conteúdo adotada em Luz e Alvarenga para Eletrostática ([Luz e Alvarenga 1972]).

No livro clássico de Física para o ensino superior - Halliday e Resnick [Halliday, Resnick e Walker 1993], é possível verificar a seqüência do conteúdo mostrada na Tabela 5.2. Os fragmentos identificados aqui estão de acordo com as seções do capítulo sobre Eletrostática, que sempre terminam com exercícios propostos que mostram claramente o objetivo didático das seções.

Observando-se essas duas seqüências, é possível verificar que o conteúdo da Eletrostática pode ser *fragmentado* em subconjuntos diferentes de conceitos e relacionamentos do MCE (Seção 3.3), de acordo com cada autor (educador) e também de acordo com o contexto ins-

¹Conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de determinados objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor quanto pelos alunos. [Zabala 1998]

Seções 21.2 a 21.4	→	Seções 21.5 a 21.6	→	Seções 22.2 a 22.3	→	Seções 23.2 a 23.4	→	Seção 23.5	→	Seções 24.2 a 24.4	→	Seção 24.5
Q , sinal, $\vec{F}$, atração, repulsão, Lei de Coulomb		Q , conservação, quantização		$\vec{E}$, intensidade, direção, sentido		simetria esférica, fluxo, Lei de Gauss		Gauss x Coulomb		U , V		$V \times E$

Tabela 5.2: Seqüência de conteúdo adotada em Halliday e Resnick para Eletrostática ([Halliday, Resnick e Walker 1993]).

trucional. Isto é, a diferença entre os conjuntos de conceitos abordados nos dois cursos pode ser justificada pelo fato de o primeiro ser para o ensino médio e o segundo ser dirigido para o ensino superior. Quanto à abordagem inicial, os dois cursos começam pelos mesmos conceitos principais (isto é, carga, força e Lei de Coulomb), no entanto, a granularidade dos conjuntos é diferente, ou seja, o segundo conjunto contém mais conceitos secundários relacionados aos conceitos principais (carga elementar e conservação de carga). Além disso, a segunda seqüência possui uma unidade a mais, que trata de conceitos avançados (Lei de Gauss, fluxo do campo elétrico e revisão da Lei de Coulomb em função da Lei de Gauss).

Analisando os fragmentos dos livros, podemos observar que alguns fragmentos tratam os mesmos conjuntos de conceitos e relacionamentos, porém, eles fazem suposições diferentes sobre o que já foi introduzido anteriormente. Por exemplo, o Capítulo 3 de Luz e Alvarenga (1972) (Tabela 5.1) e as Seções 24.2 e 24.3 de Halliday e Resnick (1993) (Tabela 5.2) cobrem os conceitos U e V . No entanto, o primeiro faz apenas a suposição de que $\vec{F}$ e $\vec{E}$ são conceitos já aprendidos, enquanto que o segundo tem *fluxo*, *Leis de Gauss e Coulomb*, como suposições de conceitos conhecidos. Pode-se dizer então, que os dois fragmentos são diferentes, pois mesmo ensinando os mesmos conceitos, o fazem de formas diferentes, já que utilizam conhecimentos prévios distintos.

Definição 1: Considere um mapa conceitual M , o conjunto C de todos os seus conceitos e o

conjunto R de todos os relacionamentos entre os conceitos de M . Um **Fragmento** F é dado pelo par $\langle T_F, S_F \rangle$, tal que:

1. T_F é o conjunto de conceitos e seus relacionamentos extraídos de M tratados pelo fragmento, ou seja, $T_F = \{c \in C' \subset C\} \cup \{r \in R' \subset R\}$. T_F é chamado *objetivos do fragmento*.
2. S_F é o conjunto de conceitos e relacionamentos extraídos de M que devem fazer parte do conhecimento prévio do aluno, ou seja, $S_F = \{c \in C'' \subset C, C' \cap C'' = \emptyset\} \cup \{r \in R'' \subset R, R' \cap R'' = \emptyset\}$. S_F é chamado *suposições do fragmento*.

É importante observar que nem toda combinação de conceitos e relacionamentos de um MC atende os objetivos didáticos de uma unidade didática. Para que um fragmento de um MC corresponda a uma unidade didática, ele deve ser proposto por educadores experientes. Os fragmentos identificados nas Tabelas 5.1 e 5.2 foram propostos por educadores experientes e portanto atendem objetivos didáticos específicos, por isso eles podem ser chamados de **fragmentos didáticos**.

Definição 2: Fragmento Didático é um fragmento construído por educadores experientes, que está relacionado a uma unidade didática e que portanto, atende seus objetivos didáticos. Dado um fragmento didático F , T_F caracteriza os objetivos didáticos de F e S_F caracteriza os conceitos âncora de F [Ausubel, Novak e Hanesian 1978], isto é, o conhecimento prévio necessário para que o aluno aprenda os novos conceitos.

Como uma unidade didática corresponde a uma unidade de trabalho escolar, constituída por um conjunto de atividades que apresentam um número limitado e preciso de objetivos [Zabala 1998], as seqüências didáticas constituem-se de seqüências dessas unidades.

Definição 3: Seqüência Didática é uma seqüência de fragmentos didáticos, com ordenação total ou parcial, que cobre o conteúdo de um curso (ou uma grande parte dos conceitos

e relacionamentos de um MC). Dado um fragmento F de uma seqüência, com $S_F \neq \emptyset, \forall t \in S_F \Rightarrow t \in T_{F'}$ com $F' \prec F$.

Neste trabalho, supõe-se que **fragmentos** e **seqüências didáticas** de um MC podem servir para orientar um professor na preparação de um curso, com base num mapa conceitual, uma vez que fragmentos didáticos podem acrescentar novos conceitos à estrutura cognitiva de um aluno ou acrescentar novos relacionamentos entre os conceitos já aprendidos, de acordo com a teoria de Ausubel (Seção 3.1). É interessante notar ainda que, diferentes seqüências de fragmentos didáticos correspondem a diferentes leituras possíveis do mapa conceitual que por sua vez, refletem diferentes abordagens pedagógicas sobre o domínio de conhecimento, conforme descrito no exemplo da Seção 3.4.

5.2 Objetos de aprendizagem didáticos

Conforme visto no Capítulo 2, idealmente, um OA deve cobrir um objetivo didático claro; ser coerente, de forma que uma pequena quantidade de termos consiga capturar a idéia principal do conteúdo; e ser construído de forma modular ([Longmire 2000]). No entanto, nem todos os OAs encontrados na Web satisfazem essas recomendações. Por exemplo, ao se fazer uma busca em repositórios de OAs sobre Eletrostática [MERLOT 2000], foi possível encontrar os OAs listados na Tabela 5.3, os quais não seguem as recomendações da comunidade (Capítulo 2), conforme críticas descritas na segunda coluna dessa tabela.

Podemos, então, definir um novo tipo de OA, chamado **OA Didático**;

Definição 4: OA Didático é um OA que corresponde a um fragmento didático de um MC do domínio de aprendizagem, isto é, dado um OA O , existe um fragmento didático $F = \langle T_F, S_F \rangle$ cujos objetivos didáticos T_F correspondem ao conteúdo do metadado palavra-chave de O (T_O) e as suposições do fragmento S_F correspondem ao conteúdo do

OAs	crítica
http://scitec.uwichill.edu.bb/cmp/online/P10D/Hunte/Electricfields.htm	Contém todo o conteúdo de eletrostática numa única página, de forma não modular. Assim, ele não pode ser reutilizado em qualquer seqüência de fragmentos sobre o assunto, além de não ser coerente no que se refere à quantidade de termos chave necessária para identificá-lo.
http://www.tufts.edu/as/wright_center/fellows/bob_morse_04/	Conjunto de páginas que não segue a estrutura conceitual do domínio, portanto não resulta num conjunto coerente para cobrir um curso.
http://www.kodama.hc.uec.ac.jp/project/protrude.html	Página não coerente com a estrutura conceitual do domínio.
http://www.plasma.uu.se/CED/Book/	Um livro inteiro, em formato pdf. Não é reutilizável em outros contextos.

Tabela 5.3: OAs encontrados na Web que não estão de acordo com as recomendações.

metadado **suposições** de O (S_O), de acordo com a Seção 2.2.1. Neste caso, chamaremos o OA O de **instância do fragmento F** .

Sendo assim, um OA Didático satisfaz as recomendações descritas anteriormente pois, de acordo com a Definição 2, um fragmento didático é construído por educadores experientes, atende objetivos didáticos claros e possui uma quantidade pequena de termos chave sendo portanto, coerente.

Além disso, como será observado no estudo de caso (Capítulo 7), OAs Didáticos satisfazem a propriedade de modularidade, podendo ser combinados em diferentes seqüências para cobrirem um determinado domínio de conhecimento, promovendo assim, o seu reuso. Desta forma, podemos definir **Seqüências Didáticas de OAs**:

Definição 5: Seqüência Didática de OAs é uma seqüência de OAs Didáticos, ordenada total ou parcialmente, de acordo com a Definição 3. Dado um OA O de uma seqüência, com $S_O \neq \emptyset, \forall t \in S_O \Rightarrow t \in T_{O'} \text{ com } O' \prec O$.

5.3 Conclusão

Neste capítulo foram definidos fragmentos e OAs didáticos, como uma proposta de utilização de mapas conceituais para a organização de cursos em fragmentos. No próximo capítulo, será mostrado como essas idéias podem ser usadas na construção de uma ferramenta de suporte ao professor ou ao próprio aluno para a composição de OAs, com base na seguinte idéia: dado um conjunto de fragmentos didáticos que cobrem um MC, é possível utilizá-los para recuperar OAs didáticos na Web.

Uma ferramenta de suporte para a composição de OAs: modelo conceitual

O objetivo deste capítulo é apresentar o modelo conceitual da ferramenta de suporte proposta nesta tese para a composição de OAs, desenvolvida na forma de um protótipo para um estudo de caso em Eletrostática (Capítulo 7). A ferramenta, chamada de SEQUOA (*Seqüenciamento de Objetos de Aprendizagem*), é fundamentada nas definições feitas no Capítulo 5 sobre fragmentos didáticos de um mapa conceitual, seqüências didáticas e objetos de aprendizagem didáticos.

A composição de OAs necessariamente deve tratar a descoberta e recuperação de conteúdo na Web. No entanto, uma vez que a tecnologia de OAs ainda não pode ser considerada uma realidade, surgem as seguintes limitações:

1. são raros os OAs que seguem o padrão de descrição LOM (ou qualquer outra proposta de padrão alternativo) de forma a facilitar a construção de buscadores automáticos;
2. grande parte do material didático disponível na Web não segue as recomendações de construção de OAs no que se refere às características listadas no Capítulo 2;
3. apesar de existirem repositórios de OAs, com seus próprios padrões de descrição, eles

tendem a cobrir áreas específicas do conhecimento (por exemplo, ciências físicas ou biológicas) e possuem acesso restrito.

