

EDUCAR: Uma Arquitetura de Referência para Ambientes Educacionais

Maria Lydia Fioravanti, Elisa Yumi Nakagawa, Ellen Francine Barbosa

¹ Instituto de Ciências Matemticas e de Computação (ICMC-USP)
Caixa Postal 668, CEP 13560-970 – São Carlos (SP), Brasil

fioravanti@grad.icmc.usp.br, {elisa, francine}@icmc.usp.br

Abstract. *Reference architectures have been used to characterize the functionalities of systems in specific application domains, providing a general framework to develop architectures for new systems or even to support the evolution of the existing ones. In this scenario, this paper describes EDUCAR – a reference architecture for educational environments. Based on the proposed architecture, we intend to contribute to the development and evolution of such environments, addressing relevant issues related to their quality, especially in terms of analysis, comprehension and reuse.*

Resumo. *Arquiteturas de referência têm sido utilizadas para caracterizar as funcionalidades de sistemas de um dado domínio de aplicação, fornecendo uma estrutura genérica para o desenvolvimento de arquiteturas para novos sistemas ou, ainda, para apoiar a evolução de sistemas existentes. Nesse cenário, este trabalho descreve a arquitetura EDUCAR – uma arquitetura de referência para ambientes educacionais. Espera-se, a partir da arquitetura proposta, contribuir para o desenvolvimento e a evolução de tais ambientes, além de favorecer aspectos importantes relacionados à qualidade dos mesmos, sobretudo com respeito  análise, entendimento e reuso.*

1. Introdução

Várias iniciativas voltadas ao projeto e desenvolvimento de ambientes educacionais têm sido conduzidas [Dougiamas 2009, Sakai Project 2009, DotLRN 2009]. De modo geral, tais ambientes fornecem apoio  realização de um amplo conjunto de atividades, entre elas: (1) apresentação e disponibilização de material didático; (2) comunicação e condução de atividades colaborativas; (3) avaliação e acompanhamento dos aprendizes; e (4) gerenciamento e coordenação de cursos. Além disso, características e funcionalidades distintas, específicas a cada ambiente, tanto em aspectos pedagógicos como técnicos e administrativos, têm sido observadas.

Apesar da diversidade de ambientes educacionais existente, uma limitação comum  maioria dos trabalhos conduzidos refere-se  falta de uniformidade quanto  funcionalidades básicas a serem desenvolvidas. De fato, a caracterização de funcionalidades essenciais constitui um fator relevante para o desenvolvimento de sistemas de software nos mais variados domínios de aplicação. Associado a isso, a representação de sistemas em níveis mais altos de abstração favorece aspectos importantes relacionados à qualidade, sobretudo com respeito  análise, entendimento, reuso e evolução dos mesmos.

Na tentativa de fornecer uma estrutura genérica para o desenvolvimento de novos sistemas ou, ainda, apoiar a evolução dos sistemas existentes, arquiteturas de software, em

especial arquiteturas de referência, têm sido investigadas. Basicamente, uma arquitetura de referência consiste em uma estrutura para a caracterização das funcionalidades dos sistemas de software de um dado domínio [Eickelmann and Richardson 1996]. Além disso, podem ser vistas como repositórios de conhecimento para um domínio de aplicação.

Motivados por esse cenário, neste trabalho é apresentada a arquitetura EDUCAR – uma arquitetura de referência para ambientes educacionais. A EDUCAR foi desenvolvida com base no processo *ProSA-RA* (*Process based on Software Architecture – Reference Architecture*) – um processo sistemático e iterativo para a especificação, projeto e avaliação de arquiteturas de referência orientadas a aspecto [Nakagawa 2006]. Espera-se, a partir da arquitetura proposta, contribuir para o desenvolvimento, evolução e reúso de ambientes educacionais. Além disso, os fatores considerados no estabelecimento da EDUCAR também podem constituir um conjunto preliminar de requisitos e/ou critérios de avaliação, utilizados como apoio para a seleção de ambientes educacionais.

O restante do artigo está organizado como se segue. A Seção 2 apresenta uma visão geral sobre arquiteturas de referência e uma síntese dos principais trabalhos relacionados. Na Seção 3 são brevemente descritos os passos do *ProSA-RA*. A arquitetura EDUCAR é apresentada na Seção 4, sendo discutidas as principais etapas de seu processo de construção. Por fim, a Seção 5 sintetiza as contribuições do trabalho bem como as perspectivas para a continuação da pesquisa.

