Uma Infraestrutura Descentralizada para Ambientes de Aprendizagem Ubíqua

A Decentralized Infrastructure for Ubiquitous Learning Environments

Jezer Machado de Oliveira

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
São Leopoldo - Rio Grande do Sul - Brasil
jezeroliveira@gmail.com

Solon Andrade Rabello Junior

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
São Leopoldo - Rio Grande do Sul - Brasil
solonrabello@gmail.com

Jorge Luis Victória Barbosa

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos
Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
São Leopoldo - Rio Grande do Sul - Brasil
jbarbosa@unisinos.br

Débora Nice Ferrari Barbosa

Universidade FEEVALE
Programa de Pós-Graduação em Diversidade e Inclusão
Novo Hamburgo - Rio Grande do Sul - Brasil
deboranice@feevale.br

Resumo *Este artigo propõe uma infraestrutura denominada Global. A principal hipótese do trabalho consiste na possível criação de uma arquitetura completamente descentralizada e extensível focada no desenvolvimento de ambientes de aprendizagem ubíqua. O texto descreve a arquitetura da infraestrutura. O artigo apresenta ainda uma implementação e uma prova de conceitos usando a infraestrutura no desenvolvimento de três aplicações. As aplicações foram escolhidas buscando a demonstração de três hipóteses específicas para a verificação da hipótese principal. A primeira aplicação demonstra que a Global pode ser usada para a criação de ambientes de aprendizagem ubíqua. A segunda mostra que a infraestrutura permite a descentralização, sendo extensível para a criação de ambientes de aprendizagem ubíqua. A terceira demonstra que a Global é extensível o suficiente para sua aplicação em outras áreas que não a educação. Os resultados alcançados com a implementação das aplicações permitiram a verificação da principal hipótese do trabalho, comprovando que a Global é extensível, descentralizada e pode ser usada para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem ubíqua.*

Palavras-Chave: Descentralização, Computação Ubíqua, Educação, Aprendizagem Ubíqua.

Abstract *This article proposes an infrastructure called Global. The main hypothesis consists in the possible creation of an architecture completely decentralized and extensible, focused in the development of ubiquitous learning environments. The text describes the infrastructure's architecture. Additionally, the article presents an implementation and a concepts proof through the use of Global in the developing of three applications. The applications were choose to demonstrate three specific hypothesis, allowing to verify the main hypothesis. The first demonstrates that Global can be used to create ubiquitous learning environments. The second shows that the infrastructure permits the decentralization, being extensible to create ubiquitous learning environments. The third demonstrates that Global is extensible enough to be applied in areas other than education. The results allow the verification of the main hypothesis, proving Global is extensible, decentralized and can be used to develop ubiquitous learning environments.*

Keywords: Decentralization, Ubiquitous Computing, Education, Ubiquitous Learning.

1 Introdução

Aproximadamente há 20 anos, Mark Weiser introduziu o conceito de Computação Ubíqua [1]. Dez anos após, Satyanarayanan reforçou o conceito através de um artigo considerado clássico [2] no qual foram apresentadas as principais características dos sistemas ubíquos. Nos últimos anos a evolução da tecnologia vem viabilizando esse conceito, pois os equipamentos móveis estão cada vez menores e mais poderosos. Além disso, o advento das tecnologias de comunicação sem fio permitiu aos equipamentos acessarem serviços em qualquer lugar e a qualquer momento. Adicionalmente, a crescente adoção de Sistemas de Localização [3] vem estimulando os Serviços Baseado em Localização [4] e os Sistemas Sensíveis ao Contexto [5].

Essa realidade tecnológica vem gerando novas oportunidades para diversas áreas, tais como Acessibilidade [6], Comércio [7] e Entretenimento [8]. A educação, assim como outras áreas de conhecimento, usufrui dessas novas tecnologias para melhorar suas práticas e abordagens. A aplicação dessas tecnologias no aperfeiçoamento das estratégias de educação ocasionou o surgimento de uma frente de pesquisa denominada Aprendizagem Ubíqua [9]. Atualmente, existem diversas propostas de ambientes de aprendizagem ubíqua, como LOCAL [10], JAPÉLAS [9] e GlobalEdu [11], assim como os trabalhos propostos por Chen et al [12], Yang [13] e Zhang et al [14].

As propostas de ambientes de aprendizagem ubíqua, em sua maioria, utilizam estruturas centralizadas [13]. Contudo, tal abordagem não se mostra adequada a definição de computação ubíqua apresentada por Satyanarayanan [2], que entre suas características requer redes móveis, alta disponibilidade, escalabilidade localizada e acesso móvel à informação. Em contrapartida modelos descentralizados permitem mais facilmente tais características.

Em modelos centralizados tradicionais, a comunicação é feita em uma infraestrutura pré-configurada usando um intermediário (servidor) que é responsável pela entrega da mensagem, o que dificulta a criação de redes móveis. Por sua vez, em modelos descentralizados a comunicação é feita de forma direta entre usuários. Integrando tal característica ao uso de algoritmos de roteamento descentralizados (redes *Ad Hoc*) é possível à criação de redes móveis. Além disso, caso um servidor fique inoperante ou inacessível, os elementos gerenciados por ele também ficam ou pelo menos perdem parte de suas funcionalidades. Quando um elemento em um modelo descentralizado fica inoperante ou inacessível somente funcionalidades que dependem dele ficam comprometidas, garantindo uma maior disponibilidade.

Escalabilidade localizada é a capacidade de priorização de interação com usuários mais próximos [2]. Em ambientes descentralizados baseados em redes *Ad Hoc* a própria topologia da rede favorece a escalabilidade localizada, pois ela pode ser controlada pelo número de saltos entre os nodos. Em ambientes centralizados, para fazer essa gestão é necessária a participação do servidor o que reduz a escalabilidade.

Além disso, no desenvolvimento de ambientes de aprendizagem ubíqua, outros três fatores são relevantes: 1) mesmo com o avanço nas tecnologias de dispositivos móveis, as ferramentas e APIs para desenvolvimento ainda são bastante limitadas em comparação ao desenvolvimento de aplicações *desktop*; 2) o desenvolvimento de aplicações ubíquas é um processo oneroso devido à variedade de tecnologias necessárias para sua realização, tais como comunicação sem fio e sistemas de localização; 3) ambientes de aprendizagem ubíqua apresentam funcionalidades comuns, destacando-se a gestão de perfis, a comunicação entre usuários e o gerenciamento de conteúdo.

Este artigo propõe uma infraestrutura denominada Global. A principal hipótese do trabalho consiste na possível criação de uma arquitetura completamente descentralizada e extensível focada no desenvolvimento de ambientes de aprendizagem ubíqua. Conforme discutido no artigo, a Global contempla as principais características dos sistemas ubíquos indicadas por Satyanarayanan [2] e descritas na próxima seção.

O artigo aborda ainda a implementação da Global e uma prova de conceitos usando a infraestrutura no desenvolvimento de três aplicações. As aplicações foram escolhidas buscando a demonstração de três hipóteses específicas para a verificação da hipótese principal.

A primeira aplicação demonstra que a Global pode ser usada para a criação de ambientes de aprendizagem ubíqua. Nesse sentido, a Global é usada na implementação das funcionalidades de um ambiente já existente e validado, denominado LocalEdu. A segunda demonstra que a infraestrutura permite a descentralização, sendo extensível para a criação de ambientes de aprendizagem ubíqua. A demonstração é baseada na integração da Global com um sistema multiagente de colaboração completamente descentralizado, chamado CoolEdu. A terceira demonstra que a Global é extensível o suficiente para sua aplicação em outras áreas que não a educação. Nesse sentido, a infraestrutura é estendida para a criação de um sistema de rede social ubíqua, chamado GlobalSN.

