

# Computação Ubíqua Aplicada à Acessibilidade

João Tavares, Jorge Barbosa, Cristiano Costa  
Unisinos / PIPCA / Mobilab  
Av. Unisinos, 950  
São Leopoldo – RS – Brasil  
+55(51)3591-1122

{jtavares,jbarbosa,cac}@unisinos.br

Adenauer Yamin  
UCPel / PPGINF  
Rua Felix da Cunha, 412  
Pelotas – RS – Brasil  
+55(53)2128-8025

adenauer@ucpel.tche.br

Rodrigo Real  
Freedom Indústria  
Rua Bento Martins, 260  
Pelotas – RS – Brasil  
+55(53)3284-0600

rodrigo@freedom.ind.br

## ABSTRACT

This paper presents a model designed to provide ubiquitous accessibility. The project supports accessibility for People With Disability (PWD) and elderly in various situations of their everyday life. Offering context awareness, user profiles and trails management, the model is a base for applying assistive technologies that fulfills accessibility needs. Moreover, in the proposed model, we devised an ontology. Besides the benefits of intrinsic semantic representation, the use of an ontology fosters future integration with others solutions. We also present a case study based on a prototype, which was developed to evaluate the model. This assessment used a smart wheelchair, operated by a paraplegic person, which is under development at University of the Sinos Valley (Unisinos).

## Categories and Subject Descriptors

C.2.4 [Computer-Communication Networks]: Distributed systems; C.3 [Special Purpose and Application-Based Systems]: Real-time and embedded systems; H.0 [Information Systems]: General; J.7 [Computer Applications]: Computers in others systems, Command and control.

## General Terms

Design, Experimentation, Human Factors, Verification.

## Keywords

Assistive technology, context awareness, elderly, people with disability, ubiquitous accessibility, user profiles.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil existem 24,5 milhões de pessoas com deficiência (PCDs), ou seja, 14,5% do total da população [7]. Esses cidadãos enfrentam dificuldades no dia a dia devido à falta de recursos para acessibilidade. Eles precisam de suporte para que possam efetivamente exercer a cidadania plena.

Assim como os PCDs, os idosos brasileiros são numerosos, chegando a quase 15 milhões, o equivalente a 8,6% da população [7]. A previsão para o ano 2025 é de que cheguem a 30 milhões, representando o equivalente a 15% da população do Brasil [33]. Esses segmentos sociais necessitam de soluções tecnológicas práticas que atendam suas necessidades especiais.

Embora a legislação garantidora dos direitos para essa parcela da sociedade tenha evoluído nos últimos anos [23, 24], muito ainda

precisa ser feito, principalmente pela perspectiva tecnológica [38].

Por sua vez, a computação ubíqua [31, 41] tem sido amplamente aplicada em diversas áreas, tais como educação [5], comércio [13] e saúde [19]. A acessibilidade ubíqua (*U-Accessibility*) é recente, destacando-se particularmente as pesquisas de Vanderheiden [38], diretor do *Trace R&D Center* [37].

De acordo com Vanderheiden [38], assim como a computação tradicional está migrando da estação de trabalho pessoal para a computação ubíqua e computação nas nuvens (*cloud computing*), deve-se pensar em acessibilidade sob este novo paradigma, superando a mentalidade de simplesmente “adaptar o computador à nossa frente”.

Vanderheiden [38] também recomenda a adoção de padrões abertos através de um acesso público global e o uso de tecnologias micro-assistivas (*micro-AT*).

Alguns trabalhos [1, 20] indicam que um dos assuntos-chave para a promoção da acessibilidade está no projeto de interfaces de usuário especiais. Ou seja, os autores afirmam que o projeto de interfaces acessíveis e adaptáveis é crucial quando necessita-se de interação entre o ambiente e o usuário.

Nos últimos seis anos, o laboratório de pesquisa e desenvolvimento em computação móvel (Mobilab<sup>1</sup>), na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos<sup>2</sup>), vem pesquisando diversos tópicos relacionados à computação ubíqua. Em relação à aplicação da computação ubíqua em prol da acessibilidade, a principal atividade tem sido o desenvolvimento do modelo Hefestos.

Hefestos é um modelo integrado, englobando perfil do usuário, gerenciamento de trilhas e sensibilidade ao contexto. Outrossim, utiliza-se uma ontologia projetada para apoiar a acessibilidade ubíqua, proporcionando a interoperabilidade requerida por soluções dessa natureza. O modelo usa ainda informações contextuais dos PCDs e idosos para promover recursos que auxiliem sua acessibilidade.

Além disso, Hefestos é um modelo que enfoca a cobertura dos diversos padrões de acessibilidade: arquitetural, comunicacional, metodológica, instrumental, programática e atitudinal [28]. Adicionalmente, o modelo permite o acesso universal e equitativo a produtos, serviços e recursos para pessoas com deficiência, idosos e seus familiares.

---

<sup>1</sup> Laboratório de pesquisa e desenvolvimento em computação móvel – Mobile Computing Lab (Mobilab) <http://inf.unisinos.br/~mobilab>

<sup>2</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) <http://www.unisinos.br>.

O artigo está organizado em cinco seções. A seção 2 descreve o modelo Hefestos e a ontologia para acessibilidade. A terceira seção apresenta o protótipo *Hefestos Wheelchair*. Esta seção também descreve o estudo de caso envolvendo a aplicação do Hefestos em uma cadeira de rodas inteligente para auxiliar um cadeirante paraplégico. A seção 4 discorre sobre os trabalhos relacionados, comparando-os com o presente. Finalmente, na seção 5 apresentam-se conclusões e trabalhos futuros.

## 2. O MODELO HEFESTOS

O modelo Hefestos<sup>3</sup> concentra-se na área da acessibilidade ubíqua. O principal objetivo do modelo é atender as necessidades de acessibilidade dos PCDs e idosos nos vários contextos de seus cotidianos. Baseando-se no perfil do usuário [38], gerenciamento de trilhas [34] e sensibilidade ao contexto [4, 10]. O Hefestos busca proporcionar autonomia e independência aos usuários de modo mais transparente possível, empregando para isto procedimentos disparados automaticamente a partir de suas preferências (perfil) e de um conjunto de mecanismos para sensibilidade ao contexto.