2. Arquiteturas de Referência: Visão Geral

Segundo Bass et al. [Bass et al. 2003], uma arquitetura de software pode ser descrita em termos de uma estrutura que inclui componentes, suas propriedades externas e os relacionamentos entre eles, constituindo uma abstração do sistema. Seu papel principal é diminuir a distância entre requisitos e implementação. Nesse sentido, a ideia é apoiar questões importantes de projeto, tais como a organização do sistema como uma composição de componentes, as estruturas de controle globais, os protocolos de comunicação, a composição dos elementos do projeto e a designação das funcionalidades dos componentes do projeto [Nakagawa 2006].

Arquiteturas de referência têm sido bastante investigadas no âmbito de arquiteturas de software, fornecendo uma estrutura para a caracterização das funcionalidades de sistemas de software de um dado domínio de aplicação [Garlan 2000]. Seu uso tem sido explorado nos mais variados domínios (sistemas de comércio eletrônico [Bass et al. 2003], sistemas embarcados [Batory et al. 1995], aplicações *groupware* distribuídas [Zdun 2002], servidores web [Perrochon 1995], entre outros).

Na área de Engenharia de Software, arquiteturas de referência para ferramentas de apoio às atividades de desenvolvimento de software também têm sido investigadas. Eickelmann e Richardson [Eickelmann and Richardson 1996], por exemplo, propuseram uma arquitetura de referência para ferramentas de teste de software. De forma mais abrangente, Nakagawa [Nakagawa 2006] propôs uma arquitetura de referência para ambientes de desenvolvimento de software, visando apoiar a fase de projeto arquitetural no processo de desenvolvimento de ambientes e ferramentas de engenharia de software.

No contexto de ambientes e ferramentas educacionais, um dos primeiros trabalhos explorando estruturas mais genéricas de desenvolvimento foi a proposição do modelo *AHAM* (*Adaptive Hypermedia Application Model*) [Wu 2002] – um modelo de referência

para sistemas hipermídia adaptativos. Pollard e Duke [Pollard and Duke 2005] propuseram uma arquitetura de referência para softwares educacionais no domínio de matemática, a fim de facilitar a customização desses softwares às necessidades e estilos de cada instrutor. Mais recentemente, Li et al. [Li et al. 2009] propuseram uma arquitetura geral para o desenvolvimento de sistemas de *e-learning*, baseada em tecnologias de engenharia do conhecimento, em especial, ontologias.

É importante observar que, embora os trabalhos citados abordem o uso de estruturas genéricas (modelo de referência, arquitetura geral) no contexto de desenvolvimento de aplicações educacionais (sistemas adaptativos, softwares educacionais, *e-learning*), a ideia de “arquitetura de referência” para “ambientes educacionais” ainda não tem sido explorada efetivamente. É nesse cenário que se insere a EDUCAR, tendo como principal objetivo contribuir para o desenvolvimento e evolução de tais ambientes.

3. ProSA-RA

O *ProSA-RA* é um processo que sistematiza o desenvolvimento de arquiteturas de referência orientadas a aspecto, visando o desenvolvimento incremental e evolutivo de ambientes de software [Nakagawa 2006]. O *ProSA-RA* é parte integrante do *ProSA* (*Process based on Software Architecture*) – um processo iterativo que aborda desde o estabelecimento da arquitetura de referência (*ProSA-RA*), passando por sua especialização (*ProSA-S*), até a instanciação (*ProSA-I*). O desenvolvimento da EDUCAR foi conduzido em conformidade com os passos estabelecidos pelo *ProSA-RA* (Figura 1).

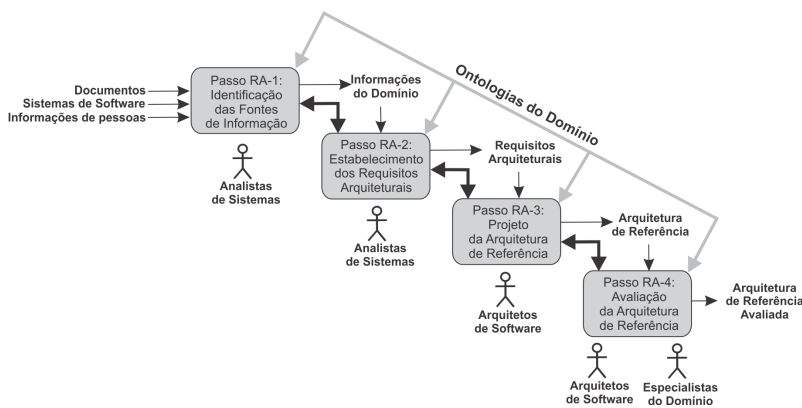


Figura 1. *ProSA-RA*: Estrutura Geral [Nakagawa 2006]

O passo *RA-1* refere-se à investigação e seleção de fontes de informação com o objetivo de levantar informações sobre o domínio para o qual será criada a arquitetura de referência. Quanto maior a quantidade de informações e mais abrangentes as fontes de informação, mais adequada para o domínio em questão será a arquitetura construída e, conseqüentemente, maiores as chances de sucesso na construção de sistemas de software com base na arquitetura definida. Como fontes de informação mais relevantes destacam-se: pessoas (especialistas do domínio), sistemas de software do domínio, publicações e/ou documentos e ontologias do domínio.

