

Ambientes Educacionais Ubíquos: uma Proposta Explorando Processamento Semântico para Ciência de Contexto

Roger Machado¹, Bruno Santi¹, Ana Pernas¹, Adenauer Yamin¹

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

{rdsmachado, bpsanti, marilza, adenauer}@inf.ufpel.edu.br

Abstract. *Ubiquitous learning environments aim to continuously process the student actions, allowing the learning experience to accompany and adapt to their needs anywhere, anytime, and in a transparent way. Given the complexity in the development of these environments, research efforts often or not reach a practical application of their proposals or do not present detail on the flow of treatment of context data. In this way, this work has as general objective to propose an approach, in the form of an architecture, to make the ubiquitous learning closer to a real perspective, from the mapping and the integration of already existent and proven functional environments. The behavior of the proposed architecture is evaluated through an application scenario, which allows verifying its applicability.*

Resumo. *Ambientes de aprendizagem ubíqua tem como proposta processar continuamente as ações do estudante, permitindo com que a experiência de aprendizado acompanhe e se adapte as suas necessidades em qualquer lugar, a qualquer momento, e de forma transparente. Dada a complexidade no desenvolvimento destes ambientes, esforços de pesquisa muitas vezes ou não atingem uma aplicação prática de suas propostas ou não apresentam detalhamento sobre o fluxo de tratamento dos dados de contexto. Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral propor uma abordagem, na forma de uma arquitetura, para tornar a aprendizagem ubíqua mais próxima de uma perspectiva real, a partir do mapeamento e da integração de ambientes já existentes e comprovadamente funcionais. O comportamento da arquitetura proposta é avaliado por meio de um cenário de aplicação, o qual permite verificar sua aplicabilidade.*

1. Introdução

Na Computação Ubíqua proposta por Mark Weiser na década de 90, a computação é provida segundo uma nova visão, podendo os usuários acessá-la em qualquer lugar, o tempo todo e de forma transparente. Em decorrência desta nova visão computacional novas oportunidades surgiram e diversas áreas viram na computação ubíqua um campo fértil para pesquisa. Dentre estas áreas, o presente trabalho destaca a aprendizagem ubíqua (*u-learning - ubiquitous learning*). Neste paradigma, o ambiente de aprendizagem apresenta comportamento ubíquo, sendo acessado pelo aluno em diferentes contextos e situações.

Por consistir de uma aplicação do paradigma de computação ubíqua, ambientes de *u-learning* são inerentemente cientes de contexto. Idealmente, ambientes cientes de contexto buscam realizar adaptações contínuas no ambiente de execução, o que resulta

em um melhor aproveitamento dos recursos e proporciona ao usuário uma interface de usabilidade com alto nível de abstração e resposta precisa [Kakousis et al. 2010].

A *u-learning* traz expectativas positivas, pois com a explosão do uso de tecnologias pelos estudantes e todas as facilidades que trazem para suas atividades diárias, é imperativo que possam ser exploradas para trazer ganhos práticos ao aprendizado [Chiu et al. 2017]. Por outro lado, traz novos desafios, como a complexidade em se adquirir, processar e reagir de forma eficiente a contextos de execução e comportamentais que mudam a todo o momento em escala também crescente de número de usuários [Selviandro et al. 2016].

Considerando que a aprendizagem móvel (*m-learning*) é vista como realidade, os esforços de pesquisa desenvolvidos têm sido voltados prioritariamente ao provimento de soluções para *u-learning* [Kalaivania and Sivakumar 2017]. Entretanto, pela dificuldade em se completar o ciclo modelagem-prototipação-testes destas soluções, muitas das propostas focam em aspectos específicos, não sendo possível sua plena aplicação.