Analisando-se as soluções disponíveis para acessibilidade, observou-se que estas enquadram-se geralmente em duas categorias: acessibilidade *web* [44] e tecnologias assistivas, também conhecidas como *softwares* aplicativos específicos para acessibilidade [28]. No primeiro caso, de modo geral, são apresentadas diretrizes e recomendações para confecção de layout de *sites* e *softwares*. Na segunda abordagem existem soluções que facilitam o uso do computador ou outros dispositivos eletrônicos, de acordo com a deficiência do usuário, para uma finalidade específica. Por exemplo, nesta categoria incluem-se recursos de acessibilidade dos sistemas operacionais ou aplicativos dedicados como leitores de tela (e.g. DOSVOX [12]) ou tradutores de língua de sinais (e.g. Rybená [30]).

Todavia, identificaram-se soluções para monitoramento autônomo de pacientes idosos [40], gerenciamento de ambientes inteligentes [2] e *middlewares* [19]. Não obstante, constatou-se ausência de soluções que possibilitem ao PCD (ou idoso) a liberdade de deslocamento, em diversos contextos diferentes, assistido por tecnologias que amparem suas necessidades de acessibilidade.

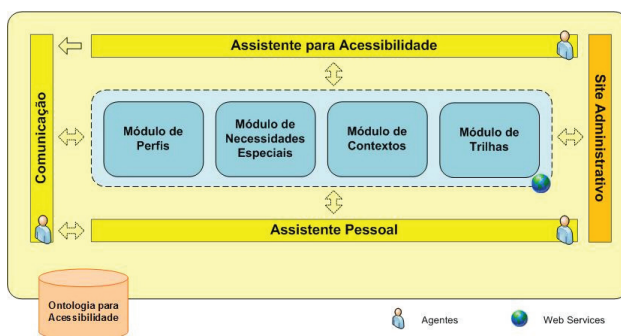


Figura 1. Arquitetura do modelo Hefestos

Salienta-se que todos os elementos do modelo Hefestos, especialmente o *site* administrativo, foram desenvolvidos

<sup>3</sup> Deus da mitologia grega com deficiência, cuja grafia original é Hēphaistos.

segundo as diretrizes para acessibilidade de conteúdo (WCAG 2.0), da W3C [44].

### 2.1 Arquitetura do modelo

A arquitetura do modelo é composta de oito componentes. A base do modelo Hefestos, apresentada na Figura 1, consiste de quatro módulos, que empregam a tecnologia de *web services*: *perfil do usuário*, *necessidades especiais*, *contextos e trilhas*. Além disso, o modelo possui três agentes de *software*, que compõem um sistema multi-agentes (SMA) [25]: *assistente para acessibilidade*, de *comunicação* e *assistente pessoal*. O modelo também possui um *site* administrativo. A arquitetura está detalhada nas seções subsequentes.

#### 2.1.1 Módulo de perfil do usuário

O módulo de perfil do usuário gerencia as informações do PCD ou idoso. Este módulo armazena todas as entradas do usuário, como informações pessoais, preferências e suas relações com as necessidades especiais do mesmo.

Este módulo é utilizado quando o agente assistente para acessibilidade realiza inferências. De acordo com o perfil do usuário e seu contexto, recursos para acessibilidade são sugeridos.

#### 2.1.2 Módulo de necessidades especiais

O módulo de necessidades especiais objetiva prover uma referência padrão para os demais componentes do modelo. O *site* administrativo permite o gerenciamento das necessidades especiais de forma hierarquizada.

Neste módulo, as informações estão organizadas de forma a contemplar os diferentes níveis de necessidades especiais (incapacidade, deficiência ou desvantagem) de acordo com a ontologia proposta. Além disso, este módulo serve como base para a categorização do perfil do usuário, no módulo de perfis e dos contextos para acessibilidade, no módulo de contextos.

#### 2.1.3 Módulo de contextos

Este módulo é responsável pelo armazenamento e manutenção dos contextos. O módulo de contextos é dividido em seis componentes: (1) *contexto de localização* (detalhes da localização); (2) *contexto físico* (configurações do dispositivo e da conexão); (3) *contexto temporal* (eventos de acordo com o horário); (4) *contexto social* (pessoas e recursos); (5) *contexto de necessidades especiais* (necessidades especiais atendidas); (6) *contexto para acessibilidade* (contexto de acessibilidade global).

O componente 6, contexto para acessibilidade, engloba os contextos temporal, social e de necessidades especiais. Este módulo disponibiliza, para o agente assistente para acessibilidade, informações contextuais. O agente assistente pessoal sugere alternativas para acessibilidade dos PCDs ou idosos de acordo com seus perfis e informações contextuais.

O módulo de contextos permite a composição de contextos dinâmicos, que podem ocorrer em situações onde pessoas ou recursos para acessibilidade podem estar disponíveis por certos períodos de tempo-espço. Por exemplo, pode-se dispor de ônibus adaptados para necessidades especiais em certas regiões em horários específicos. Assim como, a disponibilidade de intérpretes, agentes de saúde ou outras pessoas preparadas para oferecer assistência em locais / horários específicos ou mesmo outras pessoas com deficiência que possuam limitações semelhantes.

### 2.1.4 Módulo de trilhas

Uma trilha é uma sequência de contextos visitados por um PCD ou idoso durante um período de tempo. Esta sequência representa a história do usuário. As trilhas do usuário são armazenadas neste módulo, estabelecendo uma base de dados dos hábitos dos usuários, tais como caminhos e recursos usados. Estes dados servem de referência para extração de informações auxiliares relevantes para o assistente para acessibilidade, tanto para o próprio usuário quanto para outros que possuem características e necessidades semelhantes.

De acordo com Silva et al. [34] sensibilidade a trilhas é um avanço da computação da sensibilidade ao contexto. Neste trabalho, Silva et al. descrevem um modelo chamado UbiTrail, para gerenciamento de trilhas em ambientes de computação móvel. Além disso, UbiTrail é capaz de gerenciar trilhas de qualquer objeto móvel.