O passo *RA-2* refere-se ao estabelecimento dos requisitos arquiteturais. Identificam-se os requisitos de sistemas do domínio e, a partir destes, estabelecem-se quais são os requisitos específicos da arquitetura de referência pretendida, ou seja, os

requisitos arquiteturais. A seguir, cada requisito arquitetural é mapeado para um conceito do domínio. Tais conceitos possivelmente darão origem a módulos em nível de implementação. Considerando a especificação de arquiteturas de referência orientadas a aspecto, o *ProSA-RA* também propõe a identificação dos interesses transversais em nível arquitetural¹. Assim, determinam-se, entre os conceitos identificados, quais possuem característica transversal e quais não.

O passo *RA-3* refere-se ao projeto da arquitetura de referência. Inicialmente são investigados e selecionados os estilos e padrões arquiteturais mais adequados para o domínio em questão, constituindo a base sobre a qual a arquitetura de referência será estabelecida. Em seguida são identificados os aspectos arquiteturais (caso o objetivo seja a proposição de uma arquitetura de referência orientada a aspectos). Entende-se por aspectos arquiteturais os elementos que entrecortam ou afetam outros elementos arquiteturais, tais como pacotes e componentes ou mesmo outros aspectos arquiteturais. Observa-se que conceitos com características transversais são bons candidatos para serem aspectos arquiteturais. Contudo, uma análise criteriosa deve ser conduzida para estabelecer se o conceito será tratado em um módulo transversal e independente ou não.

Para construir os modelos da arquitetura de referência, ou seja, sua descrição arquitetural, um conjunto de visões arquiteturais é considerado: (1) a *visão de módulos* representa a estrutura do sistema em termos de módulos; (2) a *visão em tempo de execução* mostra o sistema em execução, possibilitando entender seu funcionamento bem como analisar as propriedades que se manifestam em tempo de execução; (3) a *visão de implantação* apresenta a estrutura de hardware na qual o sistema será executado; e (4) a *visão conceitual* descreve cada um dos conceitos pertinentes ao domínio de aplicação ao qual a arquitetura de referência está relacionada.

Finalmente, no passo *RA-4* é realizada a avaliação da arquitetura de referência proposta. A fim de guiar o revisor na detecção de defeitos em documentos relacionados à arquitetura de referência, propõe-se o uso de inspeção baseada em *checklist*. A partir do *checklist*, características de qualidade (manutenibilidade, desempenho, segurança, usabilidade, portabilidade e reúso), além da própria descrição da arquitetura, são avaliados.

4. A Arquitetura de Referência EducAR

A arquitetura EDUCAR é apresentada a seguir, sendo descritos os principais módulos que a constituem. A EDUCAR foi construída a partir da aplicação dos passos do *ProSA-RA*.

RA-1: Identificação das Fontes de Informação

Como fontes de informação foram considerados, em especial, os ambientes educacionais mais utilizados no contexto de ensino e aprendizagem. O conhecimento de especialistas do domínio também foi considerado. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos ambientes selecionados.

Além das fontes de informação consideradas, foi conduzida uma Revisão Sistemática (RS) da literatura a fim de levantar características, funcionalidades e requisitos de arquiteturas de ambientes educacionais. De modo geral, uma RS consiste em um meio

¹Entende-se por interesses transversais aqueles que se encontram espalhados ou entrelaçados com outros interesses dentro de um sistema [Kiczales et al. 1997].

