

Uma Abordagem Baseada em Ontologias para Sensibilidade ao Contexto na Computação Pervasiva

João Ladislau Lopes¹, Ana Marilza Pernas², Fernando Afonso¹, Giovanni Librelotto³, Iara Augustin⁴, Luiz Antônio Palazzo¹, Adenauer Yamin¹

¹ PPGINF - Escola de Informática - UCPel
{joaolopes, afonso, lpalazzo, adenauer}@ucpel.tche.br

² Departamento de Informática – IFM – UFPel
marilza@ufpel.edu.br

³ PPNC – UNIFRA
giovani@unifra.br

⁴ PPGI - Centro de Tecnologia – UFSM
august@inf.ufsm.br

Resumo

Uma das características mais marcantes das aplicações pervasivas é a adaptação ao contexto de seu interesse. Muitas pesquisas já abordam questões envolvendo a aquisição de dados advindos de sensores físicos, instalados no ambiente. Porém, devido ao volume de dados obtidos pelos sensores, em geral, é necessário um tratamento destes dados sensorados para que possam ser usados pelas aplicações. Para tratar alguns dos problemas envolvidos nesse processo, propõem-se o uso de ontologias. Deste modo, pela possibilidade de empregar uma semântica de maior expressividade que a usualmente praticada na coleta e no tratamento dos dados sensorados, se pretende atingir melhores níveis de descrição nas informações que caracterizam o contexto do ambiente computacional. Em nossa proposta, chamada EXEHDA-ON, o uso de ontologias permitirá pesquisa e inferência em uma linguagem de alto nível. Entende-se como principais contribuições deste trabalho a proposição de um modelo ontológico para o domínio do ambiente pervasivo provido pelo middleware EXEHDA, desenvolvido no escopo do Projeto ISAM (UFRGS, UFSM, UCPEL), e a integração desta proposta, através de um mecanismo de sensibilidade ao contexto, à arquitetura de software do mesmo.

1. Introdução

A proposta original de Weiser [21], na qual recursos de computação onipresentes se ajustariam, de forma autônoma, para atender aos usuários em suas tarefas

diárias, ainda está distante de uma ampla aplicação prática baseada em produtos de mercado. Porém, sua proposta vem, gradativamente, sendo concretizada através da disponibilização de dispositivos móveis (PDAs – *Personal Digital Assistant*, e *SmartPhones*) e da consolidação de diversos padrões para redes sem fio (*Bluetooth*, *Wi-Fi*, *WiMax*, etc.).

Nosso grupo iniciou pesquisas na área de Computação Pervasiva, no início dessa década, com o Projeto ISAM (*Infra-Estrutura de Suporte às Aplicações Móveis Distribuídas*), tendo como objetivo disponibilizar uma infra-estrutura para o gerenciamento e execução de aplicações pervasivas em um ambiente de larga-escala [1][2]. Para tal foi desenvolvido um middleware orientado a serviços, chamado EXEHDA[23][24]. Esse middleware foi construído com a premissa de integração dos aspectos relativos a três grandes áreas: computação móvel, computação em grade e computação sensível ao contexto [2]. Em um ambiente de Computação Pervasiva, os dispositivos, serviços e componentes de software devem ser conscientes de seus contextos e automaticamente adaptar-se às suas mudanças; isso caracteriza a sensibilidade ao contexto [1].

A computação sensível ao contexto (*Context-aware Computing*) vem despertando muita atenção dos pesquisadores, desde a publicação de Schilit [18]. Diversos sistemas de sensibilidade ao contexto já foram desenvolvidos [3][6][11][12]. Entretanto, a construção de sistemas sensíveis ao contexto permanece uma tarefa complexa com custo elevado para desenvolvimento, manutenção e reaproveitamento de código. Dentre os motivos que levam a essa situação

destaca-se a falta de uma apropriada infra-estrutura de suporte às aplicações. A sensibilidade ao contexto (ou consciência do contexto) tem duas grandes frentes: (i) a aquisição e tratamento de dados que expressam informações relevantes sobre o contexto, e (ii) a adaptação às alterações de contexto. Desta forma, constitui-se em uma área na qual estão presentes diversas oportunidades de pesquisa.

