

INSIGHT: UM MODELO ACESSÍVEL PARA LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS USANDO A TECNOLOGIA BLUETOOTH LOW ENERGY

Paulo Henrique Grolli Gräbin¹

Cristiano André da Costa²

Resumo: Deficientes visuais passam por grandes dificuldades durante seu deslocamento, devido ao fato de não poderem contar com a sinalização visual, que frequentemente é a única disponível. Aliado a isso, sistemas de posicionamento comumente fazem uso da tecnologia GPS, que se prova insuficiente em ambientes internos. Visando mitigar esse problema, este artigo tem como objetivo descrever um modelo computacional denominado Insight. O Insight foi desenvolvido para ser utilizado por pessoas com deficiência visual, fornecendo uma localização confiável e um deslocamento seguro através de instruções de voz, leitura de tela e feedback tátil, permitindo que seus usuários possam se deslocar em ambientes desconhecidos sem a necessidade de auxílio de outras pessoas. O modelo é baseado em uma estrutura de serviço na nuvem, contando com servidores distribuídos, no qual os clientes são dispositivos móveis que contemplam diversas formas de interação, a fim de possibilitar, da forma mais natural possível, sua integração com a vida diária do usuário. Para a avaliação, foi usada a metodologia de cenários, na qual foram criados dois cenários para testar a viabilidade do modelo e o seu comportamento em um ambiente que simula a rotina de uma pessoa com deficiência visual.

Palavras-chave: Acessibilidade Ubíqua. Deficiência Visual. Sistemas de Posicionamento Indoor.

1 INTRODUÇÃO

A visão é o recurso mais importante na localização de um indivíduo e na percepção do que se passa ao seu redor. Frequentemente, a sinalização destinada à orientação em locais como aeroportos, shopping centers e universidades é composta inteiramente por sinais visuais. Por esse motivo, pessoas com deficiência visual (PDV) têm grande dificuldade quando necessitam se deslocar, precisando do auxílio de ferramentas como bengalas e cães-guia ou ainda da ajuda de outras pessoas.

De acordo com o levantado por IBGE (2010), no último Censo Demográfico, realizado em 2010, o Brasil possuía 45,6 milhões de pessoas que afirmaram ser portadoras de deficiência. Desse total, 35,7 milhões, ou 78,2%, são pessoas com deficiência visual (PDV). Ou seja, aproximadamente 18% da população brasileira é afetada.

Em 2014, a Royal London Society for Blind People (RLSB), organização sem fins lucrativos que busca criar uma diferença que melhore a vida das futuras gerações de PDV, divulgou um manifesto para chamar atenção aos desafios enfrentados diariamente pelos PDV, que os impedem de usufruir da totalidade dos seus direitos fundamentais. (Royal London Society for

¹ Aluno do curso de Ciência da Computação. Email: paulograbin@gmail.com

² Orientador, professor da Unisinos, doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2008), Mestre em Ciência da Computação pela mesma Universidade (1997). Email: cac@unisinos.br

Blind People, 2014). Desafios esses que não são restritos às divisas do Reino Unido, onde a organização se encontra. De acordo com o documento, perda de visão é uma experiência tão traumática que pode ser comparada à perda de um ente querido, visto que dificilmente eles recebem o apoio emocional necessário. Não conseguir enxergar causa isolamento social, o que prejudica enormemente o futuro do indivíduo. Ainda é dito que empresas ou organizações, como lojas, bancos e agentes de viagem, não compreendem as necessidades e habilidades dos PDV, impedindo-os de levar uma vida comum e impossibilitando-os de realizar as atividades que gostariam. O trabalho ainda destaca que, frequentemente, as pessoas não sabem oferecer assistência básica, como guiá-los em espaços públicos e estações de trem, por exemplo. Dentre as áreas citadas como problemáticas, é possível destacar a mobilidade urbana, a educação superior e a acessibilidade na tecnologia. No trabalho, ainda é revelado o motivo de sua publicação, informando que 25% das pessoas com perda de visão estão insatisfeitas com suas vidas. (Royal London Society for Blind People, 2014).

Em relação à mobilidade, Royal London Society for Blind People (2014) cita que existe uma variedade de aplicativos para smartphone que auxiliam pessoas a se localizar e se deslocar, porém, poucos deles são acessíveis. É afirmado também que, se essas tecnologias fossem projetadas com todas as pessoas em mente, mais PDV poderiam transitar com segurança, reduzindo a dependência de outras pessoas.

Indo ao encontro das iniciativas das RLSB e atuando na área de mobilidade, o presente artigo apresenta um modelo que faz uso de conceitos como dispositivos móveis, acessibilidade ubíqua, tecnologias assistivas e localização por Bluetooth Low Energy (BLE). O modelo trata de uma alternativa para facilitar as atividades diárias das pessoas com deficiência, especialmente a visual, atuando na forma com que elas se orientam e se deslocam em ambientes internos.

Tendo a premissa de funcionar a partir do smartphone do usuário, o modelo irá informá-lo de sua localização atual e recomendar caminhos que o levem ao seu destino, levando em consideração os obstáculos em sua rota. O modelo será projetado para ter usabilidade intuitiva e ser uma parte quase invisível do cotidiano do usuário, aplicando o conceito de computação ubíqua introduzido em Weiser (1991), a fim de se adaptar às necessidades dos PDV.

Este artigo está estruturado em seis seções. A primeira seção trata de uma introdução a respeito das motivações e objetivos do trabalho. A segunda seção apresenta os principais conceitos que dão base para este artigo, descrevendo uma visão geral sobre computação móvel e ubíqua, acessibilidade, acessibilidade ubíqua e tecnologias assistivas. A terceira seção apresenta trabalhos relacionados e mostra um comparativo entre eles. A quarta seção é apresentado o modelo proposto neste trabalho, bem como um detalhamento de seu funcionamento e componentes. A quinta seção detalha metodologia de avaliação e os resultados obtidos. A sexta e última seção conclui o trabalho e apresenta as considerações finais, uma comparação com os trabalhos relacionados e sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta a base teórica sobre a qual está construído este trabalho. Inicialmente são abordados os conceitos de computação ubíqua, computação móvel e acessibilidade. Em seguida, esses conceitos são mesclados, sendo introduzido o conceito de acessibilidade ubíqua e tecnologias assistivas. Finalmente, é introduzida a tecnologia Bluetooth, seu modo de funcionamento e aplicações práticas.