Tabela 1. Ambientes Educacionais: Visão Geral

Nome	Descrição
Adaptweb	Ambiente com foco em autoria e apresentação adaptativa de materiais didáticos.
ATEnA	Sistema de administração de cursos na web, baseado em <i>workflow</i> .
AulaNet	Ambiente virtual de aprendizagem para administração, criação, manutenção e participação em cursos a distância.
CoL	Ferramenta de gerenciamento de cursos via web.
dotLRN	Aplicação completa para o desenvolvimento de comunidades de aprendizagem na web.
Eureka	Ambiente para aprendizagem cooperativa, com facilidades de comunicação e apoio à disponibilização de material didático.
IWT	Ambiente educacional baseado em web semântica, com ênfase em ontologias.
Moodle	Ambiente virtual de aprendizagem para criação de cursos online.
Sakai	Plataforma educacional que oferece recursos para administração de cursos e gerenciamento de aprendizagem, atuando ainda como ferramenta colaborativa para apoiar pesquisa e projetos em grupo.
TelEduc	Ambiente par criação, participação e administração de cursos na web.
TIDIA-Ae	Sistema de aprendizado eletrônico com apoio à criação e gerenciamento de cursos e participação colaborativa na execução de trabalhos, tarefas, pesquisas e projetos.
WebCT	Ambiente integrado de aprendizagem, contendo uma série de ferramentas educacionais e administrativas.

de identificar, avaliar e interpretar toda pesquisa disponível e relevante sobre uma questão de pesquisa, um tópico ou um fenômeno de interesse [Kitchenham 2004]. A condução de uma RS supostamente apresenta uma avaliação justa do tópico de pesquisa à medida que utiliza uma metodologia de revisão rigorosa, confiável e passível de auditoria.

A Tabela 2 apresenta uma síntese do protocolo de busca utilizado na RS de arquitetura de ambientes educacionais. A partir de um protocolo de busca permite-se que a revisão seja repetida por outros pesquisadores interessados.

Tabela 2. Revisão Sistemática de Arquiteturas de Ambientes Educacionais: Protocolo de Busca

Nome	Descrição
Questão de pesquisa	Quais características, funcionalidades e requisitos de arquiteturas de ambientes educacionais estão presentes na literatura?
Palavras-chave	<i>requirement, feature, characteristic, learning management system, course management system, personal learning environment</i>
Crítérios de seleção de fontes	Máquinas de busca da internet.
Idioma	Inglês.
Fontes	Máquinas de busca da IEEE e ACM.
String de busca	("learning management system" OR "course management system" OR "personal learning environment") AND (requirement OR characteristic OR feature)

Utilizando-se a string de busca definida foram retornados 59 trabalhos na IEEE e 1 trabalho na ACM. Em seguida, um subconjunto destes trabalhos foi selecionado com base no seguinte critério de inclusão: "O trabalho descreve uma característica, funcionalidade e/ou requisito de arquitetura de ambientes educacionais?" Trabalhos que não atendiam a esse critério, ou seja, não abordavam o tema da questão de pesquisa, foram excluídos.

Ao final, obteve-se um total de 40 trabalhos, cuja leitura mais detalhada resultou na confirmação de que as funcionalidades já elencadas durante o estudo dos ambientes educacionais mostravam-se consistentes e adequadas ao estabelecimento da arquitetura de referência. Tais funcionalidades foram categorizadas em: (1) *Conteúdo*; (2) *Avaliação do Aprendiz*; (3) *Comunicação*; (4) *Adaptação*; (5) *Documentação*; (6) *Coordenação do Curso*; (7) *Administração do Sistema*; (8) *Armazenamento*; (9) *Adequação a Padrões*; (10) *Multilinguagem*; (11) *Interface*; (12) *Interação*; e (13) *Meios de Acesso*.

A categoria de *Avaliação do Aprendiz*, por exemplo, trata de questões associadas à autoria, disponibilização e *feedback* das avaliações realizadas pelos aprendizes. Foram identificadas 18 funcionalidades, classificadas em três sub-categorias. A "criação de questionários", o "uso de uma ferramenta do tipo *escaninho*" e a "divulgação de notas", por exemplo, são questões tratadas nas sub-categorias de *Autoria*, *Disponibilização* e *Feedback*, respectivamente. A Tabela 3 sintetiza parte das funcionalidades identificadas

para os ambientes educacionais considerados, ilustrando as funcionalidades da categoria *Avaliação do Aprendiz*.

