

Um *Framework* para o Gerenciamento de Aplicações Direcionadas à Medicina Ubíqua*

Sérgio L. Rodrigues¹, Renato M. Dilli¹, Nelsi Warken², Luthiano R. Venecian³,
João L. B. Lopes^{1,6}, Iara Augustin⁵, Adenauer C. Yamin^{3,4}, Claudio F. R. Geyer⁶

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul)

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

³Universidade Católica de Pelotas (UCPel)

⁴Universidade Federal de Pelotas (UFPEL)

⁵Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

⁶Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

{sergio, dilli, jlopes_cavg}@ifsul.edu.br, nelsi@cpact.embrapa.br
august@inf.ufsm.br, {venecian, adenauer}@ucpel.tche.br, geyer@inf.ufrgs.br

Abstract. *Ubiquitous medicine aims to provide healthcare services at any time, without restriction of location, enhancing the mobility of health professionals. Considering this premise, in this paper we propose a framework that integrates sensors and computing devices (mobile or fixed) in a ubiquitous environment, providing context-awareness service. This framework, called uMED, and their target applications include the monitoring of patient's vital signs and the possibility of health professionals remotely control medical equipments. To evaluate the uMED, we present a case study related to clinical monitoring of patients.*

Resumo. *A medicina ubíqua objetiva prover serviços de saúde a qualquer momento, sem restrição de localização, melhorando a mobilidade dos profissionais de saúde. Considerando essa premissa, propomos nesse artigo uma infraestrutura que integra sensores e dispositivos computacionais (móveis ou fixos) em um ambiente ubíquo, provendo serviços de sensibilidade ao contexto. Esse framework, denominado uMED, e suas respectivas aplicações alvo contemplam o monitoramento de sinais vitais de pacientes e a possibilidade dos profissionais de saúde controlarem remotamente equipamentos médicos. Para avaliar o uMED, apresentamos um estudo de caso direcionado ao acompanhamento clínico de pacientes.*

1. Introdução

A computação ubíqua (ubicomp) prevê acesso a sistemas de informação, independente de tempo, localização e equipamento. Essa premissa vem sendo materializada pela disseminação de dispositivos portáteis, com acesso a redes sem-fio. Nesse sentido, o uso da ubicomp vem sendo potencializado em diversas áreas do mundo real, ampliando a usabilidade das aplicações tradicionais. Na área médica, diversas atividades podem ser atendidas por aplicações ubíquas, como telemonitoramento, diagnósticos remotos, segunda opinião, juntas médicas, *Home Care*, sistemas de prontuário eletrônico, etc. Esse

*trabalho parcialmente financiado pelo projeto Pertmed-Finep/MCT

cenário caracteriza uma integração entre medicina e ubicomp, e vem sendo denominado de medicina ubíqua [Diniz 2009].

Uma das motivações centrais para medicina ubíqua é a necessidade de ambientes computacionais que ofereçam suporte à mobilidade dos profissionais de saúde. A mobilidade dos médicos, especialmente, é algo inerente à própria profissão. Além desse caráter nômade do médico, a atividade médica é bastante fragmentada, estando sujeita a interrupções durante sua execução, uma vez que médicos passam pouco tempo em cada local ou atividade. Dessa forma, mecanismos que facilitem a continuidade das atividades durante seus constantes deslocamentos tendem a melhorar a produtividade dos mesmos [Tentori and Favela 2008].

A construção de aplicações ubíquas é uma tarefa complexa com custo elevado para desenvolvimento, gerenciamento e manutenção. Uma série de funcionalidades devem ser providas, abrangendo desde a aquisição de informações de contexto, a partir de um conjunto de fontes heterogêneas e distribuídas, até a representação dessas informações, armazenamento, processamento e raciocínio para seu uso em tomadas de decisão. Para reduzir essa complexidade, tem-se observado o emprego de infra-estruturas de suporte às aplicações, que passam a ser responsáveis pelo provimento destas funcionalidades [Costa et al. 2010].

Considerando esse cenário, apresentamos nesse artigo o *framework* uMED (*ubiquitous MEDicine*) [Rodrigues 2011] que objetiva suprir as funcionalidade de gerenciamento de aplicações direcionadas à medicina ubíqua. O uMED está inserido nos esforços de pesquisa do projeto PERTMED [PERTMED 2007] e desenvolve-se no âmbito do grupo de pesquisa G3PD do PPGInf/UCPel.