2.1 Computação Móvel e Ubíqua

Imaginando um futuro em que existirão tecnologias tão avançadas, tão conectadas e tão naturalmente integradas em nossas vidas que nem perceberíamos sua presença, Weiser (1991) criou o termo computação ubíqua.

Weiser antecipou um mundo onde computadores deixariam de possuir apenas o tamanho de um notebook utilizado em cima de uma mesa. Um mundo onde computadores seriam pequenos o suficiente para serem embutidos em botões de uma camisa e também grandes o suficiente para ocupar os ambientes em que trabalhamos ou estudamos. Tais computadores conversariam entre si de maneira contínua e transparente, de modo que seus usuários estariam permanentemente conectados e acessíveis em todos os lugares e em todos os momentos. Um pouco mais tarde, Costa, Yamin e Geyer (2008) descrevem desafios significativos desta área e as necessidades de softwares que devem ser criados supera-los, propondo ainda um modelo arquitetural para aplicações ubíquas. O conceito de computação ubíqua vai ao encontro de outro, estabelecido por Satyanarayanan (2011) para computação móvel como sendo “informação na ponta dos dedos, em qualquer lugar e em qualquer tempo”.

Um dos aspectos mais interessantes da computação ubíqua é a ciência de contexto, definida em Dey (2001) como o uso de informações relevantes, tais como localização, preferência, histórico e horário, que possam ser usadas para determinar a situação em que o usuário se encontra. Tais informações servem para que os softwares desenvolvidos possam se adaptar às necessidades e reagir, instantânea e transparentemente, às mudanças no ambiente em que o usuário se encontra.

Com a computação cada vez mais onipresente, juntamente com dispositivos móveis e poderosos, é possível aplicá-la na tentativa de melhorar a vida das pessoas. Uma das possíveis aplicações é na promoção da acessibilidade de quem necessita.

2.2 Acessibilidade

Acessibilidade representa o direito de acessar informações; eliminação de barreiras arquitetônicas; de disponibilização de comunicação; de acesso físico; de equipamentos e programas adequados; de conteúdo e apresentação da informação em formatos alternativos, não se restrin-

gindo somente à internet, a fim de melhorar a qualidade de vida de pessoas com algum tipo de deficiência. (ACESSIBILIDADE BRASIL, 2011).

No Brasil, existe legislação específica para assegurar os direitos individuais de todos os cidadãos. Como exemplo podem ser citadas a lei 5.296/2004, conhecida como lei da acessibilidade, e as leis 10.048/00 e 10.098/00. Juntas, estabelecem normas e critérios básicos para a promoção da acessibilidade, descrevendo regras de construção de espaços públicos, edifícios de uso público e privado. Elas ainda regulamentam como deve se dar a acessibilidade nos sistemas públicos de comunicação e sinalização e normas para promoção da acessibilidade. Também podem ser citados os Decretos 3.298/99 e 5.296/04, que caracterizam o que é deficiência, bem como o que é necessário para que alguém seja considerado pessoa portadora de deficiência física. No aspecto tangível, a legislação brasileira é eficaz ao garantir direitos dos PDV.

Entretanto, a vida digital foge da alçada da jurisdição de qualquer país. Em busca de tornar a internet um lugar mais acessível para todas as pessoas, entram em cena organizações como o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) e o World Wide Web Consortium (W3C), que publicam orientações e diretrizes numa tentativa de garantir acessibilidade universal da web. Nenhuma empresa ou desenvolvedor é formalmente obrigado a aplicar essas diretrizes em seus sites e produtos, todavia, o fazem com o objetivo de atrair mais clientes ou visitantes. As recomendações não são direcionadas para uma tecnologia específica, podendo ser utilizadas em qualquer aplicação, linguagem ou navegador de internet. (W3C, 2008). Segundo Rodriguez-Sanchez et al. (2014), um aspecto que deve ser considerado é que a aplicação seja acessível para um grande número de pessoas, independentemente das necessidades dos usuários, devendo-se usar diversos canais sensoriais (visual, auditivo e tátil) para passar as informações. Porém, é importante ressaltar que a acessibilidade da web não é baseada apenas na acessibilidade do conteúdo disponibilizado, e sim nos diversos agentes e componentes, como navegadores, usuários, desenvolvedores e ferramentas de desenvolvimento, trabalhando juntos para oferecer uma melhor experiência ao usuário.

De acordo com Vanderheiden (2008), no início dos anos de 1990, apenas computadores fabricados pela Apple contavam com recursos de acessibilidade, enquanto nos demais softwares de terceiros eram a alternativa para aqueles que necessitavam. Graças aos esforços combinados da indústria e da academia, hoje todos os maiores sistemas operacionais possuem recursos de acessibilidade, como leitores de tela e lente de aumento, nativos entre suas funcionalidades. Pensados e concebidos diretamente na construção do sistema operacional, esses recursos são capazes de oferecer uma integração mais profunda com o sistema e uma experiência muito melhor ao usuário se comparados a softwares produzidos por outras empresas.

Em consonância com a afirmação de Weiser (1991), Vanderheiden (2008) diz que, com a computação substituindo o paradigma de computação pessoal para computação ubíqua, é necessário pensar em novas formas de acessibilidade:

Algum dia computadores serão como as lâmpadas de hoje. Houve uma época

em que tínhamos que carregar lâmpadas conosco a qualquer lugar que fôssemos. As pessoas carregavam consigo lanternas ou velas pelos quartos ou a qualquer lugar onde quisessem ir. Não havia expectativa de que luz seria fornecida, a menos que cada um trouxesse a sua. Hoje em dia, ninguém mais carrega lâmpadas. As pessoas esperam que, exceto quando acampando ou viajando pela floresta, diversas fontes de luz sejam oferecidas nos lugares onde elas entram. No futuro, podemos esperar uma situação semelhante em relação à computação. Onde quer que se vá, a computação estará através de diversos tipos de interfaces. Talvez tenhamos que levar conosco tipos específicos de interfaces se assim desejarmos, mas seremos capazes de usá-las juntamente com os recursos dos ambientes em que estaremos. (VANDERHEIDEN, 2008).