Tabela 3. Ambientes Educacionais: Funcionalidades da Categoria *Avaliação de Aprendiz*

Funcionalidades	AdaptWeb	Atena	AulaNet	CoL	Dotlearn	Eureka	IWT	Moodle	Sakai	Teleduc	Tidia	WebCT
Autoria	Criação de tarefas		✓					✓	✓	✓		✓
	Criação automática de avaliações				✓			✓	✓			
	Criação de quizz							✓	✓			
	Criação de questionários		✓					✓				
	Criação de avaliações online		✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓
	Criação de testes de múltipla escolha				✓				✓			
Criação de provas			✓									
Disponibilização	Disponibilização de exercícios		✓					✓	✓	✓	✓	✓
	Escaneinho				✓			✓	✓		✓	
	Pesquisa de avaliação							✓				
Feedback	Pesquisa de opinião							✓				
	Avaliação entre colegas							✓				
	Estatísticas de acesso			✓		✓	✓	✓		✓		✓
	Sistema de rastreamento			✓		✓		✓	✓	✓		✓
	Divulgação de notas		✓					✓	✓			
	Relatório de desempenho		✓		✓			✓	✓			✓
	Relatório de participação		✓	✓		✓		✓	✓	✓		
	Relatório de frequência		✓	✓				✓	✓	✓		

RA-2: Estabelecimento dos Requisitos Arquiteturais

A partir das funcionalidades levantadas na etapa anterior foram identificados 123 requisitos de sistemas do domínio educacional. Em seguida, uma análise detalhada dos requisitos de sistema foi conduzida visando à identificação dos requisitos arquiteturais. A Tabela 4 ilustra parte dos resultados dessa análise. Os requisitos de 39 a 45, por exemplo, referem-se à autoria de avaliações, sendo mapeados para um único requisito arquitetural (*Permitir autoria de avaliação*). Ao final desse processo, os 123 requisitos de sistema foram mapeados para um conjunto de 18 requisitos arquiteturais (Tabela 5).

Tabela 4. Requisitos Arquiteturais (parcial)

Número	RS (Requisito de Sistemas)	RA (Requisito Arquitetural)
39	Permitir a criação de tarefas	Permitir autoria de avaliação
40	Permitir a criação automática de avaliações	Permitir autoria de avaliação
41	Permitir a criação de quizz	Permitir autoria de avaliação
42	Permitir a criação de questionários	Permitir autoria de avaliação
43	Permitir a criação de avaliações online	Permitir autoria de avaliação
44	Permitir a criação de testes de múltipla escolha	Permitir autoria de avaliação
45	Permitir a criação provas	Permitir autoria de avaliação

Com base nos requisitos arquiteturais foram identificados os conceitos do domínio e, dentre eles, quais apresentavam característica transversal. A Tabela 5 ilustra os conceitos identificados. Por exemplo, os requisitos arquiteturais 3 e 4, relacionados a atividades de comunicação síncrona e assíncrona, deram origem ao conceito *Comunicação*. Os requisitos arquiteturais 6 e 7, associados a atividades de autoria de material didático e de avaliação, deram origem ao conceito *Autoria*. Já os requisitos 15 e 16 foram mapeados para o conceito *Personalização*. Este último, em especial, apresenta caráter transversal, tendo relação com outros requisitos arquiteturais. De fato, funcionalidades relacionadas à personalização, de modo geral, encontram-se “espalhadas” por várias partes (módulos) de um ambiente educacional de modo a permitir sua personalização conforme as necessidades do usuário, seja ele administrador, instrutor, monitor ou aprendiz.

Tabela 5. Conceitos do Domínio

Número	RA (Requisito Arquitetural)	Conceito	Transversal (S/N)
1	Disponibilizar informações sobre o curso	Documentação do curso	N
2	Disponibilizar informações sobre o sistema	Documentação do sistema	N
3	Permitir comunicação síncrona	Comunicação	N
4	Permitir comunicação assíncrona	Comunicação	N
5	Permitir adaptação de conteúdos	Adaptação	N
6	Permitir autoria de material didático	Autoria	N
7	Permitir autoria de avaliação	Autoria	N
8	Permitir avaliação do aprendiz	Avaliação	N
9	Disponibilizar material didático	Disponibilização	N
10	Fornecer <i>feedback</i> da avaliação	Avaliação	N
11	Gerenciar cursos	Administração do curso	N
12	Gerenciar usuários	Administração de usuários	N
13	Gerenciar sistema	Administração do sistema	N
14	Permitir adequação a padrões	Adequação a padrões	N
15	Fornecer apoio à multilinguagem	Personalização	S
16	Fornecer apoio ao uso de <i>templates</i>	Personalização	S
17	Fornecer segurança ao sistema	Administração do sistema	N
18	Gerenciar conteúdos	Disponibilização	N

RA-3: Projeto da Arquitetura de Referência

A partir da investigação de estilos e padrões arquiteturais, optou-se por construir a EDUCAR tendo como base uma arquitetura cliente-servidor em três camadas, por se tratar de uma arquitetura consolidada no contexto de aplicações web. Optou-se, ainda, pela utilização do padrão de projeto MVC [Buschmann et al. 1996], tendo como principal objetivo separar a lógica de negócio da lógica de apresentação.