O presente trabalho tem como objetivo explorar dimensões contextuais mais abrangentes, necessárias para concepção de ambientes de (*u-learning*), os quais são vistos como uma continuidade da aprendizagem eletrônica, onde o potencial apresentado pela computação ubíqua oferece novas possibilidades de acesso à aprendizagem. Para se alcançar este objetivo, foi desenvolvida uma arquitetura que visa integrar o *middleware* para computação ubíqua EXEHDA (*Execution Environment for High Distributed Applications*) [Lopes et al. 2014] e o Ambiente de ensino-aprendizagem adaptativo na Web - AdaptWeb [Palazzo et al. 2003], visando agregar suas funcionalidades e fornecer serviços de aprendizagem ubíqua.

Essa integração exige um modelo capaz tanto de formalizar os dados de contexto, originados no ambiente educacional, de forma compatível com as exigências do *middleware* utilizado, como fazer com que as adaptações definidas pelo *middleware* sejam corretamente refletidas no ambiente educacional. Para realizar essa integração é proposto o uso de um modelo semântico, o qual emprega o uso de uma rede de ontologias utilizando diferentes vocabulários e padrões para metadados educacionais.

O trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta o escopo do trabalho, sendo apresentados o ambiente AdaptWeb e o *middleware* EXEHDA. A Seção 3 discute alguns trabalhos relacionados a presente pesquisa. Na Seção 4 é apresentada a infraestrutura de integração para *u-learning*. A Seção 5 exhibe a avaliação da arquitetura proposta. As considerações finais e os trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

2. Escopo do Trabalho

Essa seção é dedicada a apresentar o ambiente AdaptWeb e o *middleware* EXEHDA, os quais serão integradas na concepção desse trabalho.

2.1. AdaptWeb

O AdaptWeb é um Sistema Adaptativo voltado à educação. É um ambiente *opensource* que visa adaptar o conteúdo, a apresentação e a navegação de acordo com o perfil do usuário [Gasparini et al. 2004]. A arquitetura do ambiente educacional é composta de quatro módulos: (i) Módulo de Autoria, onde o autor registra a estrutura de conceitos do

conteúdo a ser disponibilizado; (ii) Módulo de Armazenamento XML (*eXtensible Markup Language*), que transforma e armazena o material registrado pelo autor em arquivos no formato XML; (iii) Módulo de Adaptação de conteúdo baseado no modelo do aluno; (iv) Módulo de Interface Adaptativa, que apresenta o conteúdo de maneira diferenciada, de acordo com o que já foi acessado pelo aluno e suas preferências; e possui um Banco de Dados Administrativo.

A funcionalidade de adaptação do ambiente é partilhada entre os módulos de autoria e armazenamento XML. Estes são responsáveis pela organização dos conteúdos educacionais por meio de uma estrutura hierárquica de conceitos, estabelecendo critérios de pré-requisitos. Essa estrutura é definida durante a fase de autoria e é armazenada no formato XML. Esses documentos passam por uma etapa de adaptação antes de serem apresentados aos alunos, onde a adaptação ocorre no conteúdo, na interface e na navegação.

As técnicas de adaptabilidade são baseadas nas características do aluno presentes no modelo de aluno. No ambiente, este modelo é usado para relacionar o aluno com cada conceito da estrutura de conceitos da disciplina, levando em consideração a sua formação, a preferência pelo modo de navegação, o conhecimento adquirido até o momento e os recursos tecnológicos [Gasparini et al. 2004].

2.2. EXEHDA

O *middleware* EXEHDA consiste de um *middleware* adaptativo ao contexto baseado em serviços, o qual visa criar e gerenciar um ambiente ubíquo, bem como promover a execução de aplicações sobre ele. A arquitetura do *middleware* contém módulos para reconhecimento e adaptação ao contexto, compreendendo dois tipos principais de servidores: Servidor de Borda e Servidor de Contexto. O Servidor de Borda é responsável pela interação com o meio através de sensores e atuadores, enquanto que o Servidor de Contexto atua no armazenamento e processamento das informações contextuais.