Assim emergem os conceitos de acessibilidade ubíqua e interfaces de usuário plugáveis, como talvez a forma definitiva de acessibilidade. Esses conceitos são descritos por Tavares (2011) como a capacidade de invocar recursos assistivos especiais diretamente da internet para serem usados em qualquer tela próxima.

Tavares (2011) define a acessibilidade ubíqua, também chamada de u-accessibility, como a união entre as normas e padrões para acessibilidade; tecnologias e interfaces que atendem às necessidades dos usuários; e computação ubíqua, através de dispositivos móveis, sensores e a comunicação entre eles.

2.3 Tecnologias Assistivas

PUPO, MELO e FERRÉS (2006) afirmam que existem tecnologias assistivas para auxiliar no acesso às informações, na comunicação, durante a locomoção e em atividades comuns no dia a dia, como estudo, trabalho e lazer, citando como exemplos cadeiras de rodas, bengalas, próteses, lupas e aparelhos auditivos. Conforme Dias (2014), tecnologias assistivas desempenham um papel-chave na independência e segurança de pessoas com deficiência. Para os PDV, tecnologias assistivas bem planejadas e bem implementadas podem fazer significativa diferença na educação, aceitação social e produtividade. (DIAS, 2014). Tecnologias assistivas são formas bastante eficazes de promoção de acessibilidade.

Não há um conceito universalmente estabelecido e aceito de tecnologias assistivas. Diversas entidades e países buscam estabelecer sua própria definição. O Brasil apresenta seu conceito em (Brasil. SNPDPD, 2009), descrevendo-o como se segue:

Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e à participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou de mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.

Conforme Stewart et al. (2008), é preferência dos usuários, tanto PDV como aqueles com visão saudável, carregar consigo dispositivos que caibam em um bolso, deixando as mãos livres. O autor ainda afirma que PDV consideram essencial que os aparelhos sejam imperceptíveis durante seu uso. No mesmo sentido, Taylor et al. (2012) diz que PDV preferem não atrair atenção para si enquanto fazem uso de um sistema de localização.

Diversos autores destacam as vantagens do uso de smartphones como dispositivos capazes de oferecer acessibilidade em diversas formas aos usuários. Segundo Ganz et al. (2014), smartphones, item básico possuído por grande parte da população, têm se mostrado uma ferramenta capaz de beneficiar enormemente os PDV em sua vida diária, através de aplicações, como leitores de cédulas de dinheiro, reconhecimento de cores e objetos, navegação na web, leitura de e-mails e ligações telefônicas. O trabalho ainda afirma que o uso de smartphones é possível devido à presença de recursos de acessibilidade oferecidos pelos principais sistemas operacionais disponíveis. Entre esses recursos, podemos destacar a leitura de telas e os alertas vibratórios, essenciais para aqueles que não enxergam as telas sensíveis ao toque que equipam a maioria dos smartphones disponíveis atualmente. Ao invés de apenas ler o texto sendo exibido, essa funcionalidade também informa sobre os tipos de cada componente, possibilitando ao usuário saber como interagir com cada um.

De acordo com Brady et al. (2013), os maiores sistemas operacionais para dispositivos móveis disponíveis incluem por padrão a funcionalidade de leitura de tela, de maneira a permitir seu uso por usuários PDV. Aparelhos com tela sensível ao toque eram tidos como inacessíveis a usuários cegos, porém interfaces multitoque bem desenhadas aproveitam melhor o tamanho da tela e são preferidos pelos deficientes visuais.

Mau et al. (2008) afirma que a utilização de um dispositivo de uso geral possui uma clara vantagem sobre um aparelho específico que os usuários teriam que carregar e aprender a usar. Os autores ainda definem o telefone celular como “a peça de tecnologia mais valiosa para os cegos”. (MAU et al., 2008). Conforme Bohonos et al. (2007), a comunidade PDV recebeu muito bem o uso de smartphones, e tem categorizado os aparelhos como um computador ideal para acessibilidade.

Segundo o estudo realizado por Quinones et al. (2011), PDV possuem o desejo de carregar consigo a menor quantidade possível de equipamento. É necessário criar tecnologias que não sejam um fardo a ser carregado, mas que ofereçam a quantidade apropriada de informações ao usuário. Uma maneira citada pelo autor é a incorporação de tecnologias de navegação em aparelhos que deficientes visuais carreguem consigo normalmente, assim reduzindo o número de objetos que devem ser cuidados. Smartphones se encaixam perfeitamente nessas necessidades, revelando-se como dispositivos perfeitos para serem usados no desenvolvimento de novas tecnologias que visam promover acessibilidade.

Em Narasimhan, Gandhi e Rossi (2009) são sugeridos alguns princípios que devem ser seguidos no desenvolvimento de ferramentas assistivas para PDV:

- A ferramenta deve possibilitar a independência nas atividades diárias, não exigindo a

assistência e/ou acompanhamento de outras pessoas, com deficiência visual ou não.

- Evitar adicionar melhoramentos nas bengalas, visto que aumentar o peso ou novas funcionalidades podem influenciar negativamente no uso diário.
- Usuários devem ter a opção de usar ou não usar as funcionalidades disponíveis. Seu uso não pode ser forçado para não dificultar seu dia a dia.
- Manter custos baixos é promover a adoção de produtos pra PDV, já que produtos específicos para esse público tendem a ser mais caros.

Baseando-se nestes princípios e na capacidade de auxílio dos smartphones, um exemplo de ferramenta assistiva que vem à tona é o uso de dispositivos móveis para que o usuário deficiente visual obtenha sua localização atual e, a partir dela, descubra locais e recursos acessíveis ao seu redor. Tal ferramenta exige a utilização de alguma tecnologia capaz de distinguir e obter a posição do usuário. Uma das tecnologias capazes de atender a essas necessidades é o Bluetooth.