A Figura 2 ilustra a estrutura geral da EDUCAR, definida em conformidade com o estilo e padrão arquitetural selecionados. Observa-se que o lado do cliente bem como as camadas de apresentação e de persistência no lado do servidor são análogos a outros sistemas web, independentemente do domínio de aplicação. Já na camada de aplicação estão representados os módulos específicos do domínio educacional, detalhados a seguir.

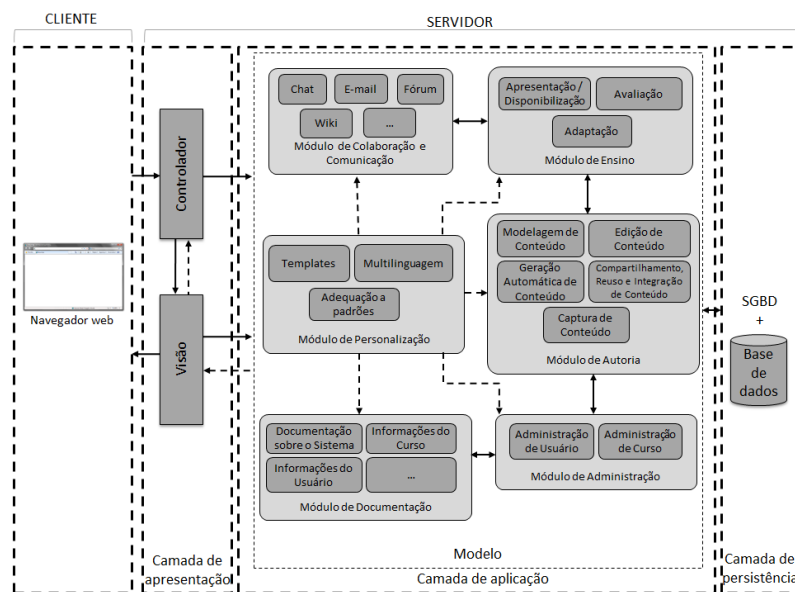


Figura 2. EDUCAR: Estrutura Geral

O módulo de *Autoria* é um dos núcleos da EDUCAR, sendo responsável pela elaboração dos conteúdos didáticos (materiais e avaliações). Em síntese, são abordadas

neste módulo questões referentes à: (1) estruturação e modelagem de conteúdo: consiste na identificação e representação dos conceitos (e seus inter-relacionamentos) do domínio de conhecimento que se deseja ensinar, bem como das atividades instrucionais a serem associadas; (2) edição de conteúdo: consiste na criação de documentos e mídias (por exemplo, textos, transparências, imagens, vídeos, entre outros); (3) geração automática de conteúdo: pertinente caso o conteúdo seja representado na forma de modelos passíveis de interpretação por máquina [Borges and Barbosa 2009]; (4) compartilhamento, reúso e integração de conteúdo: refere-se ao uso de ontologias de domínio, dicionários de termos, glossários, entre outros, como mecanismos de apoio à elaboração e evolução dos conteúdos; e (5) captura de conteúdo: refere-se à captura e armazenamento das discussões e experiências ocorridas durante a aula e posterior integração e sincronização dos vários fluxos de informação capturados (áudio, vídeo, anotações), gerando um conjunto de hiperdocumentos disponibilizados automaticamente na web.

Outro módulo central da EDUCAR é o módulo de *Ensino*, responsável pela apresentação e disponibilização dos conteúdos didáticos elaborados e, ainda, pela avaliação dos aprendizes por meio da disponibilização e aplicação de exercícios, questionários, provas, entre outros. Também é tratada neste módulo a questão de adaptabilidade dos conteúdos. Em função de parâmetros tais como *background*, objetivos, interesses e perfil de aprendizagem de cada aluno, maneiras diferenciadas de estruturação e navegação para o mesmo conteúdo didático podem ser estabelecidas e disponibilizadas.

O módulo de *Colaboração e Comunicação* reúne ferramentas síncronas e assíncronas que auxiliam a comunicação entre os usuários do ambiente, tais como *chat*, *web conferences*, e-mail, mensagens, entre outros. O módulo agrega, ainda, ferramentas de viés colaborativo como *wikis*, grupos e fóruns.

O módulo de *Administração* aborda todas as questões administrativas presentes em sistemas web gerais, com ênfase na administração de usuários e de cursos. Na administração de usuários são tratadas questões referentes à autenticação e estabelecimento de níveis de acesso bem como inclusão, exclusão e atualização de usuários. Também são abordadas a geração de relatórios de desempenho, de participação e de frequência de usuários (no caso, aprendizes). Quanto à administração de curso são abordados aspectos tais como: inclusão, exclusão e atualização de cursos; geração de estatísticas e relatórios gerais sobre o curso; *backup* de curso, entre outros.