Para realizar o armazenamento das informações contextuais o servidor de contexto oferece o RHIC (Repositório Híbrido de Informações Contextuais), o qual possui três modelos distintos: (i) modelo relacional, que se comporta de forma satisfatória para diversas situações, como por exemplo, armazenar os dados dos sensores que estão sendo monitorados por cada servidor de borda presente no ambiente ubíquo; (ii) modelo de triplos (sujeito, predicado, objeto), o qual é utilizado na persistência de ontologias, provendo facilidades similares às experimentadas nos modelos relacionais; (iii) modelo não relacional, sendo escolhida a categoria orientada a documentos, a qual possui a característica de ignorar campos vazios, otimizando o espaço em disco utilizado.

O processamento dos dados contextuais no servidor de contexto é realizado pela Camada de Processamento, a qual utiliza uma estratégia baseada em regras composicionais para processar os contextos adquiridos [Machado et al. 2017]. As regras criadas possuem como diferencial serem compostas com dados presentes nos diferentes modelos de armazenamento, podendo utilizar estes dados de forma combinada com o intuito de facilitar a identificação de situações de interesse. Além disso, permitindo que o EXEHDA suporte trabalhar com diferentes modelos de representação de forma simultânea.

Além do RHIC e da Camada de Processamento, o servidor de contexto, possui outros três componentes em sua arquitetura: (i) Gerenciador de Comunicação que tem a finalidade de se comunicar com componentes externos ao servidor de contexto; (ii) Cole-

tor, o qual busca as informações que são requisitadas pelo Gerenciador de Comunicação; (iii) Atuador que é responsável por realizar atuações com base nas situações que são identificadas pela Camada de Processamento.

3. Trabalhos relacionados

Em [Ferreira et al. 2013] é apresentado um modelo de recomendação ubíqua de OAs (Objetos de Aprendizagem), o qual é chamado de UbiGroup. Tal modelo também considera o perfil dos estudantes e o contexto no qual estão inseridos, sendo composto por cinco agentes de software que são responsáveis pelo processo de recomendação. O contexto do usuário contém informações de localização, atividade, grupo e tempo, já que o processo de recomendação considera as avaliações realizadas pelos estudantes acerca dos conteúdos apresentados nos períodos letivos.

[Silva et al. 2013] apresenta uma abordagem contextual baseada em algoritmos genéticos para a recomendação de OAs. O contexto do usuário é caracterizado por informações acerca dos dispositivos móveis utilizados para acessar o conteúdo, tais como, o horário de estudo do usuário e sua localização geográfica corrente. A afinidade do OA com o curso estudado e a quantidade de acessos realizados por outros estudantes também são contabilizadas no processo de recomendação.

Em [Moebert et al. 2016] é proposto um *framework* para a criação sistemática de aplicações móveis adaptáveis. Um sistema de autoria é usado para que os professores criem e gerenciem conteúdo de micro-aprendizagem adaptável. Os conteúdos de aprendizagem criados são transferidos para o aplicativo de aprendizagem móvel onde estão disponíveis como conteúdo de aprendizagem adaptativo. Para implementar a adaptabilidade do aplicativo de aprendizagem móvel, as conclusões são baseadas tanto do comportamento do usuário como nas informações de contexto coletadas.

Com base nas propostas descritas, pode-se concluir que existe uma tendência em adaptar a execução dos ambientes não somente a mudanças relacionadas à localização do estudante ou do seu contexto tecnológico, mas também as suas preferências e interesses educacionais. Estas tendências estão contempladas na arquitetura proposta, pois a rede de ontologias usadas prevê o raciocínio com base também nesses parâmetros. Acredita-se que o principal diferencial entre a proposta descrita neste trabalho e os trabalhos relacionados esteja no uso de um ambiente educacional real e em funcionamento, adicionando a ele funcionalidades ligadas a aprendizagem ubíqua. Os demais trabalhos propõem abordagens adequadas a *u-learning*, mas não tão próximas ao cotidiano do estudante e de aplicação simples aos professores.