Empregou-se o UbiTrail como base para o módulo de trilhas porque o projeto é um modelo com sensibilidade a trilhas genérico e é baseado em uma ontologia.

### 2.1.5 Agente assistente para acessibilidade

O Agente Assistente para Acessibilidade (AAA) é o principal componente do modelo Hefestos. Este componente é responsável por implementar as decisões quanto aos procedimentos de acessibilidade a serem sugeridos aos PCDs e idosos.

O AAA usa o perfil do usuário e as trilhas relacionadas para suportar a acessibilidade de acordo com o corrente contexto. Este agente, após o processamento das inferências, encaminha os recursos de acessibilidade identificados como oportunos para o agente de comunicação.

### 2.1.6 Agente assistente pessoal

O Agente Assistente Pessoal (AAP) é o agente que acompanha o PCD ou idoso em seu dispositivo móvel ou embarcado. O AAP suporta a autenticação do usuário, ou seja, sua entrada no ambiente ubíquo do Hefestos. Ele também habilita/desabilita a operação do sistema e suporta a troca de mensagens com o agente de comunicação.

O AAP foi projetado para ser instalado em *smartphones*, *tablets*, *SPOTs* [36], *Motes* [32] e outros dispositivos com acesso à internet.

### 2.1.7 Agente de comunicação

O Agente de Comunicação (AC) é responsável pela entrega de mensagens enviadas do AAA para o AAP. O AC recebe as mensagens e entrega as informações, obtidas a partir das necessidades do usuário e contextos para acessibilidade disponíveis, para os PCDs e idosos, através do AAP, imediatamente. O AC também pode trabalhar com agendamento, entregando mensagens de acordo com uma data e horário programado.

### 2.1.8 Site administrativo

O site administrativo permite gerenciar os dados armazenados no servidor do Hefestos. Através de uma interface *web*, pode-se realizar inserção, atualização e deleção dos dados. O site usa os seguintes módulos para realizar as ações requisitadas pelo usuário: (1) *módulo de necessidades especiais* (grupos de necessidades especiais e registro de necessidades especiais); (2) *módulo de perfil do usuário* (detalhes do perfil do usuário e grupos de

usuários); (3) *módulo de contextos* (contextos para acessibilidade, pessoas e eventos); (4) *módulo de trilhas* (histórico das trilhas e mapas).

## 2.2 Ontologia para acessibilidade

Com o objetivo de padronizar o acesso à informação, propõe-se uma ontologia, que é apresentada na Figura 2. A razão principal para o desenvolvimento da ontologia para acessibilidade é a possibilidade de interoperabilidade com outros sistemas e soluções. Esta ontologia foi projetada usando a *IDE Protégé* [27]. O objetivo da acessibilidade ubíqua é oferecer recursos para acessibilidade de PCDs e idosos a qualquer tempo e em qualquer lugar de acordo com suas deficiências. Para satisfazer estes requisitos, a ontologia prove três classes principais: (1) *Person*; (2) *Resource*; (3) *Disability*.

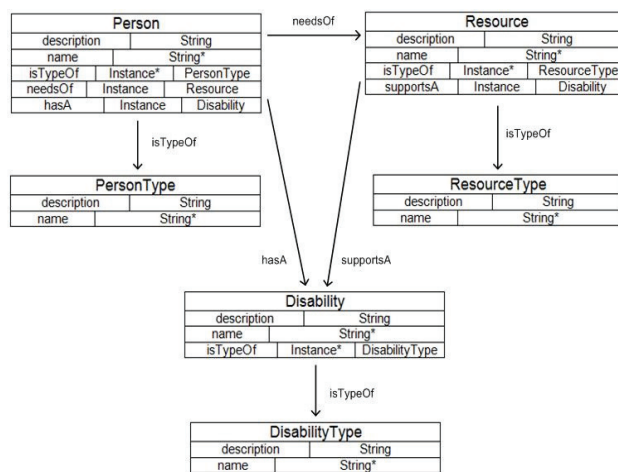


Figura 2. Ontologia para acessibilidade do Hefestos

A entidade *Person* representa o perfil do PCD e idoso. Esta classe possui o atributo *isTypeOf*, que possibilita categorizar a pessoa. O atributo *hasA* descreve a deficiência da pessoa. O atributo *needsOf* representa o relacionamento com os recursos, que suportam as necessidades da pessoa. A classe *PersonType* é uma subclasse de *Person*, que possui atributos como profissionais de saúde, pessoas com deficiência, família e empresas.

A classe *Resource* representa os recursos disponíveis para suportar a acessibilidade do PCD ou idoso. *ResourceType* é uma subclasse de *Resource*, que possui atributos como tecnologias assistivas, diretrizes, terapias, instituições, construções, etc.

A classe *Disability* representa incapacidades, deficiências ou desvantagens de PCDs ou idosos. A subclasse *DisabilityType* prove a classificação da deficiência, tal como física, auditiva, visual ou mental.

A ontologia está baseada em três referências amplamente reconhecidas: Classificação Internacional de Doenças – CID -10 [42], Classificação Internacional de Funcionalidade, Capacidade e Saúde – CIF [43] e o padrão internacional ISO 9999:2007 [18]. O principal objetivo da ISO 9999:2007 é classificar produtos e tecnologias assistivas especificamente desenvolvidas para PCDs.

A CIF é usada desde 2001 em conjunto com a CID-10 para diagnósticos médicos [43]. A inovação proporcionada pela CIF refere-se ao fato de diferenciar os conceitos de “desvantagem”

(*handicap*), “incapacidade” (*impairment*) e “deficiência” (*disability*), tendo em vista que uma deficiência pode ou não causar uma incapacidade (dependendo do indivíduo e dos recursos disponíveis) e uma incapacidade pode ou não causar uma desvantagem (dependendo do contexto social) [35].

O módulo de necessidades especiais do Hefestos foi parametrizado de acordo com a classe *Disability* da ontologia. O módulo perfil do usuário está baseado na classe *Person*. A CIF e a CID-10 foram usadas como referência para as classes *Disability* e *Person*. Além disso, o módulo de contextos utiliza recursos em sua composição. Esses recursos estão relacionados à classe *Resource* da ontologia. A classe *Resource* está baseada na terminologia disponível na ISO 9999:2007.