O módulo de *Documentação* é responsável por fornecer mecanismos para a gerência e armazenamento de documentação sobre o ambiente (tais como ajuda online e FAQ do ambiente), informações do usuário e informações do curso (por exemplo, objetivos, plano de aula, cronograma, FAQ do curso, entre outros). Ressalta-se que outros tipos de documentação e/ou informações relevantes para ambiente também podem ser consideradas neste módulo.

Por fim, o módulo de *Personalização* estabelece mecanismos para criação e uso de *templates*, suporte à multilinguagem e adequação a padrões (tais como IMS, SCORM, LOM, entre outros).

Ainda com respeito à estruturação da EDUCAR, os módulos definidos relacionam-se como se segue. O módulo de *Autoria* comunica-se com o módulo de *Ensino*, de modo a permitir que o conteúdo gerado seja disponibilizado aos aprendizes, e com o módulo de

Administração, do qual são obtidas informações sobre níveis de acesso para determinar, por exemplo, se um dado usuário pode ou não criar conteúdo naquele curso.

O módulo de *Ensino*, por sua vez, comunica-se com o módulo de *Colaboração e Comunicação*, visto que ferramentas colaborativas e de comunicação podem ser utilizadas como apoio a atividades de ensino. Os módulos de *Administração* e *Documentação* também se comunicam entre si, trocando informações entre cursos e usuários. Já o módulo de *Personalização* permeia todos os demais, uma vez que os mecanismos nele agrupados podem ser aplicados em todas as ferramentas e mecanismos presentes nos outros módulos. De fato, este módulo tem caráter transversal e seus relacionamentos com os demais módulos foram representados por meio de linhas tracejadas.

A estrutura geral apresentada serviu como base para a construção dos modelos da arquitetura de referência, ou seja, a descrição arquitetural da EDUCAR. Foram criadas as visões de módulos, tempo de execução, implantação e conceitual, representadas utilizando-se técnicas da UML. A título de ilustração, a Figura 3 apresenta a visão de módulos. Cada módulo é representado por um pacote e os sub-módulos por sub-pacotes, os quais ainda podem ser refinados em classes que mostram o que cada sub-módulo contém em termos de funcionalidades.

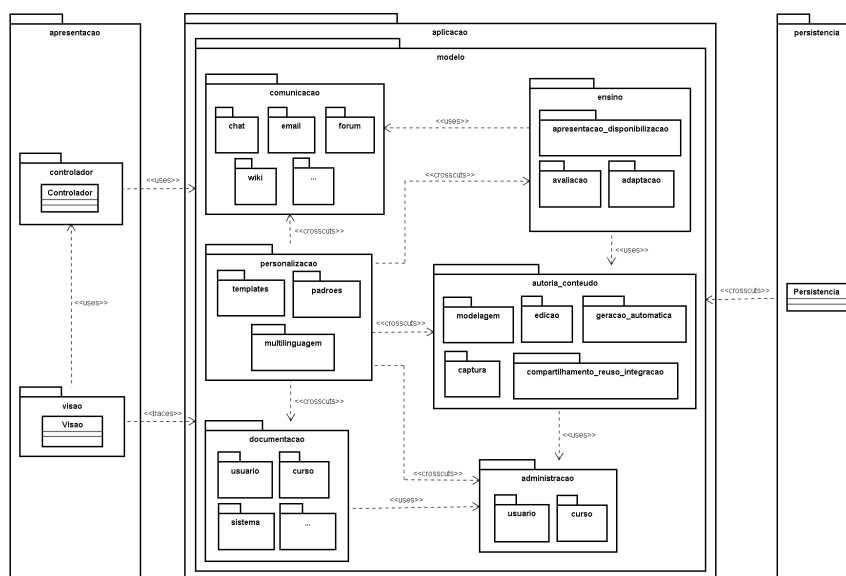


Figura 3. EDUCAR: Visão de Módulos

Atualmente vem sendo conduzida uma inspeção baseada em *checklist* visando à avaliação da arquitetura EDUCAR e suas características de qualidade. Os resultados da avaliação realizada deverão ser publicados oportunamente.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi apresentada a EDUCAR – uma arquitetura de referência para ambientes educacionais. A partir da EDUCAR é possível determinar as funcionalidades específicas (ou fundamentais) de ambientes educacionais, ou seja, o núcleo das ferramentas que compõem estes ambientes. Além disso, pode-se separar funcionalidades fundamentais daquelas relacionadas a atividades de apoio e a atividades organizacionais. A separação de interesses conduzida dessa maneira facilita além da manutenção, a evolução desses

ambientes. De fato, a ideia é que os ambientes e sistemas desenvolvidos com base em arquiteturas de referência possam evoluir continuamente, de forma modular e organizada.