4. Infraestrutura para *U-Learning*

Ao trabalhar com ambientes *u-learning* é necessário estar apto para lidar com alguns desafios. Dentre eles, destaca-se como sendo um dos principais desafios, a estratégia utilizada para extrair informações de bases de dados heterogêneas (relacionais e semânticas). Além disso, é importante que a estratégia permita processar estas informações em tempo de execução, e assim, fornecer uma melhor identificação das situações de interesse.

Para tratar este desafio é proposta uma infraestrutura para prover aprendizagem ubíqua consistindo de três partes, as quais podem ser visualizadas na Figura 1: (i) estrutura do sistema AdaptWeb, onde foi adicionado o módulo Sensor de Contexto que tem

como função adicionar informações de localidade do estudante e de tipo de dispositivo computacional utilizado, as quais não eram providas pelo ambiente; (ii) Parser, que é responsável por realizar o mapeamento das informações presentes no AdaptWeb, a partir do Banco de Dados Administrativo e do Armazenamento XML para um modelo intermediário; (iii) arquitetura do Servidor de Contexto, na qual foi incluída a rede de ontologias que serve como estrutura semântica para interação entre o AdaptWeb e o Servidor de Contexto do EXEHDA.

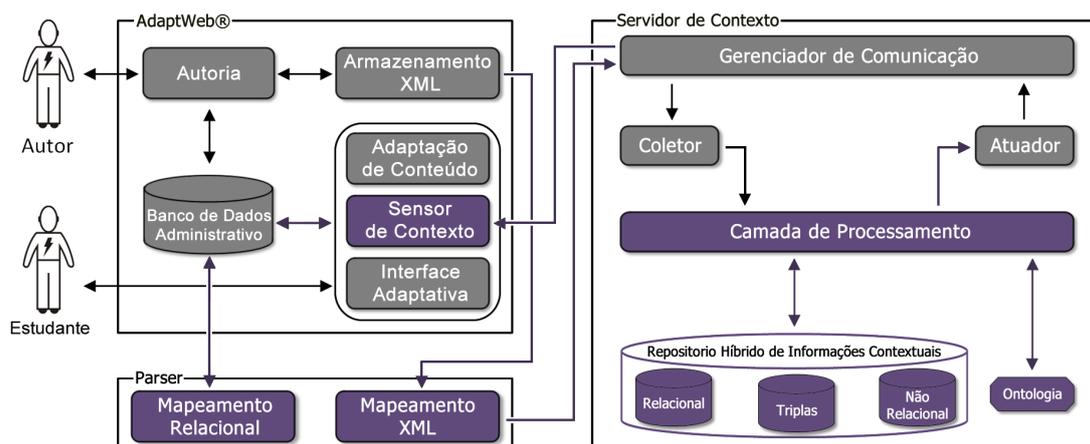


Figura 1. Infraestrutura para u-learning proposta

A rede de ontologias usada, descrita em sua totalidade em [Pernas et al. 2012], modela os elementos contextuais de três domínios distintos: (i) domínio do estudante, o qual representa o modelo do estudante (ontologia Estudante) e a sua situação de aprendizagem (ontologia Situação); (ii) domínio educacional, que representa o modelo do domínio fazendo reuso das ontologias LOM Ciclo de Vida, LOM Técnica, LOM Educacional e Dublin Core; e (iii) domínio tecnológico, que modela o contexto físico e tecnológico, onde foram utilizadas ontologias para geolocalização (o vocabulário da norma WGS84¹), para descrição de espaços inteligentes (ontologia CoBrA²), além de uma ontologia para descrição de dispositivos computacionais, definida para a rede.

