Modelos e Ferramentas para a Construção de Sistemas Educacionais Adaptativos e Semânticos

Ig Ibert Bittencourt

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins - Maceió – AL

GrOW – Grupo de Otimização na Web

ig.ibert@ic.ufal.br

Evandro Costa

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins - Maceió – AL

GrOW – Grupo de Otimização na Web

ebcosta@gmail.com

Resumo *Este trabalho se insere no contexto da pesquisa atual na área de Inteligência Artificial em Educação (IAEd), refletindo-se na busca por sistemas educacionais adaptativos baseados na Web semântica, indo ao encontro de uma nova geração de ambientes virtuais de aprendizagem. Através de estudos de casos desenvolvidos, a presente pesquisa mostrou-se relevante e contribuiu para a construção efetiva desses sistemas.*

Palavras-Chave: *Ambientes Educacionais e Adaptativos, Web Semântica, Inteligência Artificial em Educação*

Abstract *This research examines the design and effective development of adaptive and semantic Web-based educational systems, integrating artificial intelligence techniques and semantic Web-based technologies in order to provide a new generation of virtual learning environments. In this sense, results obtained from three case studies (within Math and Medicine domains) are provided to evaluate the feasibility of the work.*

Keywords: *Adaptive Educational Systems, Semantic Web, Artificial Intelligence in Education*

1 Introdução

As motivações gerais para a presente pesquisa constam principalmente no documento criado pela SBC [10] com o título "Grandes Desafios da Computação 2006 - 2016". No documento, o tópico 5 é chamado "Acesso Participativo e Universal do Cidadão Brasileiro ao Conhecimento". Neste desafio, discute-se a utilização de tecnologias para garantir que os cidadãos tenham acesso ao conhecimento de forma personalizada e participativa. Nesta perspectiva, surgem problemas tecnológicos para vencer os desafios envolvidos, como criação de plataformas de *e-Learning*, infra-estrutura de serviços e estruturas de ontologias. Percebe-se então a necessidade de criar ambientes educacionais que sejam: i) extensíveis, ii) que garantam o acesso participativo e universal do cidadão, iii) que considerem características de cada cidadão, tornando o sistema adaptável aos mesmos, iv) que permitam a integração de ferramentas de comunicação e v) interoperabilidade entre os ambientes educacionais.

Assim, duas grandes linhas de pesquisa (Há outras abordagens existentes, como Aprendizagem Móvel e/ou Pervasiva e Aprendizagem para TV Digital, entretanto tais abordagens não são focalizadas na tese em questão) exploradas pela comunidade da área e que estão diretamente relacionadas com as características necessárias para atender aos desafios mencionados são: i) ambientes de (EaD), quando a interação entre estudantes, tutores e professores, fazendo uso da tecnologia da informação para garantir esta comunicação e ii) ambientes de inteligência artificial e educação, quando fazer uso de técnicas provenientes da inteligência artificial para assegurar interações personalizadas, além de efetivar a aprendizagem e a resolução de problemas.

Entretanto, há diversas limitações nestes ambientes. De um lado, os ambientes clássicos de educação a distância (EaD) falham na falta de controle de avaliação personalizada e na falta de adaptação às características dos usuários presentes no ambiente [8]. Do outro lado, os ambientes AIED, em sua grande maioria, têm o foco estabelecido na resolução de problemas de aprendizagem e nas atividades sendo trabalhadas de forma individualizada ao modelo do aprendiz, fazendo com que tais características sejam de domínios restritos e que possuam um alto custo de desenvolvimento e manutenção [13]. Estas limitações fazem com que haja uma convergência natural entre os mesmos, criando assim os ambientes conhecidos como Ambientes de EaD Adaptativos.

Entende-se por ambiente educacional adaptativo, os sistemas que alteram suas características para atender às necessidades dos usuários do sistema. Porém, diversos desafios ainda existem, como a definição de mecanismos inteligentes, especificação, desenvolvimento, manutenção e evolução destes sistemas e também questões de interoperabilidade entre aplicações, automatização e reuso de software e conhecimento [8,14]. Tais desafios estão relacionados tanto com a necessidade de decomposição dos problemas quanto com a tentativa de representar informações que máquinas possam entendê-las e manipulá-las [7].

Dentre as áreas que buscam abordar problemas como representação de conhecimento e processamento por máquinas, destaca-se a Web Semântica. A Web Semântica estende a Web clássica de forma a permitir a estruturação semântica de páginas Web, provendo assim suporte para que tanto agentes humanos quanto artificiais possam entender o conteúdo descrito nas aplicações Web [16]. Com isso, a Web semântica oferece inúmeras melhorias no contexto de sistemas educacionais baseados na Web contribuindo para o aumento da qualidade da aprendizagem, criando assim os ambientes educacionais baseados na Web semântica (Do [6,11]).

Um ambiente educacional semântico equivale a um ambiente que busca representar informações que podem ser utilizadas por máquinas para exibir recursos, bem como automatização, integração e reuso entre aplicações. Entretanto, o foco aqui é dado aos ambientes educacionais adaptativos, onde a fusão com os ambientes educacionais semânticos cria os chamados ambientes educacionais adaptativos e semânticos. Com isso, ambientes educacionais adaptativos e semânticos buscam garantir a automatização, integração e reuso entre aplicações para prover mais adaptação (pelo provimento de mais informações/conhecimento) para os usuários e mais inteligência (pela disponibilização de mais mecanismos inteligentes de outros ambientes) para o sistema.

1.1 Questões de Pesquisa

São focalizadas as quatro questões seguintes identificadas no processo de construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos. São elas:

Q1: Como conceber Ambientes Educacionais Adaptativos e Semânticos?

Ambientes construídos sob a perspectiva da Web semântica fazem uso de tecnologias inerentes a esta área objetivando, a descrição semântica do domínio, de modo a garantir um processamento automático. Entretanto, quando se faz uso de estas tecnologias, algumas características devem ser

levadas em consideração, como [11]: i) Declaração explícita do conhecimento presente nas aplicações Web, ii) Representar Informações para máquinas entenderem a fim de garantir automação, integração e reuso entre aplicações, iii) Infra-estrutura para os agentes executarem, buscando a resolução de problemas complexos e iv) Disponibilização de serviços que máquinas entendam e agentes inteligentes possam descobrir, compor e executar automaticamente.