### 3. PROTÓTIPO E ESTUDO DE CASO

Desenvolveu-se um protótipo do modelo Hefestos como uma solução para cadeirantes. O projeto, chamado *Hefestos Wheelchair*, tem como objetivo principal o provisionamento de recursos para acessibilidade de cadeirantes, considerando o perfil de usuário e o contexto do PCD. Outra funcionalidade do protótipo é a possibilidade de controle de todas as funções de uma cadeira de rodas motorizada através de um dispositivo móvel: um painel de controle otimizado que proporciona uma interface para movimentação da cadeira de rodas.

#### 3.1 O protótipo Hefestos Wheelchair

A implementação do *Hefestos Wheelchair* segue a arquitetura de *software* apresentada na seção 3.1.2. Além da aplicação Android, que oferece uma interface para PCDs, desenvolveu-se um *appliance* que realiza o interfaceamento e comunicação do dispositivo móvel com o *firmware* da cadeira de rodas motorizada.

O *appliance* integra a aplicação Android com os controles da cadeira de rodas, permitindo a operação da cadeira a partir de *widgets* na tela sensível ao toque do dispositivo móvel do usuário.

O protótipo possui a capacidade de sensoriamento de dados, obtidos a partir do dispositivo móvel ou do *Sun SPOT* [36]. Os sensores utilizados são acelerômetro (do *Sun SPOT*), bússola e *GPS* (via *smartphone*). A integração de sensores, interface de usuário otimizada e computação assistida com uma cadeira de rodas motorizada proporcionaram uma cadeira de rodas inteligente (*smart wheelchair*). Esta integração é apresentada na seção 3.1.1.

##### 3.1.1 Arquitetura de comunicação

A arquitetura de comunicação do *Hefestos Wheelchair* está dividida em três camadas, como apresentado na Figura 3. A camada superior é a interface do usuário. Um dispositivo móvel pessoal, com sistema operacional Android, é utilizado para comunicação com o servidor do Hefestos, usando a internet (*Wi-Fi* or *3G*). Além disso, este dispositivo conecta a interface do usuário com o *appliance* que está na camada inferior (usando o protocolo *Bluetooth* ou um protocolo via porta serial).

A camada intermediária é chamada de *Hefestos Appliance*. O *appliance* é um kit composto de três componentes: (1) adaptador *Bluetooth* para comunicação com a camada de interface do usuário; (2) *Sun SPOT* [36] utilizado para processamento, gerenciamento das comunicações e sensoriamento; (3) adaptador *UART/RS232* usado para comunicação com a camada abaixo, a cadeira de rodas motorizada.

O objetivo do *Hefestos Appliance* é ser uma interface genérica. Sua principal função é prover a comunicação entre o dispositivo móvel do PCD ou idoso e sua cadeira de rodas. Desenvolveu-se o *Hefestos Middleware* para gerenciar este *appliance*.

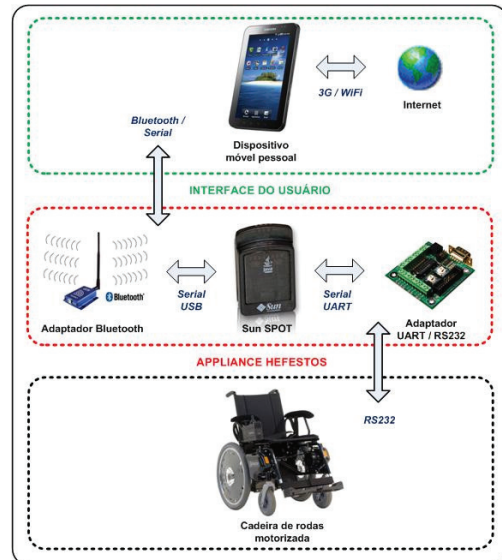


Figura 3. Arquitetura de comunicação do *Hefestos Wheelchair*

Finalmente, a camada inferior representa a cadeira de rodas motorizada. Utilizou-se uma porta de comunicação serial da cadeira, que adota o protocolo *RS232*. Desenvolveu-se um protocolo de comunicação simplificado para envio e recebimento de instruções de baixo nível entre a cadeira de rodas e o *appliance*. Assim, comandos podem ser enviados remotamente a partir da interface do usuário, sensível ao toque ou à inclinação da cabeça do PCD, possibilitando a operação da cadeira sem o uso do controle manual (*joystick*). Um recurso de monitoramento digital do *status* da bateria da cadeira de rodas, diretamente no *display* do dispositivo móvel foi implementado também.

##### 3.1.2 Arquitetura de software

A arquitetura de *software* do *Hefestos Wheelchair*, como apresentada na Figura 4, possui quatro camadas: (1) *Hefestos Server*; (2) *Hefestos Wheelchair App*; (3) *Hefestos Middleware*; (4) *Firmware*.

A primeira camada da arquitetura é o *Hefestos Server*. O servidor possui a função de prover a inferência sobre os recursos para a acessibilidade. O servidor centraliza os módulos e sistema multi-agentes (*SMA*) [25] do modelo Hefestos. Estes módulos estão disponíveis através da tecnologia de *web services*.

Além disso, o servidor possui um *site* administrativo, instalado no servidor do Mobilab. O *site* administrativo permite o gerenciamento dos dados armazenados nos módulos. O *site* foi implementado usando *Java Server Pages (JSP)* e banco de dados *MySQL* para persistência.

A segunda camada do sistema distribuído proposto é o *Hefestos Wheelchair App*. Implementou-se o *AAP* do modelo Hefestos nesta etapa. O *smartphone HTC Desire A8181*, com *Android 2.2* [3], foi utilizado como interface do usuário. Esta aplicação permite ao PCD ou idoso operar a cadeira de rodas e monitorar recursos dinamicamente.

O *Hefestos Middleware* é a terceira camada da presente arquitetura. Este *middleware* foi desenvolvido em *J2ME*, instalado no dispositivo *Sun SPOT* [36]. Os módulos de gerenciamento e comunicação do *Hefestos Middleware* suportam a interface do usuário. Esta interface envia comandos para o sistema embarcado da cadeira de rodas e retorna informações sobre a mesma.