Apesar dessas limitações, sabe-se que a Web possui uma grande quantidade de material didático e espera-se que esse número continue crescendo como nos últimos anos. Dessa forma, o desenvolvimento da ferramenta SEQUOA para a Eletrostática (como um estudo de caso) fez a suposição inicial que existe material didático disponível na Web sobre ensino de Eletrostática que seja abrangente o suficiente para demonstrar as idéias propostas nesse trabalho.

Para lidar com as limitações 1 e 2 citadas, foram considerados como OAs de Eletrostática, qualquer material didático na forma digital descrito ou não segundo o padrão LOM. Para a busca desse material na Web foram utilizadas palavras-chave extraídas do mapa conceitual de Eletrostática (MCE). Entre as dificuldades encontradas, podemos citar:

- identificação de qual conjunto de páginas ou documentos da Web (seções ou capítulos, no caso de livros) compreende um OA Didático dentro do domínio da Eletrostática;
- identificação das suposições e objetivos didáticos dos OAs encontrados.

O primeiro passo para contornar essas dificuldades foi analisar o conteúdo de cada um dos OAs encontrados, o que será descrito com mais detalhes no Capítulo 7.

Além disso, existem também as limitações de busca e recuperação de informações da Web atual, as quais estão ligadas às suas próprias características. Esse assunto é objeto de estudo da Web Semântica [Berners-Lee, Hendler e Lassila 2001] que propõe o uso de *ontologias*¹ para descrever formalmente o conteúdo disponível e de ferramentas baseadas em lógica para encontrar e recuperar informações de maneira mais eficiente. Na Web Semântica, espera-se

¹Note que a definição de ontologia se assemelha com a de um mapa conceitual, porém, enquanto o último é uma representação informal sobre um domínio para fins educacionais, uma ontologia é uma representação formal com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de sistemas de software para a Web.

que uma ontologia possa ser compartilhada por criadores de conteúdo na Web e, que utilizando mecanismos de inferência baseados na lógica de descrições [Baader, Horrocks e Sattler 2003], possa-se usar esse conteúdo para realizar tarefas complexas sem o ônus de implementar aplicações dedicadas.

Uma ferramenta para busca de OAs baseada na Web Semântica pode oferecer as seguintes vantagens:

1. o uso de uma ontologia que define sinônimos, traduções, plurais etc., sobre os termos de um mapa conceitual de um domínio de aprendizagem específico, permite que a busca por OAs não se limite ao conjunto de nomes de conceitos do mapa, por exemplo do MCE. Dessa forma, é possível descobrir e classificar uma variedade maior de OAs relacionados ao domínio. Um exemplo interessante em Eletrostática seria realizar uma busca usando as palavras-chave “carga negativa” e “campo” e descobrir OAs sobre Eletrostática descritos por “campo convergente”. É importante observar que, segundo a proposta da Web Semântica, ontologias sobre domínios específicos estão disponíveis na Web em endereços de acesso livre, sendo essa uma forma de permitir o compartilhamento do conhecimento entre usuários da Web;
2. o uso de uma ontologia que descreve formalmente os metadados LOM e suas possíveis instâncias pode permitir que diferentes descrições de OAs, feitas das mais diversas formas na Web, não interfiram no processo de descoberta. Por exemplo, um OA, cujo metadado **contexto** possui como instância “ensino médio” e um outro que possui “segundo grau” (ou *high-school*), podem ser utilizados no mesmo contexto instrucional.
3. o uso de um mecanismo de inferência baseado em lógica, capaz de tratar linguagens de ontologias padrão para a Web Semântica, pode dispensar o desenvolvimento de sistemas dedicados, bastando para isso modelar as ontologias desejadas (de acordo com o seu domínio de aprendizagem ou com as características do LOM) e definir consultas para

que o mecanismo de inferência recupere instâncias da ontologia específica de domínio ou sobre o LOM;

4. finalmente, as idéias propostas no Capítulo 5 sobre fragmentos didáticos descreverem tipos de objetos de aprendizagem didáticos, implementadas com a simples elaboração de consultas (ou axiomas), dadas as ontologias do mapa conceitual do domínio e do LOM (e sendo os OAs descobertos na Web como suas instâncias). Esses axiomas descrevem OAs didáticos como aqueles que possuem palavras-chave e suposições que casam exatamente com os fragmentos didáticos.

A ferramenta SEQUOA foi proposta com base nessas idéias e na WEB Semântica. Seu desenvolvimento é demonstrado para um domínio específico: a Eletrostática. Suas principais características são:

- uma ontologia sobre OAs que descreve os metadados LOM, através de classes e propriedades, incluindo as possíveis instâncias que os metadados podem descrever;
- uma ontologia específica de domínio (neste caso, do domínio da Eletrostática) com base num mapa conceitual (neste caso, no MCE);
- utilização de dois mecanismos de inferência, Pellet [Parsia e Sirin 2004] e Racer [Haarlev e Moller 2001], capazes de raciocinar sobre ontologias e suas instâncias;
- a definição dos procedimentos para construção de seqüências de OAs Didáticos (com base na seqüência de fragmentos) e para interação com o usuário durante o processo de seleção de OAs.

6.1 O modelo conceitual da ferramenta SEQUOA

Nesta seção, descrevemos a ferramenta SEQUOA sob o ponto de vista do usuário, professor ou aluno. Mostramos as funcionalidades das diferentes telas do sistema e, sempre que possível, descrevemos que tipos de estruturas de dados são utilizados em cada uma das interações com o usuário. Chamamos essa descrição de **modelo conceitual** da ferramenta. Os detalhes técnicos serão dados no próximo capítulo.

A Figura 6.1 mostra a tela inicial da ferramenta SEQUOA. Nela, o usuário começa selecionando o domínio de aprendizagem de interesse em uma lista de tópicos. Feito isso, SEQUOA recupera uma lista de endereços Web de mapas conceituais sobre o domínio selecionado. A idéia é que o usuário possa selecionar um dos diferentes mapas conceituais existentes, todos válidos e corretos, para representar conceitos e relações de um domínio. A partir do mapa conceitual selecionado pelo usuário, a ferramenta SEQUOA automaticamente recupera:

Figura 6.1: Tela inicial da ferramenta SEQUOA.

1. uma ontologia sobre o conteúdo do domínio, previamente construída e disponível na Web (possivelmente sendo atualizado por uma instituição de ensino), que modela os conceitos do mapa conceitual, incluindo os sinônimos, traduções, plurais etc.;
2. um conjunto de fragmentos didáticos do mapa conceitual selecionado, previamente construído e disponível em um endereço da Web (possivelmente sendo atualizado por uma instituição de ensino) e as possíveis seqüências que podem ser compostas a partir dos fragmentos²;
3. OAs que correspondem aos fragmentos didáticos, instanciando-os nas possíveis seqüências de fragmentos.

Em seguida, uma tela contendo uma representação gráfica do mapa conceitual e um conjunto de seqüências didáticas prontas (Figura 6.2) é apresentada ao usuário. Nessa tela, o usuário pode verificar o conjunto de OAs que está associado a cada um dos fragmentos. A cor dos fragmentos nas seqüências indica o seu status: os de cor verde têm os seus pré-requisitos atendidos ou não têm pré-requisitos; os amarelos já foram selecionados (ou um equivalente); e os vermelhos ainda não podem ser selecionados, pois seus pré-requisitos ainda não estão atendidos totalmente pelos OAs selecionados. Conforme o usuário seleciona um fragmento, os conceitos abordados por ele vão sendo marcados no mapa conceitual que está sendo utilizado.

O status da tela mostrada na Figura 6.2 revela que o fragmento FD1 da terceira seqüência foi selecionado e que esse fragmento corresponde, por exemplo, ao fragmento FA1 da primeira seqüência entre outros. Isto significa que o usuário pode escolher tanto o fragmento FA2 quanto ao fragmento FD2 para compor a sua própria seqüência. Note que o fragmento selecionado aborda os conceitos principais **carga** e **força** e o relacionamento **Lei de Coulomb** entre eles,

²As seqüências de fragmentos podem ser obtidas automaticamente por um sistema de planejamento [Ghalab, Nau e Traverso 2004] capaz de casar objetivos didáticos com suposições. Porém, como muitas dessas seqüências não fazem sentido sob o ponto de vista didático, as seqüências didáticas foram validadas utilizando-se materiais na forma de livros clássicos de Eletrostática e de sítios da Web de instituições de renome. No caso de livros didáticos, foi possível identificar os fragmentos didáticos nos capítulos, seções, exemplos e exercícios.

além de alguns conceitos mais específicos como **sinal de carga** e **sentido da força**.

Nesta tela também é possível selecionar o contexto dos OAs que deverão ser associados a cada fragmento (lista de tópicos na direita inferior da tela). Outro elemento importante é a possibilidade de o usuário gravar as suas seqüências (botão na esquerda inferior) para recuperá-las em outras ocasiões.

Figura 6.2: Tela em que o usuário pode selecionar os fragmentos nas seqüências sugeridas e montar a sua própria seqüência

Finalmente, a tela ilustrada na Figura 6.3 mostra as seqüências prévias que o usuário construiu e gravou anteriormente. As informações disponíveis são o fragmento selecionado, o OA escolhido para instanciar aquele fragmento e os conceitos abordados.

O interessante desse processo é que as diferentes seqüências possíveis ficam todas disponíveis

Figura 6.3: Tela da ferramenta SEQUOA que mostra seqüências que o usuário construiu e os conceitos associados aos fragmentos escolhidos

veis ao usuário, mas cabe a ele escolher a melhor abordagem para compor o seu curso (como foi discutido na Seção 3.4). Além disso, para uma mesma abordagem, existem vários OAs com os mesmos objetivos didáticos que podem ser escolhidos pelo professor. No caso do usuário ser o próprio aprendiz, isso permite que ele escolha diferentes maneiras para explorar o mesmo conteúdo a fim de atingir um mesmo objetivo didático (ou de aprendizagem), para isso, basta escolher diferentes OAs para um mesmo fragmento. Para algumas seqüências podem existir fragmentos para os quais não foram encontradas instâncias (OAs), ou as instâncias encontradas não agradarem o usuário.

6.2 Questões respondidas pela ferramenta SEQUOA

As ontologias usadas pelo sistema SEQUOA (que serão detalhadas no Capítulo 7) permitem que o sistema responda as seguintes questões (chamadas de questões de competência das ontologias):

Questão 1: Quais são os OAs disponíveis para um determinado domínio de aprendizagem D (por exemplo, para a Eletrostática)?

Questão 2: Quais são os OAs que tratam um conjunto de conceitos dados?

Questão 3: Quais são os OAs disponíveis para um determinado conceito C (por exemplo, campo elétrico)?

Questão 4: Quais são os conceitos tratados por um OA?

Questão 5: Quais são os OAs sobre o domínio D do tipo T (por exemplo, exercícios, notas de aula ou simulações)?

Questão 6: Qual é o conhecimento prévio que um aprendiz deve possuir para explorar um determinado OA?