O mapeamento das informações presentes no AdaptWeb é realizado pelo Parser (1), consistindo da identificação dos elementos contextuais disponíveis na camada de dados, da normalização e da padronização dos dados no Armazenamento XML e no Banco de Dados Administrativo, tendo como resultado a concepção de uma base intermediária. Uma versão preliminar do mapeamento é apresentada em [Pernas et al. 2015], sendo este estendido neste trabalho para uma melhor representação dos dados. Esta base intermediária gerada é persistida no modelo relacional do RHIC (via Gerenciador de Comunicação) sendo usada para instanciação dos dados correntes na ontologia pela Camada de Processamento. Na avaliação da situação apenas dados novos e/ou atualizados são considerados.

Além de serem mantidas as informações na ontologia, a qual é manipulada em memória, as informações de contexto são armazenadas no modelo de triplas do RHIC,

¹<https://www.w3.org/2003/01/geo/>)

²<http://cobra.umbc.edu/ontologies-2003-11.html>

tendo como intuito manter o histórico de utilização por parte dos estudantes do ambiente AdaptWeb. A partir desta persistência a quantidade de informações processadas pela ontologia é reduzida, tornando o processo de raciocínio mais rápido.

A Camada de Processamento é responsável por se comunicar com a rede de ontologias. Com a utilização dessa rede é possível inferir novas informações a partir dos dados instanciados e de regras pré-definidas na linguagem SWRL (*Semantic Web Rule Language*). Após a identificação de uma situação de interesse, o módulo atuador é responsável por verificar a possibilidade de atuação e informar ao Gerenciador de Comunicação a necessidade de se comunicar com o AdaptWeb. Na estratégia atual, as informações inferidas são repassadas ao ambiente, visando apoiar a tomada de decisão relativa as adaptações na interface de usuário (por exemplo, recomendação de OAs).

Além da identificação de situações com base nas regras SWRL, a Camada de Processamento também realiza consultas no modelo de triplas com base em consultas SPARQL, buscando informações relevantes a serem repassadas para os professores das disciplinas. Este repasse segue o mesmo fluxo anterior, passando pelo Atuador, que verifica a necessidade de atuação e, caso necessário, a repassa para o Gerenciador de Comunicação, o qual envia essas informações para o ambiente. Ao final, o ambiente disponibiliza essa avaliação na área de acesso do professor.

As situações buscadas no modelo de triplas são referentes ao andamento da disciplina, onde são buscadas, por exemplo, informações relacionadas à execução das atividades por parte dos estudantes, sendo possível identificar estudantes que possuem dificuldades em determinadas atividades, buscar se algum estudante está com dificuldades em mais de uma atividade, entre outras situações.

5. Avaliação da Proposta

Esta seção demonstra o funcionamento da proposta concebida, para o qual foi desenvolvido um cenário de aplicação que utiliza os diferentes recursos disponibilizados pela proposta de integração. Além disso, com o objetivo de uma melhor apropriação da forma com que ocorreu o desenvolvimento da proposta, na próxima subseção são apresentadas as principais tecnologias utilizadas em sua implementação.

5.1. Tecnologias Utilizadas

Para realizar a manipulação das informações contextuais presentes na ontologia foi utilizado o *framework* Jena, o qual é desenvolvido na linguagem Java e fornece uma abstração e interface para manipulação de ontologias. O *framework* fornece classes e interfaces para criar e manipular ontologias baseadas em RDF (*Resource Description Framework*) e OWL (*Web Ontology Language*).

O raciocínio da ontologia é realizado com a utilização do *reasoner* Pellet, o qual foi escolhido para ser usado na proposta por ser um dos *reasoners* recomendados pelo W3C (*World Wide Web Consortium*). Pellet é implementado em Java e disponibilizado sob uma licença liberal. Oferece uma diversidade de recursos, incluindo resposta de consulta conjuntiva, suporte de regras, raciocínio, entre outros.