Um mecanismo para sensibilidade ao contexto deve prover suporte para diferentes tarefas, dentre as quais: (i) obtenção do contexto de diversas fontes (sensores físicos e sensores lógicos); (ii) interpretação dos dados sensorados, gerando dados contextualizados e (iii) disseminação das informações para as partes interessadas, de modo distribuído e personalizado.

Uma questão relevante na sensibilidade ao contexto é o grau de expressividade que se pode obter na descrição dos possíveis estados do mesmo. Quanto maior a expressividade do modelo de informação do contexto, maior é a capacidade de representar a estrutura e a semântica dos conceitos. Também, quanto mais formal o modelo para descrição do contexto, maior é a capacidade de realização de pesquisa e inferência sobre ele. Neste sentido, considera-se que o uso de ontologias contribui para qualificar os mecanismos de sensibilidade ao contexto, em função da elevada expressividade que o uso destas pode propiciar.

Este artigo propõe um mecanismo de sensibilidade ao contexto, baseado em ontologias, para coletar, processar e disseminar informações de contexto na perspectiva da Computação Pervasiva e considerando o ambiente pervasivo definido no projeto ISAM [25]. O artigo está organizado nas seguintes seções: a seção 2 apresenta uma descrição do *middleware* EXEHDA, o qual constitui o ambiente foco de nossa proposta; a seção 3 trata dos conceitos de ontologias; a seção 4 descreve os princípios e a concepção da modelagem do EXEHDA-ON; a seção 5 apresenta os trabalhos relacionados; e a seção 6 apresenta nossas considerações finais.

2. *Middleware* EXEHDA: Principais Características

O EXEHDA é um *middleware* adaptativo ao contexto e baseado em serviços que visa criar e gerenciar um ambiente pervasivo, bem como promover a execução das aplicações direcionadas à Computação Pervasiva. Estas aplicações são distribuídas, móveis e adaptativas ao contexto em que seu processamento ocorre, devendo estar disponíveis, a partir de qualquer lugar, todo o tempo.

Para atender a elevada flutuação na disponibilidade dos recursos, inerente à Computação Pervasiva, o EXEHDA é estruturado em um núcleo mínimo e em serviços carregados sob demanda. Os principais serviços fornecidos estão organizados em subsistemas que gerenciam: (i) a execução distribuída; (ii) a comunicação; (iii) o reconhecimento do contexto; (iv) a adaptação; (v) o acesso pervasivo aos recursos e serviços; (vi) a descoberta e; (vii) o gerenciamento de recursos.

O suporte à adaptação no EXEHDA está associado à operação do subsistema de reconhecimento de contexto e adaptação, como mostra a Figura 1. Este subsistema inclui serviços que tratam desde a extração das "informações brutas" sobre as características dinâmicas e estáticas dos recursos que compõem o ambiente pervasivo, passando pela identificação em alto nível dos elementos de contexto, até o disparo das ações de adaptação em reação a modificações no estado de tais elementos de contexto.

O serviço "Collector" é responsável pela extração das informações diretamente dos recursos envolvidos, as quais, posteriormente refinadas, darão origem aos elementos de contexto. Um componente "Monitor", localizado no recurso, gerencia um conjunto de sensores parametrizáveis. Por outro lado, entre os consumidores da informação extraída pela monitoração estão os serviços "ContextManager" e "Scheduler" [23].