Questão 7: Quais são os OAs que correspondem a um fragmento didático F, ou seja, quais são as instâncias de F?

Questão 8: Quais são as possíveis seqüências de OAs recomendadas para cobrir um determinado MC?

6.3 Trabalhos Relacionados

Entre os trabalhos relacionados estão: (1) os que utilizam mapas conceituais como ferramenta de suporte para o desenvolvimento OAs; (2) aqueles que utilizam ontologias para

permitir buscas mais eficientes de materiais de aprendizagem na Web; (3) os que utilizam ontologias em ferramentas de autoria de cursos; e (4) os que utilizam ontologias e mapas conceituais para busca por material de aprendizagem.

Dentre os trabalhos do tipo (1), podem ser citados [Monteiro et al. 2006] que trata a modelagem e construção de objetos de aprendizagem que promovam a aprendizagem significativa, baseando-se em mapas conceituais e [Paquette 2004] que propõe um conjunto de ferramentas de ensino eletrônico para dar suporte ao projetista instrucional no reuso de OAs dentro de um repositório de objetos de aprendizagem específico.

Em [Jovanovic et al. 2006], ontologias são usadas para realizar buscas mais eficientes por materiais instrucionais. São propostas duas ontologias, que têm por objetivo facilitar o reuso de conteúdos e projetos instrucionais, utilizando informações sobre o contexto instrucional (nesse trabalho, contexto instrucional refere-se a um conjunto de informações tais como objetivos, pré-requisitos, habilidades do aprendiz, nível de dificuldade etc). Note que o foco principal desse trabalho não é a seleção de OAs, mas sim o projeto e construção dos mesmos considerando tais informações.

Os trabalhos relacionados dos tipos (1) e (2) diferem da proposta desta tese por terem seu foco principal na construção e não na análise e composição de OAs.

Em [Stojanovic, Staab e Studer 2001], as ontologias educacionais são usadas para a seleção de OAs. É feita uma descrição de materiais instrucionais no que se refere ao seu conteúdo, contexto e estrutura, sendo que o contexto refere-se ao ponto do curso em que o material se encaixa, por exemplo, introdução, análise ou conclusão. Porém, os autores não consideram características pedagógicas do material instrucional (objetivos didáticos ou suposições) e sim a sua estrutura descrita pelos metadados do padrão LOM, por exemplo, pela categoria **Relation**.

[Araujo 2003] faz a modelagem de OAs e outros materiais de aprendizagem existentes utilizando ontologias, especificamente para a plataforma de ensino a distância COL, a fim de catalogar seus materiais e prover buscas mais eficientes dentro da plataforma. No entanto, o

autor não propõe solução para a composição de OAs, como foi feito nesta tese.

Considerando o uso de ontologias em ferramentas de autoria, tem-se [Dicheva, Aroyo e Cristea 2002] e [Cristea e Okamoto 2001]. O primeiro trabalho propõe uma estrutura de suporte para autoria de cursos baseada em ontologias do domínio. O segundo trata do domínio específico de ensino de inglês usando mapas conceituais para auxiliar na ferramenta de autoria para a construção do referido curso. Os dois trabalhos propõem seqüenciamento de material didático somente com base em mapas conceituais, sem utilizar ontologias.

[Tan e Goh 2004] utiliza uma ontologia baseada em alguns elementos do padrão LOM e mapas conceituais para auxiliar na busca por OAs, classificando-os de acordo com as suas palavras-chave. No entanto, esse trabalho não propõe o seqüenciamento de OAs, nem leva em consideração outras propriedades, tais como suas suposições de conhecimento prévio. O mapa conceitual é usado simplesmente como uma representação gráfica dos conceitos do domínio, não fornecendo suporte para a construção de seqüências de OAs. A ontologia é base para consultas sobre OAs quando um usuário quer encontrar OAs com características conjuntas, por exemplo, *OA do tipo exercício e de nível difícil*, aí a consulta utiliza conectivos lógicos para formar sentenças, neste caso, o conectivo *e*.

É fácil observar que esses trabalhos utilizam alguns elementos também utilizados nesta tese, no entanto, nenhum deles o faz integrando metadados do padrão LOM, ontologias e mapas conceituais a fim de compor OAs em seqüências didáticas.

No Capítulo 7 mostramos com mais detalhes a construção do protótipo da ferramenta SEQUOA para um estudo de caso em Eletrostática.

Estudo de Caso: a ferramenta SEQUOA para Eletrostática

O modelo conceitual da ferramenta SEQUOA descrita no Capítulo 6 parte do princípio que os OAs disponíveis na Web são descritos segundo o padrão LOM. Porém, como dito anteriormente, uma das dificuldades deste trabalho foi o fato da tecnologia de OAs ainda não ser uma realidade. Assim, neste estudo de caso, a etapa de descoberta e recuperação de OAs foi realizada manualmente, utilizando-se, inicialmente, os termos do MCE como palavras-chave, da seguinte forma:

1. busca em repositórios de OAs (chamados explicitamente de OAs, apesar de não necessariamente seguirem as recomendações descritas no Capítulo 2), entre eles: CAREO, Learn-Alberta, Merlot, MIT Open Course Ware e Cesta (Tabela 2.1);
2. busca em repositórios gerais de materiais didáticos para a Eletrostática de instituições de ensino, entre elas: Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Física da Universidade de Boston, Departamento de Física da Universidade de Winnipeg e outros (Tabela 7.1);
3. busca na Web utilizando o Google, por exemplo, por material didático em páginas pes-

soais de professores, ou qualquer outro sítio com material didático.

4. também foi feita uma busca por OAs em livros clássicos de Eletrostática, com o propósito de compará-los com os OAs encontrados na Web (Tabela 7.2).

Além disso, a ferramenta supõe que existem mapas conceituais já validados e disponíveis.

Página	Referência URL
Eletromagnetismo Virtual	http://www.if.ufrgs.br/fis/EMVirtual/
Licenciatura em Ciências Exatas	http://educar.sc.usp.br/licenciatura/1999/
Departamento de Física UFSCAR Laboratório de Modelagem de Sistemas Complexos - UnB	http://www.df.ufscar.br/ http://www.unb.br/iq/kleber/EaD/Eletromagnetismo/
e-física Ensino de Física Online	http://efisica.if.usp.br/eletricidade/
Laboratório Didático do Instituto de Física - UFRJ	http://omnis.if.ufrj.br/\$\sim\$ladif/tea
HyperPhysics - Georgia State University	http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/
IUN/FYDE	http://physics.bu.edu/\$\sim\$duffy/PY106/
Electricidad y magnetismo	http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/elecmagnet/
Dr. Richard Vawter Homepage	http://www.ac.wvu.edu/~vawter/PhysicsNet/
Physics 232 - Michigan State University	http://www.pa.msu.edu/courses/1997spring/PHY232
Physics 2000 - University of Colorado at Boulder	http://www.colorado.edu/physics/2000/
MITOPENCOURSEWARE	http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/
Dr D's Home Page - Physics Department - Eastern Illinois University	http://www.ux1.eiu.edu/\$\sim\$scfadd/DrD.HTML
Harvard School of Engineering and Applied Sciences	http://polaris.deas.harvard.edu/

Tabela 7.1: Sítios específicos de material didático (nível superior) pesquisados para identificação dos fragmentos didáticos.

Título	Referência	Nível
Física - Volume 3	[Luz e Alvarenga 1972]	médio
Física: Eletromagnetismo, Física Moderna - vol. 3	[Gaspar 2000]	médio
Os Fundamentos da Física, V. 3 Eletricidade	[Ferraro, Junior e Soares 2003]	médio
Eletricidade e Eletromagnetismo	[Moretto 1989]	médio
Fundamentos da Física 3	[Halliday, Resnick e Walker 1993]	superior
Física, Volume 2	[Tipler 2000]	superior
Curso de Física Básica, V.3 - Eletromagnetismo	[Nussenzveig 1997]	superior
Curso de Física de Berkeley, vol. 2 - Eletricidade e Magnetismo	[Purcell 1973]	superior

Tabela 7.2: Livros utilizados para identificação dos fragmentos didáticos.

Com a primeira pesquisa pronta, foi possível gerar termos sinônimos, ou em outras línguas, que foram reutilizados durante a busca por OAs de Eletrostática. Como havíamos previsto, nem todo material encontrado na Web pode ser classificado como um OA, ou até mesmo como material didático, como por exemplo: sítios de venda de material elétrico, especificações técnicas de equipamentos, conteúdo de provas de concurso, ou conteúdos programáticos de cursos. Essa etapa também foi importante para a construção da Ontologia OntoMCE.

Como resultado das buscas por OAs de Eletrostática, foram recuperados 231 OAs (Apêndice A). Na etapa seguinte, cada um dos OAs descobertos foi descrito, manualmente, por um subconjunto de metadados do padrão LOM (considerando-se somente aqueles que interessavam para os objetivos deste trabalho), acrescidos do metadado **suposição do OA**, que é uma das propostas de extensão do LOM feita nesta tese. As descrições dos OAs foram feitas inspecionando-se o seu conteúdo um a um, a fim de identificar cada uma de suas características, por exemplo, nível de dificuldade, contexto instrucional etc. Um exemplo dessas descrições para um OA recuperado é mostrado na Figura 7.1.

Uma das dificuldades dessa análise foi a identificação dos objetivos didático dos OAs, que devem ser informados nos metadados **palavras-chave** e **suposições**, por exigir uma análise minuciosa de cada OA (seria muito mais fácil se essas informações fossem detalhadas pelo

```
title: OA77
id: http://satie.if.usp.br/cursos/aulas_fis3/notas_de_aula/node16.html
keyword: fluxo do campo elétrico, lei de Gauss
resource type: texto narrativo
context: ensino superior
difficulty: difícil
suposes: campo elétrico
```

Figura 7.1: Exemplo de OA descrito pelos metadados LOM

próprio autor no momento de sua construção). Além disso, para descrevê-los foram usados os mesmos termos que aparecem no material encontrado, (isto é, usando os termos e língua originais). O objetivo desse procedimento é o de realizar esse estudo de caso supondo que, no futuro, OAs serão descritos por meio dos metadados do padrão LOM, utilizando uma grande variedade de termos e línguas. Sob esse ponto de vista, a Web Semântica tem um papel fundamental, como foi discutido no Capítulo 6, na descoberta de OAs na Web e em sua análise, como é a proposta deste trabalho.

7.1 Identificação de fragmentos e seqüências didáticas no MCE

Uma das suposições fortes deste trabalho é que um fragmento didático corresponde ao elemento chave para classificar OAs de acordo com seus objetivos didáticos. Como mostrado no Capítulo 5, os fragmentos podem ser identificados em materiais didáticos disponíveis na forma de livros clássicos e sítios recomendados na Web, específicos para o domínio de aprendizagem, uma vez que:

- o material encontrado nos livros clássicos tem sido utilizado há muitos anos por várias

instituições de ensino e educadores;

- o material encontrado em sítios recomendados da Web são desenvolvidos por instituições renomadas, por exemplo, algumas universidades ou sítios governamentais. Além disso, acredita-se que a freqüência com que tipos específicos de OAs ocorrem seja um indicador de sua relevância para os educadores do domínio em questão.