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta a arquitetura de software prevista para o uMED. A seção 4 destaca um estudo de caso. A seção 3 sintetiza os trabalhos relacionados e os compara com o uMED. Por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Arquitetura de Software

O *framework* uMED tem como premissa tratar as informações adquiridas por sensores, notificar as partes interessadas conforme as regras de tratamento de contexto utilizadas pelas diferentes aplicações, e possibilitar que os sensores e/ou os atuadores possam ser ativados, desativados, configurados e consultados a qualquer hora de forma ubíqua, além de permitir alterações das regras de tratamento de contexto durante a execução das aplicações.

O *framework* uMED utiliza o ambiente ubíquo provido pelo *middleware* EXEHDA. E explora as funcionalidades do subsistema de reconhecimento e adaptação ao contexto do mesmo [Venecian et al. 2010].

A arquitetura de software prevista para o uMED é apresentada na Figura 1. Essa arquitetura é composta por cinco módulos: Gerente de Atuação, Gerente de Aplicações, Gerente de Borda, Gerente de Comunicação e Servidor de Contexto. Os serviços da arquitetura são autônomos e cooperantes e possibilitam a coleta de dados, assim como o controle da ativação, desativação e configuração de atuadores. A arquitetura conta com diversos repositórios de dados, os quais são atualizados e/ou consultados durante a operação

da mesma.

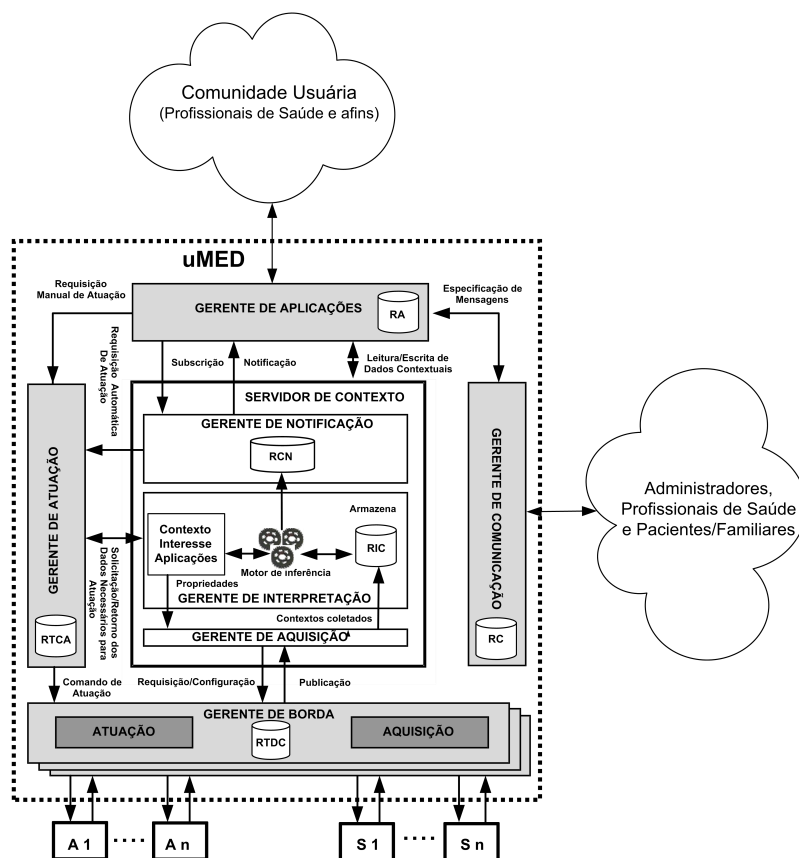


Figura 1. Arquitetura de Software do uMED

A arquitetura de software é alimentada por contextos de interesse das diversas aplicações, nos quais estão definidas as informações contextuais a serem adquiridas pelos sensores e processadas (traduzidas e deduzidas) pela arquitetura, bem como os comandos empregados no controle dos atuadores. Essas especificações são relacionadas por aplicação, componente e adaptador, considerando os seguintes parâmetros e regras:

- instanciação dos atuadores e sensores que participam das aplicações;
- parâmetros operacionais para controle da ativação, da desativação, bem como da configuração dos sensores e/ou atuadores;
- especificação do número máximo de registros pelos sensores a serem armazenados no repositório contextual. Ultrapassando este número, os valores mais antigos coletados pelos sensores são apagados;
- regras de deduções sobre os dados adquiridos pelos sensores;
- regras de deduções sobre os dados utilizados para controle dos atuadores (dados de ativação).