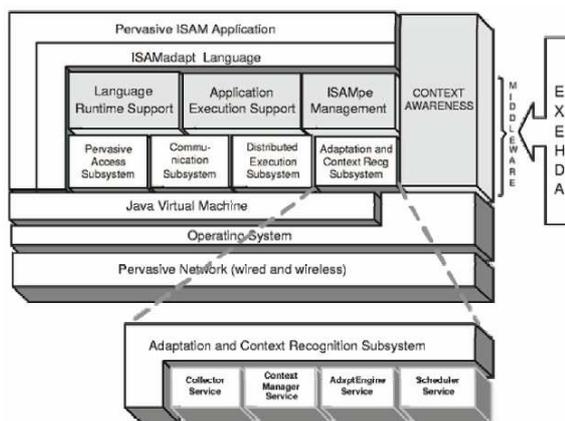


Figura 1. Subsistema de Reconhecimento de Contexto e Adaptação

No *middleware*, as condições de contexto são pró-ativamente monitoradas e o suporte à execução deve permitir que tanto a aplicação como ele próprio utilizem essas informações na gerência da adaptação de seus aspectos funcionais e não-funcionais. Atualmente, o processo de tradução dos dados sensorados para contextualizados é feito por algoritmo e estrutura de

dados personalizados por tipo de aplicação [23]. A contribuição central da pesquisa EXEHDA-ON é minimizar a gerência desta personalização por parte do desenvolvedor.

O ISAMpe (ISAM *pervasive environment*) corresponde ao ambiente computacional onde recursos e serviços são gerenciados pelo EXEHDA na perspectiva de atender aos requisitos impostos pela Computação Pervasiva [25]. Sua composição acontece tanto pelos dispositivos dos usuários, como pelos equipamentos da infra-estrutura de suporte, todos instanciados pelo seu respectivo perfil de execução junto ao *middleware*. A premissa de integrar os cenários da computação em grade, da computação móvel e da computação sensível ao contexto é mapeada em uma organização composta pela agregação de células de execução do EXEHDA, conforme pode ser visto na Figura 2.

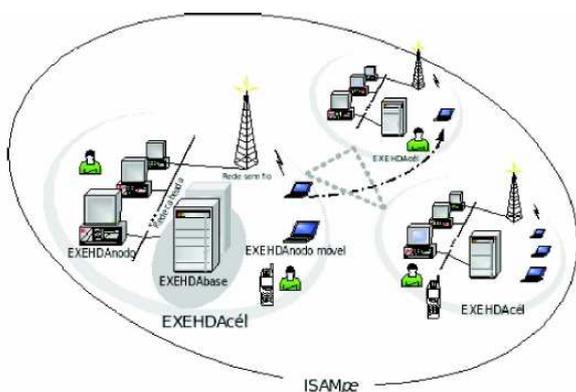


Figura 2. Ambiente pervasivo

3. Ontologias: Conceitos e Tecnologias

Ontologia corresponde a uma especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada [10][7] onde: (a) conceituação, se refere ao modelo abstrato do mundo real; (b) explícita, significa que os conceitos e seus requisitos são definidos explicitamente; (c) formal, indica que a ontologia é processável por máquina, permite raciocínio automático e possui semântica lógica formal; (d) compartilhada, significa que uma ontologia captura o conhecimento apresentado não apenas por um único indivíduo, mas por um grupo.

Como um dos elementos básicos que constitui a Web Semântica, as ontologias proporcionam a interoperabilidade semântica entre aplicações. Isso significa, que é possível explorar aspectos além da interoperabilidade sintática e estrutural fornecida pelos padrões XML (*EXtensible Markup Language*), Esquema XML, RDF (*Resource Description*

Framework) e Esquema RDF [8]. Para isso, é necessário utilizar uma linguagem de ontologia: (a) compatível com padrões como XML, Esquema XML, RDF e Esquema RDF; (b) com sintaxe rica para representar conhecimento e regras e permitir a inferência de novos dados; (c) de fácil compreensão e extensão; e (d) que tenha suporte eficiente de ferramentas para a manipulação de informações de contexto segundo o modelo subjacente às ontologias criadas nessa linguagem.

Fundamentado nos requisitos acima, abre-se duas frentes de estudo: (a) linguagem OWL (*Web Ontology Language*), padrão para a Web Semântica definido pela W3C; e (b) Topic Maps, formalizado pela norma ISO 13250 para a representação do conhecimento.

A linguagem OWL fornece suporte a metadados RDF, abstrações de classes, generalização, agregação, relações de transitividade, simetria e detecção de inconsistências.