Para a concepção das regras semânticas optou-se pela utilização da SWRL, a qual consiste de uma linguagem de regras no formato Horn-like adicionada à OWL por meio

de axiomas em formato OWL-DL (*OWL-Description logic*), permitindo a definição de raciocínio sobre as instâncias definidas na ontologia [Horrocks et al. 2005].

Como sistema gerenciador do modelo relacional foi utilizado o MySQL, escolhido por ser empregado pelo AdaptWeb no Banco de Dados Administrativo. MySQL é um sistema de gerenciamento popular devido à sua facilidade de uso e documentação, sendo reconhecido por ser um banco de dados rápido. Para realizar o gerenciamento do modelo não-relacional é usado o MongoDB, o qual vem se destacando na literatura [Rosa et al. 2015], mostrando bom desempenho em relação a outros bancos de dados.

Como sistema de gerenciamento do modelo de triplas é utilizado o Virtuoso, o qual combina a funcionalidade de um banco de dados objeto relacional, XML, e triplas. A escolha do Virtuoso ocorreu pelo desempenho satisfatório apresentado em estudos contidos na literatura [Rosa et al. 2017], destacando-se pela sua escalabilidade.

5.2. Cenário de Aplicação

Em uma análise geral do funcionamento da infraestrutura apresentada, parte-se do uso do ambiente AdaptWeb pelo estudante. Não sendo necessária nenhuma opção adicional, suas ações no ambiente passam a ser monitoradas e contextualizadas pelo modelo semântico, o qual detecta a ocorrência de eventos neste ambiente (mudança de OA sendo acessado, acerto ou erro em algum exercício, mudança de dispositivo, problemas de conexão, entre outros eventos determinados como relevantes) e sinaliza ao ambiente educacional a necessidade ou não de adaptações na interface do usuário.

A avaliação da proposta é baseada em um cenário, no qual a estudante “Lara” utiliza o ambiente educacional e apresenta dificuldades no desenvolvimento de determinada atividade. Esta situação é identificada pelo ambiente e o sistema deve filtrar sintaticamente quais recursos podem ser recomendados para auxiliá-lo. Sendo assim o ambiente não deve recomendar objetos que estão inacessíveis ao estudante.

Através das informações de localização de “Lara” é possível identificar que ele se encontra na biblioteca e utiliza um *smartphone*, além disso, nota-se que seu dispositivo apresenta problemas de conectividade. Com isso, o sistema identificará quais objetos de aprendizagem que podem ser acessados via *smartphone* com uma conexão ruim, ou objetos que podem ser acessados através da biblioteca da universidade. Essa filtragem de OAs é possível pela leitura dos metadados próprios de cada OA, definidos pelo professor no momento de criação do objeto.

Para o estudo de caso desta seção, são apresentadas duas regras SWRL, que contemplam as situações apresentadas. Uma para identificar questões de localidade e outra para identificar dispositivos/conexões. Essas regras podem ser observadas na Figura 2. A primeira regra identifica a existência de objetos de aprendizagem que possuam a mesma localização do estudante. A segunda regra verifica qual dispositivo o estudante está utilizando e a qualidade de conexão deste dispositivo, então, compara com os requerimentos do objeto de aprendizagem e, se forem compatíveis, o objeto é recomendado.

Após a execução das regras SWRL a Camada de Processamento é acionada, tendo como intuito buscar na ontologia as situações identificadas e realizar a inserção dessas situações no modelo de triplas, de forma a manter a persistência das mesmas. Tanto a busca na ontologia como a inserção no RHIC são realizadas através de consultas na