Q2: Como garantir o reuso de conhecimento?

Da mesma forma que a questão anterior, o ambiente educacional pode fazer uso de informações para melhorar o processo de ensino através de informações já processadas em outros ambientes educacionais. Ou seja, o ambiente deve ser capaz de reusar conhecimento disponibilizado em outros ambientes para auxiliar aos atores de determinado ambiente.

Q3: Como construir um modelo baseado no reuso de software?

Estes ambientes devem disponibilizar diversos recursos, dentre os quais se citam a disponibilização de ferramentas interativas, disponibilização de recursos inteligentes e de adaptação, especificação e implementação de agentes, ontologias e serviços Web semânticos, disponibilidade de ambiente 24/7, utilização de milhares ou milhões de usuários nas aplicações e mudanças de requisitos frequentes.

Q4: Como garantir interoperabilidade entre aplicações?

Um dos aspectos importantes em ambientes educacionais que se adaptam às características dos usuários é o provimento de informações personalizadas de acordo com o perfil de determinado usuário. Entretanto, nem sempre um ambiente educacional possui as informações necessárias disponíveis para garantir a personalização, havendo a necessidade de garantir interoperabilidade entre as aplicações educacionais. Porém, garantir interoperabilidade entre ambientes de forma automatizada equivale a descobrir ambientes capazes de interagir em determinado contexto, bem como identificar os protocolos de comunicação necessários para permitir a interação entre as aplicações.

O objetivo geral consiste na proposição de uma solução viável e efetiva para a construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos, através da integração de ontologias, agentes e serviços Web semânticos. Este objetivo pode ser remetido aos três objetivos específicos seguintes, focalizados em responder às questões anteriormente descritas.

- O1: Propor um modelo conceitual para construção de tais ambientes: o modelo conceitual busca identificar outras entidades presentes em ambientes educacionais adaptativos e semânticos e com isso, relacionar tais entidades.
- O2: Propor e implementar um modelo computacional baseado em ontologias, agentes e serviços semânticos: este objetivo está relacionado com duas questões Q2. e Q3., relacionadas aos problemas do reuso de software e de conhecimento. Pretende-se propor e implementar um modelo computacional baseado em ontologias, agentes e serviços semânticos com vistas a garantir ambos os aspectos.
- O3: Propor e implementar um modelo de infraestrutura para interoperabilidade entre aplicações educacionais: este objetivo está relacionado com a necessidade de interoperar aplicações educacionais, como descrita na Questão 4.

2 Modelos Propostos

Descreve-se nesta seção, os modelos propostos neste trabalho, sendo os mesmos variações da palavra MASSAYO. Este nome foi escolhido como uma homenagem ao antigo nome da cidade de Maceió, Terra Natal do proponente desta tese.

2.1 Modelo Conceitual: MASSAYO-RM

O principal objetivo dos ambientes educacionais adaptativos e semânticos é fazer uso de recursos disponibilizados na Web através de padrões de tecnologia, buscando alcançar a AQQQ (Do Inglês: AAAL: *Anytime, Anywhere, Anybody Learning* [7]): Aprendizagem a Qualquer momento, em Qualquer lugar e para Qualquer pessoa. De acordo com [2], a Web Semântica Educacional é baseada em três princípios fundamentais. O primeiro trata da capacidade de armazenamento e recuperação de informações efetivas, o segundo, da capacidade dos agentes de software autônomos para aumentar o aprendizado e informações recuperadas pelos humanos e o terceiro prin-

1.2 Objetivos da Pesquisa

cípio é a capacidade da Internet para suporte, extensão e expansão das capacidades de comunicação dos humanos através de múltiplos formatos além dos limites de tempo e espaço. Além disso, outras características, descrevendo aspectos inerentes a qualquer ambiente sob a perspectiva da Web semântica [11], são:

- I. Declaração explícita do conhecimento presente nas aplicações Web: a Web semântica possui como base a declaração do conhecimento presente nas aplicações de forma explícita com o intuito de garantir um entendimento não só por humanos mas também por máquinas. Esta declaração deve fazer uso de linguagens que garantam consistência. Desta forma, ontologias têm sido utilizadas para garantir a declaração explícita do conhecimento de aplicações sob a perspectiva da Web semântica;
- II. Representar Informações para máquinas entenderem como garantir automação, integração e reuso entre aplicações: a representação das informações tem como objetivo garantir que máquinas possam fazer uso das mesmas sem necessariamente precisar de interferência humana. Neste sentido, agentes de software podem ser vistos como entidades que buscam a automatização de atividades, além da comunicação entre diferentes aplicações com vistas a garantir a integração e o reuso de conhecimento entre aplicações;
- III. Infraestrutura para os agentes rodarem buscando a resolução de problemas complexos: agentes devem ser capazes de buscar, recuperar e manipular informações disponíveis na Web, e que requerem a integração entre agentes para garantir a resolução de problemas complexos através de atividades cooperativas em uma sociedade de agentes;
- IV. Disponibilização de serviços de forma que máquinas entendam e agentes inteligentes possam descobrir, compor e executar automaticamente: apesar dos agentes garantirem a automatização de atividades, há a necessidade da disponibilização dos serviços que são utilizados tanto pelos agentes de software quanto pelos usuários das aplicações. Desta forma, serviços Web semânticos têm sido utilizados através da descrição semântica dos serviços de modo a garantir a descoberta, composição e invocação automatizada dos mesmos.