2.1. Gerente de Atuação

O Gerente de Atuação é responsável pelo controle da ativação, desativação e configuração dos atuadores empregados pelas aplicações gerenciadas pelo *framework*. Esse gerente trabalha com duas abordagens distintas: Atuação Manual e Atuação Automática.

Compreende-se como uma atuação manual aquela que é disparada pelo usuário da aplicação a qualquer instante, por exemplo, um profissional de saúde deseja ativar um dispositivo qualquer ou alterar algum parâmetro operacional do mesmo. Os dispositivos podem ser de gerência ambiental, tais como: aquecedores, umidificadores, alarmes, luzes de sinalização, bem como relacionados a demandas médicas: aparelho de oxigênio, bomba de infusão, ventilador pulmonar, dentre outros.

A atuação automática é disparada através de notificações produzidas pelo Servidor de Contexto, ou seja, o processamento de um determinado contexto de interesse pode implicar a ativação e/ou desativação e/ou configuração de um dispositivo. Os parâmetros operacionais necessários para atuação são definidos no próprio Servidor de Contexto.

Para tratamento da perda de conexão entre o Gerente de Atuação e o Gerente de Borda, existe um mecanismo de bufferização dos comandos emitidos (RTCA - Repositório Temporário de Comandos de Atuação - Vide Figura 1), o qual se vale de um parâmetro do tipo *time-to-live* para avaliar quais dos comandos ainda tem sentido serem tratados pelo Gerente de Borda.

2.2. Gerente de Aplicações

O Gerente de Aplicações é responsável por disponibilizar ao usuário final as aplicações que estão sendo gerenciadas pelo *framework* uMED. O Gerente de Aplicações trabalha com duas abordagens distintas: (i) componentes de software das aplicações assíncronos ao contexto; (ii) componentes de software das aplicações síncronos ao contexto. Ambas abordagens possuem características complementares na definição das aplicações ubíquas do uMED.

Os componentes de software das aplicações síncronos ao contexto são destinados ao monitoramento de sinais vitais de pacientes ou do ambiente relacionado aos mesmos, emitindo de forma automatizada, diferentes níveis de alertas, em função dos dados coletados, para os profissionais de saúde. Por sua vez, os componentes assíncronos ao contexto viabilizam as seguintes funcionalidades: (i) manipulação instantânea de sensores e atuadores; (ii) atuação no ambiente ubíquo através de alterações nas configurações operacionais dos atuadores; (iii) concessão ao usuário da aplicação da possibilidade de criar relatórios personalizados.

2.3. Gerente de Borda

O Gerente de Borda é responsável pelo primeiro processamento dos dados capturados pelos sensores, bem como o tratamento final das informações utilizadas para controle dos atuadores. Os dados adquiridos pelos sensores passam por várias etapas, nas quais são feitos tratamentos em níveis crescentes de abstração, culminando com a persistência dos mesmos no RTDC (Repositório Temporário de Dados Coletados - Vide Figura 1). O dado persistido é publicado no Servidor de Contexto para ser analisado [Santos et al. 2011].

A arquitetura contempla que os contextos possam ser capturados por diferentes Gerentes de Borda, cada um deles com um conjunto particular de sensores e/ou atuadores, com regimes operacionais individualizados. Esses Gerentes de Borda podem se valer da Internet e operar em diferentes instituições.

O controle dos atuadores coordenado pelo Gerente de Atuação, emprega os parâmetros operacionais especificados nos contextos de interesse das aplicações.

No Gerente de Borda, sensores e/ou atuadores podem ser implementados por meio de arquivos de configuração independentes. Ficando facilitadas desta forma as operações de adição e/ou substituição de sensores e atuadores.

2.4. Gerente de Comunicação

O Gerente de Comunicação centraliza a relação do uMED com os diferentes segmentos de usuários através de interfaces pró-ativas. Seu objetivo é notificar informações dos pacientes que estão sob monitoramento, através de mecanismos de uso rotineiro pelos envolvidos.

Com este serviço é possível notificar os profissionais de saúde, pacientes e seus familiares através de três tipos de mensagens: (i) Mensagens instantâneas através da rede celular, SMS - *Short Message Service* (on-line); (ii) Mensagens através do Google Talk (on-line); (iii) Mensagens por e-mail (off-line).