Os Topic Maps [15] são estruturas abstratas que permitem a codificação do conhecimento de uma maneira formal, conectando-o com recursos de informação relevantes. Os Topic Maps permitem a estruturação da informação através de uma rede semântica composta por tópicos associados. Topic Maps possui uma gama de linguagens relacionadas que permitem definir consultas (TMQL – *Topic Map Query Language*) e restrições (TMCL – *Topic Map Constraint Language*), tornando-se uma opção interessante para a representação de ontologias.

Ao realizar uma comparação entre os paradigmas defendidos pela W3C e pela ISO, percebe-se que RDF assemelha-se ao modelo de dados de Topic Maps, enquanto que OWL tem um poder de expressividade comparável a TMQL e TMCL. Desta forma, ambos os paradigmas mostram-se capazes de suprir as necessidades encontradas na Computação Pervasiva.

Neste trabalho utiliza-se o paradigma OWL para a representação da ontologia, assim como outros projetos encontrados na literatura [5]. Também, foi escolhida a API Java para ontologias OWL do toolkit Jena [14], por proporcionar compatibilidade com RDF, oferecer suporte à linguagem OWL e permitir inferências sobre Esquemas RDF e ontologias OWL.

Nas próximas seções apresentam-se as questões relativas à primeira frente de estudo.

4. EXEHDA-ON: Questões Abordadas

Neste trabalho, contexto é definido como “toda a informação relevante para a aplicação que pode ser obtida da infra-estrutura computacional, cuja alteração em seu estado dispara um processo de adaptação na aplicação” [22].

4.1. Modelo Ontológico

A estratégia adotada nesta fase foi dirigir o escopo da ontologia definida para o tratamento da infraestrutura física do ambiente pervasivo (nodos, rede, entre outros). A natureza da informação do contexto celular pode ser (i) estática, por exemplo: tipo de dispositivo, ou (ii) dinâmica, por exemplo: temperatura ambiente. Estas últimas são obtidas por meio de monitoramento periódico ou coletadas por procedimentos disparados por eventos.

Para o funcionamento da ontologia, definiu-se que ela atuaria como uma especialização do serviço de contexto, fornecendo maior expressividade a este. As aplicações se reportam ao serviço de contexto, de forma a obterem adaptação não-funcional no contexto celular, o que é possível por meio de consulta ao modelo ontológico gerado.

Com relação ao desenvolvimento da ontologia, usa-se como base a metodologia desenvolvida por Fernández, Gómez-Pérez e Juristo [9] onde são descritos todos os passos a serem seguidos para a definição de ontologias.

4.2. Modelagem do contexto

A ontologia desenvolvida caracteriza as células, descrevendo sua composição e sua dinâmica de relações (vizinhança). A vizinhança é empregada como critério de propagação quando da busca por recursos e/ou informações.

O domínio caracteriza (i) os tipos de dispositivos encontrados no ISAMpe: dispositivos móveis (notebooks, PDAs, smartphones), equipamentos fixos (PCs, Clusters, Workstations, Supercomputadores), e (ii) a infra-estrutura das redes de interconexão: cabeadas ou sem-fio.

Cada uma destas classes é instanciada com seus respectivos atributos: poder computacional, latência, banda disponível, entre outros. Na Figura 3 pode-se visualizar as classes definidas para o EXEHDA-ON, mostrando sua hierarquia e instâncias referentes.

4.3. Integração da Ontologia com o EXEHDA

A Figura 4 mostra os serviços e componentes do EXEHDA-ON inseridos no Subsistema de Reconhecimento de Contexto e Adaptação do EXEHDA.

No EXEHDA-nodo o serviço “Monitor” fica com a responsabilidade de receber os dados sensorados e gerar as instâncias em formato OWL. Por sua vez, o “Collector” é responsável pela gerência das comunicações entre os dados sensorados nos nodos e o

servidor de contexto que aglutina os dados da célula como um todo.