O texto está organizado em sete seções. A segunda seção aborda a aprendizagem ubíqua, discutindo conceitos e apresentando definições. A seção três descreve quatro ambientes de aprendizagem ubíqua que possuem relação com a Global, principalmente usando o parâmetro de descentralização. Destaca-se nessa seção uma comparação entre os trabalhos. A seção quatro propõe a Global, principalmente descrevendo sua arquitetura. A quinta seção discute aspectos de implementação de um protótipo. A sexta seção usa o protótipo para a criação de três aplicações, permitindo assim uma prova de conceitos e a demonstração das hipóteses específicas. Finalmente, a última seção apresenta as conclusões do trabalho, focando nas contribuições trazidas pela Global e nos trabalhos futuros.

2 Aprendizagem Ubíqua

Satyanarayanan [2] destacou as principais características dos sistemas ubíquos:

- Redes móveis: permitem a troca de informações entre dispositivos móveis, sem a necessidade de uma infraestrutura de comunicação centralizada, por exemplo, usando as redes *Ad Hoc* e a comunicação ponto a ponto (P2P);
- Acesso móvel à informação: consiste na capacidade de um sistema continuar operando mesmo desconectado, pois as informações ficam armazenadas no próprio dispositivo;
- Sensibilidade à localização: consiste na capacidade de uso da localização física do dispositivo para a prestação de serviços computacionais;
- Segurança distribuída: envolve a garantia de privacidade, autenticação, autenticidade dos usuários e a segurança na troca de informação;
- Sensibilidade ao contexto: consiste na capacidade de adaptar o funcionamento de um sistema usando informações obtidas no ambiente, por exemplo, usando sensores e localização;
- Escalabilidade localizada: consiste na priorização da interação com dispositivos mais próximos, buscando assim a redução na comunicação e o aumento da escalabilidade das aplicações;
- Mascarar a má condição: consiste na capacidade de adaptação funcional do sistema a alterações no ambiente de execução, geradas por condições limitantes, tais como a redução da capacidade de processamento e a redução ou perda de conectividade;
- Invisibilidade: consiste em minimizar a distração do usuário, evitando interações desnecessárias. Por exemplo, em determinados momentos a

aplicação pode alertar o usuário de problemas, mas em outros pode mascarar as falhas.

A aprendizagem ubíqua, também conhecida como *u-learning*, consiste na aplicação da computação ubíqua no processo de aprendizagem sendo uma evolução da aprendizagem móvel (*m-learning*) [15].

Essa aplicação permite a construção de programas de aprendizagem relacionados com questões dinâmicas do contexto do aprendiz, possibilitando que o contexto seja vinculado com os objetivos pedagógicos, tendo como foco o aprendiz e sua interação com o meio. Na aprendizagem ubíqua é idealizado que os processos educacionais ocorram em qualquer tempo e em qualquer lugar de forma contínua e contextualizada.

Ogata e Yano [16] definem como características principais da aprendizagem ubíqua:

- Permanência: os alunos nunca perdem o seu trabalho a menos que realizem propositalmente uma exclusão, sendo assim, o processo de aprendizagem é registrado de forma contínua;
- Acessibilidade: os alunos têm acesso a seus documentos, dados e vídeos em qualquer lugar. A informação é fornecida com base em seus pedidos e perfis, estabelecendo assim uma aprendizagem autodirecionada;
- Imediatismo: os alunos podem obter qualquer informação imediatamente, podendo assim resolver problemas rapidamente;
- Interatividade: os alunos podem interagir com professores ou colegas, compartilhando o conhecimento;
- Contextualidade: a aprendizagem pode ser incorporada na vida diária. Assim, os problemas e os conhecimentos necessários para solucioná-los são apresentados em sua forma autêntica.

3 Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos estudos dedicados à aprendizagem móvel (*m-learning*) e ubíqua (*u-learning*) vêm comparando ambientes [10, 11, 15]. Nesses estudos encontram-se poucas propostas que contemplam a descentralização, a qual é considerada a principal característica da Global. Esta seção apresenta quatro trabalhos de aprendizagem ubíqua que também enfocam essa característica.

3.1 Japelas

Japelas [9] é um sistema que possibilita o aprendizado de expressões de tratamento na língua Japonesa. Os estudantes, portando dispositivos móveis, são assistidos na tarefa de identificar as expressões adequadas para cada contexto. Japelas utiliza tecnologias de loca-

lização (RFIDs) e perfis de usuário, mas a abordagem empregada é voltada para uma aplicação específica, não apresentando, por exemplo, uma estrutura que facilite a adição de novos idiomas. Existem duas propostas de ambientes de aprendizagem ubíqua baseadas no Japelas, CLU [16] e ULE [17], que apresentam estruturas que facilitam a extensão de seus componentes. No entanto, ambas as propostas tem um modelo cliente/servidor.

O Japelas é descentralizado. O único elemento computacional é o dispositivo móvel e a interação com outros dispositivos é feita de forma direta, usando comunicação por infravermelho (IR).

3.2 Framework de interação social orientado à aprendizagem ubíqua

Zhang et al [14] propuseram um *framework* de aprendizagem ubíqua e interação social entre aprendizes. A interação social usa o modelo da “função de encontro” proposto por Jin [18], o qual é dividido em três partes: Encontro (*Encounter*), Comunicação (*Communication*) e Colaboração (*Collaboration*).

O *framework* é organizado em duas partes: o centro de aprendizagem (*learning center side* - LCS) e o apoio à aprendizagem individual (*individual learner side* - ILS). O LCS centraliza uma base de dados e três módulos dedicados ao gerenciamento dos usuários, principalmente a formação de grupos e a distribuição de conteúdo [14]. O ILS permite a comunicação descentralizada entre os aprendizes apoiando a colaboração. As mídias utilizadas podem ser PDAs, telefones celulares, computadores e dispositivos embarcados.

Apesar do *framework* ser indicado como orientado à aprendizagem ubíqua, ele não se enquadra na definição de ubiquidade estabelecida por Satyanarayanan [2], pois não possui sensibilidade à localização e nem ao contexto. Além disso, ele é parcialmente descentralizado, permitindo a comunicação direta entre aprendizes.

3.3 Ambiente de aprendizagem ubíqua orientado à colaboração P2P

Yang [13] propôs um ambiente de aprendizagem ubíqua que permite a colaboração ponto a ponto (P2P). O modelo realiza o apoio à aprendizagem criando comunidades virtuais. Nelas os instrutores e alunos descobrem, acessam e compartilham recursos, participando ainda de comunicações em grupo.

O ambiente considera a sensibilidade ao contexto como um modelo interativo entre aprendizes e serviços. Nesse sentido são propostas duas ontologias, uma para descrever os aprendizes e outra para a descrição dos serviços. Com base nessas ontologias um modelo de

interatividade realiza um casamento de padrões para a descoberta e acesso aos serviços orientados a contexto. A detecção do contexto é dividida em duas partes: cliente e servidor. No cliente são coletadas as informações e no servidor elas são processadas para a definição do contexto do aprendiz.

O ambiente é parcialmente descentralizado. Um servidor processa as informações de contextos dos aprendizes.

3.4 GlobalEdu

O GlobalEdu [11] é um ambiente que permite aprendizagem ubíqua em larga escala, propiciando as condições para que o aprendiz construa seu conhecimento em qualquer lugar e em qualquer momento, de forma adaptada ao seu perfil e contexto.