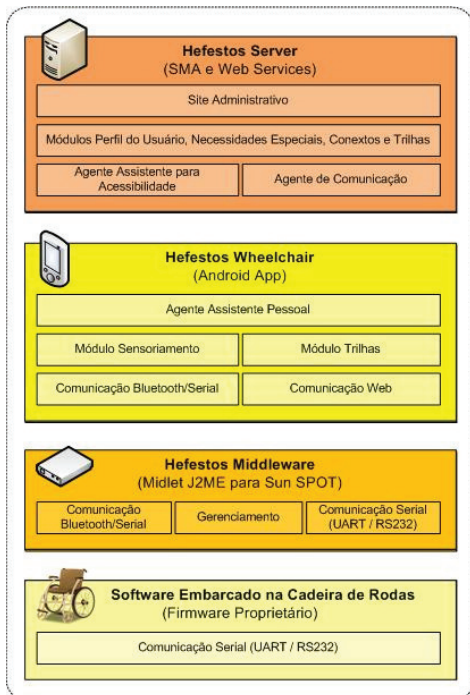


Figura 4. Arquitetura de software do Hefestos Wheelchair

Completando a arquitetura, na quarta camada, a mais próxima do *hardware* da cadeira de rodas, está o *firmware* da fabricante Freedom<sup>4</sup> (empresa parceira no projeto Hefestos). Nesta camada, implementou-se um protocolo de comunicação, baseado em *UART/RS232*, para troca de mensagens entre o *Hefestos Middleware* e o *firmware* da cadeira de rodas motorizada. Esta integração permitiu a virtualização dos comandos disponíveis no painel de controle manual, tais como *joystick* de operação, nível de bateria, inclinação e velocidade.

O *Hefestos Wheelchair* foi implementado em Java. Utilizou-se a especificação *J2ME* na aplicação *Sun SPOT (middleware)*. A aplicação Android foi desenvolvida com *Java for Android*.

Adotou-se o dispositivo *Sun SPOT* [36] porque esse dispositivo incorpora em um dispositivo compacto, as características e os protocolos necessários para o projeto, como a comunicação *UART* e *USB* (serial). Além disso, o *Sun SPOT* disponibiliza muitos sensores, tais como acelerômetro 3D, sensor de temperatura e portas de entrada/saída (*IO*) programáveis, permitindo a expansão dos recursos de sensoriamento, utilizando-se circuitos externos.

Utilizou-se o dispositivo móvel com Android porque é uma plataforma aberta amplamente adotada por diversos fabricantes. Além disso, atualmente há extensa documentação e suporte,

<sup>4</sup> Freedom Indústria <http://www.freedom.ind.br>.

qualificando o processo de desenvolvimento. Outro benefício do emprego do Android foi a possibilidade de uso dos recursos de *hardware* embarcados, disponíveis em dispositivos móveis com suas respectivas *APIs* [3].

### 3.2 Estudo de caso

O estudo de caso proposto concentra-se na implementação do modelo Hefestos para a assistência no uso de uma cadeira de rodas inteligente (apresentada na seção 3.1), entregando recursos para acessibilidade em um ambiente ubíquo.

A Figura 5 apresenta a região selecionada para o estudo de caso que corresponde à Área 6 (Área de ciências e tecnologia) da Unisinos. O estudo de caso usa um mapa real do *campus*, para mapear os recursos e validar o cenário. Adotou-se essa região porque é o local onde está situado o Mobilab e possui a infraestrutura necessária para a realização dos testes. O cenário de validação é composto de um contexto no qual instalou-se um *access point Cisco Aironet 1100*.



Figura 5. Campus da Unisinos (Área 6)

Definiram-se três objetivos principais para análise: a) avaliar a operação da cadeira de rodas através da interface especial – *Hefestos Wheelchair App*; b) avaliar o desempenho do protótipo ao entregar proativamente recursos para acessibilidade; c) obter impressões de um usuário do sistema, considerando aspectos de usabilidade, tais como adequação da interface, praticidade e conveniência.

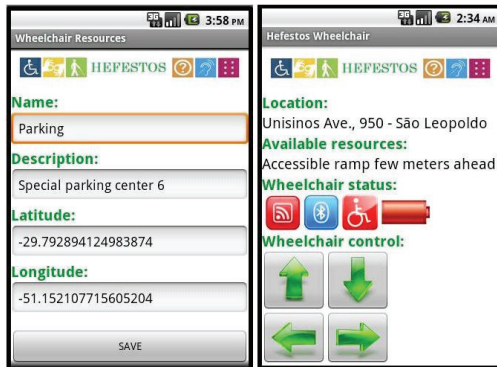
#### 3.2.1 Mapeamento de recursos para acessibilidade

O estudo de caso baseia-se no mapeamento de recursos para acessibilidade, que são usados no cenário descrito na seção 3.2.2. O mapeamento considerou os seguintes tipos de recursos: rampas de acesso, estacionamento exclusivo, toaletes com acessibilidade, cantina e central de informações.

A Figura 6a apresenta a interface da aplicação móvel desenvolvida especificamente para o mapeamento dos recursos. O usuário informa o nome e a descrição, sendo que as coordenadas de *GPS* são obtidas automaticamente a partir do sensor do dispositivo móvel.

Complementarmente, a Figura 6b apresenta o *Hefestos Wheelchair App*, como uma aplicação Android. Ela apresenta botões correspondentes às quatro direções, movimentando a cadeira de rodas inteligente. Além disso, esta aplicação retorna

recursos disponíveis de acordo com o contexto do usuário e apresenta ainda o status da cadeira de rodas.



(a) Interface de mapeamento (b) Interface de navegação

Figura 6. Aplicação Hefestos Wheelchair App

### 3.2.2 Validação através de um cenário

A comunidade científica tem utilizado cenários para validação de ambientes sensíveis ao contexto (de acordo com a abordagem de Dey [11]) e ambientes ubíquos (de acordo com Satyanarayanan [31]).