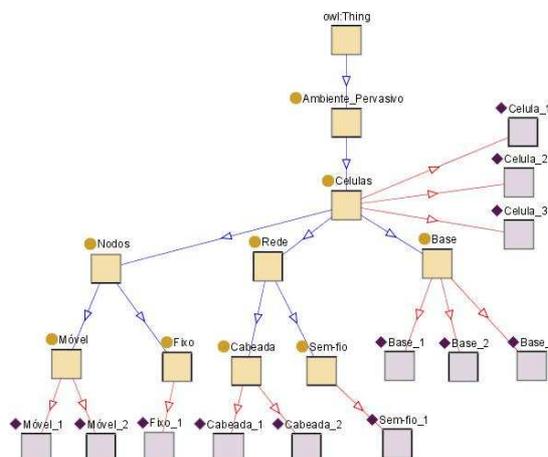


Figura 3 - Classes e instâncias da ontologia

A localização dos serviços do EXEHDA-ON dentro do EXEHDAbase será junto ao “ContextManager”, que é serviço-chave na construção de informações globais de contexto. As ontologias recebidas de cada um dos EXEHDA-nodos deverão compor uma ontologia de contexto global, mais especificamente dentro das estruturas de cadeias de detecção de contexto do “ContextManager” (aggregator e translator), que são empregadas, respectivamente, para composição dos dados de um ou mais sensores e para abstração da informação de contexto.

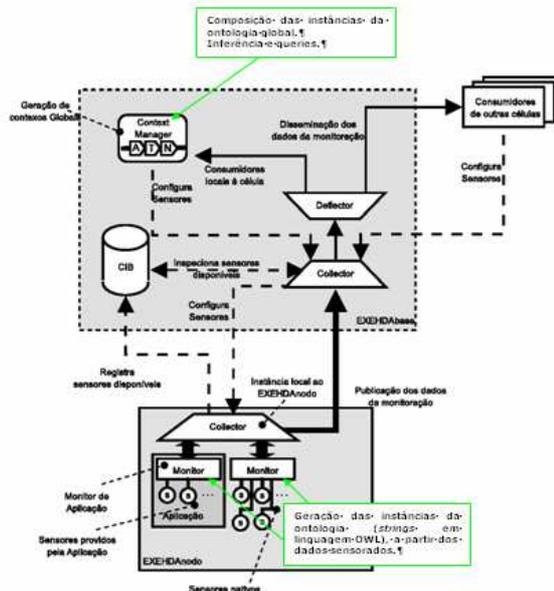


Figura 4. Componentes e serviços do EXEHDA-ON

No EXEHDA_{node}, vinculado ao componente "Monitor", atuará um serviço do EXEHDA-ON denominado "Gerador de Instâncias da Ontologia", o qual deverá criar instâncias da ontologia, representada por *strings* em linguagem OWL, a partir dos dados recebidos dos sensores.

No EXEHDA_{base} atuará o serviço responsável pela composição das instâncias na ontologia global da célula, denominado "Compositor da Ontologia Global", e o serviço responsável pela inferência e *queries* sobre a ontologia global, denominado "Interpretador de Contexto".

4.4. Prototipação

Para avaliação da proposta está sendo modelado e desenvolvido um protótipo do servidor de contexto para o ambiente pervasivo, utilizando a API Jena e a linguagem de programação Java.

Para os testes estão sendo criados sensores para dados estáticos (arquitetura, número de núcleos, tipo de processador, número de interfaces de rede, memória física, disco instalado) e dinâmicos (processador disponível, memória disponível, disco disponível, tráfego de entrada na rede, tráfego de saída da rede).

Outro protótipo em construção permitirá a inspeção do estado atual do contexto celular, através da execução de *queries* sobre a ontologia global da célula com o uso da linguagem de consulta RDQL [19]. A Figura 5 mostra a interface principal desse aplicativo.