2.4 Tecnologia Bluetooth

Bluetooth é uma tecnologia de comunicação sem fios de curto alcance, lançada comercialmente em 1990, quando teve sua primeira especificação formal divulgada. Desde então, diversas modificações foram feitas e a tecnologia passou por diversos aprimoramentos, estando atualmente na versão 4, também conhecida como Bluetooth Smart ou Bluetooth Low Energy, lançada em 2010. A tecnologia nativamente possui capacidade para lidar com diversos serviços, tais como criptografia, transferência de arquivos e transferência síncrona e assíncrona de dados.

O Bluetooth foi criado e atualmente é mantido por um conjunto de empresas conhecido como Bluetooth Special Interest Group (SIG). Inicialmente formado por Ericsson, Intel, Nokia, Toshiba e IBM, o SIG é hoje composto por mais de 20.000 empresas, incluindo Apple, Microsoft, Motorola e Lenovo.

A tecnologia possui duas formas distintas de atuação, apesar de compartilharem entre si alguns pontos em comum. O primeiro e mais antigo modo, disponível desde a primeira especificação, é chamado Basic Rate (BR). O segundo foi introduzido somente na versão 4 e é chamado Low Energy (LE) e é o modo utilizado pelo modelo proposto neste artigo.

De acordo com Townsend et al. (2014), o LE foi criado para permitir produtos que requeiram baixíssimo consumo de energia e baixo custo, quando comparados ao outro modo. Assim sendo, esse modo foi pensado para aplicações que exigem pouca troca de informações. Um exemplo de produto viável com a chegada do modo LE são os beacons Bluetooth, que consistem em dispositivos do tamanho de uma moeda comum, compostos por um processador, uma bateria e um transmissor, que transmitem informações sobre si em intervalos regulares. Como o sinal dos beacons tem seu alcance limitado a alguns poucos metros, foi introduzido o conceito de microlocalização, tornando possível o desenvolvimento de novas aplicações e serviços onde

antes não era possível, tais como lojas, grandes shows ou eventos, estádios esportivos e ambientes internos. A microlocalização é definida por Zafari, Papapanagiotou e Christidis (2015) como a obtenção da localização de uma entidade com grau de precisão na ordem dos centímetros.

A maioria dos telefones celulares hoje faz uso nativo da tecnologia, não exigindo qualquer tipo de equipamento adicional. Ao contrário da versão anterior, a partir da versão 4, a tecnologia Bluetooth não exige o pareamento de dispositivos para que eles possam se localizar e se comunicar.

De acordo com Ballance e Lee (2008), a combinação computação ubíqua e Bluetooth têm potencial para fomentar soluções simples e baratas que outrora não seriam possíveis.

Taylor et al. (2012) revelam que diversas tecnologias foram utilizadas anteriormente em modelos de sistema para localização e navegação para PDV, tanto em ambientes internos como externos. Sonares, Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), Bluetooth e Global Positioning System (GPS) são algumas delas. Os autores ainda apontam que, apesar de todas elas oferecerem vantagens em suas propostas, todas também possuem pontos fracos:

- GPS é normalmente usado para localização em ambientes externos, mas mostra-se ineficiente devido à própria natureza das ondas de rádio usadas na tecnologia, quando obstáculos são locados ao redor do usuário. De acordo com Montague (2010), apesar de GPS ser muito eficiente na hora de determinar um ponto em um mapa, essa tecnologia está longe de ser a melhor escolha para ambientes internos. Nesse cenário, é preciso viabilizar a possibilidade de diversos andares em um local, o que não é possível ser feito via GPS.
- Sonares são formas baratas de detecção de objetos e obstáculos, através de frequências acústicas, mas exigem hardware dedicado e não servem para localização.
- RFID, juntamente com NFC, exige proximidade de seus emissores para que a comunicação seja estabelecida.
- Os autores não chegam a citar nominalmente os pontos fracos da tecnologia Bluetooth, mas um grande ponto que pode ser citado é o consumo de bateria causado pelas versões que antecederam a versão 4, também chamada de Bluetooth Low Energy.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentados quatro trabalhos relacionados com a solução a ser proposta. A busca por trabalhos foi feita com base na pesquisa por combinações das palavras "visually impaired", "blind", "indoor", "location", "navigation" e "bluetooth low energy" em bases de dados da área de ciência da computação como ACM³, IEEE⁴ e no buscador Google Acadêmico⁵.

³Disponível em <http://dl.acm.org>.

⁴Disponível em <http://www.ieee.org>.

⁵Disponível em <http://scholar.google.com>.

A seleção dos trabalhos foi feita considerando critérios como a similaridade do objetivo com o deste trabalho, o ano de publicação do modelo, suporte à acessibilidade, foco em dispositivos móveis e abrangência em ambientes internos.

Os trabalhos relacionados escolhidos foram: Percept (GANZ et al., 2011, 2012), um modelo de navegação em ambientes internos usando RFID; UCAT (RODRIGUES, 2013), uma aplicação para dispositivos móveis que permite ao usuário saber quem está ao seu redor; Development of a Navigation System Using Smartphone and Bluetooth Technologies to Help the Visually Impaired Navigate Work Zones Safely (CHEN-FU, 2014), um modelo para dispositivos móveis que avisa aos usuários sobre sua aproximação de zonas em obras; e Tirésias (FALK; TAVARES; BARBOSA, 2013), um modelo de acessibilidade para dispositivos móveis para o suporte de pessoas que possuem deficiência visual.

Percept é um modelo de localização que busca aumentar a percepção dos PDV. Ganz et al. (2011) e Ganz et al. (2012) definem um sistema de localização em ambientes internos utilizado através de dispositivos móveis. O modelo permite ao usuário selecionar um dos destinos possíveis no ambiente e obter rota e instruções para chegar até ele. O Percept é composto por tags RFID passivas espalhadas pelo ambiente, responsáveis por representar individualmente cada possível destino no ambiente e por indicar ao modelo o destino escolhido pelo usuário. Também é constituído por uma luva com hardware customizado, capaz de fazer a leitura das tags e enviar comandos ao dispositivo móvel; um dispositivo móvel que recebe informações da luva e se comunica com o servidor para obter a rota até o destino escolhido; e o servidor PERCEPT, responsável por armazenar o layout dos ambientes e calcular a rota até o destino escolhido.