A arquitetura do ambiente é organizada em três camadas. A **Camada de Aplicação** consiste em um Agente Pedagógico (AP) [19] que auxilia a interação do aprendiz no ambiente. Na **Camada de Sistema** encontra-se um conjunto de módulos que auxiliam o processo educacional no ambiente ubíquo, manipulando o contexto do aprendiz, seu perfil e seus conteúdos, além de elementos que auxiliem a execução do AP e dos recursos que ele manipula. Na **Camada de Execução** está o *middleware* de execução. O modelo considera que o ambiente de execução provê os elementos necessários para o seu funcionamento.

O GlobalEdu permite uma descentralização parcial, adotando um modelo cliente-servidor para as camadas de aplicação e de sistema, mas permitindo comunicação P2P entre os APs.

3.5 Avaliação dos trabalhos relacionados

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os trabalhos relacionados. O Japelas [9] possui um objetivo específico, apoiar a aprendizagem de expressões de tratamento na língua Japonesa, não apresentando estruturas que facilitem a adição de novas funcionalidades. Japelas é um ambiente descentralizado, mas apresenta um sistema de comunicação limitado ao uso de infravermelho. Além disso, o sistema não apresenta uma estrutura de roteamento de mensagens e serve basicamente para a identificação de qual formalismo deve ser aplicado na comunicação entre usuários.

O *framework* de interação social de Zhang et al [14] permite a especialização de um tutor que pode ser adaptado para uma área específica, mas não apresenta estruturas que facilitem a adição de novas funcionalidades. Ele é um ambiente parcialmente descentralizado e não apresenta duas características essenciais a sistemas ubíquos, ou seja, a sensibilidade à localização e ao contexto.

O ambiente de aprendizagem ubíqua orientado à colaboração P2P, proposto por Yang [13], não apresenta estruturas que facilitem a adição de novas funcionalidades. Além disso, o ambiente é parcialmente descentralizado.

O GlobalEdu [11] adota um modelo cliente-servidor no qual a comunicação entre os módulos é realizada por servidores. Os agente pedagógicos se comunicam com os servidores e também entre eles. Sendo assim, o GlobalEdu é parcialmente descentralizado.

	Japelas [9]	Framework de Zhang et al [14]	Ambiente de Yang [13]	GlobalEdu [11]
Objetivo	Apoiar a aprendizagem de expressões de tratamento na língua Japonesa	Apoiar a aprendizagem dos alunos, focando em suas habilidades sociais em um ambiente ubíquo	Criar comunidades virtuais que permitam o compartilhamento de recursos entre instrutores e alunos	Permitir que o aprendiz construa seu conhecimento em qualquer lugar e em qualquer momento, de forma adaptada ao seu perfil e contexto
Sensibilidade à localização	Etiquetas RFID	Não possui sistema de localização	Combinação de tecnologias	Depende do <i>middleware</i> de execução
Comunicação	Infravermelho	P2P, não especificado	P2P e cliente-servidor	Depende do <i>middleware</i> de execução
Redes móveis	Parcial, não apresenta algoritmo de roteamento	Sim	Sim	Depende do <i>middleware</i> de execução
Segurança distribuída	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Depende do <i>middleware</i> de execução
Sensibilidade ao contexto	Sim	Não	Sim	Sim
Escalabilidade localizada	Sim	Sim	Sim	Depende do <i>middleware</i> de execução
Acesso móvel à informação	Sim	Sim	Parcial, parte da informação fica no servidor	Não, as informações ficam armazenadas no servidor
Extensível	Não, focado apenas no tratamento de expressões do idioma japonês	Parcialmente, apesar de ser um <i>framework</i> só permite a personalização do tutor	Não	Parcialmente, pois permite a especialização do tutor
Descentralização	Total	Parcial	Parcial	Parcial

Tabela 1: Comparação entre trabalhos relacionados

4 Infraestrutura GLOBAL

Wooldridge e Jennings [20] afirmam que um Agente é uma entidade de software autônoma e extensível, sensível ao ambiente onde atua. Ampliando essa definição, Huhns e Stephens [21] destacam que Sistemas Multiagentes são compostos de agentes que interagem e atuam em conjunto, sendo a interação baseada em protocolos de comunicação. Essas características estimulam o uso de agentes na criação de sistemas ubíquos descentralizados e extensíveis.

A organização da Global é baseada em uma arquitetura multiagente (Figura 1). Existem seis agentes, os quais são complementados por quatro componentes representados por APIs. Os agentes disponibilizam um grupo de funcionalidades para o apoio à aprendizagem e seguem as característica indicadas por Wooldridge e Jennings [20], atuando de forma autônoma. Cada instância da Global é executada em um dispositivo, sendo

que a ausência de um agente compromete apenas as funcionalidades que dependem dele. Além disso, os agentes são extensíveis e reagem a alterações do ambiente. Quanto à interação, a Global padronizou a comunicação através de mensagens FIPCA-ACL [22]. As próximas seções descrevem os agentes e componentes.

4.1 Agente Conectividade

A comunicação entre os agentes é articulada pelo agente Conectividade, sendo usadas mensagens no padrão FIPA-ACL [22]. Na troca de mensagens entre agentes de uma mesma instância, ou seja, quando os agentes operam em um mesmo dispositivo, o agente Conectividade executa a entrega de forma direta ao destinatário. Nas trocas de mensagens entre agentes de instâncias diferentes cabe ao agente encontrar a melhor forma para entregar a mensagem. Para tanto é necessário que o agente escolha um entre os Proxies disponíveis que tenha acesso ao dispositivo do agente destinatário e envie essa informação para o agente Conectivi-

dade da instância do destinatário da mensagem.

Cada domínio deve disponibilizar um *webservice* com um serviço de autenticação, caso um dispositivo queira comprovar a autenticidade de outro. Essa autenticação é baseada em chave pública e privada [23], na qual a chave privada fica registrada no dispositivo e o serviço presente no domínio disponibiliza a chave pública. Essa autenticação é um processo opcional, pois o dispositivo não tem sempre acesso à *web*.

Figura 1: Arquitetura da Global

4.2 Agente Contexto

Contextos são fragmentos de informação usados para caracterização da situação de um participante em uma interação [5]. A Global define dois grupos de características de contexto: Ambiente e Relação. As características de ambiente são coletadas pelo monitoramento do ambiente, tais como a posição no espaço e o tempo (por exemplo, um contexto pode ser definido como uma região vinculada com um intervalo específico de tempo). Por sua vez, as características de relação podem ser usadas para agrupamento de usuários, tais como o *status* (por exemplo, professores ou alunos) ou as áreas de conhecimento e interesse.

Contextos podem ser derivados de outros, permitindo que um contexto contenha subcontextos. Além disso, um contexto pode ser centralizado, quando somente um usuário controla a gerência do contexto ou descentralizado, quando qualquer usuário do contexto pode gerenciá-lo.

Os contextos na Global podem usar essas características para configurar os mais variados tipos de situação. Por exemplo, uma turma poderia representar um con-

texto centralizado no professor, que duraria seis meses. O professor poderia criar um contexto derivado da turma, dependente da posição física e do tempo, que representaria uma aula específica, determinando ainda a presença na aula pelo tempo que o aluno esteve no contexto. Durante a aula o professor poderia aplicar um trabalho em grupo. Assim os alunos poderiam criar contextos descentralizados formando grupos, que teriam como tempo de duração, o tempo restante da aula. Os contextos descentralizados permitiriam a troca de informações e materiais no grupo.

A descrição dos contextos é baseada em metadados, dentre os quais destacam-se: (1) *Id*: identificador único que representa o contexto; (2) *Description*: descrição textual do contexto; (3) *Ontology*: indica a estrutura que representa as informações no contexto; (4) *Owner*: identificador do criador do contexto; (5) *Centered*: identifica se o contexto é centralizado no seu criador; (6) *Restrictions*: contém a lista de restrições do contexto, conforme descrito na seção 4.7; (7) *Information*: forma uma árvore de informações do contexto, conforme descrito no próximo parágrafo.