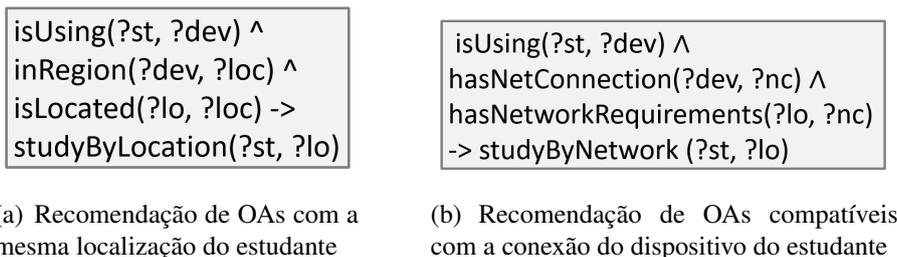


Figura 2. Regras SWRL para as situações do cenário-exemplo

linguagem SPARQL. Um exemplo de consulta SPARQL utilizada para buscar os OAS é apresentada na Figura 3, a qual busca o estudante que possui o atributo *name* == “Lara” e todos os OAS que estão presentes na relação *shouldStudy*, os quais atendem aos requisitos da situação e podem ser recomendados aos estudantes.

```
SELECT ?St ?name ?lo WHERE {
  ?St rdf:type myonto:Student.
  ?St foaf:name ?name.
  ?st myonto: shouldStudy ?lo.
  Filter(?name = "Lara"^^xsd:string).}
```

Figura 3. Consulta SPARQL usada no cenário

Além da identificação de OAs que são repassados para o AdaptWeb, de forma que os recursos possam ser disponibilizados para os estudantes, a presente proposta possibilita a utilização de consultas SPARQL para identificar situações do interesse do professor. Essas situações, são por exemplo, referentes aos alunos que apresentaram dificuldades para execução de alguma atividade, ou buscar se algum aluno apresentou dificuldade em mais de uma atividade. Após a busca pela identificação dessas situações elas são repassadas para o professor no “Ambiente Professor” presente no AdaptWeb, conforme pode ser visualizada na Figura 4. O retorno ao professor das situações avaliadas pelo ambiente ubíquo permite com que o mesmo tenha maior conhecimento a respeito do andamento dos estudantes em suas disciplinas, o que pode servir como guia para futuras mudanças no andamento do projeto instrucional de cada disciplina.

6. Considerações Finais

A principal contribuição deste trabalho é a concepção de uma arquitetura para *u-learning*, possível a partir da integração de um ambiente educacional adaptativo e um *middleware* para gerência de ambientes ubíquos. Na arquitetura proposta, a camada de dados do ambiente educacional AdaptWeb é mapeada a um modelo semântico, o qual permite a conceituação de seu vocabulário para interpretação como um modelo de contexto válido ao *middleware* EXEHDA.

O modelo semântico tem por objetivo detectar, por meio de inferências, as situações vivenciadas por estudantes enquanto desenvolvem atividades ligadas à aprendizagem à distância. Para isso, o *middleware* monitora e armazena eventos determinados como relevantes no ambiente educacional, oferecendo diferentes modelos de armazenamento de forma a prover a persistência de dados.



Figura 4. Exemplo de informações repassadas para o professor no ambiente

O modelo foi mapeado e avaliado em conjunto ao ambiente educacional, mostrando que a ciência das diferentes situações vivenciadas pelos alunos constitui uma ferramenta importante para a realização de adaptações mais ricas e adequadas a cada aluno nos ambientes educacionais. A integração do modelo semântico ao *middleware* mostra-se natural, visto a existência em sua arquitetura de um subsistema apto a interpretar contextos de interesse, vindos de modelos ontológicos, os quais especificam regras para raciocínio e interpretação de contexto.

Atualmente, esta pesquisa realiza testes de integração e de retorno ao ambiente das atuações resultantes das regras processadas no *middleware*. De posse dessas ações de adaptação, o ambiente *e-learning* poderá compreender a variação nos contextos de interesse do usuário e auxiliar na qualidade da interação entre alunos e ambiente.

Como trabalhos futuros destaca-se a concepção de novos testes e regras para detecção das situações do estudante no ambiente de aprendizagem. Além disso, objetiva-se a aplicação da proposta em uma disciplina em execução, para monitoramento da turma e desenvolvimento de testes de aceitação e escalabilidade.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – PRO-CAD/CAPES/Brasil.