Com intuito de caracterizar para o profissional de saúde responsável o estado das mensagens enviadas, o Gerente de Comunicação contempla um repositório (RC - Repositório de Comunicações - Vide Figura 1), no qual é registrado o sucesso ou não do envio dos três tipos de mensagem.

2.5. Servidor de Contexto

O Servidor de Contexto é responsável pelo processamento das informações de contexto, empregando suporte semântico na execução destas funcionalidades [Venecian et al. 2010].

No uMED, de forma específica, o Servidor de Contexto realiza as seguintes tarefas: (i) receber informações de contexto do Gerente de Borda; (ii) processar as regras de deduções; (iii) notificar ao Gerente de Aplicações conforme o contexto de interesse das aplicações; (iv) interagir com Gerente de Atuação.

No Servidor de Contexto existe a possibilidade das regras de tratamento contextual serem modificadas durante a execução. Dentre outros aspectos este perfil operacional garante uma operação ininterrupta, o que se mostra oportuno, considerando que um mesmo Servidor de Contexto pode atender simultaneamente a várias aplicações.

3. Estudo de Caso

O estudo de caso empregado para explorar o suporte oferecido pelo uMED consiste em uma aplicação direcionada à área de medicina ubíqua denominada ACP (Acompanhamento Clínico de Pacientes), cujas funcionalidades são típicas desta área. Para ter liberdade na manipulação dos dados durante os testes é utilizada uma base de dados sensoriais criada pelo G3PD especificamente para este estudo de caso.

A premissa buscada é qualificar o acompanhamento clínico dos pacientes, que não estejam internados em UTI (Unidade de Tratamento Intensivo), com o intuito de aumentar o período de tempo que o paciente permaneça sob cuidado e evitar deslocamentos desnecessários pelos profissionais de saúde para saber o estado em que se encontra um paciente. Nesta perspectiva, os objetivos contemplados na aplicação ACP são:

- exibir dados de pacientes adquiridos dinamicamente por mecanismo de coleta de sinais vitais;
- emitir, de forma automatizada, diferentes níveis de alertas, em função dos dados coletados, para os profissionais de saúde;
- integrar o serviço de alertas da aplicação a rede aberta de comunicação *Google Talk*, SMS e e-mail;
- prover possibilidade de uso, tanto a partir de dispositivo móveis, como de mesa;
- permitir acesso ubíquo ao histórico dos dados coletados dos pacientes pelos profissionais de saúde;
- permitir acesso ubíquo ao histórico dos dados de atuação nos pacientes pelos profissionais de saúde;
- atuar remotamente em dispositivos médicos que estejam associados ao paciente.

A forma como está organizada a aplicação ACP permite sua integração aos demais sistemas de informações hospitalares. As informações cadastrais são de quatro naturezas: (i) dados cadastrais de pacientes; (ii) dados dos profissionais de saúde (médicos e enfermeiros); (iii) dados adquiridos dinamicamente pela rede de sensores de sinais vitais de pacientes; (iv) dados de ativação de atuadores.

Os profissionais de saúde, se desejarem, podem disparar o Módulo Aquisição do Gerente de Borda e capturar em determinado instante os dados correspondentes aos sinais vitais dos pacientes, bem como ativar o Módulo Atuação do Gerente de Borda e atuar remotamente em dispositivos associados ao tratamento do paciente. Este procedimento manual não interfere nas rotinas automáticas de captura de dados.

Os sinais capturados para este estudo de caso são frequência cardíaca, pressão arterial e temperatura corporal. Em função dos valores dos sinais coletados são produzidos diferentes níveis de alertas aos profissionais de saúde. Dependendo do nível de alerta é disponibilizada a opção de envio de mensagens aos profissionais de saúde ou, ainda, no caso de alerta máximo, o envio incondicional de mensagens.

Na aplicação ACP é possível monitorar de forma pró-ativa os pacientes, observando os últimos alertas disparados (vide Figura 2). Os níveis de alerta são classificados pela cor do alerta, da seguinte forma: (i) Alerta Verde: sinais vitais normais. Todos os sinais monitorados se encontram na faixa aceitável; (ii) Alerta Amarelo: sinal vital irregular. Um dos sinais monitorados se encontra em uma faixa irregular; (iii) Alerta Vermelho: sinais vitais críticos. Dois ou mais sinais monitorados se encontram em uma faixa irregular, este alerta é considerado o alerta máximo.