Cada contexto possui uma área destinada ao armazenamento de informações, as quais são compartilhadas pelos usuários do contexto. Caso o contexto não seja centralizado no seu criador, qualquer de seus participantes poderá adicionar ou remover informações. A sincronização dessas informações torna-se complexa devido a natureza descentralizada da Global e a possibilidade de que usuários saiam e entrem nos contextos a qualquer momento. A sincronização é baseada em uma estrutura de árvore denominada *Global Information Tree*. Essa estrutura é similar ao DOM (*Document Object Model*) [24], sendo que cada nodo da árvore contém parte das informações do contexto.

4.3 Agente Perfil do usuário

O agente Perfil do Usuário gerencia as informações do usuário disponibilizando-as aos demais agentes da Global. A Global não exige a utilização de um padrão específico de perfil, ao invés disso, ela utiliza a estrutura do *Global Information Tree* para armazenar as informações do perfil, deixando a possibilidade de que cada especialização da infraestrutura utilize o modelo de perfil que considerar mais adequado. Dois tipos de nodos são utilizados para a construção da árvore de informação do perfil: nodo público e nodo privado. Nodos privados são acessados somente por agentes que estão na mesma instância do agente Perfil do Usuário e nodos públicos podem ser acessados por qualquer agente.

Apesar da Global não exigir um padrão específico de perfil, ela implementa o modelo PAPI [25]. A esco-

lha foi baseada em duas características do padrão: (1) Flexibilidade: o PAPI pode ser estendido e todos os seus componentes são opcionais; (2) Modularidade: os campos do perfil podem ser tratados de forma separada.

O perfil do usuário é dividido em sete categorias: (1) Informações Pessoais (*Personal Information*): armazena informações básicas do usuário; (2) Informações de Segurança (*Security*): armazena as credenciais do usuário, como senha, chave pública e privada; (3) Informações sobre as Relações (*Relation*): define uma lista de relações entre os usuários; (4) Informações de Preferências (*Preferences*): descreve as preferências do usuário, com o objetivo de facilitar a sua interação com o sistema; (5) Informações do Desempenho (*Performance*): relaciona a história do usuário, listando seu desempenho e avaliações, indicando as áreas de interesse gerais e específicas, métricas de avaliação e quem certificou a avaliação; (6) Informações sobre o Portfólio (*Portfolio*): armazena um conjunto de referências para os trabalhos feitos pelo usuário; (7) Informações de Interesses (*Interests*): armazena os interesses do usuário, tendo sido integrado do padrão LIP [26], pois não faz parte do PAPI.

4.4 Agente Perfis

A Global é descentralizada, portanto não existe um armazenamento centralizado das informações dos usuários. Surge então a necessidade de gerenciar perfis de outros usuários no próprio dispositivo do usuário. Essa é a função do agente Perfis, o qual gerencia o acesso ao repositório de perfis de outros usuários. O agente Perfis possui quatro configurações para atualização dos perfis, que podem ser usadas dependendo da necessidade da aplicação ou da capacidade do dispositivo:

- Requisição por demanda: quando um agente requisita uma informação de perfil, o agente Perfis solicita ao agente Perfil do Usuário no dispositivo do proprietário do perfil;
- Requisição por demanda com *cache*: quando uma informação sobre um usuário é requisitada, o agente Perfil entra em contato o agente Perfil do Usuário no dispositivo do proprietário do perfil, perguntando se existe atualização na informação, caso não exista, utiliza a informação local disponível;
- Armazenamento de informação: o agente Perfis mantém as informações dos demais usuários. Toda a vez que um usuário fica acessível, ele atualiza as informações defasadas;
- Armazenamento de informação com atualização em tempo real: o agente Perfis usando a estrutura de subscrição, requisita ao agente Perfil do Usuário do proprietário do perfil que informe as

alterações em seu perfil, desta forma mantendo os dados atualizados em tempo real.

Como os perfis utilizam o *Global Information Tree*, a atualização é feita somente nos nodos da árvore que sofreram alteração. O agente Perfis somente tem acesso a informação dos nodos derivados de nodos públicos.

4.5 Agente Objetos de Aprendizagem

O agente Objetos de Aprendizagem armazena, adquire e distribui objetos de aprendizagem. Na Global, a especificação dos metadados desses objetos segue a norma IEEE/LTSC/LOM [27], sendo suas categorias descritas a seguir: (1) Geral (*General*): agrupa informações gerais que descrevem o objeto; (2) Ciclo de vida (*lifeCycle*): agrupa informações que descrevem as características relacionadas ao histórico e estado atual dos objetos; (3) Técnica (*Technical*): agrupa os requisitos e características técnicas do objeto; (4) Educacional (*Educational*): agrupa as características educacionais e pedagógicas; (5) Direitos (*Rights*): agrupa os direitos de propriedade intelectual e as condições de uso do objeto; (6) Meta-Metadados (*MetaMetadata*): agrupa informações sobre a instância de metadados em si (em vez do objeto de aprendizagem, a instância de metadados que o descreve); (7) Relação (*Relation*): agrupa as definições de relação do objeto de aprendizagem com outros objetos de aprendizagem; (8) Anotação (*Annotation*): fornece comentários sobre o uso educacional do objeto de aprendizagem e fornece informações sobre quando e por quem as observações foram criadas; (9) Classificação (*Classification*): descreve o objeto de aprendizagem em relação a um sistema de classificação específico.

A aquisição de objetos de aprendizagem pode ser feita de duas maneiras: (1) pelo próprio usuário que adiciona um objeto de aprendizagem, tanto para uso pessoal como para compartilhamento com outros usuários; (2) pelo compartilhamento com outro usuário, pois a agente permite que outros usuários solicitem o compartilhamento de objetos de aprendizagem.

Considerando a descentralização da Global, foi adotado um modelo distribuído para compartilhamento de objetos, baseado em redes P2P. Uma rede *bitTorrent* é criada entre os usuários que possuem ou querem um determinado objeto de aprendizagem.

A Figura 2 mostra o processo de aquisição de objetos de aprendizagem. Um agente faz a requisição de aquisição de objeto (passo 1). O agente inicia a aquisição pelo agente Conectividade (passo 2). O agente Conectividade cria uma rede *bitTorrent* P2P descentralizada para *download* do objeto (passo 3). A rede retorna as informações para o agente Objetos de aprendizagem (passo 4). A informação é persistida no dispositivo usando o componente Persistência (passo 5).

4.6 Agente Comunicação

O agente Comunicação gerencia o recebimento e o envio de mensagens. O agente pode ser utilizado tanto pelo usuário, usando a interface, quanto por outros agentes da Global. As mensagens são notificações textuais que ficam armazenadas em uma “caixa de entrada” para consulta posterior. O agente Comunicação permite tanto o envio de mensagens para um usuário específico, quanto o envio de mensagens para um contexto específico no qual todos os usuários receberão a notificação. Caso o destinatário da mensagem não esteja disponível o agente armazena a mensagem até que ele esteja.

4.7 Componentes

A Global possui quatro componentes que complementam a atuação dos agentes. O componente Persistência é responsável por manter a persistência das informações quando a aplicação é finalizada. Ele disponibiliza uma API para gravação e recuperação de informações, abstraindo as operações de I/O realizadas pela aplicação. A API é similar a um banco de dados orientado a objetos. O componente ainda disponibiliza uma estrutura de exportação e importação de dados, permitindo o *backup* ou migrações, caso o usuário queira trocar de dispositivo, mantendo as configurações e informações do dispositivo anterior.