Obtenção de fragmentos didáticos a partir de livros: A identificação dos fragmentos didáticos a partir dos livros clássicos foi obtida através da análise de partes dos livros, que possuem objetivos didáticos claros. Isso pode ser feito supondo que seus autores, educadores experientes na área, tiveram razões didáticas para manter juntas ou separadas partes do conteúdo. Além disso, as suposições sobre o conhecimento prévio necessário de cada fragmento foi obtido a partir de leitura criteriosa dos livros. É possível observar que cada livro faz a fragmentação do conteúdo de uma maneira diferente. Porém, eles possuem vários fragmentos em comum, como discutiremos no Capítulo 8. Consideraremos uma seção como parte indivisível dos livros. Assim, uma ou mais seções podem corresponder a um fragmento.

Obtenção de fragmentos didáticos a partir da Web: Para identificar fragmentos didáticos a partir de material disponível na Web, foi analisado o material pesquisado nos repositórios de OAs e materiais didáticos em geral. Materiais em sítios da Web são naturalmente compostos por partes divisíveis (por exemplo, páginas HTML, *applets*, arquivos pdf etc.). Assim, duas ou mais dessas partes podem corresponder a um fragmento, ou seja, um conjunto de partes com objetivos didáticos bem definidos. *Hiperlinks*, algumas vezes, podem ser naturalmente interpretados como suposições sobre o conhecimento prévio do leitor, ou então, podem ser simplesmente uma forma de dividir o material em partes.

De um modo geral, o processo de identificação de fragmentos é o de associar um objetivo didático e suas suposições a um grupo de OAs encontrados na Web ou a um conjunto de seções extraídas de livros clássicos. Além disso, dentre as diretrizes seguidas para a identificação

de fragmentos, foi usada a teoria de Ausubel para verificar as seguintes propriedades dos fragmentos:

1. todo fragmento que ensina uma relação *reconciliação integradora* [Moreira 2006] deve ter como suposição os conceitos relacionados ou então ensinar esses conceitos;
2. se o objetivo do fragmento for do tipo *diferenciação progressiva* [Moreira 2006], então as suposições devem incluir os conceitos mais gerais do que ele está aprendendo.

Fragmento	Objetivos Didáticos	Suposições	Frequência
FA1	Q, sinal, elementar, conservação, F, atração, repulsão, Coulomb	-	7
FA2	E, intensidade, direção, sentido	Q, sinal F, Coulomb	14
FA3	V, F conservativa, U	Q, sinal, F, Coulomb, E	4
FD1	Q, sinal, elementar, F, atração, repulsão, Coulomb	-	3
FD2	E, intensidade, direção, sentido, radial	Q, sinal, F, Coulomb	9
FD3	V, U	Q, sinal, F, Coulomb, E	4
FF3	E x Coulomb	E, Coulomb	1
FF4	fluxo, Gauss	Q, E, Coulomb	11
F70	U, V	E, fluxo, Gauss	2
F58	E, V, U	Q, F	3
F84	E, intensidade, direção, sentido, superposição	Q, sinal, F, Coulomb	2
F74	V	Q, U	2
F72	Q, F, E, Coulomb	-	5
F81	Q, sinal, conservação, atração, repulsão	-	2

Tabela 7.3: Fragmentos identificados nos livros e sítios pesquisados.

As seqüências completas de fragmentos encontradas tanto nos livros quanto na Web foram coletadas como seqüências possíveis para serem recomendadas aos professores. É interessante observar que foram identificadas algumas seqüências idênticas de fragmentos (o que corrobora

com a tese desse trabalho, como será discutido no Capítulo 8). Além disso, observou-se que existem fragmentos comuns às diferentes seqüências.

A Tabela 7.3 mostra alguns exemplos de fragmentos identificados, lembrando que um fragmento é determinado pelos seus objetivos didáticos e suas suposições. Nesta tabela também é mostrada a freqüência que um fragmento foi encontrado. A lista completa com os 59 fragmentos pode ser conferida na Tabela B.1 no Apêndice B.

A Tabela 7.4 mostra o conjunto de seqüências didáticas encontradas compostas por esses fragmentos e também a referência para cada uma delas.

Seqüência	Fragmentos	Tipo
L01	FA1 - FA2 - FA3	livro
L02	FB1 - FB2 - FB3	livro
L04	FD1 - FD2 - FD3	livro
L05	FE1 - FE2 - FA2 - FE4 - FE5 - FE6	livro
L06	FA1 - FA2 - FF3 - FF4 - FF5 - FA3 - FF7	livro
L07	FA1 - FB2 - FG3	livro
L08	FH1 - FB2 - FH3	livro
S01	F01 - F02 - F03 - FA2 - F06 - F07	sítio
S02	F09 - F10 - FA2 - F06	sítio
S03	F13 - F03 - FA2 - F16	sítio
S04	F17 - F10 - FA2 - F06 - F07	sítio
S05	F23 - FE2 - F06 - F02 - F03 - FA2 - FF4 - FE5 - F35 - FD3 - FF7	sítio
S06	F42 - F02 - F03 - F43 - F45 - FA2 - F47 - F48 - F35 - FD3	sítio
S07	F13 - F03 - FA2 - F16	sítio
S08	F42 - F51 - FD2 - F47 - F48 - F57 - F06	sítio
S09	FD1 - FB2 - F70	sítio
S10	FD1 - FG3 - FF4	sítio
continua na próxima página...		

Tabela 7.4 – continuação

Seqüência	Fragmentos	Tipo
S11	FA1 - F84 - FF4 - FE6	sítio
S12	FA1 - FD2 - FA3 - FF4	sítio
S13	F17 - F02 - F03 - F68 - F43 - FA2 - F07 - F74	sítio
S14	F23 - F58	sítio
S15	FA1 - F84 - FF4 - FG3	sítio
S16	F23 - F02 - F03 - FD2 - F57	sítio
S17	F51 - FD2 - FF4 - F67 - F57	sítio
S18	F81 - F53 - F06	sítio
S19	FH1 - F73 - FF4	sítio
S20	F77 - F78 - F79	sítio
S21	F81 - F80 - F83 - FA2 - F85 - F35 - FA3	sítio
S22	F08 - FF4 - F70	sítio
S23	F42 - F51 - F43 - F47 - F48 - F35 - F07 - F74 - FF7	sítio
S24	F72 - FD2 - F87	sítio
S25	F77 - FF4 - FG3	sítio

Tabela 7.4: Seqüências de fragmentos identificadas nos livros e sítios pesquisados.

7.1.1 Metodologia para o desenvolvimento das ontologias

Como visto no Capítulo 4, o desenvolvimento de uma ontologia não é uma tarefa simples e, embora existam novas tecnologias para dar suporte a esse processo, ele ainda é feito, na maioria das vezes, como um processo *ad hoc*. Em [Mizoguchi, Ikeda e Seta 1995] é dada uma visão geral das metodologias de desenvolvimento existentes (Seção 4.2). Um dos problemas apontados é que a maioria delas concentra-se no processo de construção da ontologia como

um todo, negligenciando a etapa de identificação das principais classes e indivíduos – a base da ontologia [Mizoguchi, Ikeda e Seta 1995], bem como a sua utilização.

Seguindo as etapas recomendadas pelas metodologias [Lopez et al. 1999] e [Grüninger e Fox 1995] a fim de dar suporte à camada básica da ontologia, foram realizadas as seguintes tarefas:

Construir cenários de motivação para formular as questões de competência: O primeiro cenário de motivação foi o conjunto de metadados do LOM. O segundo foi o domínio de aplicação para o qual a ferramenta foi construída. A partir desses cenários, foi formulado um conjunto de questões básicas que um professor pode fazer na busca por objetos de aprendizagem na Web, por exemplo: Quais os OAs disponíveis para um determinado conjunto de conceitos? Quais os conceitos tratados por um determinado OA? Quais são os conceitos que um determinado OA assume que o aprendiz já saiba?

Coleta e definição de conceitos: Essa fase foi baseada em documentos técnicos [IEEE 2002] e no mapa conceitual sobre Eletrostática [Salem 1986]. Mesmo com embasamento em documentos oficiais e descrições bem testadas sobre o domínio, a construção da ontologia não foi simples. Isto se deve à necessidade da ontologia ser capaz de responder as questões de competência descritas na Seção 6.2. Para isso, várias decisões tiveram que ser tomadas, por exemplo, construir os relacionamentos entre as classes que representam as descrições dos OAs e as classes que representam os conceitos da Eletrostática utilizando propriedades.

7.1.2 Ontologias da ferramenta SEQUOA

Como foi dito no Capítulo 6, para permitir a descoberta e processamento de OAs descritos por qualquer termo (palavra-chave) que se refira aos conceitos do domínio, foram construídas duas ontologias: uma para o domínio da Eletrostática, a partir do MCE e também dos novos

termos encontrados durante as buscas iniciais (descritas no início deste capítulo), que chamamos OntoMCE e outra para os metadados do LOM, chamada OntoLOM. A partir dessas duas ontologias, construiu-se uma terceira, chamada OntoFRAG, para definir os fragmentos didáticos, o que é feito utilizando axiomas, pois assim é possível fazer a classificação e seleção dos OAs didáticos para a ferramenta SEQUOA. Para a construção das ontologias foram utilizados o ambiente Protégé [Informatics 2005] e como mecanismos de inferência integrados ao Protégé, o Pellet [Parsia e Sirin 2004] e o Racer [Haarlev e Moller 2001]. O Protégé, por ser um ambiente de desenvolvimento de ontologias, possui a sua própria linguagem baseada em classes, propriedades e axiomas da lógica de descrições.

A ontologia OntoMCE define formalmente os conceitos da Eletrostática, diretamente extraídos do MCE como classes da ontologia, sendo as instâncias dessas classes os possíveis termos sinônimos ou suas traduções em outras línguas que foram identificados durante as buscas manuais por material de Eletrostática na Web. A classe `Eletrostatica` foi dividida em quatro subclasses: `ConceitosPrincipais`, `ConceitosSecundarios`, `RelacionamentosPrincipais` e `RelacionamentosSecundarios`. A divisão entre principais e secundários estão de acordo com a hierarquia de conceitos utilizada para a aprendizagem significativa descrita no Capítulo 3: conceitos mais e menos inclusivos, respectivamente. A Figura 7.2 mostra a classe `ConceitosPrincipais`, suas sub-classes que representam os conceitos principais do MCE e as respectivas instâncias. Os outros conceitos do mapa conceitual foram definidos de maneira análoga.