Os sensores associados ao paciente podem ser configurados através de uma interface disponibilizada aos profissionais de saúde. Através da mesma são selecionados o tipo de sensor e determinados seus parâmetros operacionais.

Com as informações armazenadas dos sensores e atuadores é possível a geração de relatórios de histórico clínico, proporcionando estudos mais aprofundados dos casos clínicos dos pacientes (vide Figura 3).

Na aplicação ACP é possível configurar o envio de notificações aos profissionais de saúde para cada nível de alerta. São explorados os três tipos de notificações existentes, sendo que no alerta vermelho é obrigatória a escolha de pelo menos um tipo.



Figura 2. Monitoramento Pró-ativo de Pacientes

4. Trabalhos Relacionados

No levantamento do estado-da-arte foram considerados projetos que constituem uma parcela representativa do que vêm sendo desenvolvido nos últimos anos para atender as demandas da medicina ubíqua, e cuja arquitetura de software contempla o emprego de um middleware. Os projetos ABC [Pedersen et al. 2006], Awareness [Wegdam 2005], UbiDoctor [Diniz 2009] e ClinicSpace [da Silva 2010] são sintetizados na tabela 1. A revisão sistematizada destes projetos, foi central na definição das principais características previstas na modelagem do uMED.

Tabela 1. Síntese dos Trabalhos Relacionados

Características	ABC	Awarenes	UbiDoctor	ClinicSpace
Mobilidade Remota		X	X	X
Adaptação de Conteúdo	X		X	X
Sensibilidade ao Contexto	X	X	X	X
Processamento Semântico				X
Intervenção no Ambiente Ubíquo				X
Notificação Automática	X	X		X
Descoberta de Recursos	X	X		
Personalização de Regras				X

A concepção do uMED prevê uma arquitetura que contempla serviços cooperantes para atender as tarefas de monitoramento de dados contextuais, de atuação no meio e emissão de alertas aos profissionais de saúde. Esse modelo arquitetural não é encontrado nos projetos pesquisados, os quais, ao contrário do uMED, empregam serviços específicos no atendimento das diferentes funcionalidades.



Figura 3. Relatório de Histórico Clínico

Assim como o uMED, os demais projetos estudados contemplam uma arquitetura para suporte à sensibilidade ao contexto, modelada para ser expansível, tanto no que diz respeito a captura de dados do ambiente ubíquo, bem como quanto aos possíveis consumidores de contextos de interesse.

Nos projetos pesquisados, ao contrário do uMED, não existem mecanismos para criação de relatórios personalizados pelos usuários, possibilitando a geração de dados para estudo dos casos clínicos.

Ao contrário do uMED, os trabalhos relacionados não facultam a criação de estratégias que permitam a inserção ou remoção de sensores e/ou atuadores de forma que sejam abstraídas as especificidades dos mesmos.

O uMED disponibiliza um mecanismo de tolerância a falhas de comunicação nos gerentes de borda, o qual persiste os dados adquiridos pelos sensores, garantindo sua disponibilização ao servidor de contexto quando forem restabelecidas as comunicações. Somente o projeto Awareness possui um mecanismo similar de tolerância a falhas nos sensores.

O uMED disponibiliza uma interface para os profissionais de saúde especificarem o recebimento de alertas através de mensagens, esta interface permite ao profissional de saúde determinar as suas preferências quanto aos tipos de mensagens. Apenas o projeto ClinicSpace viabiliza funcionalidade análoga ao envio de alertas através de mensagens por e-mail.

Todos os projetos relacionados e o uMED possuem funcionalidades que permitem ao usuário realizar leitura instantânea de sensores e especificar os parâmetros operacionais para publicação dos sensores pertencentes as aplicações.

O uMED permite a especificação de características funcionais que possibilitam ao usuário realizar alterações de regras em tempo de execução, manipular de forma instantânea os atuadores, promover alteração nos parâmetros de configuração dos atuadores remotamente e especificar os parâmetros operacionais para configuração dos atuadores pertencentes as aplicações. Estas características estão presentes somente no projeto ClinicSpace.

5. Considerações Finais

Com o intuito de colaborar para superar alguns dos desafios identificados para a área de medicina ubíqua, propomos um *framework* para gerenciamento de aplicações ubíquas sensíveis ao contexto direcionadas a esta área. Consideramos que o emprego do *framework* uMED em um sistema de apoio a vida pode possibilitar uma diminuição no nomadismo e fragmentação de atividades exercidas pelos profissionais de saúde.