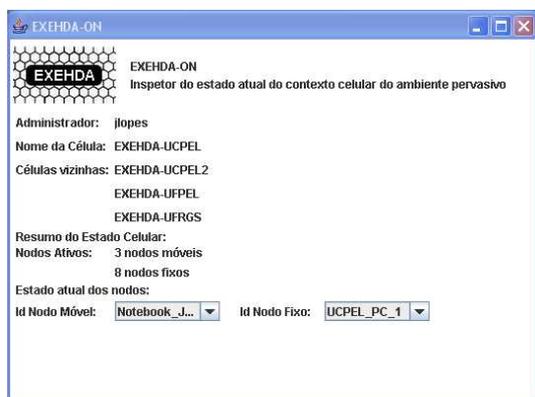


Figura 5. Interface principal do inspetor

5. Trabalhos relacionados

Considerando o histórico da computação sensível ao contexto, é possível identificar que as primeiras aplicações sensíveis ao contexto, como Active Badge [20] e ParcTab [17], implementavam mecanismos proprietários de captura, modelagem, armazenamento, interpretação e recuperação de informações de contexto. Ainda hoje, mesmo com a evolução de

tecnologias e pesquisas na área da computação sensível ao contexto, identifica-se uma tendência em encaminhar as soluções através do desenvolvimento de serviços especializados. Abordagens neste sentido têm sido propostas para ambientes distribuídos de larga escala e/ou ambientes pervasivos [16][11].

Considerando o objetivo central deste trabalho é possível relacioná-lo com projetos como: SOCAM [11], CoBrA [4] e Context Managing [13]. Estes projetos, à semelhança do EXEHDA-ON, utilizam abordagens baseadas em ontologias para modelagem e processamento de contexto.

SOCAM, diferente do EXEHDA-ON, divide um domínio de Computação Pervasiva em vários sub-domínios, definindo ontologias individuais em cada sub-domínio. Cada uma destas ontologias implementada em OWL provê um vocabulário especial, usado para representar e compartilhar conhecimento de contexto.

Por sua vez, CoBrA usa uma abordagem baseada em uma ontologia própria, desenvolvida com OWL, denominada CoBrA-Ont. Esta ontologia corresponde a uma extensão da ontologia SOUPA.

Em contraste com EXEHDA-ON, a estrutura e o vocabulário da ontologia aplicada no Context Managing são descritos em RDF, o que não permite explorar a interoperabilidade semântica proporcionado pela OWL presente no EXEHDA-ON.

O CoBrA tem como foco ambientes inteligentes, os quais são confinados a estruturas físicas e lógicas específicas, por sua vez o EXEHDA-ON é voltado a descrição de recursos computacionais direcionados a aplicações com mobilidade de código, e que executam de forma distribuída em ambientes computacionais que podem ser formados pela agregação de recursos de múltiplas instituições.

6. Considerações Finais

A construção de um suporte à sensibilidade ao contexto para as aplicações distribuídas em larga escala, apresenta inúmeros desafios, os quais se relacionam especialmente a obtenção, modelagem, armazenamento, processamento, distribuição e monitoramento do contexto. Dentre estes desafios, a modelagem e o processamento do contexto são preocupações centrais em nossa proposta.

Neste cenário, o EXEHDA-ON provê um conjunto de recursos baseados em ontologias para suporte à sensibilidade ao contexto no *middleware* EXEHDA. A arquitetura do EXEHDA-ON prevê serviços que realizam a composição das instâncias da ontologia obtida dos nodos em uma ontologia global da célula, permitindo a inspeção do estado atual do contexto

celular. Também, são previstos serviços que possibilitam a tradução dos dados sensorados para contextualizados, independente do tipo de aplicação, através do uso de um *Reasoner* para inferências e *queries* em substituição aos algoritmos e estruturas de dados específicos por tipo de aplicação. Assim, são minimizados os aspectos de personalização das aplicações existentes no atual mecanismo de sensibilidade ao contexto do middleware EXEHDA.