Diante dos requisitos supracitados, tanto da Web semântica quanto educacionais, percebe-se uma convergência natural de determinadas tecnologias, sendo elas:

- 1) Ontologias: informações na Web são geralmente representadas em uma linguagem para entendimento humano. Entretanto, para que os computadores entendam o significado presente nestes conteúdos, há a necessidade de representar as informações de uma forma que possa ser interpretada tanto sintaticamente quanto semanticamente. Estas representações ajudam no processo de análise, extração e integração de informações na Web, tornando mais fácil a criação de bases de conhecimento sólidas para que serviços inteligentes possam utilizá-los para dar suporte às necessidades dos usuários. Atualmente, pesquisas em ontologias têm sido consideradas como um dos pontos-chaves para prover informação que sejam entendidas por computadores [18]. De acordo com [11], o uso de ontologias e o advento dos serviços inteligentes (para desenvolvimento de conteúdos Web, filtragem Web, máquinas de busca inteligentes, processamento automatizado, entre outras) estão transformando a Web de informações na Web do conhecimento.
- 2) Padrões Educacionais: o uso de padrões é fundamental aos recursos educacionais para atividades de descrição, desenvolvimento, transporte, acesso, anotação, combinação e qualificação. Tantos os padrões Web semânticos (e.g., RDF, OWL, SWRL) como os recursos educacionais (e.g., IEEE, IMS) são usados no desenvolvimento de ambientes educacionais adaptativos e semânticos \cite{SemanticWeb:Gasevic:2004}\cite{WebSemantica:Dietze:JIME:2007};
- 3) Serviços Web Semânticos: SWS provêm uma quantidade de diferentes atividades para transformar uma coleção de informações estáticas em informações de forma distribuída através do uso de tecnologias provenientes da Web semântica. Com isso, SWS faz com que os conteúdos sejam processáveis e interpretáveis por máquinas;
- 4) Agentes Inteligentes: eles são entidades de software autônomas nas quais provêm diversos tipos de suportes (e.g. resolução de problemas, buscas inteligentes, modelagem do usuário) através da interação com outros jogadores de acordo com os seus papéis.
- 5) Ferramentas Interativas: tais ferramentas são módulos que são utilizados para garantir a interação entre os agentes inteligentes com os

diversos agentes humanos. As ferramentas interativas podem ser tanto síncronas quanto assíncronas, além de poderem ser utilizadas com diferentes propósitos.

Desta forma, a Figura 1 descreve o modelo conceitual para ambientes educacionais adaptativos e semânticos.

Figura 1. Modelo Conceitual de Ambientes Educacionais Adaptativos e Semânticos

Cada elemento presente no modelo é discutido como segue:

Papéis: Diversas atividades educacionais estão envolvidas com estes ambientes, como ensino, aprendizagem, cooperação, colaboração, autoria, entre outras, bem como distribuídas de acordo com papéis, sendo eles: i) *Papel do Professor*, ii) *Papel do Aprendiz*, iii) *Papel do Autor*, iv) *Papel do Tutor*, v) *Papel de Grupo*, vi) *Papel do Desenvolvedor*, vii) *Papel de Auditor* e viii) *Papel de Administrador*.

Recursos Educacionais: São representados por objetos de aprendizagem em um domínio específico, podendo ser descritos como exemplo, problema, unidades de atividades, etc. A interação estudante-sistema-estudante ocorre através destes recursos, sendo disponibilizados de tal forma que facilitem o reuso de conteúdo educacional e a combinação com outros objetos de aprendizagem [11].

Interface: A Interface representa a comunicação entre os jogadores com um papel específico e o sistema educacional.

Ambientes Educacionais baseados na Web Semântica: Os ambientes dão suporte aos usuários para guiar e ajudar os mesmos a alcançar os seus objetivos de aprendizagem. Os componentes presentes em um ambiente deste tipo são: i) Ontologias: ontologias têm sido aplicadas para re-

solver problemas complexos, como representação de conhecimento em sistemas inteligentes, compartilhamento de conhecimento e reuso entre aplicações, personalização, dentre outros desafios [7]. Os tipos de ontologias que podem ser usadas nestes sistemas são: i) *Ontologias Educacionais*, ii) *Ontologias para Interação* (e.g. para especificar agentes, serviços semânticos) e iii) *Ontologias de Aplicação*; ii) Ferramentas: um sistema educacional deve fornecer ferramentas de acordo com o tipo de usuário, papel e o dispositivo (celulares, PDAs, navegadores, etc) utilizado. Os tipos de ferramentas que podem estar presentes no ambiente educacional são: i) *Ferramentas Educacionais*, ii) *Ferramentas de Suporte ao ensino* e iii) *Ferramentas Administrativas*; iii) Serviços Web Semânticos (SWS): são utilizados para a integração de atividades através da criação, descoberta, composição e invocação automática de SWS. Os tipos de SWS que podem ser disponibilizados são i) *SWS Educacionais* e ii) *SWS de Suporte* e iv) Agentes Inteligentes: provêm a automatização das atividades, evolução dinâmica dos requisitos, dentre outras atividades. Os tipos de agentes são i) *Agentes Tutores (ou Pedagógicos)*, ii) *Agentes de Suporte* (e.g. agentes para mineração na Web) e iii) *Agentes Controladores do ambiente*.

Ambiente Web Semântico: é utilizado tanto pelos usuários quanto pelos ambientes educacionais. Por um lado, os usuários podem navegar, descobrir, selecionar e invocar os recursos disponibilizados na Web. Por outro lado, os ambientes educacionais podem fazer uso de uma infraestrutura tecnológica para automaticamente executar tarefas e recuperar recursos disponíveis na Web.

2.2 Modelo Computacional: MASSAYO-CM

Esta seção descreve um modelo computacional (plataforma) para construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos baseado no modelo conceitual anteriormente apresentado. A arquitetura é dividida em camadas, tal como apresentado na Figura 2.