A ontologia OntoLOM que modela os metadados padrão do LOM foi construída seguindo os passos descritos a seguir, com base nas questões que ela deve responder:

1. Algumas categorias do padrão LOM foram modeladas como **classes** da ontologia dentro de uma hierarquia de classes do tipo **is-a**, aproveitando a própria hierarquia das categorias do LOM. Foi criada uma classe `LOM` que tem como subclasses `LOMGeneral` e `LOMEducational`. A classe `LOMGeneral` possui a subclasse `LOMIdentifier`, que por sua

Figura 7.2: Classe `ConceitosPrincipais` e suas sub-classes da OntoMCE e algumas instâncias.

vez possui as subclasses `LOMEntry` e `LOMTitle`, essas últimas devem ter como instâncias as referências URL dos OAs e os identificadores dos mesmos. A classe `LOMEducational` possui as subclasses `LOMDifficulty`, `LOMResourceType` e `LOMContext`, as quais terão como instâncias os possíveis níveis de dificuldade, tipos e contextos de aplicação dos OAs, todos determinados dentro do padrão LOM, ou seja, com instâncias pré-definidas. Toda essa estrutura é mostrada na Figura 7.3.

2. Outras categorias foram modeladas como propriedades que relacionam classes da OntoLOM com classes da OntoMCE, por exemplo, a categoria LOM *keyword* foi modelada como a propriedade `LOMkeyword` que relaciona um objeto de aprendizagem (por meio de seu identificador `LOMTitle`) com um conceito da ontologia de domínio (classe *Eletrostática*). A nova categoria proposta que se refere às suposições de conhecimento prévio para utilização de um OA *suposes* também foi modelado dessa forma.

3. Para estabelecer o relacionamento entre as diversas classes da OntoLOM foram criadas propriedades, por exemplo, a propriedade `LOMdifficulty` relaciona instâncias da classe `LOMTitle` (que identifica um OA específico na Web) com instâncias da classe `LOMDifficulty`, a propriedade `LOMresourcetype` relaciona instâncias da classe `LOMTitle` com instâncias da classe `LOMResourceType` (Figura 7.3).

É importante observar que algumas instâncias da OntoLOM são pré-definidas, segundo as recomendações do padrão LOM para o metadado correspondente (por exemplo, as classes `LOMDifficulty` e `LOMContext` e `LOMResourceType` possuem instâncias definidas como mostra a Figura 7.3). Já as instâncias das classes `LOMEntry` e `LOMTitle` devem ser obtidas a partir da leitura dos metadados dos OAs descobertos na Web.

Uma das escolhas de modelagem para a OntoLOM feitas neste trabalho refere-se às categorias que têm instâncias pré-definido (por exemplo, a categoria 5.8 *difficulty*). A classe correspondente a essa categoria (`LOMDifficulty`) poderia ser definida enumerando-se as suas possíveis instâncias, ou seja, utilizando-se *nominais* (uma classe especial de ontologias definida por um conjunto enumerado de elementos). No entanto, sabe-se que nominais elevam o nível de complexidade de uma ontologia [Horrocks e Sattler 2001], por isso escolheu-se criar uma classe simples junto com um conjunto de instâncias (`muitodifícil`, `difícil`, `medio`, `facil`, `muitofácil`). Essa escolha também permite a criação de novas instâncias sem alterar a ontologia, facilitando a sua manutenção.

Como foi dito anteriormente, a instanciação da OntoLOM com os OAs encontrados na Web foi feita manualmente analisando-se o conjunto de 231 OAs sobre Eletrostática, descobertos na Web.

As ontologias OntoMCE, OntoLOM e também OntoFRAG (descrita na Seção 5.1) estão disponíveis no endereço www.ime.usp.br/~amachion.

Figura 7.3: Ontologia LOM

7.2 Exemplos de inferências com as ontologias OntoLOM e OntoMCE

Considerando o conjunto de questões levantado na Seção 6.2, uma das consultas mais simples que o professor pode querer resolver é referente à Questão 2, para um único conceito, por exemplo “campo elétrico”. De uma forma bem simples, essa consulta consiste em verificar na base de conhecimento construída (isto é, ontologias mais instâncias) quais são os OAs (identificados na classe **LOMTitle**) que se relacionam com o conceito “campo elétrico” (da classe **CampoEletrico**) pela propriedade **LOMkeyword**. Essa consulta na linguagem nRQL

(linguagem de consulta utilizada pelo motor de inferência RACER [Haarlev e Moller 2001]), é mostrada na Tabela 7.5. Essa consulta busca as instâncias ?W que se relacionam às instâncias de **CampoEletrico** pela propriedade **LOMkeyword**. Utilizando as ontologias **OntoLOM** e **OntoMCE** e um conjunto de OAs descobertos, descritos dentro do padrão LOM, mostrados na Tabela A.1 (Apêndice A), a resposta obtida pelo motor de inferência é mostrada na Tabela 7.6.

```
(RETRIEVE (?W
  (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#CampoEletrico_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|)
  )
```

Tabela 7.5: Consulta correspondente à Questão 2 para um conceito simples.

```
( ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx15|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx02|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx16|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx09|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx20|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx05|))
)
```

Tabela 7.6: Resultado da consulta correspondente à Questão 2 para um conceito simples.

É fácil verificar, observando-se a Tabela A.1, que os resultados obtidos estão corretos, pois os OAs exibidos possuem de fato como palavra-chave “campo elétrico”.

Considerando agora que o professor queira encontrar os OAs disponíveis para “campo elétrico convergente”, a consulta pode não ser mais tão simples quanto a primeira pois, um OA que trata esse conceito pode ter como palavras-chave: “campo elétrico convergente”, ou “campo elétrico, carga negativa” ou ainda, “campo elétrico, carga e sinal”. Nesse caso, a consulta é mais elaborada como é mostrado na Tabela 7.7. Como é possível observar, essa consulta envolve sentenças compostas, utilizando construtores lógicos (e / ou). Ela busca as instâncias ?W que se relacionam ou com as instâncias de {**CampoEletricoConvergente**} ou com as instâncias de {**CampoEletrico** e **CargaNegativa**} ou com as instâncias de {**CampoEletrico** e **Carga**

e Sinal} pela propriedade LOMkeyword. A resposta dada pelo motor de inferência é mostrada na Tabela 7.8. Por envolver construtores lógicos, o processamento dessa consulta não é direto e, nesse caso, o desempenho da ferramenta pode ficar comprometido se ela tiver que processar muitas consultas complexas como essa durante uma sessão da ferramenta SEQUOA. Além disso, existem outras restrições que o professor pode fazer, por exemplo, a Questão 6 da Seção 6.2 envolve não só os conceitos tratados, mas também os conceitos das suposições do OA, ou seja, é possível combinar qualquer tipo de restrição quanto às características do OA.

```
(RETRIEVE (?W)
  (OR (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#CampoEletricoConvergente_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|)
  (AND (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#CampoEletrico_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|)
    (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#CargaNegativa_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|))
  (AND (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#CampoEletrico_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|)
    (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#Carga_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|)
    (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#Sinal_|
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#LOMkeyword|))
))
```

Tabela 7.7: Consulta correspondente à Questão 2 para um conceito que pode ser descrito de várias maneiras diferentes.

```
( ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx05|))
  ((?W |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#OAx04|))
)
```

Tabela 7.8: Resultado correspondente à consulta da Tabela 7.7.

Como na ferramenta SEQUOA, a Questão 7 é a consulta central para a composição de OAs, foi construída uma ontologia para classificação de OAs, segundo os fragmentos do domínio

(OntoFRAG - Seção 7.3), definindo-se um conjunto de classes por meio de axiomas de definição que associam cada OA a uma descrição complexa, isto é, restringindo as instâncias dessas classes. Com isso, foi possível construir consultas diretas e mais simples, não sendo necessário fazer várias vezes as mesmas inferências a cada consulta. Além disso, quando se acrescentam as consultas na forma de axiomas a uma ontologia, é possível analisar a linguagem e a lógica tanto da ontologia quanto das consultas e, portanto fazer um estudo da complexidade da ontologia e dos diversos tipos de inferência realizados (Seção 7.4).

7.3 Ontologia de fragmentos: OntoFrag

A classe principal da ontologia OntoFrag é **OntoFrag**. As subclasses da **OntoFrag** são denominadas por **Frag<F>** sendo que **<F>** é o identificador do fragmento de acordo com a tabela de fragmentos (Tabela B.1). Por exemplo, **F06** é a classe que representa o fragmento F06 dessa tabela. O conjunto de conceitos $T_{F06} = V$ e o conjunto de suposições de conhecimento prévio é $S_{F06} = Q, E$.

Como um fragmento está associado a um objetivo didático, é importante que o fragmento cubra necessariamente somente os conceitos propostos nesse objetivo, logo um fragmento que tem por objetivo didático o conceito C deve cobrir apenas ele. Na lógica de descrições, a definição de um OA didático O que corresponde a um fragmento F que tem por objetivo didático um conceito C é dada por:

$$O_{did} \equiv \exists LOMkeyword.C \sqcap \forall LOMkeyword.C$$

Ou seja, deve existir um relacionamento pela propriedade *LOMkeyword* com o conceito C e todo relacionamento do tipo *LOMkeyword* deve ser com C . Para que um motor de inferência consiga instanciar uma classe utilizando a definição acima, é necessário que ele

faça a *suposição de mundo fechado*, ou seja, o que não estiver definido na ontologia é falso. No entanto, os motores utilizados neste trabalho não fazem essa suposição. Sendo assim, a modelagem da ontologia de fragmentos inclui a declaração dos conceitos que o fragmento não trata, simulando assim o “mundo fechado”. A propriedade na ontologia para representar essa situação é **notLOMkeyword**. A mesma situação ocorre para o conjunto de suposições do fragmento, isto é, precisa-se definir o conjunto de conceitos que o fragmento supõe que o aluno já saiba e o conjunto que não é suposto como conhecimento prévio. Para isso, foram definidas as propriedades **assumptions** e **notAssumptions**. Todas essas propriedades, assim como **LOMkeyword**, têm como domínio a classe **LOMTitle** e contra-domínio **Eletrostatica**. Por exemplo, o axioma completo que define o fragmento F06 (F06) é mostrado na Tabela 7.9.

<i>F06</i>	≡	LOMkeyword some PotencialEletrico
	⊑	notLOMkeyword some CampoEletrico
	⊑	notLOMkeyword some ForcaEletrica
	⊑	notLOMkeyword some EnergiaPotencial
	⊑	notLOMkeyword some Carga
	⊑	notLOMkeyword some ConceitosSecundarios
	⊑	notLOMkeyword some RelacionamentosPrincipais
	⊑	notLOMkeyword some RelacionamentosSecundarios
	⊑	assumption some Carga
	⊑	assumption some CampoEletrico
	⊑	notAssumption some ConceitosSecundarios
	⊑	notAssumption some RelacionamentosPrincipais
	⊑	notAssumption some RelacionamentosSecundarios
	⊑	notassumption some ForcaEletrica
	⊑	notassumption some PotencialEletrico
	⊑	notassumption some EnergiaPotencial

Tabela 7.9: Axioma que define a classe F06.