Figura 2: Compartilhamento de objetos de aprendizagem

O componente Interface com Usuário é o responsável por disponibilizar os meios para acesso do usuário às funcionalidades do sistema. Esse componente tem como características ser modular e configurável, facilitando a especialização do sistema aos mais variados tipos de dispositivos, tanto pela variação de tamanho de *display* como pelas disponibilidades de interação, tais como, botões, teclado, *touchscreen* e *multitouch*.

O componente Proxies representa um meio de comunicação entre dispositivos, por exemplo, um *proxy* pode ser implementado para a troca de mensagens

utilizando conexão *bluetooth* entre dispositivos e outro pode ser implementado para troca de mensagens usando um servidor *web*, acessado por uma rede Wi-Fi ou 3G. Cada *proxy* é responsável por identificar novas conexões, perda de conexões, manter a lista de usuários disponíveis e gerenciar tanto o envio de mensagens como o seu recebimento.

A Global utiliza restrições e Restritores para o gerenciamento dos contextos. O componente Restritores monitora o ambiente e identifica as mudanças de estado nas restrições, notificando os ouvintes (*listeners*). Os restritores são associados na inicialização do agente Contexto, podendo ser adaptados de forma dinâmica, dependendo dos recursos do dispositivo. Por exemplo, restrições do tipo *GlobalPosition* podem ser associadas a um restritor de localização por GPS ou por triangulação de antena caso o dispositivo não tenha o equipamento.

A Figura 3 exemplifica o uso de restrições. O contexto possui uma restrição temporal para os dias da semana, uma restrição lógica de operação “ou” formada por duas restrições temporais para os horários de atuação, uma restrição física que representa a área da atuação do contexto e uma restrição que representa os usuários que podem participar do contexto.

Figura 3: Exemplo de restrições e restritores

5 Aspectos de Implementação

O protótipo foi desenvolvido em J2ME (Java 2 - Micro Edition), MIDP 2.0 (The Mobile Information Device Profile) e CLDC 1.1 (Connected Limited Device Configuration), podendo ser usado em qualquer *smartphone* que contemple essa configuração. Testes foram realizados nos equipamentos Nokia N95, HTC Touch HD e HTC TYN II.

Os agentes Conectividade e Contexto foram imple-

mentados seguindo as especificações do modelo e os demais agentes possuem implementações de subconjuntos de suas especificações. Bibliotecas de terceiros foram utilizadas para simplificação do desenvolvimento das APIs. O componente Persistência foi desenvolvido com o auxílio da biblioteca Floggy que é um *framework* de persistência para dispositivos móveis. A Interface com Usuário foi implementada com o LWUIT (*Lightweight UI Toolkit*), um *framework* que oferece componentes visuais para aplicativos J2ME. Além disso, ele disponibiliza uma API padrão L10n, que facilita o uso de múltiplas línguas.

Adicionalmente, dois *proxies* foram implementados, um utilizando tecnologia *bluetooth* e outro baseado em *WebServices* para Wi-Fi/3G. Além disso, quatro Restritores foram desenvolvidos: 1) Temporal: mapeia intervalos de tempo como, horas, dias e semanas; 2) GPS: permite criar restrições por posição física, utilizando a API para GPS do J2ME; 3) Lógica: permite operações lógicas, como “e”, “ou” e negação, com as demais restrições; 4) QR Code: utilizado para localização física em ambientes fechados, nos quais o GPS possui precisão limitada ou em dispositivos sem GPS. Imagens codificadas em QR Code são utilizadas para identificar os ambientes, sendo as trocas de ambientes mapeadas pela câmera do dispositivo.

6 Prova de Conceitos

O protótipo foi usado na implementação de três aplicações buscando a prova de conceitos da Global. Cada aplicação focou na demonstração de uma das hipóteses específicas, compondo assim a verificação da hipótese principal. As próximas seções descrevem as seguintes aplicações:

- Ambiente de aprendizagem ubíqua: essa aplicação foi implementada com as mesmas funcionalidades de um ambiente existente e validado, denominado LocalEdu [28]. A implementação mostrou que a Global pode ser usada para a criação de ambientes ubíquos;
- Ambiente colaborativo de educação: essa aplicação integrou a Global com um sistema descentralizado para colaboração, denominado CoolEdu [29]. A integração mostrou que a Global permite total descentralização. Além disso, mostrou a capacidade de extensão da infraestrutura para integração de novas funcionalidades;
- Rede social ubíqua: essa aplicação foi denominada *Global Social Network* (GlobalSN) e permitiu a verificação da flexibilidade da infraestrutura para utilização em outras áreas que não a educação.

6.1 Ambiente de aprendizagem ubíqua

Hahn e Barbosa [28] propuseram um ambiente de aprendizagem ubíqua chamado LocalEdu. O ambiente permite a organização de espaços de aprendizagem ubíqua na forma de Contextos Interativos, os quais são representações abstratas de contextos físicos, definidos pela presença de três componentes básicos: (1) Agentes Assistentes, que acompanham e representam os aprendizes no sistema; (2) Gerenciador de Contexto, que delimita e gerencia o Contexto Interativo; (3) Proxy de Comunicação que oferece a possibilidade de comunicação entre os Agentes e entre eles e o Gerenciador de Contexto.

Os agentes assistentes se deslocam pelos contextos interativos, auxiliados por um sistema de localização. Durante esse deslocamento, os aprendizes interagem entre si e recebem recomendações de objetos de aprendizagem personalizados. Os dados dos perfis dos aprendizes são armazenados nos agentes e seguem o padrão PAPI [25]. A comunicação entre agentes é baseada no padrão FIPA-ACL [22]. A interação entre agente e contexto é feita de duas formas: (1) indicação de semelhança entre perfis de aprendizes; (2) indicação de objetos de aprendizagem relevantes aos aprendizes.

A arquitetura do LocalEdu apesar de ser distribuída é centralizada, pois necessita do Proxy de Comunicação para troca de informação entre os dispositivos dos aprendizes. As gerências de contexto e de material pedagógico também são feitas de forma centralizada, pois cada gerenciador de contexto tem um repositório de objetos associado.

A Global não tem um repositório de objetos de aprendizagem. A gerência dos objetos nos contextos é feita de forma distribuída entre os elementos participantes do contexto. Desta forma a Global deve ser especializada para trabalhar com contextos que centralizem repositórios de objetos de aprendizagem. Assim, foi criada uma instância especial da Global formada por especializações dos agentes Contexto, Objetos de Aprendizagem e Conectividade. Essa nova instância se comporta como um repositório de objetos.

Além disso, torna-se necessária a criação de um agente para indicação de semelhanças entre perfis de aprendizes e para a indicação de objetos de aprendizagem. Esse agente recebeu o nome Colaboração. A Figura 4 mostra o ambiente de aprendizagem ubíqua criado usando a Global. Os agentes assistentes do LocalEdu são formados por uma instância da Global acrescida do agente Colaboração.

Figura 4: LocalEdu implementado com a infraestrutura Global

O mesmo cenário aplicado na avaliação do LocalEdu [28] foi aplicado na Global. Em uma biblioteca, cinco aprendizes (no caso, alunos de mestrado) buscam material para resolver um exercício relacionado à disciplina de Visualização de Dados. O ambiente de simulação é composto de duas salas, mapeadas para dois contextos. Os alunos carregam dispositivos móveis que são mapeados para agentes aprendizes. Os livros disponíveis em cada contexto da biblioteca são mapeados como objetos de aprendizagem.