UCAT (acrônimo para Ubiquitous Context Awareness Tools for the Blind), proposto por Rodrigues (2013), é um sistema que objetiva diminuir o desconforto dos deficientes visuais, permitindo que eles saibam quem está ao seu redor. O modelo usa Bluetooth e o endereço único de cada dispositivo para identificar unicamente cada telefone, que, por sua vez, é relacionado a um contato na agenda do usuário. A aplicação mostra todos os dispositivos ao redor do usuário, sendo capaz de detectar quando alguém se aproxima ou se afasta, e permite a criação de notas que serão exibidas uma vez que o contato esteja próximo ao usuário. Para facilitar a interação, o modelo lança mão de alguns recursos de usabilidade, tais como navegação por gestos, retorno através de voz e alertas vibratórios.

A proposta de Chen-Fu (2014) propõe um modelo de software para dispositivos móveis que detecta, através de beacons Bluetooth, quando o usuário está se aproximando de zonas em obras, de maneira a alertá-lo verbalmente sobre o possível perigo à frente. O modelo consiste em três componentes: servidor, possuindo o banco de dados dos mapas e zonas em obras; aplicativo para Android que constantemente busca por sinais Bluetooth nas proximidades do usuário e se comunica com o banco de dados e os beacons; e os beacons propriamente ditos, espalhados nos limites das zonas em obras e escolhidos devido a possíveis problemas com o sinal de GPS. A inclusão e manutenção das zonas é feita através de uma aplicação web armazenada no servidor e acessada através de um computador comum qualquer.

A proposta de Falk, Tavares e Barbosa (2013), denominada Tirésias, é baseado no modelo Hefestos, proposto por Tavares (2011). Este, por sua vez, é um modelo genérico que visa estabelecer padrões de acessibilidade que possam ser aplicados em diversos tipos de deficiência. Segundo os autores, o Tirésias pode ser compreendido como uma especialização do Hefestos para atender às necessidades das pessoas com deficiência visual. O modelo obtém a posição atual do usuário através do GPS contido no smartphone e, baseando-se nela, exibe recursos de acessibilidade disponíveis nas proximidades. Algumas das funcionalidades oferecidas são a listagem de recursos disponíveis, a indicação de caminho até o recurso selecionado e a solicitação de ajuda. O modelo é composto pelo módulo de saída, responsável por gerenciar as informações passadas ao usuário; entrada, responsável por gerenciar a interface com o usuário; configurações, que disponibiliza ajustes de forma a customizar o modelo às necessidades do usuário; pelo assistente pessoal, responsável pela comunicação com o Hefestos, através da qual são obtidos perfis de usuário e recursos disponíveis para o suporte à acessibilidade; somados ao modelo Hefestos. De acordo com Falk, Tavares e Barbosa (2013), o Tirésias emprega sensibilidade ao contexto e acessibilidade ubíqua, utilizando maneiras especializadas de interação com o modelo para promover acessibilidade aos PDV.

Com o intuito de facilitar a compreensão e comparação dos trabalhos relacionados, foi elaborada a Tabela 1. Nela, são apresentadas as abordagens usadas em cada um dos modelos, sendo possível identificar de forma ágil as características e tecnologias aplicadas em cada um, permitindo a identificação de pontos fortes e lacunas relevantes para o presente trabalho.

Conforme pode ser observado no comparativo apresentado, todos os modelos focam no uso de dispositivos móveis. No entanto, um deles exige o uso combinado de outro dispositivo de hardware dedicado. Dois dos trabalhos usam Bluetooth para obter a localização do usuário, enquanto os outros usam RFID ou GPS. Quanto à área de abrangência, dois dos modelos possuem foco em ambientes internos, enquanto um é especificamente voltado a zonas em construção e outro é agnóstico a esse aspecto. Quanto à arquitetura dos modelos, todos fazem uso da estrutura cliente-servidor com comunicação via internet. O Tirésias foi desenvolvido para a plataforma iOS com a linguagem Objective-C, enquanto os outros foram desenvolvidos para a plataforma Android com a linguagem Java. Ainda é possível ressaltar que apenas o Tirésias prevê interoperabilidade com outras aplicações.

Nenhum dos modelos faz uso de bibliotecas ou frameworks que promovem acessibilidade. Além disso, as tecnologias de localização usadas em três dos modelos não se adequam perfeitamente em ambientes internos, pois exigem proximidade muito grande do usuário para serem ativadas ou são incapazes de identificar múltiplos andares em um ambiente. Apenas o modelo destinado a áreas em construção faz uso da tecnologia mais adequada, Bluetooth Low Energy. Porém, a emprega com abrangência muito pequena. Outra lacuna identificada foi a falta de informações a respeito do gerenciamento de mudanças que possam acontecer eventualmente nos ambientes.

A próxima seção irá detalhar o modelo proposto, trabalhando e desenvolvendo alternativas

Tabela 1 – Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados

	Percept	UCAT	Navigation System for Work-zone	Tirésias
Método de localização	RFID	Bluetooth 2.1	Bluetooth LE	GPS
Abrangência	Indoor	Indoor e outdoor	Zonas em obras	Indoor
Ambientes dinâmicos	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Meio de acesso	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis
Interface do utilizador	Toques	Toques e gestos	Toques	Toques e gestos
Hardware específico	Sim	Não	Não	Não
Comunicação	Internet ou intranet	Internet	Internet	Internet ou intranet
Interoperabilidade	Não	Não	Não	Sim, através de agentes
Adaptação	Não	Sim, através de sensibilidade ao contexto	Não	Sim, através de sensibilidade ao contexto
Banco de dados	Postgres	SQLite	MySQL	Não especificado
Linguagem	Java	Java	Java	Objective-C
Sistema operacional	Android	Android	Android	iOS
Bibliotecas utilizadas	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Hardware	Luva equipada c/ leitor RFID e dispositivo móvel c/ Bluetooth	Dispositivos móveis c/ Bluetooth	Dispositivos móveis c/ Bluetooth	Dispositivos Móveis c/ GPS
Arquitetura	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Cliente-servidor

Fonte: Elaborado pelo autor.