Esse mesmo procedimento é utilizado para definir todos os outros fragmentos. Embora os axiomas sejam extensos, as consultas que recuperam os OAs para cada fragmento podem ser feitas como uma consulta simples. Por exemplo, a consulta para recuperar OAs para o fragmento F06, simplesmente, procura as instâncias para esse fragmento (Tabela 7.10).

```
(RETRIEVE (?W
  (?W
    |http://www.owl-ontologies.com/Ontology1157383799.owl#F06|
  )
)
```

Tabela 7.10: Consulta para recuperar OAs para o fragmento F06.

7.4 Complexidade

Como os construtores utilizados nas ontologias desenvolvidas são $\exists$, $\forall$, $\sqcap$, $\sqcup$, $\perp$, $\neg$, a lógica de descrições dessas ontologias é a $\mathcal{ALC}$ [Haarslev, Möller e Wessel 2005]. A linguagem OWL usada é OWL DL, pois as restrições das propriedades, ou seja, os axiomas de definição dos fragmentos utilizam união de classes nos seus conceitos [Parsia e Sirin 2004]. Dessa forma, a complexidade esperada para essas ontologias é *ExpTime* [Antonioni e Harmelen 2004].

Análise dos Resultados para o Estudo de Caso

Como dito anteriormente, os OAs descobertos foram resultado de um trabalho exaustivo de pesquisa na Web sobre material didático para Eletrostática. Foi descoberto um total de 231 OAs diferentes. Parte desses OAs (191) foram extraídos de fontes recomendadas, isto é, livros clássicos (28) e sítios na Web de instituições de ensino renomadas (163) (Tabela 7.2 e Tabela 7.1 do Capítulo 7). Das fontes recomendadas foram identificadas 32 seqüências de OAs (Tabela 8.1), modeladas através de fragmentos didáticos, que são apresentadas ao professor na ferramenta SEQUOA.

A partir dos 231 OAs catalogados e descritos em termos de seus objetivos didáticos e suposições, foi possível identificar 59 fragmentos didáticos, isto é, 59 subconjuntos de OAs que possuem os mesmos objetivos didáticos e suposições. A Figura 8.1 mostra um gráfico que relaciona a quantidade de OAs para cada fragmento na ordem de classificação e nomeação dos fragmentos. A Figura 8.2 mostra essa mesma relação porém, com os fragmentos ordenados em função do número de OAs por fragmento. Note que para **50%** dos fragmentos foram encontrados **1.5** OAs por fragmento, enquanto que para os outros **50%** dos fragmentos foram descobertos uma média de **5.4** OAs por fragmento.

Observando-se as seqüências mostradas na Tabela 8.1, é possível verificar que uma grande parte dos fragmentos se repetem nas 32 seqüências de fragmentos selecionadas (dos 191 frag-

mentos das seqüências, apenas 59 são diferentes entre si). Esse resultado mostra como OAs com os mesmos objetivos didáticos e suposições podem ser reusados em seqüências diferentes. Além disso, o fato do professor poder escolher OAs diferentes para um mesmo fragmento de uma seqüência, como pode ser feito na ferramenta SEQUOA, faz com que um grande número de cursos diferentes possa ser criado, permitindo assim que o professor tenha várias opções de escolha durante a elaboração de seu curso. A Tabela 8.1 também mostra a quantidade de seqüências de OAs possíveis a partir de cada seqüência de fragmentos, num total de 333.760 seqüências para esse estudo de caso.

Como foi dito na Seção 5.1, os diferentes fragmentos correspondem a formas alternativas de se cobrir determinados objetivos didáticos, enquanto que as diferentes seqüências determinam caminhos alternativos do MCE, o que pode corresponder a diferentes abordagens pedagógicas, de acordo com [Salem 1986]. Note que, nesse trabalho, não se fez nenhuma referência a abordagens pedagógicas específicas, mas procurou-se explorar as diferentes abordagens através das seqüências alternativas, dado que elas possivelmente representam um conjunto que reflete a experiência de um grupo de educadores sobre Eletrostática na Web atual e que portanto, reflete suas próprias abordagens pedagógicas.

Seqüências de Fragmentos	Combinações dos números de OAs para cada fragmento
FA1 - FA2 - FA3	$7 \times 14 \times 4 = 392$
FB1 - FB2 - FB3	$1 \times 6 \times 3 = 18$
FD1 - FD2 - FD3	$3 \times 9 \times 4 = 108$
FE1 - FE2 - FA2 - FE4 - FE5 - FE6	$1 \times 2 \times 14 \times 1 \times 2 \times 2 = 112$
FA1 - FA2 - FF3 - FF4 - FF5 - FA3 - FF7	$7 \times 14 \times 1 \times 11 \times 1 \times 4 \times 3 = 12936$
FA1 - FB2 - FG3	$7 \times 6 \times 2 = 84$
FH1 - FB2 - FH3	$2 \times 6 \times 1 = 12$
continua na próxima página...	

Tabela 8.1 – continuação

Seqüências de Fragmentos	Combinações dos números de OAs para cada fragmento
F01 - F02 - F03 - FA2 - F06 - F07	$1 \times 5 \times 7 \times 14 \times 7 \times 5 = 17150$
F09 - F10 - FA2 - F06	$1 \times 2 \times 14 \times 4 = 112$
F13 - F03 - FA2 - F16	$4 \times 7 \times 14 \times 3 = 1176$
F17 - F10 - FA2 - F06 - F07	$3 \times 2 \times 14 \times 7 \times 5 = 2940$
F23 - FE2 - F06 - F02 - F03 - FA2 - FF4 - FE5 - F35 - FD3 - FF7	$3 \times 2 \times 7 \times 6 \times 2 \times 14 \times 3 \times 3 \times 4 = 254016$
F42 - F02 - F03 - F43 - F45 - FA2 - F47 - F48 - F35 - FD3	$6 \times 5 \times 7 \times 6 \times 2 \times 14 \times 3 \times 3 \times 4 = 1270080$
F13 - F03 - FA2 - F16	$4 \times 7 \times 14 \times 3 = 1176$
F42 - F51 - FD2 - F47 - F48 - F57 - F06	$6 \times 5 \times 9 \times 3 \times 3 \times 3 \times 7 = 51030$
FD1 - FB2 - F70	$3 \times 6 \times 2 = 36$
FD1 - FG3 - FF4	$3 \times 7 \times 11 = 231$
FA1 - F84 - FF4 - FE6	$3 \times 2 \times 11 \times 2 = 132$
FA1 - FD2 - FA3 - FF4	$7 \times 9 \times 4 \times 11 = 2772$
F17 - F02 - F03 - F68 - F43 - FA2 - F07 - F74	$3 \times 5 \times 7 \times 2 \times 6 \times 14 \times 5 \times 2 = 176400$
F23 - F58	$3 \times 3 = 9$
FA1 - F84 - FF4 - FG3	$7 \times 2 \times 11 \times 2 = 308$
F23 - F02 - F03 - FD2 - F57	$3 \times 5 \times 7 \times 9 = 945$
F51 - FD2 - FF4 - F67 - F57	$5 \times 9 \times 11 \times 1 \times 3 = 1485$
F81 - F53 - F06	$2 \times 2 \times 7 = 28$
FH1 - F73 - FF4	$2 \times 2 \times 11 = 44$
continua na próxima página...	

Tabela 8.1 – continuação

Seqüências de Fragmentos	Combinações dos números de OAs para cada fragmento
F77 - F78 - F79	$2 \times 1 \times 1 = 2$
F81 - F80 - F83 - FA2 - F85 - F35 - FA3	$2 \times 1 \times 1 \times 14 \times 1 \times 6 \times 4 = 672$
F08 - FF4 - F70	$1 \times 11 \times 2 = 22$
F42 - F51 - F43 - F47 - F48 - F35 - F07 - F74 - FF7	$6 \times 5 \times 6 \times 3 \times 3 \times 6 \times 5 \times 2 \times 3 = 291600$
F72 - FD2 - F87	$5 \times 9 \times 1 = 45$
F77 - FF4 - FG3	$2 \times 11 \times 2 = 44$
	TOTAL = 326200

Tabela 8.1: Seqüências de fragmentos identificadas nos livros e sítios pesquisados, com o cálculo do número de seqüências possíveis de OAs geradas por cada seqüência de fragmentos, dado o número de OAs encontrados para cada fragmento.

Conclusão

Apesar dos mapas conceituais serem utilizados em larga escala por educadores para diferentes fins, não existem propostas de trabalhos que utilizem o mapa conceitual para a seleção e composição de OAs.

Uma das principais contribuições desta tese é propor uma metodologia original para modelagem do domínio de aprendizagem com base na definição de fragmentos didáticos de mapas conceitual, cujas instâncias são chamadas de objetos de aprendizagem didáticos.

Outra contribuição é o uso da tecnologia de objetos de aprendizagem, mapas conceituais e ontologias para Web, para o desenvolvimento de um protótipo de uma ferramenta de descoberta, análise e composição de material didático para uma disciplina. Nessa ferramenta, o mapa conceitual sobre um domínio específico tem um papel fundamental, permitindo que o professor escolha por qual caminho ele quer percorrer o mapa, ou seja, qual abordagem pedagógica quer seguir. Com isso, a ferramenta é capaz de habilitar ou desabilitar OAs compostos em diferentes seqüências para serem finalmente selecionados por um usuário.

A ferramenta SEQUOA (*Seqüenciamento de OAs*) pode ser usada como suporte, por um projetista instrucional, professor ou aluno, na composição de OAs no domínio da Eletrostática. SEQUOA contém ontologias para descrever os elementos padrão de OAs e para descrever o mapa conceitual sobre o domínio de aplicação que, ao serem usadas por um mecanismo de

inferência lógica de acordo com a proposta da Web Semântica, podem responder a um conjunto de questões inerentes ao processo de seleção e composição de OAs (Seção 6.2).

O principal resultado do estudo de caso sobre Eletrostática foi mostrar que o conjunto de 231 OAs encontrados, após serem catalogados e descritos em termos de objetivos didáticos e suposições, resultou em apenas 59 grupos diferentes de OA, isto é, grupos de OAs com os mesmo objetivos didáticos e suposições, chamados de fragmentos, que quando combinados em seqüências mostram como OAs podem ser reusados para compor diferentes seqüências didáticas. Esse resultado corrobora com a proposta principal desta tese: fragmentos didáticos são elementos fundamentais para a seleção e composição de OAs.

Mostrou-se também a necessidade de se propor uma extensão ao padrão LOM, no que se refere a informações pedagógicas, tais como objetivos didáticos e suposições, para prover suporte na seleção de OAs didáticos e suas composições em seqüências que cubram um determinado mapa conceitual.

Apesar da ferramenta SEQUOA ter sido desenvolvida a partir de um estudo de caso sobre Eletrostática, a metodologia empregada nesta tese pode servir como guia para a implementação de versões diferentes da ferramenta para outros domínios de aprendizagem para os quais podem ser encontrados mapas conceituais recomendados por educadores experientes.