Como trabalhos futuros ressalta-se a necessidade de avaliação da EDUCAR. Trabalhos nessa direção já vêm sendo conduzidos. Além disso, características relacionadas à acessibilidade de ambientes educacionais também devem ser investigadas e incorporadas à arquitetura de referência. Pretende-se, ainda, investigar a utilização dos módulos e sub-módulos que compõem a EDUCAR no desenvolvimento e evolução de ferramentas específicas a serem integradas em ambientes educacionais. Nesse sentido, em curto prazo pretende-se explorar os sub-módulos de *Modelagem e Geração Automática* como apoio à evolução e integração da ferramenta *AIM-Tool*² no ambiente *Moodle*.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP, CNPq, CAPES e Projeto *QualiPSO*.

Referências

- Bass, L., Clements, P., and Kazman, R. (2003). *Software Architecture in Practice*. The SEI Series in Software Engineering. Addison-Wesley Publishing Company, 2 edition.
- Batory, D., Coglianese, L., Goodwin, M., and Shafer, S. (1995). Creating reference architectures: an example from avionics. In *SSR '95: Proceedings of the 1995 Symposium on Software reusability*, pages 27–37, New York, NY, USA. ACM Press.
- Borges, V. A. and Barbosa, E. F. (2009). Using ontologies for modeling educational content. In *7th International Workshop on Ontologies and Semantic Web for E-Learning (SWEL'09)*, pages 1–4, Brighton, UK. Short Paper.
- Buschmann, F., Meunier, R., Rohnert, H., Sommerlad, P., and Stal, M. (1996). *Pattern-oriented Software Architecture: A System of Patterns*, volume 1. John Wiley & Sons.
- DotLRN (2009). DotLRN: Open source learning management system. (<http://dotlrn.org/>).
- Dougiamas, M. (2009). Moodle – a free, open source course management system for online learning. (<http://moodle.org/>).
- Eickelmann, N. S. and Richardson, D. J. (1996). An evaluation of software test environment architectures. In *18th International Conference on Software Engineering (ICSE 96)*, pages 353–364, Berlin, Germany.
- Garlan, D. (2000). Software Architecture: a Roadmap. In *22th International Conference on The Future of Software Engineering (ICSE 2000)*, pages 91–101, New York, NY, USA. ACM Press.
- Kiczales, G., Irwin, J., Lamping, J., Loingtier, J.-M., Lopes, C., Maeda, C., and Menhdhekar, A. (1997). Aspect-oriented programming. In Akşit, M. and Matsuoka, S., editors, *Proceedings of the European Conference on Object-Oriented Programming*, volume 1241, pages 220–242, Berlin, Heidelberg, and New York. Springer-Verlag.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for Performing Systematic Reviews. Technical report, Department of Computer Science, Keele University.
- Li, Y., Chen, Z., and e X. Cheng, R. H. (2009). New e-learning system architecture based on knowledge engineering technology. In *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2009)*, pages 5140 – 5144.
- Nakagawa, E. Y. (2006). *Uma Contribuição ao Projeto Arquitetural de Ambientes de Engenharia de Software*. PhD thesis, ICMC/USP, São Carlos, SP. In Portuguese.
- Perrochon, L. (1995). A reference architecture for multi-author world-wide web servers. In *COCS '95: Proceedings of conference on Organizational computing systems*, pages 197–205, New York, NY, USA. ACM Press.
- Pollard, J. and Duke, R. (2005). A reference architecture for instructional educational software. In *South East Asia Regional Computer Science Confederation Conference (SEARCC 2005)*, pages 43–52, Darlinghurst, Australia, Australia. Australian Computer Society, Inc.
- Sakai Project (2009). Collaboration and learning environment for education. <http://sakaiproject.org/>.
- Wu, H. (2002). *A reference architecture for adaptive hypermedia applications*. Doctoral thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands.
- Zdun, U. (2002). Reengineering to the web: A reference architecture. In *Sixth European Conference on Software Maintenance and Reengineering*, Budapest, Hungary.

²Ferramenta de apoio à modelagem e geração automática de conteúdos educacionais [Borges and Barbosa 2009].