Figura 2. Arquitetura Multicamadas

A arquitetura foi desenvolvida através de uma abordagem multicamadas, fazendo uso do padrão de projeto MVC. As camadas são descritas como seguem:

- **Controlador:** representa a configuração necessária para garantir a utilização das regras de negócio do modelo, sendo refletidas na camada de apresentação. Esta camada faz uso de ontologias para definir os agentes presentes nos ambientes, esquemas de adaptação, estilos de ensino, entre outras. As ontologias presentes no modelo, bem como a relação entre elas, são mostradas na Figura 3, sendo elas: i) *Ensinar*: estas ontologias são ontologias educacionais com vistas a descrever características inerentes do objeto de estudo; ii) *Adaptar*: ontologias de adaptação são utilizadas para especificar os conceitos e relações necessárias para garantir a adaptação do ambiente; iii) *Agentificar*: estas ontologias são classificadas como ontologias de interação, tendo o objetivo de especificar os agentes presentes no ambiente educacional, permitindo assim interações dinâmicas entre os papéis e o sistema; iv) *Interoperar*: objetivando permitir a interoperabilidade entre ambientes educacionais, há a necessidade de utilizar uma ontologia de aplicação de modo a descrever os recursos disponibilizados no ambiente. Isto possibilita a interoperabilidade entre ambientes educacionais. Desta forma, este modelo possui ontologias educacionais (ensino e adaptação), ontologias de interação (agentificação) e ontologia de aplicação. É importante ressaltar também que as ontologias deste trabalho

foram criadas utilizando-se OWL-DL e as regras através de SWRL.

Figura 3. Ontologias e Regras de Mapeamento

- **Framework:** esta camada é mantida pelos desenvolvedores, podendo adicionar, alterar ou remover funcionalidades. Este framework faz uso de tecnologias provenientes da Web semântica (ontologias e SWS) e de uma abordagem de sistemas multiagentes para prover os ambientes em questão (vide Figura 4). As entidades presentes na arquitetura são descritos como seguem: i) *Serviços de Persistência*: representam a implementação do mecanismo de persistência (criação, recuperação, atualização e deleção em ontologias), ii) *Agentes*: os agentes são disponibilizados no ambiente com diversos objetivos diferenciados. Os agentes são: a) AM (*Agente Mediador*): funcionalidades de recomendação e interoperabilidade; b) AC (*Agente Controlador*): funcionalidades de controle de inicialização do ambiente e atualização de agentes e serviços no ambiente; c) AE (*Agente de Evolução*): funcionalidade de geração/mapeamento dos agentes do ambiente educacional; d) *Sociedade de Agentes*: representada por agentes de suporte para auxiliar outros agentes em atividades educacionais e agentes tutores autônomos, que executam os requisitos necessários para ensinar um estudante num determinado subdomínio. iii) *Serviços Web Semânticos*: têm as funcionalidades que são providas aos usuários, agentes e ferramentas presentes no ambiente educacional, iv) *Gerenciador de Serviços*: o objetivo do gerenciador de serviços é garantir a descoberta, composição e invocação de serviços automaticamente.

Figura 4. Arquitetura do Framework

- **Aplicação:** esta camada representa as aplicações com as quais o usuário pode interagir, sendo definidas ferramentas para interação tanto síncrona quanto assíncrona, bem como para os diversos tipos de usuários. As ferramentas que estão disponíveis nesta camada são: fórum, chat, wiki, enquete, biblioteca digital, calendário, atividades, blogs, RSS, comunidades, entre outros.
- **Apresentação:** responsável por gerar o esquema de apresentação a ser mostrado na interface do usuário. Como exemplo, cita-se a utilização dos *portlets*, encapsulando as ferramentas disponibilizadas para interação com o usuário. Além disso, o ambiente disponibiliza uma apresentação padrão.
- **Interface:** responsável por mostrar os recursos para o usuário poder interagir com as aplicações/framework;
- **Conector de distribuição com balanceamento de carga:** responsável por intermediar a comunicação entre clientes e servidores através da implementação da distribuição e do balanceamento de carga disponível entre os servidores.

2.3 Modelo de Interoperabilidade: MASSAYO-IM

A construção desta arquitetura e a implementação de ambientes educacionais com vistas a permitir interoperabilidade é uma tarefa complexa e lenta. Por esta

razão, a aplicação foi decomposta para reduzir a complexidade, permitindo a interação entre estes ambientes, tanto com a mesma infra-estrutura quanto com diferentes infra-estruturas. Com isso, esta arquitetura enfatiza dois aspectos. Primeiro, ela garante a integração de diversos ambientes educacionais baseados nas tecnologias da Web semântica. Segundo, ela provê um caminho para escalar os ambientes educacionais disponíveis através do uso de repositórios de ontologias e para estender os recursos de interoperabilidade através do uso de serviços Web semânticos. A Figura 5 apresenta a arquitetura proposta e seus componentes.

Figura 5. Arquitetura para interoperabilidade entre ambientes educacionais

Os componentes presentes são: i) *Repositório de Ontologias*: possui as instâncias da ontologia de aplicação, garantindo que os ambientes sejam registrados de forma corrente e utilizados para descobrir tais ambientes; ii) *Servidor para Interoperabilidade*: responsável por prover os serviços de modo a garantir tanto o registro dos ambientes bem como a descoberta dos mesmos; iii) *Ambientes Educacionais*: são entidades que podem ser registradas para interoperar, podendo ser configuradas e implementadas de modo a permitir interoperabilidade de forma automática com outros ambientes. Os ambientes educacionais invocam serviços quando o sistema é iniciado e para solicitar ajuda. O Serviço de Ajuda é usado quando o sistema identifica uma situação na qual é necessário interoperar com outros ambientes. O MASSAYO já possui 7 cenários (3 de recomendação e 4 de recursos educacionais) para garantir interoperabilidade entre os ambientes.

2.4 Guia de Utilização – MASSAYO-P

Esta seção tem por objetivo prover um guia com passos para auxiliar na construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos, levando-se em consideração cada um dos modelos descritos anteriormente, o guia é dividido como segue (vide Figura 6):

Figura 6. MASSAYO-P: Guia de Utilização do MASSAYO

Especificação: nesta fase o usuário irá especificar os requisitos e ao final deverá ser identificado o tipo de ambiente educacional a ser construído, os papéis (com suas funcionalidades) e os tipos de interações usuário-sistema presentes (que posteriormente serão representados através de ferramentas interativas). Pode-se observar que os agentes, serviços semânticos e ontologias não foram descritos. Isto ocorre pelo fato de que os papéis são responsáveis por identificar tanto os tipos de agentes humanos quanto artificiais. Já os serviços semânticos são identificados pelas funcionalidades presentes em cada papel. Por fim, as ontologias do ambiente são padrões e não há a necessidade de descrevê-las;

Modelagem: na fase de modelagem leva-se em consideração o projeto de interface, gráfico, conteúdo, navegacional e arquitetural. Para o projeto gráfico, é disponibilizada uma interface padrão, entretanto o time de desenvolvimento está habilitado a fazer alterações no projeto gráfico do ambiente educacional. Já o projeto de interface, con-

teúdo e navegacional são descritos no ambiente através de ontologias. Por fim, no projeto arquitetural, é definida uma arquitetura padrão em camadas utilizando o padrão arquitetural MVC. Com isso, há a necessidade apenas de especificar os agentes de software que serão utilizados bem como os serviços semânticos que serão implementados e as ferramentas interativas que serão utilizadas (os agentes, serviços e ferramentas interativas são descritos baseados na fase de especificação, descrita anteriormente). Da mesma forma que os outros projetos, as entidades identificadas no projeto arquitetural são descritas através de ontologias. Com isso, os passos presentes de cada ontologia para modelar a aplicação são descritos como segue.