Algumas propostas de trabalhos futuros são:

- a utilização ou construção de uma ferramenta de busca automática para a coleta de OAs na Web;
- ao invés de adotar como seqüências válidas aquelas extraídas de sítios renomados ou livros clássicos, é possível construir seqüências de modo automático, verificando-se se as suposições de fragmentos são satisfeitas pela lista de tópicos cobertos pelos fragmentos e se os objetivos didáticos dos OAs selecionados satisfazem todos os conceitos e relações do mapa conceitual (um problema simples de planejamento sem interação entre ações).

Pretendemos comparar essas seqüências com as selecionadas neste trabalho;

- validar as seqüências de OAs (e não de fragmentos, uma vez que essas seqüências já foram extraídas de fontes de renome) com educadores experientes;
- identificar as diferentes abordagens pedagógicas das seqüências a fim de explicá-las ao professor; e
- identificar fragmentos de mapas conceituais automaticamente. Neste trabalho, a identificação de fragmentos foi feita manualmente, para uma amostra razoável de material pesquisado. Porém, isso poderia ter sido feito por softwares especializados que analisam massas de dados e classificam os seus elementos de acordo com critérios pré-estabelecidos, utilizando técnicas tais como *clustering* [Ng e Han 1994] da área de mineração de dados. Esse sistema seria integrado ao sistema de inferência com as ontologias desenvolvido nesta tese para que seja possível identificar fragmentos por termos correlatos de um mapa conceitual.

Glossary

contexto instrucional: seqüência de conteúdos utilizada para atingir um determinado objetivo didático dentro de um determinado nível de instrução, 1

didático: próprio para instruir, que torna o ensino eficiente, 28

inferência lógica: parte responsável pela busca das regras da base de conhecimento para serem avaliadas, direcionando o processo de inferência., 63

mecanismo de inferência: parte de um sistema responsável pela busca das regras da base de conhecimento para serem avaliadas, direcionando o processo de inferência., 55

objetivo didático: conteúdo que se pretende que um aluno aprenda, 3

planejamento curricular: processo de tomada de decisões sobre a dinâmica da ação escolar., 31

Apêndice A

A Tabela A.1 mostra um conjunto de OAs com alguns metadados compilados a partir dos OAs descobertos na Web.

LOMTitle	LOMkeyword	LOMdifficulty	LOMResourceType
OAx01	carga negativa	médio	simulação
OAx02	campo elétrico	médio	simulação
OAx03	força elétrica atrativa	difícil	texto narrativo
OAx04	campo elétrico convergente	difícil	texto narrativo
OAx05	campo elétrico, carga negativa	médio	simulação
OAx06	força elétrica	fácil	texto narrativo
OAx07	energia potencial	médio	simulação
OAx08	potencial	médio	simulação
OAx09	campo elétrico, força elétrica	médio	texto narrativo
OAx10	energia potencial	médio	texto narrativo
OAx11	carga	fácil	figura
OAx12	energia potencial	fácil	palestra
OAx13	potencial	fácil	texto narrativo
continua na próxima página...			

Tabela A.1 – continuação

LOMTitle	LOMkeyword	LOMdifficulty	LOMResourceType
OAx14	força elétrica, carga	médio	texto narrativo, simulação
OAx15	campo elétrico	médio	texto narrativo, simulação
OAx16	campo elétrico	médio	exercício
OAx17	energia potencial, carga	difícil	texto narrativo
OAx18	potencial	médio	simulação
OAx19	potencial	fácil	texto narrativo
OAx20	carga, campo elétrico, força elétrica	médio	exercício
OAx21	carga, potencial, energia potencial	médio	texto narrativo

Tabela A.1: Exemplo de conjunto de OAs com alguns metadados compilados a partir dos OAs descobertos na Web.

Apêndice B

A Tabela B.1 mostra o conjunto de todos os fragmentos obtidos, seus conceitos (palavras-chave) e suposições de conhecimento prévio.

Fragmento	Conceitos	Suposições	Frequência
FA1	Q, sinal, elementar, conservação, F, atração, repulsão, Coulomb	-	7
FA2	E, intensidade, direção, sentido	Q, sinal F, Coulomb	14
FA3	V, F conservativa, U	Q, sinal, F, Coulomb, E	4
FB1	Q, sinal, quantização, F, Coulomb	-	1
FB2	E, intensidade, direção, sentido, fluxo, Gauss	Q, F, Coulomb	6
FB3	V	Q, F, Coulomb, E, fluxo, Gauss	1
FD1	Q, sinal, elementar, F, atração, repulsão, Coulomb	-	3
FD2	E, intensidade, direção, sentido, radial	Q, sinal, F, Coulomb	9
FD3	V, U	Q, sinal, F, Coulomb, E	4
continua na próxima página...			

Tabela B.1 – continuação

Fragmento	Conceitos	Suposições	Frequência
FE1	Q, sinal, F, atração, repulsão, Coulomb	-	1
FE2	Q, conservação, quantização	Q	2
FE4	simetria esférica do campo, fluxo, Gauss	Q, E	1
FE5	Gauss x Coulomb	fluxo, Gauss, Coulomb	2
FE6	U, V, E x V	Q, F, Coulomb, E	2
FF3	E x Coulomb	E, Coulomb	1
FF4	fluxo, Gauss	Q, E, Coulomb	11
FF5	Coulomb x Gauss, E x Gauss	Coulomb, Gauss, E	1
FF7	E x V	E, V, Gauss	3
FG3	E conservativo, E central, U, V	Q, F, E	2
FH1	Q, sinal, conservação, quantização, F, atração, repulsão, Coulomb, F conservativa, U, U x F	-	2
FH3	V, E x V, U x E	Q, F, E, V	1
F01	Q, sinal, elementar, escalar	-	1
F02	F, atração repulsão	Q, sinal	5
F03	Coulomb	Q, sinal, F, atração repulsão	7
F06	V	Q, E	7
F07	U	Q, E, V	5
F08	Q, sinal, F, atração, repulsão, E	-	1
F09	Q, sinal, elementar, atração, repulsão	-	1
F10	F, Coulomb	Q, sinal, atração, repulsão	2
continua na próxima página...			

Tabela B.1 – continuação

Fragmento	Conceitos	Suposições	Frequência
F13	Q, sinal, F, atração, repulsão	-	4
F16	V, U	Q, sinal, F, Coulomb	3
F17	Q, sinal, elementar	-	3
F23	Q, sinal, atração repulsão	-	3
F35	E x Gauss	fluxo, Gauss, E	6
F42	Q, sinal	-	6
F43	E	Q, sinal	6
F45	E, E x F	Q, sinal, F	2
F47	fluxo	E	3
F48	Gauss	E, fluxo	3
F51	F, atração repulsão, Coulomb	Q, sinal	5
F57	V, E x V	E	3
F53	E, F, atração repulsão, Coulomb	Q, sinal	2
F54	U	F, Coulomb	1
F70	U, V	E, fluxo, Gauss	2
F58	E, V, U	Q, F	3
F84	E, intensidade, direção, sentido, superposição	Q, sinal, F, Coulomb	2
F68	lei do inverso de r^2	Coulomb	2
F74	V	Q, U	2
F67	F conservativa, U	F, Coulomb	1
F72	Q, F, E, Coulomb	-	5
F81	Q, sinal, conservação, atração, repulsão	-	2
F73	E, V	Q, F, U	2

continua na próxima página...

Tabela B.1 – continuação

Fragmento	Conceitos	Suposições	Frequência
F77	Q, sinal, elementar, F, atração, repulsão, Coulomb, superposição	-	2
F78	F conservativa, E, intensidade, direção, fluxo, Gauss	Q, sinal, Coulomb, superposição	1
F79	U	E, Gauss	1
F80	F, Coulomb, lei do inverso de r^2 , superposição	Q, sinal	1
F83	E	lei do inverso de r^2 , superposição	1
F85	fluxo, Gauss, Coulomb x Gauss	E	1
F87	E, fluxo, Gauss, V, U	Q, E	1

Tabela B.1: Fragmentos identificados nos livros e sítios pesquisados.

Referências Bibliográficas

ADL. *Advanced Distributed Learning*. 2005. <http://www.adlnet.org>, (Dezembro de 2005).

ALI. *Apple learning interchange*. 2000. www.ali.apple.com, (Janeiro de 2006).

ALIC. *Advanced Learning Infrastructure Consortium*. 2004. <http://www.alic.gr.jp/eng/index.htm>, (Setembro de 2004).

ANTONIOU, G.; HARMELEN, F. van. *A Semantic Web Primer*. [S.l.]: The MIT Press, 2004.

ARAÚJO, M. de. *Educação a distância e a Web Semântica: modelagem ontológica de materiais e objetos de aprendizagem para a plataforma COL*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

ARIADNE. *ARIADNE Foundation for the European Knowledge Pool*. 2000. <http://www.ariadne-eu.org>, (Dezembro de 2005).

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Educational psychology: a cognitive view*. [S.l.]: 2nd ed., New York: Holt Rinehart and Winston, 1978.

BAADER, F.; HORROCKS, I.; SATTLER, U. Description logics as ontology languages for the semantic web. In: HUTTER, D.; STEPHAN, W. (Ed.). *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. [S.l.]: Springer, 2003. <http://citeseer.ist.psu.edu/baader03description.html>, (Janeiro de 2006).

BAADER, F.; NUTT, W. Basic description logics. In: BAADER, F. et al. (Ed.). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2003. <http://citeseer.ist.psu.edu/baader03basic.html>, (Janeiro de 2006).

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The Semantic Web - A new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities. *Scientific American*, 2001. <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=00048144-10D2-1C70-84A9809EC588EF21&sc=I100322>, (Dezembro de 2005).

BRICKLEY, D.; GUHA, R. V. W3C Working Draft, *RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema*. 2003. <http://www.w3.org/TR/2003/WD-rdf-schema-20030123/>, (Novembro de 2006).

CANAS, A. J. et al. *A Summary of Literature Pertaining to the Use of Concept Mapping Techniques and Technologies for Education and Performance Support*. [S.l.], July 2003. <http://depts.washington.edu/biology/hhmi/conceptmaps/Canas%20et.al.,%202003.pdf>, (Janeiro de 2007).

CEdMA. *The computer education management association*. 2003. <http://www.cedma.org/src/index.php>, (Novembro de 2006).

CETIS. *The Centre for Educational Technology Interoperability Standards*. 2005. <http://www.cetis.ac.uk>, (Dezembro de 2005).

CONNOLLY, D. et al. Reference description. W3C Note, *DAML+OIL*. 2001. <http://www.w3.org/TR/2001/NOTE-daml+oil-reference-20011218>, (Novembro de 2006).

CRISTEA, A.; OKAMOTO, T. Object-oriented collaborative course authoring environment supported by concept mapping in MyEnglishTeacher. *Educational Technology & Society*, v. 4, n. 2, p. 104–115, 2001.

DCMI. *Dublin Core Metadata Initiative*. 2005. <http://dublincore.org>, (Dezembro de 2005).