A simulação na Global foi implementada com o emulador da suíte *Sun Java Wireless Toolkit* [30]. Foram inicializadas sete instâncias executando a Global, cinco representando os alunos usando os agentes assistentes (alunos A, B, C, D e E) e duas representando os contextos interativos de uma biblioteca (Sala 1 e Sala 2). A movimentação dos alunos foi simulada por um *script* XML, representando os deslocamentos. As coordenadas foram obtidas pelo mapeamento de uma área real, sendo as mesmas da simulação proposta por Hahn e Barbosa [28]. A simulação tem quatro momentos.

No **Momento 1** dois alunos (A e B) chegam na Sala 1 na biblioteca. A Figura 5a mostra o momento ocorrendo na Global. O aluno A, além do trabalho da disciplina de Visualização de Dados, possui uma tarefa que exige a busca por material da disciplina de Lógica. Com base no contexto interativo atual, são disponibilizados objetos de aprendizagem relacionados à disciplina de Visualização de Dados.

No **Momento 2** os alunos C, D e E, da mesma turma de A e de B, chegam a Sala 1 (Figura 5b). Eles entram na sala e começam a busca de material sobre Visualização de Dados. Todos os objetos de aprendizagem no contexto interativo com alguma relevância são recomendados aos alunos. Além disso, os três alunos recém chegados recebem indicações que o aluno A tem interesse em material sobre a disciplina de Lógica. O aluno C possui interesse sobre o mesmo material.

No **Momento 3** os alunos C, D e E discutem sobre os materiais recomendados. Durante a discussão, eles chegam a um acordo sobre quais materiais serão utilizados para o exercício.

No **Momento 4** (Figura 6) o aluno C procura o aluno A, e ambos discutem sobre a tarefa de Lógica. Eles decidem ir para outra sala que contém material relacionado à disciplina. Enquanto o contexto interativo recomenda objetos de aprendizagem, os alunos A e C analisam o material e discutem a possibilidade da realização da tarefa com o material recomendado.

A infraestrutura da Global se mostrou adequada para a implementação do ambiente de aprendizagem ubíqua proposto por Hahn e Barbosa [28]. A Tabela 2 mostra o que foi necessário implementar adicionalmente. Tornou-se necessária a implementação somente de características pontuais tais como, as características de contextos e as características específicas da proposta como o algoritmo de indicação de semelhança entre perfis de aprendizes.

Figura 5: Cenário simulado

Figura 6: Momento 4 na Global

Recurso	Necessária implementação	Fornecido pela Global
Perfil	Interesses do aprendiz	Modelo PAPI
Gerência de Contexto	-	Gerência de Contexto
Conteúdo do contexto	Informações como: lista de palavras-chave e lista de objetos de aprendizagem disponíveis no contexto	Global Information Tree para criação do conteúdo dos contextos
Comunicação entre agentes	-	Agente Conectividade e proxies
Determinação de Semelhança entre perfis	Algoritmo de comparação de perfil	Informações do perfil usando o agente Perfis
Gerência de Objetos de Aprendizagem	Adequação das informações dos objetos de aprendizagem	Gerenciamento de objetos de aprendizagem
Indicação de Objetos de Aprendizagem	Algoritmo de indicação de objetos de aprendizagem	Informações do perfil e objetos de aprendizagem

Tabela 2: Especialização para ambiente de aprendizagem ubíqua

6.2 Ambiente colaborativo de educação

O CoolEdu [29] é um modelo para colaboração em ambientes descentralizados de aprendizagem ubíqua, apoiando a educação pelo estímulo à colaboração. O CoolEdu enfoca exclusivamente à colaboração, necessitando que o ambiente ao qual ele será integrado forneça

os serviços genéricos de aprendizagem ubíqua. Assim como a Global, o CoolEdu consiste em um sistema multiagentes, sendo sua arquitetura organizada em três agentes: (1) Agente Social responsável pelo estímulo à colaboração; (2) Agente Coletor responsável pelo gerenciamento do perfil do usuário; (3) Agente Interface responsável pela comunicação final com o aprendiz.

O CoolEdu executa em ambientes descentralizados de aprendizagem ubíqua, sendo responsabilidade do ambiente o fornecimento de serviços orientados à aprendizagem ubíqua. Estes serviços consistem em funcionalidades não contempladas pelo CoolEdu, mas que são necessárias a sua operação. Os serviços são organizados em quatro grupos (Figura 7) [29]. A Global contempla os serviços requisitados pelo CoolEdu. Sendo assim, a integração CoolEdu/Global criou um ambiente colaborativo de aprendizagem ubíqua. Além disso, essa integração permitiu a avaliação da capacidade da infraestrutura Global para a integração de novas funcionalidades pela integração de novos agentes. A integração proposta envolveu dois ajustes.

O primeiro ajuste considerou que o CoolEdu define que o usuário possui dois tipos de relação com um contexto, ou seja, o usuário está em um contexto ou o usuário faz parte de um contexto. Quando um usuário descobre um novo contexto, o agente Social analisa se o contexto é de interesse do usuário, se for, questiona se o usuário quer fazer parte do novo contexto. A adaptação desse comportamento na Global envolveu a criação de uma nova restrição booleana chamada *ActiveContext*. Quando um novo contexto é descoberto, o agente Social é notificado e o usuário questionado se quer participar do contexto. Caso queira, a restrição *ActiveContext* é marcada como verdadeira, senão como falsa. Dessa forma se o *ActiveContext* está marcado como verdadeiro, o usuário faz parte de um contexto.

Figura 7: Requisitos do ambiente CoolEdu [29]

No **segundo ajuste** considerou-se que tanto o CoolEdu como a Global contemplam a gerência de perfis. A Global usando os agentes Perfil do Usuário e Perfis, e o CoolEdu usando o agente Coletor. Ambos utilizam o modelo PAPI como padrão de perfil, mas o CoolEdu acrescenta campos específicos para a análise de colaboração. Buscando evitar uma gerência duplicada de perfis, o agente Coletor assumiu o papel dos dois agentes da Global. Na inicialização da Global, durante o processo de registro de agentes, o agente Coletor é registrado três vezes, ou seja, como o próprio Coletor, como agente Perfil do Usuário e como agente Perfis.

A integração foi testada por uma simulação baseada no emulador da suíte *Sun Java Wireless Toolkit* [30]. Foram inicializadas quatro instâncias do emulador executando a Global integrada ao CoolEdu, as quais representaram os aprendizes (instâncias A, B, C e D). As informações de perfis e os objetos de aprendizagem portados pelos aprendizes foram pré-carregados na inicialização das instâncias. A movimentação dos aprendizes foi simulada por um *script* XML, representando os deslocamentos. O cenário simulado teve como motivação o trem que interliga Porto Alegre à Novo Hamburgo, passando próximo do *campus* da Unisinos (chamado Trensurb). O cenário envolveu cinco momentos durante o deslocamento dos alunos entre suas casas e as salas de aula, usando o Trensurb.

No **momento 1** os alunos se deslocam das suas casas até a estação. Na estação, eles entram no contexto TREM. O agente Contexto (Global) do usuário A notifica o seu agente Social (CoolEdu), o qual solicita ao agente Coletor (CoolEdu) os perfis dos usuários presentes no contexto. O agente Coletor retorna os perfis dos usuários B, C e D. O agente Social compara os perfis, encontrando um interesse em comum entre os usuários A, C e D (no caso, o gosto pelo jogo de xadrez). O agente Social calcula o índice de interação [29] para os usuários C e D, chegando respectivamente nos valores 0,76 e 0,84. Usando como critério o maior índice, o agente Social notifica o agente Interface (CoolEdu), que tenta enviar uma sugestão de contato entre os usuários A e D. Entretanto o agente Interface do usuário D nega o pedido de envio da mensagem, pois o usuário D con-

figurou o contexto TREM como indisponível para recebimento de sugestões de colaboração. O agente Social é notificado da negativa pelo agente Interface, e requisita contato com o segundo da fila, o usuário C. Então o agente Interface do usuário A envia uma mensagem ao agente Interface do usuário C sugerindo que os aprendizes A e C entrem em contato. O agente Social do usuário C analisa o perfil do seu aprendiz e aceita a sugestão. Depois disso, cada instância envia a sugestão para seu respectivo usuário.