Referências

Chiu, C.-K., Tseng, J. C., and Hsu, T.-Y. (2017). Blended context-aware ubiquitous learning in museums: Environment, navigation support and system development. *Personal Ubiquitous Comput.*, 21(2):355–369.

- Ferreira, L., Barbosa, J., and Gluz, J. (2013). Um modelo de recomendação ubíqua de conteúdo para grupos de aprendizes. In *SBIE*.
- Gasparini, I., Pimenta, M., Amaral, M., and Palazzo, J. M. d. O. (2004). Navegação e apresentação adaptativos em um ambiente de ead na web. In *Webmedia*.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Bechhofer, S., and Tsarkov, D. (2005). Owl rules: A proposal and prototype implementation. *Web Semant.*, 3(1):23–40.
- Kakousis, K., Paspallis, N., and Papadopoulos, G. A. (2010). A survey of software adaptation in mobile and ubiquitous computing. *Enterp. Inf. Syst.*, 4(4):355–389.
- Kalaivania, R. and Sivakumar, R. (2017). A survey on context-aware ubiquitous learning systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 10(15).
- Lopes, J., Souza, R., Geyer, C., Costa, C., Barbosa, J., Pernas, A., and Yamin, A. (2014). A middleware architecture for dynamic adaptation in ubiquitous computing. *Journal of Universal Computer Science*, 20(9):1327–1351.
- Machado, R. S., Almeida, R. B., da Rosa, D. Y. L., Lopes, J. L. B., Pernas, A. M., and Yamin, A. C. (2017). Exehda-hm: A compositional approach to explore contextual information on hybrid models. *Future Generation Computer Systems*, 73:1 – 12.
- Moebert, T., Zender, R., and Lucke, U. (2016). *A Generalized Approach for Context-Aware Adaptation in Mobile E-Learning Settings*, pages 23–53. Springer International Publishing, Cham.
- Palazzo, J. M. O., Brunetto, M. A. C., Proença Jr., M. L., Pimenta, M. S., Ribeiro, C. H. P., Lima, J. V., de Freitas, V., de Marçal, V. S. P. and Gasparini, I., and Amaral, M. A. (2003). Adaptweb: um ambiente para ensino-aprendizagem adaptativo na web. *Educar em revista*, n. 107, p. 175-198.
- Pernas, A. M., Díaz, A., Motz, R., and Palazzo M. de Oliveira, J. (2012). Enriching adaptation in e-learning systems through a situation-aware ontology network. *Interact. Techn. Smart Edu.*, 9(2):60–73.
- Pernas, A. M., Gasparini, I., Pires, L. V., Lopes, J. L. B., Yamin, A. C., and de Oliveira, J. P. M. (2015). Integrated infrastructure for ubiquitous learning. *IEEE Revista Ibero-americana de Tecnologias del Aprendizaje*, 10(3):92–99.
- Rosa, D., Rambo, I., Machado, R., Almeida, R., Rippel, H., Yamin, A., and Pernas, A. (2015). Uma abordagem híbrida para armazenamento de dados de contexto no exehda. In *Escola Regional de Redes de Computadores*.
- Rosa, F. L., Machado, R. S., Yamin, A. C., and Pernas, A. M. (2017). Análise do desempenho de consultas sparql em sistemas gerenciadores de triplas. *ERAD-RS*.
- Selviandro, N., Sabariah, M. K., and Saputra, S. (2016). Context awareness system on ubiquitous learning with case based reasoning and nearest neighbor algorithm. In *4th International Conference on Information and Communication Technology*.
- Silva, L. C., Neto, F. M. M., and Junior, L. J. (2013). Mobile: Um ambiente multiagente de aprendizagem móvel baseado em algoritmo genético para apoiar a aprendizagem ubíqua. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 21(1):62–75.