Seguindo essa estratégia, criou-se um cenário para testes e avaliações da implementação do Hefestos Wheelchair envolvendo a rotina de um PCD estudante.

Este cenário concentra-se na sugestão de recursos de acessibilidade em diferentes contextos baseando-se no perfil do PCD, de acordo com a seguinte situação:

*“Carlena é uma assistente social, paraplégica, que pode deslocar-se somente com o apoio de uma cadeira de rodas motorizada. Ela pretende continuar seus estudos, por isso está visitando a Unisinos para avaliar as instalações da universidade e os cursos disponíveis em nível de pós-graduação. Sendo ela uma pessoa com deficiência, precisa ter certeza que a infraestrutura do campus da Unisinos é apropriada. Pois ela possui necessidades especiais que precisam ser atendidas.*

*Ela decidiu realizar um tour no campus da Unisinos, na Área 6. Ela tem como objetivo avaliar o grau de acessibilidade oferecido pela instituição. Ela valoriza a independência e a liberdade em suas atividades diárias, por isso ela costuma usar ferramentas que auxiliem-na, especialmente seu veículo adaptado.*

*Além do seu veículo adaptado, ela também usa uma cadeira de rodas inteligente (Figura 7a) para seus deslocamentos. Tanto em seu veículo quanto em sua cadeira de rodas, ela usa um smartphone com o aplicativo Hefestos. O Hefestos a auxilia em suas decisões, sempre considerando suas preferências e os contextos do seu cotidiano.*

*Assim, quando ela entra no estacionamento próximo da Área 6 da Unisinos, ela recebe uma indicação no seu smartphone, sugerido pelo aplicativo Hefestos, exibindo vagas exclusivas reservadas para pessoas com deficiência.*

*Após estacionar seu carro, ela utiliza sua cadeira de rodas inteligente (Figura 7b), que possui o Hefestos ativo. Ela então inicia seu tour dentro do campus da universidade. Ela opera sua cadeira de rodas utilizando a tela sensível ao toque de seu smartphone.*

*Seguindo seu deslocamento, ela monitora que o nível da bateria está em laranja, i.e., depois de terminar seu tour, ela precisa recarregá-la. Ela também notou que a inclinação da cadeira de rodas está ok e então pode continuar.*

*No início do tour, ela recebeu a informação de que havia uma rampa de acesso disponível a poucos metros à frente (Figura 6b), permitindo que ela possa superar o desnível entre o estacionamento e a calçada próxima do prédio 6B.*

*Após usar a rampa, ela segue em direção ao prédio C. ela recebe em poucos metros à frente a informação sobre toaletes acessíveis para cadeirantes e uma cantina com atendimento especializado para pessoas com deficiência.*

*Finalmente, após ela alimentar-se na cantina sugerida pelo Hefestos, ela recebe a informação que há uma central de informações próxima dela. Este local está situado próximo ao prédio E, onde ela pode pagar seu estacionamento e receber mais informações sobre cursos, professores e a infra-estrutura da Unisinos.”*



(a) Cadeira de rodas inteligente (b) Paraplégica usando o Hefestos

Figura 7. Protótipo Hefestos Wheelchair

Tabela 1. Impressões do usuário sobre o protótipo

Atributo	Opinião
Facilidade de uso	“O Hefestos Wheelchair é intuitivo e de fácil uso.”
Acessibilidade	“Está ok. Somente os botões precisam ser maiores.”
Proatividade	“O Hefestos informa sobre os recursos proativamente.”
Relevância	“O Hefestos é muito inovador (particularmente a informação sobre os recursos disponíveis de acordo com o contexto do usuário) e ajudará muito aos PCDs e idosos.”
Observações	“A interface do usuário deve ser adaptável de acordo com a deficiência do PCD, por exemplo, PCD com mobilidade reduzida, baixa visão, etc.”  “A sensibilidade da tela precisa adaptar-se de acordo com as características do usuário e uma tela maior é necessária para uma melhor experiência.”

Após a usuária paraplégica realizar o cenário proposto foram coletadas suas opiniões. A Tabela 1 sumariza as impressões do usuário acerca dos aspectos subjetivos relacionados à experiência da usabilidade e funcionalidade do protótipo, baseando-se no modelo de aceitação de tecnologia (*Technology Acceptance Model - TAM*) [9]. Este modelo considera as seguintes como as principais influências na aceitação de novas tecnologias: (1) facilidade de uso percebida (o grau que cada usuário acredita que a tecnologia poderá reduzir seus esforços); (2) usabilidade percebida (o grau que as pessoas acreditam que o uso da tecnologia melhorará seu desempenho).

#### 4. TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção avalia-se o Hefestos comparando-o com trabalhos similares pesquisados na literatura atual.

AmbienNet [1] propõe um ambiente acessível inteligente projetado para apoiar PCDs e idosos. Os autores implementaram uma aplicação de suporte *indoor* à uma cadeira de rodas inteligente (*smart wheelchair*). AmbienNet utiliza contextos e serviço de localização, mas não trabalha com perfil de usuários e trilhas. O Hefestos oferece sensibilidade ao contexto, gerenciamento do perfil do usuário e trilhas.

Awareness Marks [16] apresenta um modelo conceitual que relaciona informação contextual com realidade aumentada. Dessa forma, é possível personalizar e enriquecer a oferta de serviços para facilitar as atividades cotidianas dos usuários. Este trabalho aborda o paradigma de ambientes inteligentes (*ambient intelligence - AmI*). Awareness Marks emprega uma ontologia e é baseado em sensibilidade ao contexto, mas não considera o perfil do usuário e gerenciamento de trilhas como o Hefestos provê.

INHOME [40] objetiva melhorar a qualidade de vida de pessoas idosos em ambiente domiciliar. Este projeto possibilita a automação *indoor* e ampla integração de tecnologias. Porém, ele não usa o perfil do usuário, tampouco oferece sensibilidade ao contexto, tal como é oferecido pelo Hefestos.