A arquitetura de software proposta contempla o monitoramento dos sinais vitais do paciente e/ou condições do seu ambiente, tendo a possibilidade de gerar alertas conforme regras definidas pelos próprios profissionais de saúde, bem como produzir relatórios personalizáveis, tanto com informações gerenciais como destinadas a estudo de casos clínicos. As regras de monitoramento podem ser alteradas em tempo de execução. Entende-se por tempo de execução a flexibilidade da arquitetura de software em reconfigurar dinamicamente as regras para manipulação e processamento das informações contextuais.

O uMED ainda possibilita a atuação no ambiente. Com base nos dados obtidos através do monitoramento, o profissional de saúde pode decidir por promover o acionamento, a configuração ou o desligamento de algum equipamento ou dispositivo.

Resumidamente, entendemos que a contribuição central do trabalho consiste na concepção de um *framework* direcionado a aplicações da medicina ubíqua, que trata de modo sinérgico quatro frentes: (i) a aquisição de dados monitorados; (ii) a atuação no ambiente ubíquo; (iii) a gerência dos diferentes níveis de alerta, conforme processamento das regras contextuais; (iv) a geração de dados para estudo dos casos clínicos.

Na continuidade da pesquisa do uMED destacam-se os seguintes aspectos: (i) ampliar o estudo de padrões de sensores e atuadores no desenvolvimento de aplicações direcionados a área médica; (ii) utilizar um sistema especialista no processamento de regras contextuais no Servidor de Contexto; (iii) reavaliar os protocolos e procedimentos empregados na troca de informações entre os Gerentes.

Referências

- Costa, C. A., Silva, L. C. d., Barbosa, J. L. V., Yamin, A. C., and Geyer, C. F. R. (2010). A primer of ubiquitous computing challenges and trends. In Neto, F. M. M. and Neto, P. F. R., editors, *Designing Solutions-Based Ubiquitous and Pervasive Computing: New Issues and Trends*, volume 1, chapter 15, pages 282–303. IGI Global Publishing, Hershey.

- da Silva, F. L. (2010). ClinicSpace: modelagem de uma ferramenta-piloto para definição de tarefas clínicas em um ambiente de computação pervasiva baseado em tarefas e direcionado ao usuário-final. Dissertação de mestrado em ciência da computação, PPGI/UFSM, Santa Maria, RS.
- Diniz, J. (2009). *UbiDoctor: Arquitetura de Serviços para Gerenciamento de Sessão e Adaptação de Conteúdo em Ambientes de Medicina Ubíqua*. Tese (doutorado em ciência da computação), Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife, PE.
- Pedersen, J. B., Mogensen, M., and Bardram, J. E. (2006). The abc adaptive fusion architecture. *Proceedings of the 4th international workshop on Middleware for Pervasive and Ad-Hoc Computing (MPAC 2006)*, 182.
- PERTMED (2007). Sistema de telemedicina móvel. Disponível em: <<http://olaria.ucpel.tche.br/pertmed/>>. Acesso em: março de 2011.
- Rodrigues, S. L. (2011). umed: Uma arquitetura para desenvolvimento de software direcionada à medicina ubíqua. Dissertação de mestrado em ciência da computação, PPGINF/CPOLI/UCPEL, Pelotas, RS.
- Santos, I., Rodrigues, S., Venecian, L., Lopes, J., and Yamin, A. (2011). Exehda-gb: Um mecanismo para captura e modificação do estado de contextos na computação ubíqua. In *Anais da 11ª Escola Regional de Alto Desempenho*, Porto Alegre, RS.
- Tentori, M. and Favela, J. (2008). Activity-aware computing for healthcare. *IEEE Pervasive Computing*, 7(2):51–57.
- Venecian, L. R., Lopes, J. L. B., Augustin, I., Yamin, A. C., and Geyer, C. (2010). Um mecanismo para sensibilidade ao contexto com suporte semântico na computação ubíqua. In *XXXVI Latin American Informatics Conference - CLEI*, Asuncion, Paraguay.
- Wegdam, M. (2005). Awareness: A project on context aware mobile networks and services medical systems international. In *the Proceedings of the 14th Mobile and Wireless Communications Summit*, pages 19–23.