- Ensinar: este passo equivale à modelagem do domínio através da criação das instâncias nos modelos educacionais descritos anteriormente. Os modelos são descritos abaixo:
 - Modelo do Domínio: nesta ontologia são descritas as características do domínio, especificando o domínio e partições do domínio, estrutura curricular e atividades pedagógicas, objetos de aprendizagem a serem utilizados (e.g. exemplos, problemas, conceitos) e descrição do conhecimento comportamental;
 - Modelo do Estudante: este modelo descreve as informações sobre o estudante que serão utilizadas para guiar o ensino de forma personalizada. Com isso, deve-se descrever os objetivos de aprendizagem do estudante para cada currículo e informações que serão utilizadas durante a interação estudante-sistema-estudante;
 - Modelo do Pedagógico: no modelo pedagógico, descreve-se se o ensino será guiado ou livre. Caso a abordagem seja guiada, descrevem-se ainda a estratégia pedagógica, a abordagem a ser utilizada (estática ou dinâmica) e o plano instrucional.
- Adaptar: a adaptação é a descrição da interface e de suas formas de organização visual (ontologia sobre páginas Web) bem como das adaptações de interface (ontologia do modelo de adaptação e raciocínio).
- Agentificar: nesta fase os agentes são definidos e então criados dinamicamente pelo ambiente. Os passos são descritos abaixo.

- Regras Modelo do Domínio - GAIA: esta fase equivale ao mapeamento do currículo do modelo do domínio para recursos presentes no papel do tutor na ontologia de GAIA;
- GAIA: com esta ontologia há a modelagem do sistema multi-agente presente no ambiente educacional;
- Regras GAIA - GAI-A/JADE/*ForBILEAgent*: com a especificação da ontologia de GAIA, as regras de mapeamento para a ontologia de JADE e *ForBILEAgent* são executadas e deixando a modelagem dos agentes praticamente pronta;
- *ForBILEAgent*: nesta ontologia, toda a especificação está praticamente pronta depois da execução das regras de mapeamento advindas de GAIA. Desta forma, só há necessidade de especificar as classes *java* de execução dos agentes.

Implementação e testes: a partir do momento que a modelagem foi definida, precisa-se apenas implementar o que não foi reusado pelo MASSAYO. Desta forma, as implementações que devem ser feitas são das ferramentas interativas que não estão previstas, bem como dos serviços Web semânticos não previstos;

Distribuição: esta fase equivale à distribuição da aplicação. A distribuição possui os seguintes passos:

- criar o .war da aplicação educacional;
- instalar o servidor *apache*;
- colocar a aplicação (.war) no *apache* e rodar;
- Regras *ForBILEAgent - Application*: as regras são executadas pelo agente de evolução assim que o mesmo é criado. Este mapeamento permite que o ambiente esteja preparado para interoperar.

É importante destacar que o modelo de interoperabilidade não precisa ter passos, pois a comunicação entre ambientes educacionais ocorre de forma automatizada e transparente para a equipe. Na subseção 2.3 foram descritas as situações que necessitam de interoperabilidade, proporcionadas pelo MASSAYO.

É importante ressaltar que não foi objetivado neste guia descrever um processo de software para a construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos sob a perspectiva do MASSAYO. Este guia preocupa-se apenas com algumas atividades presentes na construção de qualquer tipo de software

3 Avaliação dos Modelos Propostos

Esta seção tem o propósito de descrever como os experimentos foram feitos com vistas a demonstrar a viabilidade dos modelos propostos neste trabalho, considerando-se a utilização do MASSAYO através do desenvolvimento de três estudos de caso: 1) um sistema tutor inteligente em fração; 2) um ambiente de educação a distância adaptativo em matemática; 3) Ambiente colaborativo em Medicina. Por fim, a avaliação de interoperabilidade é feita através dos estudos de caso em matemática.

Para o desenvolvimento dos três sistemas educacionais, todos eles foram especificados usando abordagens tradicionais da engenharia de software, através de diagrama de casos de uso e diagrama de classes conceitual. A partir disto, os casos de uso foram mapeados em serviços web semânticos, agentes de software e ferramentas. Com isso, o modelo conceitual de cada sistema era definido, seguindo o MASSAYO-RM. Com o modelo conceitual definido, foi então feito o projeto arquitetural, navegacional e de especificação ontológica. Desta forma, o modelo computacional (MASSAYO-CM) foi utilizado para povoar as ontologias e reusar os requisitos já providos pelo mesmo. Os requisitos que não foram providos pelo MASSAYO-CM, foram implementados e disponibilizados. Por fim, os testes de unidade e integração foram feitos e então os sistemas foram criados. É importante frisar que todos os três sistemas foram baseados em aplicações reais, onde cada um possuía particularidades que os diferenciavam.

Para o estudo de caso da interoperabilidade, foram utilizados os dois sistemas educacionais do domínio de matemática. Com isso, foram criados cenários onde estudantes do sistema de Fração solicitada recursos educacionais de MMC. Com isso, o modelo de interoperabilidade (MASSAYO-IM) do sistema educacional de fração verificava que não havia tal recurso no ambiente e descobria ambientes que poderiam responder pela requisição e então interagiu com o mesmo para prover o recurso educacional.