Em relação a aplicações específicas para cadeirantes, identificaram-se algumas propostas. UbiSmartWheel [26] é um ambiente assistivo pervasivo para idosos, tendo uma cadeira de rodas como objeto inteligente. A cadeira de rodas inteligente tem sensores embarcados para monitorar indicadores fisiológicos. Outro projeto identificado foi o *MIT Intelligent Wheelchair Project* [21] que aborda o uso de uma cadeira de rodas inteligente para apoiar as atividades dos cadeirantes. Este trabalho usa sensores, interface de reconhecimento de fala, dispositivo *wireless* para determinação da localização *indoor* e *software* para controle do motor da cadeira de rodas. Porém, ele não oferece integração com outras tecnologias assistivas. O *Hefestos Wheelchair*, como uma solução baseada no modelo Hefestos, busca oferecer um amplo suporte a todos os tipos de acessibilidade.

Os principais atributos do modelo Hefestos e vantagens comparando-se com os trabalhos relacionados são: (1) abordagem genérica; (2) sensibilidade ao contexto; (3) gerenciamento de trilhas; (4) gerenciamento do perfil do usuário; (5) uso *indoor* e *outdoor*; (6) integração com tecnologias assistivas; (7) usa uma ontologia para acessibilidade.

#### 5. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs um modelo com amplo espectro de uso para suporte à acessibilidade ubíqua objetivando-se a promoção do

acesso universal aos PCDs e idosos. Além disso, apresentou-se uma ontologia para acessibilidade que promove um padrão para tecnologias relacionadas.

As seguintes conclusões podem ser destacadas: (1) o modelo Hefestos contém os módulos básicos para suporte à acessibilidade, considerando a computação ubíqua; (2) um modelo modular, personalizável por usuário, permite a integração entre PCDs com diferentes deficiências; (3) a computação ubíqua permite a promoção da acessibilidade considerando o contexto da pessoa com deficiência ou idoso, de forma proativa; (4) a ontologia para acessibilidade deve ser utilizada para a padronização e também pode permitir a troca de informações entre diferentes tecnologias assistivas; (5) o protótipo e os resultados iniciais indicam a utilidade e viabilidade do presente trabalho.

As seguintes atividades permitirão a continuidade desse estudo: (1) condução de testes adicionais com outros PCDs, com diferentes deficiências; (2) mapear contextos mais complexos na Unisinos; (3) implementação do sistema de navegação assistida (piloto automático) com suporte a sugestões de rotas alternativas (gerenciamento de trilhas).

#### 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) por financiar o projeto de pesquisa “Hefestos: Um modelo para Suporte à Acessibilidade Ubíqua – Edital PqG 06/2010 – n. 1015181”. Agradecemos também à empresa Freedom, que nos doou uma cadeira de rodas motorizada utilizada neste projeto e por sua participação no desenvolvimento da arquitetura de comunicação (camada intermediária, conforme visualiza-se na Figura 3).

#### 7. REFERÊNCIAS

- [1] Abascal, J., Casas, R., Marco, A., Sevillano, J., and Cascado, D. 2009. Towards an intelligent and supportive environment for people with physical or cognitive restrictions. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Corfu, Greece, June 9-13). PETRA'09. ACM, New York, NY, Article 10. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1579114.1579124>.
- [2] Aipperspach, R., Hooker, B., and Woodruff, A. 2008. The Heterogeneous Home. In Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing (Seoul, South Korea, September 21 - 24). UbiComp'08. ACM, New York, NY, 222-231. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1409635.1409666>.
- [3] Android. Last Accessed May 2011. Available at <http://www.android.com>.
- [4] Baldauf, M., and Dudstar, S. 2007. A Survey on Context-aware Systems. International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, v.2, 4 (June 2007), 263-277. DOI = <http://dx.doi.org/10.1504/IJAHUC.2007.014070>.
- [5] Barbosa, J., Hahn, R., Rabello, S., and Barbosa, D. 2008. LOCAL: a Model Geared Towards Ubiquitous Learning. In: 39th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE). Portland, New York, ACM Press, 432-436. DOI = <http://doi.acm.org/10.1145/1352135.1352281>.
- [6] Becker, E., Le, Z., Park, K., Lin, Y., and Makedon, F. 2009. Event-based Experiments in an Assistive Environment using Wireless Sensor Networks and Voice Recognition. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Corfu, Greece, June 9-13). PETRA'09. ACM, New York, NY, Article 17. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1579114.1579131>.