No **momento 2** depois de trocar mensagens com o aluno A usando o agente Comunicação (Global), o aprendiz C decide criar um contexto público com uma restrição por interesse (xadrez) e outra por área (área próxima ao TREM). Dessa forma o contexto permite uma forma de ocupar o tempo livre durante a viagem de trem, explorando atividades vinculadas ao xadrez.

No **momento 3** os agentes Contexto acessíveis ao agente Conectividade (Global) do usuário C, são notificados da criação do novo contexto pelo agente Contexto do usuário C. O agente Contexto do usuário D, que havia inicialmente negado a interação, notifica o agente Social, o qual analisa o perfil do aluno. Ao constatar que o contexto criado é relacionado aos interesses do usuário D, o agente Social solicita ao agente Interface que notifique o usuário D.

No **momento 4** o usuário D, graças à recomendação recebida por parte da sua instância do agente Social, aceita participar do contexto criado pelo usuário C. Além disso, o usuário D possui entre seus objetos de aprendizagem um tutorial sobre técnicas avançadas de xadrez. Usando o agente Contexto o usuário disponibiliza o tutorial no contexto.

No **momento 5** os agentes Coletores dos usuários A e C, notificam seus usuários do novo objeto de aprendizagem no contexto. O usuário C opta por não adquirir o novo objeto. Já o usuário A aceita o *download* do arquivo correspondente ao novo objeto e pelo agente Objetos de Aprendizagem (Global) inicia a aquisição.

A simulação envolveu as funcionalidades básicas da integração Global/CoolEdu. A avaliação mostrou que a Global é capaz de interagir com outros sistemas multiagentes e até mesmo substituir seus agentes por outras implementações. Foram necessárias adaptações nos contextos e perfis, mas o restante da integração não envolveu mudanças significativas.

6.3 Global Social Network

A *Global Social Network* (GlobalSN) é uma rede social ubíqua desenvolvida usando a Global. Esse desenvolvimento permitiu a avaliação da capacidade de extensão da infraestrutura para outras aplicações além

do desenvolvimento de ambientes de aprendizagem. A GlobalSN fornece recursos básicos das redes sociais tradicionais, tais como o Orkut e o Facebook, agregando características de ubiquidade. A aplicação possui os seguintes recursos: (1) Gerência de perfil pessoal: cadastro e edição de dados pessoais; (2) Gerência de comunidades: criação de comunidades, entrada em comunidades e gerenciamento de tópicos; (3) Gerência de amigos: adição de amigos e troca de mensagens.

A criação da GlobalSN envolveu as APIs Interface com Usuário, Persistência, Restritores, Proxies e os agentes Contexto, Conectividade, Perfil do Usuário, Perfis e Comunicação. Adicionalmente, foi criado um agente Rede Social, o qual pela interação com os demais agentes disponibiliza os recursos de rede social.

O modelo de perfil adotado pela Global é baseado no PAPI. A criação da GlobalSN envolveu o desenvolvimento de um modelo de perfil social, baseado no modelo da Global. A edição e a visualização do perfil também envolveu a criação de interfaces, utilizando a API da Global (exemplos nas Figuras 8a e 8b).

A gerência de comunidades usou a estrutura de contexto da Global, sendo cada comunidade um contexto. Assim o agente Contexto gerencia as comunidades, as quais adquiriram as características de ubiquidade dos contextos da Global, se tornando comunidades ubíquas. A associação das comunidades aos contextos permite

que suas atualizações sejam gerenciadas pelo agente Contexto, evitando implementações adicionais para o controle de sincronismo dos tópicos e postagens. As regras de participação das comunidades são gerenciadas da mesma forma que nos contextos, usando as restrições e Restritores.

Cada comunidade tem uma descrição, uma categoria e uma lista de tópicos, que são criados pelos participantes. Cada tópico é formado por uma lista de postagens. Além disso, foram criadas interfaces com o usuário utilizando a API da Global para o cadastro de comunidades, criação de tópicos e, postagens (exemplos nas Figuras 8c e 8d).

O gerenciamento de amigos é feito por um contexto especial, o qual todos os usuários têm por padrão. Esse contexto é centralizado no usuário e é formado por uma restrição do tipo “lista de usuários”. Assim, o usuário gerencia quem participa do grupo. O agente Rede Social é responsável pela interface de requisição de convites para entrada nesse contexto.

A infraestrutura da Global se mostrou adequada para a implementação da GlobalSN, graças ao arcabouço de recursos disponibilizados pelos agentes. A Global permitiu a abstração do processo de comunicação entre dispositivos e da sincronização de informações em ambientes descentralizados.

Figura 8: Telas de gerenciamento. (a) Perfil. (b) Dados sociais. (c) Tópicos de uma comunidade. (d) Mensagens de um tópico.

7 Conclusão

Este artigo propôs a Global, uma infraestrutura para ambientes de aprendizagem ubíqua. Visando uma melhor adequação aos conceitos da computação ubíqua indicados por Satyanarayanan [2], a Global propõe uma estrutura descentralizada baseada em redes *Ad Hoc*.

A Global apresenta todas as características da computação ubíqua analisadas na Tabela 1 (veja seção 3.5).

Além disso, a Global é uma proposta extensível e totalmente descentralizada. A tabela 3 realiza uma comparação da Global com os trabalhos relacionados através de uma adaptação da Tabela 1.

Durante o desenvolvimento da Global foram identificadas as seguintes propostas para trabalhos futuros: (1) apesar da comunicação entre os agentes utilizar FIPA-ACL, o conteúdo não segue uma padronização, pretendo-se utilizar um padrão de conteúdo para comu-

nicação de agentes, no caso o FIPA RDF [31]; (2) adicionar novas restrições e restritores, como leitores de RFID e QR Code; (3) adicionar novos *proxies* de comunicação; (4) ampliar a implementação do protótipo, focando nos agentes que ainda não foram completamente implementados, conforme discutido na seção

5; (5) portar o protótipo para outras plataformas móveis como o Android e o Iphone OS; (6) criar um agente de interação com usuário, utilizando técnicas avançadas, como por exemplo agentes emotivos; (7) realizar uma avaliação com usuários, focando aspectos de usabilidade e funcionalidade.