3.1 Discussão

Esta seção tem por objetivo fazer uma avaliação dos modelos propostos através da análise dos estudos de caso.

3.1.1 MASSAYO-RM

O primeiro passo realizado para a implementação dos três estudos de caso foi a especificação de cada ambiente educacional. A partir do momento que a especificação foi feita, houve a possibilidade de identificar os papéis presentes nos ambientes bem como os recursos computacionais. Isto foi possibilitado através do modelo conceitual, onde os requisitos descritos na especificação são mapeados em serviços Web. Já a interação entre os papéis humanos com o sistema é possibilitada através da disponibilização de ferramentas interativas.

É importante ressaltar que os estudos de caso contemplaram aplicações educacionais com características diferenciadas, ou seja, um sistema tutor inteligente, um ambiente de educação a distância e um ambiente colaborativo. Independente do tipo de ambiente educacional, os recursos necessários foram identificados no modelo conceitual proposto.

3.1.2 MASSAYO-CM

Com o modelo conceitual definido, juntamente com os papéis e entidades identificados, passa-se a utilizar o modelo computacional para garantir a implementação de cada ambiente. Cada um dos aspectos abaixo foi garantida pelo MASSAYO-CM.

- Integração de ontologias, agentes e serviços semânticos: esta integração ocorre de forma transparente para a equipe de desenvolvimento. De fato, em nenhum momento houve a necessidade de implementar agentes de software e em apenas um estudo de caso houve a necessidade de estender a ontologia do domínio para especificar problema. A especificação do sistema através de ontologias permite que os agentes sejam gerados e automaticamente estejam capacitados a descobrir serviços Web semânticos. Uma ferramenta foi desenvolvida \cite{Ig:MEEM:2009} para facilitar o processo de especificação através de ontologias. Esta ferramenta gera ambientes de autoria dinamicamente. Algumas telas do sistema são mostradas abaixo.
- Reuso de Software: o reuso de software foi proporcionado principalmente pela utilização de serviços Web semânticos e pelos agentes de software, isto é, o ambiente disponibiliza todo o mecanismo de tutoramento (modelo do domínio, estudante e pedagógico), resolução de problemas (para problemas de múltipla escolha, preencher lacuna, relacionar coluna, e V/F), técnicas de inteligência artificial (como raciocínio baseado em regras e técnicas de mi-

neração de dados), dentre outros. Além dos serviços, o ambiente disponibiliza um mecanismo de geração automática de agentes através de ontologias. Assim, toda a implementação de agentes foi abstraída para ontologias e permitindo assim o reuso de software. Nos estudos de caso, poucos foram os requisitos necessários a implementar em cada ambiente. É importante esclarecer que uma análise comparativa sobre o reuso alcançado entre o MASSAYO e os trabalhos relacionados não foi possível fazer, pois apenas dois trabalhos relacionados tinham implementação e mesmo assim não houve acesso ao código fonte dos mesmos.

- Reuso de Conhecimento: o reuso de conhecimento é proporcionado tanto através da utilização de ontologias e na possibilidade destas ontologias serem utilizadas em outros ambientes, ou seja, para que o ambiente de fração use recursos de MMC, não há a necessidade de disponibilizar novos recursos educacionais, mas sim reusar os recursos providos por tal ambiente. Isto pode ser feito de duas formas, reusar diretamente a ontologia e/ou os recursos ou através de interoperabilidade.

3.1.3 MASSAYO-IM

O modelo de interoperabilidade foi avaliado através de um estudo de caso onde foi verificada a comunicação entre os ambientes no domínio de matemática. O ambiente foi capaz de garantir tanto a solicitação de ajuda por um agente do ambiente quanto a descoberta de um novo ambiente para interoperar. O ambiente proporciona seis mecanismos de interoperabilidade de forma automatizada (todos estão divididos nas categorias de recomendação de papéis e na disponibilização de recurso educacional) que são necessárias para ambientes educacionais. Entretanto, para que haja maior efetividade na solução proposta, há a necessidade de implementar mecanismos de mineração de texto e extração de informação, internacionalização e mecanismos automatizados de alinhamento de ontologias e verificação de satisfatibilidade.

3.1.4 Outras avaliações

Estas avaliações se referem principalmente ao desempenho e usabilidade do ambiente MASSAYO.

Foram gerados gráficos de desempenho referentes à utilização do MASSAYO. O objetivo dos gráficos foi verificar a utilização do processador bem como o tempo para executar cada operação. A semente utilizada para a geração do gráfico abaixo foi com Siste-

ma Operacional Windows XP, Processador Intel Core 2 duo 1.66 GHz, 2GB de Ram e HDD Ata.

O Gráfico 6 ilustra tanto o carregamento quanto importação e checagem de ontologias no MASSAYO. No gráfico, a marcação 1 diz respeito ao carregamento do ambiente, importação das ontologias e criação dos agentes (20 primeiros segundos). Já a marcação 2, 3 e 4 equivalem à importação das ontologias e checagem de alguma alteração (10s). Ou seja, o tempo total foi de 50s. É importante ressaltar que este tempo foi utilizado apenas para o carregamento do núcleo da MASSAYO por um usuário, não levando em consideração o carregamento da Interface.

Figura 7. Gráfico de desempenho de um agente percebendo o ambiente MASSAYO.

Esta baixa performance é ocasionada, principalmente, pelos motivos abaixo.

- agente perceber o ambiente: durante a utilização do sensor de cada agente para perceber o ambiente ocorre um processamento que leva em consideração a utilização de diversos recursos, ou seja, com um ambiente que possui dezenas de agentes com um tempo de sensor baixo vai ocasionar uma baixa qualidade da performance;
- arquivos: este problema é um dos principais causadores da baixa performance do ambiente, pois o carregamento de ontologias faz com que haja muito consumo da máquina tornando o processo bastante lento. Como o ambiente é todo especificado através do uso de ontologias, a todo momento as ontologias devem ser usadas para executar determinada operação. Além disso, cada serviço semântico faz uso de pelo menos quatro ontologias tornando o processo ainda mais lento.