às lacunas identificadas nessa revisão de literatura.

4 MODELO PROPOSTO

Esta seção apresenta um modelo de sistema que visa promover acessibilidade de pessoas com deficiência visual. O modelo atua auxiliando na localização e no deslocamento de seus usuários, contando com recursos que facilitam sua interação, visto que PDV necessitam de formas especializadas de contato com dispositivos. Falk, Tavares e Barbosa (2013).

Os principais recursos agregados ao modelo são a utilização de uma arquitetura de serviço na nuvem com servidores distribuídos, uma evolução do modelo cliente-servidor; e também a utilização da biblioteca AltBeacon⁶, desenvolvido inicialmente pela empresa Radius Networks e atualmente mantido pela comunidade open source. A biblioteca AltBeacon promove acessibilidade facilitando a interação com diferentes beacons, permitindo a construção de aplicações que necessitam de informações precisas e em tempo real. Além disso, ela facilita o desenvolvimento multiplataforma de soluções de localização que fazem uso de beacons Bluetooth. Outras características são a dispensa da necessidade de conexão com a internet e o baixo consumo de energia. Outros diferenciais do modelo são a utilização de sensibilidade ao contexto e o suporte às funcionalidades de acessibilidade, oferecidas nativamente pelos sistemas operacionais. São previstos também o suporte a ambientes dinâmicos e a possibilidade de integração com outras soluções, ambos através de serviços web.

4.1 Visão geral do modelo

O modelo, denominado de Insight, foi desenvolvido após análise dos trabalhos científicos relacionados. Deles foram aproveitados conceitos e funcionalidades considerados essenciais e descartadas ideias consideradas incompatíveis com este trabalho. A arquitetura do cliente Insight é baseada naquela apresentada por Ganz et al. (2011). O emprego da ciência de contexto, apesar de ser fundamentalmente diferente, e a metodologia de avaliação são inspirados pelo apresentado em Falk, Tavares e Barbosa (2013), juntamente com a ideia de expor os dados da solução para serem consumidos por soluções de terceiros. A estruturação das mensagens e a sincronização entre cliente e serviço são conceitos apresentados em Chen-Fu (2014). Os feedback auditivo e tátil são utilizados em Rodrigues (2013). Podem ser citadas como exemplos de ideias descartadas a necessidade de hardware dedicado, juntamente com o emprego de uma tecnologia que exige proximidade por parte do usuário, ambas usadas pelo PERCEPT; e o uso da tecnologia GPS, utilizada no Tirésias.

O Insight foi concebido tendo em mente tecnologias existentes e disponíveis ao alcance da maioria das pessoas. Todos os equipamentos necessários já existem no mercado, de forma que não é preciso fazer modificações em produtos para aproveitar as funcionalidades aqui descritas.

⁶Mais informações disponíveis no site oficial da biblioteca em <http://altbeacon.org/>

O objetivo do modelo é promover acessibilidade aos seus usuários, possibilitando que eles estejam sempre cientes dos locais ao seu redor e do caminho até eles. Para isso, o cliente auxilia o usuário em seu deslocamento curva-a-curva através de instruções verbais. Alguns dos locais que terão sua localização indicadas aos usuários através do cliente são banheiros, balcões de informação, estações policiais, saídas de emergência, locais preparados para receber deficientes visuais, zonas em obras e pontos de transporte público. Essas informações são caracterizados por Stewart et al. (2008) como extremamente importantes para os PDV.

Visto que não faz parte do objetivo do modelo alertar sobre obstáculos no caminho do usuário, ele não deve ser encarado como um substituto para ferramentas que possuam esse fim. O Insight deve ser sempre usado em conjunto com outras ferramentas assistivas, tais como bengalas e cães guia, esses sim possibilitam o desvio de obstáculos de qualquer natureza que possam surgir.

Empresas ou organizações que queiram melhorar a acessibilidade de suas dependências devem ter em mente que outras medidas podem ser tomadas em conjunto com a adoção do modelo, para aumentar a eficiência de seus esforços. Uma medida que possui sinergia total com o Insight é a colocação de piso tátil por todos os trajetos que serão percorridos pelos PDV. Piso tátil são faixas em alto-relevo no chão percebidas pelos usuário através da sensibilidade dos pés, fornecendo auxílio e indicações aos PDV durante seus deslocamentos.

A combinação Insight e piso tátil é bastante útil no empoderamento e independência dos usuários. O Insight permite descobrir locais e rotas, e o piso tátil permite que os usuários tenham certeza de que o caminho que está sendo percorrido é seguro e não possui obstáculos que dificultem o trânsito.

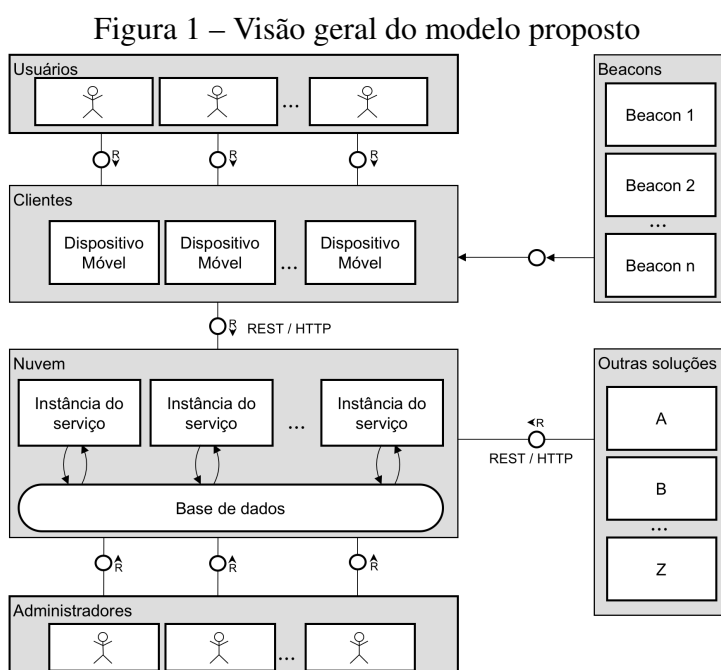
Através do modelo, o usuário poderá saber onde está, descobrir locais que existem a sua volta e selecionar algum recurso específico para que seja traçada uma rota para chegar ao destino escolhido, entre outras funcionalidades. O cliente fornece instruções via áudio e alertas vibratórios, através dos recursos assistivos dos smartphones, para guiar o usuário conforme avança pelo caminho até o seu destino.