- [7] Brazilian Institute of Geography and Statistics. Census 2000. Last Accessed June 2010. Available at <http://www.ibge.gov.br>.
- [8] Coulouris, G., Dollimore, J., and Kindberg, T. 2007. Distributed Systems: Concepts and design. 4th Ed. Porto Alegre: Bookman. 784 p.
- [9] Davis, F. 1989. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, v.13, 3 (Sept. 1989), 319-340.
- [10] Dey, A. K. 2001. Understanding and Using Context. *Journal Personal and Ubiquitous Computing*. v.5, 1 (Feb. 2001), 4-7. DOI = <http://dx.doi.org/10.1007/s007790170019>.
- [11] Dey, A., Salber, D., and Abowd G. 2001. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware application. *Journal Human-Computer Interaction*. v.16, 2 (Dec. 2001), 97-166. DOI = [http://dx.doi.org/10.1207/S15327051HCI16234\\_02](http://dx.doi.org/10.1207/S15327051HCI16234_02).
- [12] Dosvox. Last Accessed May 2011. Available at <http://intervox.nce.ufri.br/dosvox/>.
- [13] Franco, L., Rosa, J., Barbosa, J., Costa, C., and Yamin, A. 2010. MUCS : A Model for Ubiquitous Commerce Support. *Electronic Commerce Research and Applications*. v.1, 1-38. DOI = <http://dx.doi.org/10.1016/j.elerap.2010.08.006>.
- [14] Freedom. Last Accessed November 2010. Available at <http://www.freedom.ind.br/content/home/index.php>.
- [15] Giroux, S., Bauchet, J., Pigot, H., Lussier-Desrochers, D., and Lachappelle, Y. 2008. Pervasive behavior tracking for cognitive assistance. In Proceedings of the 1st International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Athens, Greece, July 15-19). PETRA'08. ACM, New York, NY, Article 86. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1389586.1389684>.
- [16] Hervás, R., Bravo, J., and Fontecha, J. 2011. Awareness marks: adaptive services through user interactions with augmented objects, *Journal Personal and Ubiquitous Computing*. v.15 (Jan. 2011). DOI = <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-010-0363-z>.
- [17] Hightower, J., and Borriello, G. 2001. Location Systems for Ubiquitous Computing. *IEEE Journal*, v.34, 8 (Aug. 2001), 57-66. DOI = <http://dx.doi.org/10.1109/2.940014>.
- [18] International Organization for Standardization (ISO). 2007. Assistive products for persons with disability – Classification and terminology. Last Accessed May 2011. Available at [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=38894](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=38894).
- [19] Kim, Y., Kim, M., and Lee, Y. 2008. COSMOS: A Middleware Platform for Sensor Networks and a u-Healthcare Service. In Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied Computing (Ceará, Brazil, March 16-20 2008). SAC'08. ACM, New York, 512-513. DOI = <http://doi.acm.org/10.1145/1363686.1363812>.
- [20] Metsis, V., Le, Z., Lei, Y., and Makedon, F. 2008. Towards an Evaluation Framework for Assistive Environments. In Proceedings of the 1st International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Athens, Greece, July 15-19). PETRA'08. ACM, New York, NY, Article 12. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1389586.1389601>.
- [21] MIT Intelligent Wheelchair Project. Last Accessed January 2011. Available at <http://rvsn.csail.mit.edu/wheelchair/>.
- [22] Mufti, M., Agouridis, D., Din, S., and Mukhtar, A. 2009. Ubiquitous Wireless Infrastructure for Elderly Care. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Corfu, Greece, June 9-13). PETRA'09. ACM, New York, NY, Article 22. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1579114.1579136>.
- [23] National System of Information about Handicaps. Know your rights. Last Accessed May 2011. Available at <http://portal.mj.gov.br/corde/sicorde/direitos.asp>.
- [24] National System of Information about Handicaps. International day of disabled people. Last Accessed May 2011. Available at <http://portal.mj.gov.br/corde/dezembro.asp>.
- [25] Padgham, L., and Winikoff, M. 2004. Developing Intelligent Agent Systems : A practical guide. Australia: Wiley. ISBN 0-470-86120-7.
- [26] Postolache, O., Madeira, R., Correia, N., and Girão, P. 2009. UbiSmartWheel: a ubiquitous system with unobtrusive services embedded on a wheelchair. In Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (Corfu, Greece, June 9-13). PETRA'09. ACM, New York, NY, Article 13. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1579114.1579127>.
- [27] Protégé. Last Accessed May 2011. Available at <http://protege.stanford.edu>.
- [28] Pupo, D., Melo, A., and Ferrés, S. 2006. Accessibility: discourse and practice in everyday of libraries. ISBN: 85-85783-16-8, UNICAMP/ Cesar Lattes Central Library.
- [29] Reiners, R., Zimmermann, A., Jentsch, M., and Zhang, Y. 2009. Automizing Home Environments and Supervising Patients at Home with the Hydra Middleware. In Proceedings on the first international workshop on context-aware software technology and applications (Amsterdam, Netherlands, August 24-28 2009). CASTA'09. ACM, New York, NY, 9-12. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1595768.1595772>.
- [30] Rybená. Last Accessed May 2011. Available at <http://www.rvbena.org.br>.
- [31] Satyanarayanan, M. 2001. Pervasive computing: vision and challenges. *IEEE Personal Communications*. v.8, 4 (Aug. 2001), 10-17. DOI = <http://dx.doi.org/10.1109/98.943998>.
- [32] Sentilla. Last Accessed May 2011. Available at <http://www.sentilla.com/pr-20080501.html>.
- [33] Silva, M. 2005. The aging process in Brazil: challenges and prospects. *Aging Texts*, v. 8, nº 1, ISSN 1517-5928.
- [34] Silva, J., Rosa, J., Barbosa, J., Barbosa, D., and Palazzo, L. 2010. Content distribution in trail-aware environments. *Journal of Brazilian Computer Society*. v.16, 3 (July 2010), 163-176. DOI = <http://dx.doi.org/10.1007/s13173-010-0015-1>.
- [35] Spelta, L. Accessibility: this business has future?. Last Accessed June 2010. Available at [http://acessodigital.net/art\\_acessibilidade\\_tem\\_futuro.html](http://acessodigital.net/art_acessibilidade_tem_futuro.html).
- [36] Sun SPOT World. Last Accessed May 2011. Available at <http://www.sunspotworld.com/>.
- [37] Trace Center. Last Accessed May 2011. Available at <http://trace.wisc.edu>.
- [38] Vanderheiden, G. 2008. Ubiquitous accessibility, common technology core, and micro assistive technology. *ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)*. v. 1, 2 (Oct. 2008), Article 10. DOI = <http://dx.doi.org/10.1145/1408760.1408764>.
- [39] Vaughan-Nichols, S. 2009. Will Mobile Computing's Future Be Location, Location, Location? *Journal Computer*, IEEE Press, v.42, 2 (Feb. 2009), 14-17. DOI = <http://dx.doi.org/10.1109/MC.2009.65>.
- [40] Vergados, D. 2010. Service personalization for assistive living in a mobile ambient healthcare-networked environment. *Journal Personal and Ubiquitous Computing*, v. 14, 6 (Sep. 2010), 575-590. DOI = <http://dx.doi.org/10.1007/s00779-009-0278-8>.
- [41] Weiser, M. 1991. The computer for the 21<sup>st</sup> century. *Scientific American*, v. 265, nº 3, 94-104.
- [42] World Health Organization (WHO). 2003. ICD-10, translation of the WHO collaborating centre for classification of diseases in Portuguese. 9 ed. Rev – São Paulo, EDUSP.
- [43] World Health Organization (WHO). 2003. International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps (ICIDH), translation of the WHO collaborating centre for classification of diseases in Portuguese. São Paulo, EDUSP.
- [44] World Wide Web Consortium (W3C). Web Content Accessibility Working Group. Last Accessed May 2011. Available at <http://www.w3.org/WAI/GL/>.