Como solução para este problema, objetiva-se extinguir a utilização da API do *protégé* e a integração das ontologias com banco de dados. Para isso, foi feita uma análise do *Sesame* e as mudanças já estão sendo implementadas no MASSAYO. Experimentos para avaliar a performance foram feitos e houve um ganho significativo nas operações (criação, alteração, remoção de instâncias e *query* usando SPARQL) com ontologias, descrevendo o custo computacional utilizando o *Sesame* e utilizando o *Protégé*, ou seja, como mostrado nos gráficos que o *Sesame* teve menos uso computacional e menor tempo de execução que o *Protégé*. A semente utilizada foi Sistema Operacional Windows XP, Intel Pentium 4 3.00 GHz, 1 GB de RAM e e HDD Ata.

Figura 8. Gráfico de desempenho do Sesame.

Figura 9. Gráfico de desempenho do Protégé.

Além do Sesame, está sendo feita a utilização também do Elmo, que faz geração automática de código, isto é, a solução do Sesame, juntamente com o Elmo, permite que a API do Protégé seja utilizada apenas para estender a ontologia.

Com relação à usabilidade, foi feito um estudo sobre diversas tecnologias que estivessem mais em consonância com o ambiente e com os princípios utilizados no trabalhos (neste caso, a Web Semântica Social). Além disso, a solução presente no MASSAYO (com Liferay) faz com que haja uma grande lentidão no carregamento e torna bastante complicada a mudança dinâmica da interface. Com isso, foi decidido fazer a mudança para utilizar o GWT (*Google Web Toolkit*), pois o mesmo já dá suporte a várias ferramentas bem como a integração com as tecnologias da Google, como *e-mail*, agenda, *google maps*, entre outras. Apesar de usabilidade ser mais abrangente do que o discutido nesta avaliação, estudos sobre métricas de avaliação estão sendo feitas para garantir um ambiente de fácil utilização.

4 Conclusão e Sumário das Contribuições

Este trabalho de tese abordou problemas significativos relacionados à concepção e desenvolvimento de ambientes educacionais adaptativos e baseados na Web semântica. Assim, enfocaram-se aspectos de sua viabilidade, onde os objetivos foram todos alcançados, podendo ser observados no que foi concretizado para o MASSAYO, em termos da elaboração e avaliação dos modelos propostos. Ou seja, foi proposto i) um modelo conceitual (MASSAYO-RM) identificando os recursos, entidades e relações entre eles, bem como gerando categorias para uma melhor classificação tanto dos recursos quanto das entidades. Com isso, uma avaliação do modelo foi elaborada, onde

cada trabalho relacionado e estudo de caso foram descritos segundo o modelo. Além disso, ii) um modelo computacional (MASSAYO-CM) foi proposto e implementado para proporcionar a construção de ambientes educacionais adaptativos e semânticos. Foi feita uma análise do atual estado da prática de ontologias, agentes de software e serviços semânticos, possibilitando descrever como tais abordagens seriam utilizadas, bem como do nível proporcionado de reuso de software e conhecimento. Por fim, iii) foi proposto e implementado um modelo de infra-estrutura para interoperabilidade (MASSAYO-IM), permitindo que aplicações educacionais criadas no MASSAYO-CM pudessem se comunicar de forma automatizada. Com os resultados mencionados, esta pesquisa demonstrou a viabilidade em se construir ambientes educacionais adaptativos e semânticos, sendo isto importante para o avanço do estado da arte em IAEd no que diz respeito ao investimento nos rumos para a nova geração de ambientes virtuais de aprendizagem.

Desta forma, espera-se ter contribuído com as seguintes comunidades: i) Inteligência Artificial e Educação: pela construção de modelos que permitem a construção de ambientes educacionais adaptativos, bem como na garantia do desenvolvimento e manutenção destes ambientes de forma mais rápida; ii) Educação a Distância: por disponibilizar modelos que possibilitem a produção em larga escala de tais ambientes e para as diversas áreas do conhecimento. Além disso, tais modelos permitem que instituições de ensino possam cooperar na produção de materiais educacionais e no acesso aos estudantes que necessitem deste tipo de tecnologia, tanto no Brasil quanto no exterior; iii) Engenharia de Software: na proposição de ontologias que permitiram a especificação de sistemas multiagentes e na geração dos agentes de software e a necessidade de implementação. Além disso, na integração de ontologias, agentes e serviços semânticos para reduzir o tempo de manutenção das aplicações; iv) Web Semântica: na implementação de um modelo computacional que integre ontologias, agentes e serviços semânticos de tal forma a facilitar o reuso de conhecimento e automatização de processos nas aplicações, bem como pela análise do estado da prática da Web Semântica.

Enfim, foram alcançados outros indicadores como parte do processo de pesquisa associado à realização desta tese. Tais indicadores são: i) Organização dos dois primeiros eventos de Web Semântica e Educação do País; ii) Participação em comitês de avaliação de periódicos; iii) Consórcio de doutorado, tendo como mentor o presidente da Sociedade de IAEd da época, Jim Greer; iv) cooperação internacional com pesquisadores renomados (Julita Vassileva, Nicola Henze, Riichiro Mizoguchi, Darina Dicheva e Ryan Backer)

e estudantes de doutorado; v) publicação em conferências nacionais [17] e internacionais [3,4,9] renomadas, além de outras e vi) publicação em periódicos nacionais [7,12] e internacionais [5,1,6,15] renomados.

4.1 Trabalhos Futuros

A pesquisa abordada possui vários trabalhos futuros, pois a mesma possui algumas limitações tais como provimento de mecanismos de adaptação automatizada na interface do usuário e a performance do ambiente bem como na utilização de tecnologias semânticas. Desta forma tais extensões são propostas a seguir.