Dias (2014) afirma que, quando perdidos ou desorientados, PDV frequentemente requisitam ajuda de pessoas próximas. Como não é objetivo do Insight eliminar completamente a assistência humana e também por precaução, caso o usuário entre em algum ambiente fora do alcance dos beacons, é prevista no modelo a funcionalidade do pedido de ajuda. Quando o usuário aciona, sua última localização conhecida é enviada para números de telefone cadastrados. Então, os administradores podem providenciar que alguém vá ao encontro de quem necessita de ajuda.

De acordo com Gedawy (2011), qualquer sistema de navegação destinado a PDV deve conter cinco elementos essenciais. São eles: uma representação geográfica capaz de apresentar múltiplos andares; uma funcionalidade para calcular as rotas e direções dos usuários; uma maneira de identificar a localização do usuário; uma interface para gerenciar a interação do usuário; e, por último, um componente que traduza as rotas para uma forma de comunicação compreen-

sível pelo usuário. (GEDAWY, 2011). O cliente Insight possui cada um destes elementos.

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos onde os principais componentes da arquitetura são exibidos, mostrando também as camadas em que ela está dividida e como ocorre a troca de informações entre os componentes. O Insight é projetado como um serviço em nuvem com servidores distribuídos. Diversas instâncias da aplicação servidor são executadas simultaneamente para garantir escalabilidade e disponibilidade. Por sua vez, os clientes são instalados em dispositivos móveis e, semelhante a outras soluções, se comunicam com o serviço Insight através de web services REST localizados em cada uma das instâncias. Os beacons são detectados pelo cliente para determinação da posição do usuário. O uso de tal arquitetura visa permitir que diversos usuários possam acessar o sistema sem que a performance seja prejudicada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

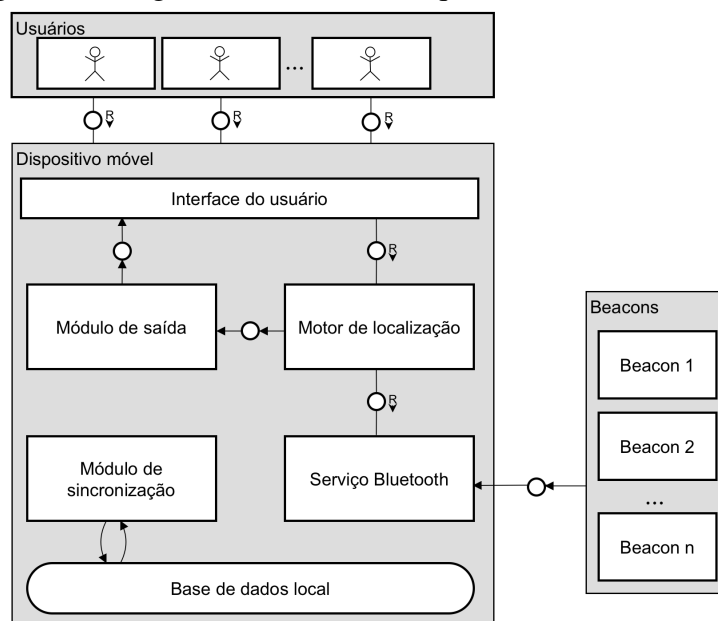
A arquitetura do modelo, bem como cada um dos componentes, é explicada em maiores detalhes nas seções subsequentes utilizando a notação proposta por (SAP, 2007), denominada Technical Architecture Modeling, ou TAM.

4.2 Cliente Insight

O cliente Insight é projetado para ser utilizado em dispositivos móveis, fazendo uso de recursos e informações que tais aparelhos podem prover, tais como localização e portabilidade. Como pode ser observado na Figura 2, o cliente é dividido em seis módulos, cada um responsável por uma parte específica da solução. Nesta subseção, é detalhado o funcionamento de cada um destes módulos.

O módulo de sincronização é o responsável por manter a base de dados do cliente sempre

Figura 2 – Diagrama de blocos da arquitetura do cliente Insight



Fonte: Elaborado pelo autor.

atualizada em relação à base de dados principal do modelo, a fim de que o cliente possa ser utilizado sem a exigência de conexão constante com a internet. A execução da sincronização é independente do usuário, sendo feita de forma automática e transparente. Segundo Quinones et al. (2011), uma característica muito importante em um sistema de localização acessível é a capacidade de suportar mudanças dinâmicas no ambiente, visto que caminhos já conhecidos pelos usuários podem sofrer alterações. Mudanças dinâmicas são alterações não previstas em rotas ou locais, como por exemplo um elevador não funcionando, uma sala fechada para limpeza, um caminho em manutenção, etc. Para ter tal capacidade, o período de verificação de mudanças do modelo pode ser ajustado pelo administrador.

A base de dados local tem como objetivo permitir que o cliente funcione sem exigir conexão com a internet. Ela é responsável por manter uma cópia das informações do servidor, bem como as preferências do usuário. Além disso, ela também guarda informações anônimas que visam permitir uma execução otimizada do cliente, tais como histórico de sincronização e telemetria do cliente, entre outras. A base é alimentada pelo módulo de sincronização.