Referências

- [1] I. Augustin. Abstrações para uma Linguagem de Programação visando Aplicações Móveis Conscientes do Contexto em um Ambiente de Pervasive Computing. 2004. 193p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [2] I. Augustin and A. Yamin and L. Silva and R. Real and G. Frainer and C. Geyer. ISAMadapt: Abstractions and Tools for Designing General-Purpose Pervasive Applications. Software - Practice and Experience, 2006.
- [3] G. Chen and D. Kotz. A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research., Dept. of Computer Science, Dartmouth College, 2000.
- [4] H. Chen. An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-Aware Systems. 2004. 129p. Tese (Doutorado) - University of Maryland.
- [5] H. Chen, T. Finin, A. Joshi. An ontology for context-aware pervasive computing environments. The Knowledge Engineering Review, 18: 197-207 Cambridge University Press, 2003.
- [6] A. K. Dey. Providing Architectural Support for Building Context-Aware Applications. Ph.D. thesis, Georgia Institute of Technology, Nov. 2000.
- [7] D. Fensel. Ontologies: Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce. Springer - Verlag, Berlin, 2000.
- [8] D. Fensel and W. Wahlster and H. Lieberman and J. Hendler. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press, 2005.
- [9] M. Fernández and A. Gómez-Pérez and N. Juristo. Methontology: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. In: National Conference on Artificial Intelligence (AAAI) Spring Symposium On Ontological Engineering, Stanford, EUA. Anais... AAAI press, 1997. p.33-40.
- [10] T. Gruber. Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition, p. 199-220, 1993.
- [11] T. Gu and H. Pung and D. Zhang. A Middleware for Building Context-Aware Mobile Services. In: IEEE VEHICULAR TECHNOLOGY CONFERENCE, Milão, Itália. Proceedings... IEEE Press, 2004.
- [12] K. Henriksen and J. Indulska. Developing context-aware pervasive computing applications: Models e approach. Workshop on Pervasive Computing. Viena, 2001.
- [13] P. Korpipää and J. Mäntyjävi and J. KELA and H. Keränen and E. Malm. Managing Context Information in Mobile Devices. IEEE Pervasive Computing, [S.l.], 2003.
- [14] B. McBride. Jena: A Semantic Web Toolkit, IEEE Internet Computing, 6(6):55-59, 2002.
- [15] J. Park, S. Hunting. XML Topic Maps: Creating and Using Topic Maps for the Web, volume ISBN 0-201-74960-2. Addison Wesley. 2003.
- [16] M. Roman and C. Hess and R. Cerqueira and A. Ranganat and R. Campbell and K. Nahrstedt. Gaia: A Middleware Infrastructure to Enable Active Spaces. IEEE Pervasive Computing, Outubro 2002.
- [17] B. Schilit and N. Adams and R. Gold and M. TSO and R. Want. The ParcTab mobile computing system. In: Workshop on Workstation Operating Systems (WWOS-IV), 1993, Napa, USA. p. 34-39.
- [18] B. Schilit and M. Theimer. Disseminating Active Map Information to Mobile Hosts. IEEE Network, 1994.
- [19] A. Seaborne. RDQL - A Query Language for RDF. <http://www.w3.org/Submission/RDQL/>. Acesso em junho de 2007.
- [20] R. Want and A. Hopper and V. Falcão and J Gibbons. The Active Badge Location System. ACM Transactions on Information Systems, 1992.
- [21] M. Weiser. The Computer for the 21st Century. Scientific American, v.3, n.265, p.94-104, September 1991.
- [22] A. Yamin and I. Augustin and J. Barbosa and L. Silva and R. Real and C. Geyer. Towards Merging Context-Aware, Mobile and Grid Computing. International Journal of High Performance Computing Applications, Londres, v.17, n.2, p.191-203, 2003.
- [23] A. Yamin. Arquitetura para um Ambiente de Grade Computacional Direcionado às Aplicações Distribuídas, Móveis e Conscientes do Contexto da Computação Pervasiva. 2004. 195p. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- [24] A. Yamin and I. Augustin and J. Barbosa and L. Silva and R. Real and A. Schaffer Filho and C. Geyer. EXEHDA: Adaptive Middleware for Building a Pervasive Grid Environment. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications - Self-Organization and Autonomic Informatics, V. 135, p. 203-219. 2005.
- [25] A. Yamin, I. Augustin, L. da Silva, R. Real, C. Geyer. EXEHDA middleware: Aspects to Manage the ISAM Pervasive Environment. In: XXV International Conference of the Chilean Computer Science Society, Valdivia, Chile, nov., 2005.