- MASSAYO-RM: i) *Especificação baseada em ontologias*: prover ontologias que auxilie o processo de especificação dos requisitos de tal forma que garanta a identificação automática das entidades e papéis presentes no ambiente a ser construído; ii) *Protocolos de Interação*: descrever modelos de interação que aborde a comunicação entre as entidades presentes no MASSAYO-CM.
- MASSAYO-CM: i) *Serviços Web Semânticos*: a disponibilização de mais serviços Web semânticos de forma a permitir maior reusabilidade de código e capacidade de descoberta, composição e invocação de serviços como soluções contingenciais. Além disso, prover mais serviços inteligentes e educacionais ao ambiente, como técnicas de redes neurais artificiais, mineração de texto, recomendação de pares, adaptação hipermédia, entre outros; ii) *Performance* melhorar a performance dos agentes de software e serviços Web semânticos; iii) *Múltiplos Dispositivos*: garantir que o MASSAYO possa ser utilizado não somente para aplicações Web, mas também prover facilidades para aplicações móveis e pervasivas e para TV Digital.
- MASSAYO-IM: o principal trabalho futuro do modelo de infra-estrutura para interoperabilidade é a implementação de um mecanismo que garanta a interoperabilidade entre ambientes educacionais com diferentes infra-estruturas tecnológicas, como a comunicação de um ambiente com o paradigma de agentes e outro ambiente com a abordagem baseada em componentes.
- Outros Trabalhos: outros trabalhos futuros que são de bastante relevância são: i) *MASSAYO-P*: a concepção de um processo de desenvolvimento de aplicações educacionais sob os moldes desta tese. Este processo deve levar em

consideração uma abordagem ágil, embutindo no ciclo engenharia ontológica e engenharia de conhecimento, e uma abordagem multiagente e orientada a serviços semânticos; ii) *MASSAYO-E*: prover um ambiente de desenvolvimento de aplicações utilizando o MASSAYO. Este ambiente pode ser um *plugin* de uma ferramenta de desenvolvimento como o eclipse.

Referências

- [1] Abel, F., Bittencourt, I. I., Henze, N., Krause, D., Vassileva, J., and Costa, E. (2010). Configurable post recommendations for online discussion forums. IEEE Transaction on Learning Technologies, Special Issue on Personalization.
- [2] Anderson, T. and Whitelock, D. (2004). The educational semantic web: visioning and practicing the future of education. Journal of Interactive Media in Education - JIME, 7:1–15.
- [3] Bittencourt, I. I., Bispo, P., Costa, E., Pedro, J., Dermeval, D., V´eras, D., and Pacca, H. (2009a). Modeling jade agents from gaia methodology under the perspective of semantic web. In ICEIS'09: International Conference on Enterprise Information Systems, Milan, Italy.
- [4] Bittencourt, I. I., Costa, E., Isotani, S., Mizoguchi, R., and Bittencourt, I. M. (2008a). Towards a reference model for semantic web-based educational systems. In Second Brazilian Workshop on Semantic Web and Education (WSWed), Brazilian Symposium on Informatics on Education (SBIE).
- [5] Bittencourt, I. I., Costa, E., Silva, M., and Soares, E. (2009b). A computational model for developing semantic web-based educational systems. Knowledge-Based System, 22(4):302–315.
- [6] Bittencourt, I. I., Costa, E., Soares, E., and Pedro, A. (2008b). Towards a new generation of web-based educational systems: The convergence between artificial and human agents. IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine, 3(1):17–24.
- [7] Bittencourt, I. I., Isotani, S., Costa, E., and Mizoguchi, R. (2008c). Researchs directions on semantic web and education. Scientia Journal, 19(1):59–66.
- [8] Brooks, C. A., Greer, J. E., Melis, E., and Ullrich, C. (2006). Combining its and elearn-

- ing technologies: Opportunities and challenges. In Ikeda, M., Ashley, K. D., and Chan, T.-W., editors, *Intelligent Tutoring Systems*, volume 4053 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 278–287. Springer.
- [9] Calado, I., Barros, H., and Bittencourt, I. I. (2009). An approach for semantic web services automatic discovery and composition with similarity metrics. In *SAC*, pages 694–695.
- [10] de Leon F. de Carvalho, A. C. P., Brayner, A., Loureiro, A., Furtado, A. L., von Staa, A., de Lucena, C. J. P., de Souza, C. S., Medeiros, C. M. B., Lucchesi, C. L., e Silva, E. S., Wagner, F. R., Simon, I., Wainer, J., Maldonado, J. C., de Oliveira, J. P. M., Ribeiro, L., Velho, L., Gonçalves, M. A., Baranauskas, M. C. C., Mattoso, M., Ziviani, N., Navaux, P. O. A., da Silva Torres, R., Almeida, V. A. F., Jr., W. M., and Kohayakawa, Y. (2006). Grandes desafios da pesquisa em computação no Brasil - 2006 - 2016. In *Seminário sobre os Grandes Desafios da Pesquisa em Computação*. Brazilian Computing Society.
- [11] Devedzic, V. (2004). Education and the semantic web. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 14:39–65.
- [12] Isotani, S., Bittencourt, I. I., Costa, E., and Mizoguchi, R. (2009). Estado da arte em web 3.0: Potencialidades e tendências da nova geração de ambientes de ensino na web. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 17(1):30–42.
- [13] Manuel Rodrigues, P. N. and Santos, M. F. (2005). Future challenges in intelligent tutoring systems - a framework. In *m-ICTE2005 3rd International Conference on Multimedia and Information and Communication Technologies in Education*. FORMATEX.
- [14] Murray, T. (2003). *Authoring Tools for Advanced Technologies Learning Environments: Toward cost-effective adaptive, interactive and intelligent educational software*, chapter An overview of intelligent tutoring system authoring tools: Updated analysis of the state of the art, pages 493–546. Number 17. Kluwer Academic Publishers, Netherlands
- [15] Oliveira, M., Bittencourt, I. I., Costa, E., and Toledo, T. (2009). An authoring tool for generating wizard-based authoring tools. *IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine*, 3(4):58–64.
- [16] Shadbolt, N., Lee, T. B., and Hall, W. (2006). The semantic web revisited. *IEEE Intelligent Systems*, 21(3):96–101.
- [17] Sibaldo, M. A. A., das Neves, A. F. R., Medeiros, F. M., Bittencourt, I. I., and de Barros Costa, E. (2008). Fraw - ambiente interativo de aprendizagem para o domínio de fração via web. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*.
- [18] Mizoguchi, R. (2004). Tutorial on ontological engineering - part 2: Ontology development, tools and language. *New Generation Computing*, 22(1):61–96.