DICHEVA, D.; AROYO, L.; CRISTEA, A. Collaborative courseware authoring suport. In: *Computers and Advanced Technology in Education*. Cancun, Mexico: [s.n.], 2002.

- DISTÂNCIA, S. de Educação a. *RIVED - Rede Internacional Virtual de Educação*. 2006. <http://rived.proinfo.mec.gov.br>, (Novembro de 2006).
- DOWNES, S. Learning objects: Resources for distance education worldwide. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, v. 2 - 1, 2001.
- DOWNES, S. *What is Learning Context?* 2004. <http://www.downes.ca/cgi-bin/page.cgi?post=18>, (Setembro de 2004).
- EDNA. *EdNa Online Education Network*. 2003. <http://www.edna.edu.au>, (Dezembro de 2005).
- ESCOT. *Educational software components of tomorrow*. 2000. www.escot.org, (Janeiro de 2006).
- FARIA, W. de. *Mapas conceituais: aplicações ao ensino, currículo e avaliação*. [S.l.]: Editora Pedagógica e Universitária, 1995.
- FENSEL, D. et al. OIL: An ontology infrastructure for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 16, n. 3, p. 38–45, 2001.
- FERRARO, N. G.; JUNIOR, F. R.; SOARES, P. A. de T. *Os Fundamentos da Física, V. 3 Eletricidade*. [S.l.]: Moderna Editora, 2003.
- FERREIRA, A. B. de H. *Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa*. [S.l.]: Positivo - Livros, 3ª Edição - 2120 pág., 2004.
- GASPAR, A. *Física: Eletromagnetismo, Física Moderna - vol. 3*. [S.l.]: Editora Ática, 2000.
- GENESERETH, M. R.; FIKES, R. E. *Knowledge Interchange Format, Version 3.0 Reference Manual*. [S.l.], 1992.
- GHALLAB, M.; NAU, D.; TRAVERSO, P. *Automated Planning: Theory and Practice*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2004.
- GRUBER, T. R. Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. In: GUARINO, N.; POLI, R. (Ed.). *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Deventer, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1993.

GRÜNINGER, M.; FOX, M. Methodology for the design and evaluation of ontologies. In: *IJCAI'95, Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, April 13, 1995*. [S.l.: s.n.], 1995. citeseer.ist.psu.edu/grninger95methodology.html, (Janeiro de 2006).

HAARLEV, V.; MOLLER, R. Racer system description. In: *International Joint Conference on Automated Reasoning (IJCAR 2001)*. [S.l.: s.n.], 2001.

HAARSLEV, V.; MÖLLER, R.; WESSEL, M. Description logic inference technology: Lessons learned in the trenches. In: *Description Logics*. [S.l.: s.n.], 2005. <http://www.ceur-ws.org/Vol-147/32-Moeller.pdf>, (Novembro de 2006).

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos da Física 3*. [S.l.]: LTC Editora, 1993.

HEFLIN, J.; HENDLER, J.; LUKE, S. *SHOE: A Knowledge Representation Language for Internet Applications*. [S.l.], 1999. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>, (Fevereiro de 2006).

HORROCKS, I.; SATTler, U. Ontology reasoning in the SHOQ(D) description logic. In: *Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence*. [S.l.: s.n.], 2001.

IEEE. *Draft Standard for Learning Object Metadata*. 2002. <http://ltsc.ieee.org/wg12/index.html>, (Julho de 2005).

IEEE-LTSC. *Learning technology standards committee website*. 2000. <http://ieeeltsc.org>, (Dezembro de 2005).

IMS. *IMS Global Learning Consortium, Inc.* 1997. <http://imsproject.org>, (Dezembro de 2005).

IMS. *IMS Meta-data Best Practice Guide for IEEE 1484.12.1-2002 Standard for Learning Object Metadata*. 2004. http://www.imsglobal.org/metadata/mdv1p3pd/imsmd_bestv1p3pd.html, (Janeiro de 2006).

INFORMATICS, S. M. *Ontology Editor and Knowledge Acquisition System*. 2005. <http://protege.stanford.edu/>, (Abril de 2006).

- JOVANOVIĆ, J. et al. Learning object context on the semantic web. In: *Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2006)*. Washington, DC, USA: [s.n.], 2006.
- KIFER, M.; LAUSEN, G.; WU, J. Logical foundations of object-oriented and frame-based languages. *Journal of the ACM*, v. 4, n. 42, p. 742–843, 1995.
- KLYNE, G.; CARROLL, J. J. W3C Working Draft, *Resource Description Framework (RDF): Concepts and abstract syntax*. 2003. <http://www.w3.org/TR/2003/WD-rdf-concepts-20030123>, (Novembro de 2006).
- KONRATH, M. L. P. *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. 2002. <http://penta2.ufrgs.br/edutools/mapasconceituais/>, (Novembro de 2006).
- LEAVENS, G. T.; SITARAMAN, M. *Foundations of component-based software*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2000.
- LONGMIRE, W. *A Primer on Learning Objects*. 2000. <http://www.learningcircuits.org/2000/mar2000/Longmire.htm>, (Novembro de 2005).
- LOPEZ, M. F. et al. Building a chemical ontology using methontology and the ontology design environment. *IEEE Intelligent Systems*, IEEE Educational Activities Department, Piscataway, NJ, USA, v. 14, n. 1, p. 37–46, 1999. ISSN 1541-1672.
- LUZ, A. M. R. da; ALVARENGA, B. G. de. *Física - Volume 3*. [S.l.]: Editora Bernardo Alvares S.A., 1972.
- MACGREGOR, R.; BATES, R. *The Loom Knowledge Representation Language*. [S.l.], May 1987.
- MCGUINNESS, D. L.; HARMELEN, F. van. *OWL Web Ontology Language Overview*. [S.l.], 2004. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>, (Fevereiro de 2006).
- MERLOT. *Multimedia educational resource for learning and on-line teaching*. 2000. www.merlot.org, (Janeiro de 2006).
- MERRILL, M. D. Components of instruction: toward a theoretical tool for instructional design. *Instructional Science*, v. 29, p. 291 – 310, 2001.

- MERRILL, M. D.; LI, Z.; JONES, M. K. Instructional transaction theory: an introduction. *Educational Technology*, v. 31, p. 7 – 12, june 1991.
- MIZOGUCHI, R.; IKEDA, M.; SETA, K. Ontology for modeling the world from problem solving perspectives. In: *IJCAI'95, Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*. [S.l.: s.n.], 1995.
- MONTEIRO, B. de S. et al. Metodologia de desenvolvimento de objetos de aprendizagem com foco na aprendizagem significativa. In: *XVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2006)*. Brasília -DF: [s.n.], 2006.
- MOREIRA, M.; MASINE, E. *Aprendizagem Significativa - A teoria de David Ausubel*. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
- MOREIRA, M. A. *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. 2003. <http://www.if.ufrgs.br/moreira/mapasport.pdf>, (Novembro de 2006).
- MOREIRA, M. A. *Mapas Conceituais & Diagramas V*. Porto Alegre: Editora Moraes, 2006.
- MORETTO, V. P. *Eletricidade e Eletromagnetismo*. [S.l.]: Editora Ática, 1989.
- MOTTA, E. An overview of the ocml modelling language. In: *8 th Workshop on Knowledge Engineering: Methods & Languages KEML 98*. Karlsruhe, Germany: [s.n.], 1998. citeseer.ist.psu.edu/motta98overview.html, (Janeiro de 2006).
- NAVARRO, L. I. et al. Concept maps and learning objects. In: *Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'05)*. [S.l.: s.n.], 2005.
- NG, R. T.; HAN, J. Efficient and effective clustering methods for spatial data mining. In: BOCCA, J.; JARKE, M.; ZANIOLO, C. (Ed.). *20th International Conference on Very Large Data Bases, September 12–15, 1994, Santiago, Chile*. Los Altos, CA 94022, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1994. p. 144–155. citeseer.ist.psu.edu/article/ng94efficient.html, (Janeiro de 2006).

NOVAK, J. D.; CANAS, A. J. *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them*. [S.l.]: Florida Institute for Human and Machine Cognition, 2006. <http://cmap.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>, (Novembro de 2006).

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, V.3 - Eletromagnetismo*. [S.l.]: EDGARD BLUCHER, 1997.

PAQUETTE, G. Instructional engineering for learning objects repositories networks. In: *International Conference on Computer Aided Learning in Engineering Education (CALIE 04)*. Grenoble, France: [s.n.], 2004. <http://www-clips.imag.fr/calie04/actes/Paquette.pdf> (Agosto de 2006).

PARSIA, B.; SIRIN, E. Pellet: An owl dl reasoner. In: *International Semantic Web Conference (ISWC 2004)*. Japan: [s.n.], 2004.

PURCELL, E. M. *Curso de Física de Berkeley - Volume 2*. [S.l.]: Edgard Blücher, 1970.

PURCELL, E. M. *Curso de Física de Berkeley, vol. 2 - Eletricidade e Magnetismo*. [S.l.]: Edgard Blücher, 1973.

REIGELUTH, C. M.; NELSON, L. M. A new paradigm of isd? In: BRANCH, R. M.; MINOR, B. B. (Ed.). *Educational Media and Technology Yearbook*. Englewood, CO: Libraries Unlimited, Inc, 1997. p. 24–35.

ROBSON, R. *All About Learning Objects*. 2001. <http://www.eduworks.com/LOTT/tutorial/learningobjects.html>, (Dezembro de 2005).

SALEM, S. *Estruturas conceituais no ensino de física: uma aplicação à eletrostática*. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1986.

STOJANOVIC, L.; STAAB, S.; STUDER, R. elearning based on the semantic web. In: *World Conference on the WWW and Internet*. Orlando, Florida, USA: [s.n.], 2001.

SUL, U. F. do Rio Grande do. *CESTA - Coletânea de Entidades de Suporte ao uso de Tecnologia na Aprendizagem*. 2006. <http://www.cinted.ufrgs.br/CESTA>, (Novembro de 2006).

TAN, M.; GOH, A. The use of ontologies in web-based learning. In: *International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (SW-EL 2004)*. Hiroshima, Japan: [s.n.], 2004.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa em um ambiente multimídia. In: *V Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*. Madrid, Espanha: [s.n.], 2006.

TIPLER, P. A. *Física, Volume 2*. [S.l.]: LTC Editora, 2000.

USCHOLD, M.; KING, M. Towards a methodology for building ontologies. In: *Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*. [S.l.: s.n.], 1995.

USP, E. do F. *Laboratorio Didatico Virtual*. 2006. <http://www.labvirt.futuro.usp.br>, (Novembro de 2006).

W3C. *World Wide Web Consortium*. 1994. <http://www.w3.org/>, (Dezembro de 2005).

WILEY, D. A. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. In: *The instructional use of learning objects: Online Version*. [S.l.]: David A. Wiley, 2000. <http://reusability.org/read/>, (Dezembro de 2005).

ZABALA, A. *A prática educativa - como ensinar*. [S.l.]: ARTMED, 1998.