	Japelas [9]	Framework de Zhang et al [14]	Ambiente de Yang [13]	GlobalEdu [11]	Global
Sensibilidade à localização	Etiquetas RFID	Não possui sistema de localização	Combinação de tecnologias	Depende do <i>middleware</i> de execução	Usa a restrição <i>GlobalPositionRestriction</i> que representa a localização física do usuário
Comunicação	Infravermelho	P2P, não especificado	P2P e cliente-servidor	Depende do <i>middleware</i> de execução	Usa uma arquitetura genérica para comunicação entre dispositivos (componente <i>Proxies</i>), adotando por padrão Bluetooth e Wi-Fi
Redes móveis	Parcial, não apresenta algoritmo de roteamento	Sim	Sim	Depende do <i>middleware</i> de execução	Usando um algoritmo de roteamento no <i>proxy</i> Bluetooth, mensagens podem ser roteadas entre dispositivos formando assim redes móveis
Segurança distribuída	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Depende do <i>middleware</i> de execução	Garantida pela troca de mensagens criptografadas e pela estrutura de chaves públicas e privadas no agente <i>Conectividade</i>
Sensibilidade ao contexto	Sim	Não	Sim	Sim	O agente <i>Contexto</i> usando os restritores mapeia o ambiente, criando contextos. O monitoramento do ambiente permite a Global alterar seu comportamento garantindo sensibilidade ao contexto
Escala-bilidade localizada	Sim	Sim	Sim	Depende do <i>middleware</i> de execução	O Bluetooth opera de forma localizada. A limitação do número de saltos da rede <i>Ad Hoc</i> garante uma maior escalabilidade localizada
Acesso móvel à informação	Sim	Sim	Parcial, parte da informação fica no servidor	Não, as informações ficam no servidor	As informações são armazenadas no próprio dispositivo, sendo acessíveis a qualquer momento, garantindo acesso móvel à informação
Extensível	Não, focado no tratamento de expressões do idioma japonês	Parcialmente, apenas permite a personalização do tutor	Não	Parcialmente, permitindo a especialização do tutor	Usa uma arquitetura baseada em agentes orientada à extensibilidade
Descentralização	Total	Parcial	Parcial	Parcial	Total

Tabela 3: Comparação entre a Global e os trabalhos relacionados

Referências

- [1] M. Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*. 265(3):94-104, 1991.
- [2] M. Satyanarayanan. Pervasive computing: vision and challenges. *IEEE Personal Communications*. 8(4):10-17, 2001.
- [3] J. Hightower, G. Borriello. Location Systems for Ubiquitous Computing. *IEEE Journal*. 34(8):57-66, 2001.
- [4] A. Dey, J. Hightower, E. Lara, N. Davies. Location-based services. *IEEE Pervasive Computing*. 9(1):11-12, 2010.
- [5] A. K. Dey. Understanding and Using Context. *Personal and Ubiquitous Computing*. 5(1):4-7, 2001.
- [6] J. E. R. Tavares, J. J. V. Barbosa, C. A. Costa, A. C. Yamin, R. A. Real. Hefestos: a Model for Ubiquitous Accessibility Support. In *Proceedings of the IV International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA)*. páginas 1-8, 2011.
- [7] L. Franco, J. H. Rosa, J. L. V. Barbosa, C. A. Costa, A. C. Yamin. MUCS: A Model for Ubiquitous Commerce Support. *Electronic Commerce Research and Applications*. 10(2):237-246, 2011.
- [8] W. Segatto, E. Herzer, C. L. Mazzotti, J. R. Bittencourt, J. L. V. Barbosa. moBIO threat: a mobile game based on the integration of wireless technologies. *ACM Computers in Entertainment*. 6(3):1-14, 2008.
- [9] C. Yin, H. Ogata, Y. Tabata, Y. Yano. Supporting the acquisition of Japanese polite expressions in

- context-aware ubiquitous learning. *International Journal of Mobile Learning and Organization*. 4(2):214-234, 2010.
- [10] J. L. V. Barbosa, R. Hahn, D. N. F. Barbosa, A. Saccol. A Ubiquitous Learning Model Focused on Learner Integration. *International Journal of Learning Technology*. 6(1):62-83, 2011.
- [11] J. L. V. Barbosa, D. N. F. Barbosa, A. Learning in Ubiquitous Computing Environments. *International Journal of Information and Communication Technology Education*. 8(3): 1-14 , 2012.
- [12] C. M. Chen, Y. L. Li. Personalized Context-Aware Ubiquitous Learning System for Supporting Effectively English Vocabulary Learning. *Computing. Interactive Learning Environments*. 18(4):341-364, 2010.
- [13] S. J. Yang. Context Aware Ubiquitous Learning Environments for Peer-to-Peer Collaborative Learning. *Educational Technology & Society*, 9(1):188-201, 2006.
- [14] G. Zhang, Q. Jin, M. Lin. A Framework of Social Interaction Support for Ubiquitous Learning. In *Proceedings of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA)*. páginas 639-643, 2005.
- [15] A. I. C. Z. Saccol, E. Schlemmer, J. L. V. Barbosa. *M-learning e U-learning: Novas Perspectivas na Aprendizagem Móvel e Ubíqua*, Pearson Prentice-Hall, 2010.
- [16] H. Ogata, Y. Yano. Knowledge Awareness Map for Computer-Supported Ubiquitous Language- Learning. In *Proceedings of the IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education*. páginas 19-26, 2004.
- [17] L. Li, Y. Zheng, H. Ogata, Y. Yano, Y. Ubiquitous Computing in Learning: Toward a Conceptual Framework of Ubiquitous Learning Environment. *International Journal of Pervasive Computing and Communication*.1(3): 207-215, 2005.
- [18] Q. Jin. Learning Community Meets Peer-to-Peer Networking: Towards an Innovative Way of Person-to-Person E- Learning Support. In *Proceedings of the International Conference on Knowledge Economy and Development of Science and Technology (KEST)*,páginas 1-8, 2003.
- [19] D. N. F. Barbosa, C. F. R. Geyer, J. L. V. Barbosa. Uma proposta de agente pedagógico pessoal pervasivo - consciência do contexto e da mobilidade do aprendiz. In *Proceedings of the XVI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 63-73, 2005.
- [20] M. Wooldridge, N. R. Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge Engineering Review*. 10(2):115-152, 1995.
- [21] M. N. Huhns, L. M. Stephens. Multiagent Systems and Societies of Agents. In G. Weiss (eds.) *Multiagent Systems - A Modern Approach*, páginas 79-120, MIT Press, Cambridge. 1999.
- [22] FIPA-ACL. Foundation of Intelligent Physical Agents-Agent Communication Language. <http://www.fipa.org/specs/fipa00061>. Acesso em julho de 2012.
- [23] N. Ferguson, B. Schneier, T. Kohno. *Cryptography Engineering*, John Wiley & Sons, 2010.
- [24] W3C-DOM. W3C Document Object Model. <http://www.w3.org/DOM>. Acesso em julho de 2012.
- [25] PAPI draft standard for learning technology. public and private information for learners. <http://www.cen-ltso.net/Main.aspx?put=407>. Acesso em julho de 2012.
- [26] IMS. Global Learning Consortium, Inc. IMS Learner Information Packaging Information Model Specification. <http://www.imsglobal.org/profiles/lipinfo01.html>. Acesso em julho de 2012.
- [27] IEEE/LTSC/LOM learning technology standards committee. Draft Standard for Learning Object Metadata. http://ltsc.ieee.org/wg12/files/LOM_1484_12_1_v1_Final_Draft.pdf. Acesso em julho de 2012.
- [28] R. Hahn, J. L. V. Barbosa. Uma Arquitetura de Assistente Pessoal Orientada a Ambientes de Aprendizagem Ubíqua. In *Proceedings of the XIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Páginas 736-745, 2008.
- [29] S. A. Rabello, J. L. V. Barbosa, J. M. Oliveira, A. Wagner, D. N. F. Barbosa, P. B. S. Bassani. Um Modelo para Colaboração em Ambientes Descentralizados de Educação Ubíqua. In *Proceedings of the XXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, páginas 1-10, 2012.
- [30] SJWT. Sun Java Wireless Toolkit. <http://java.sun.com/products/sjwtoolkit>. Acesso em julho de 2012.
- [31] FIPA-RDF. FIPA00011: FIPA RDF Content Language Specification. <http://www.fipa.org/specs/fipa00011>. Acesso em julho de 2012.