O motor de localização é, juntamente com o serviço Bluetooth, o coração do Insight. Sua função é calcular a rota desde a posição atual do usuário até o destino por ele escolhido. A rota calculada pelo Insight é comunicada ao usuário de forma a se moldar à maneira com a qual os PDV planejam seu caminho, descrita por Harper e Green (2000): PDV costumam fragmentar sua jornada em partes menores e mais gerenciáveis, assim podem controlar seu deslocamento por etapas. Após ter a rota definida, o Insight divide-a em trajetos menores e a comunica ao usuário em etapas. Ao terminar de percorrer um trecho, o usuário recebe as próximas instruções. De acordo com Falk, Tavares e Barbosa (2013), uma definição otimizada da granularidade

e da velocidade de leitura das instruções é importante para não sobrecarregar o usuário com instruções demais, podendo deixá-lo confuso e desorientado.

Para o cálculo das rotas, é usado o algoritmo proposto por Dijkstra (1959). O algoritmo de Dijkstra soluciona o problema do caminho de custo mínimo em um grafo cujas arestas não possuem peso negativo, como é o caso das rotas do Insight.

O serviço Bluetooth é a parte do Insight que faz uso da tecnologia Bluetooth Low Energy. Ele é o responsável pelo monitoramento dos beacons presentes no entorno do usuário, o que permite que sua localização possa ser determinada. Este módulo fornece o contexto do usuário para o modelo, permitindo que seja possível atuar quando mudanças são identificadas, adaptando as instruções conforme ele se aproxima ou se distancia do destino. Este módulo é capaz de atuar mesmo com o smartphone no bolso do usuário, permitindo-o percorra as rotas com as mãos livres, e que o smartphone detecte quando o usuário adentra o ambiente onde o modelo está instalado, questionando se ele deseja fazer uso do cliente.

Os beacons não são propriamente parte do modelo, mas é através deles que a localização do usuário é determinada. Uma vantagem da tecnologia Bluetooth Low Energy perante versões mais antigas do Bluetooth é a capacidade de transmitir e receber indicadores sem necessidade de parear os dispositivos, dispensando o usuário de qualquer ação durante o processo. Eles devem ser espalhados em pontos-chave do ambiente e em todos os destinos possíveis, de forma a garantir a área de cobertura do sinal e a otimização na quantidade de beacons necessários, tornando possível para o Insight sempre descobrir a posição do usuário. O modelo não exige a posição exata e precisa do usuário, bastando apenas um beacon para fornecer a localização necessária. Caso contrário, seriam necessários três beacons por local, permitindo a triangulação da localização.

O processo de identificação de um beacon pode ser resumido como o seguinte: Beacon transmite o seu identificador no ambiente em que está instalado; Este sinal é recebido pelo cliente, que verifica em sua base de dados a localização associada ao identificador. Se encontrado, cliente obtém a localização do usuário e se adapta ao contexto, decidindo se há alguma ação a ser tomada pelo usuário; Se houver, o cliente a executa e então informa o usuário sobre a ação, através de voz e/ou alertas vibratórios.

O módulo de interface do usuário é responsável por gerenciar o trato do usuário com o sistema, enquanto o módulo de saída é responsável pelo retorno dado do usuário. Estes componentes são profundamente integrados entre si. A fim de suportar as necessidades dos PDV, a interface oferece métodos especializados de interação, como navegação por gestos e voz, enquanto o módulo de saída oferece retorno através de voz e alertas vibratórios.

Fazendo uso dos recursos acessíveis presentes nos smartphones, a interação com o sistema é drasticamente modificada de forma a facilitar o uso por parte dos PDV. Mau et al. (2008) compara diversas formas de instruir o usuário PDV durante seu deslocamento. Após comparar instruções faladas, tons, forma de bússola e feedback tátil, o trabalho indica que a melhor maneira é mesmo o uso de instruções verbais. Quando um usuário solicita que o sistema calcule

uma rota até algum destino, as instruções também são passadas pelo Insight verbalmente. Porém, a leitura ocorre de uma maneira um pouco diferente. Conforme Ullman e Trout (2009), é importante fornecer instruções claras, citando também elementos espaciais que podem ser usados como referências pelos usuários.

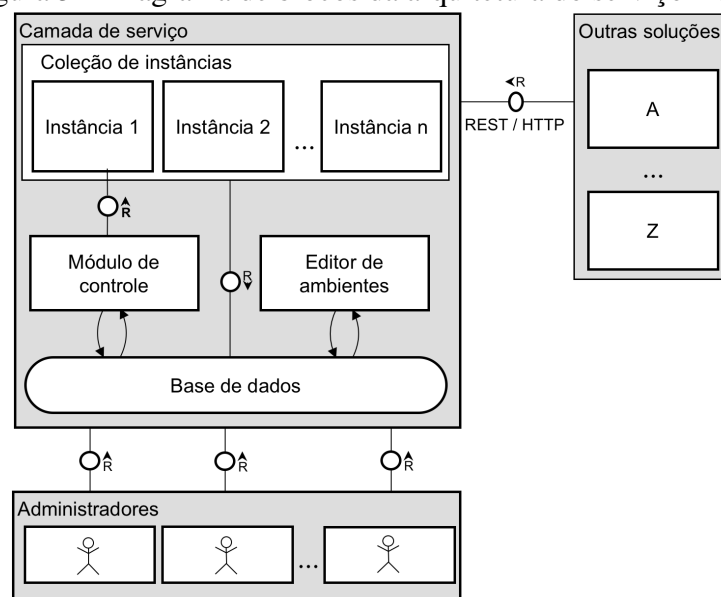
O Insight emite um bipe antes de cada instrução, a fim de chamar a atenção do usuário, alertando-o que ele chegou em um novo marco do caminho, dando uma nova instrução. Instruções são passadas apenas em pontos-chave do trajeto, de forma a evitar que uma frequência muito alta de informações sobrecarregue o usuário. Unidades de medidas de distância como metros são evitadas, preferindo informar o usuário do número aproximado de passos até o próximo destino. As instruções alertam o usuário sobre obstáculos no caminho, tais como escadas, aclives ou declives, caso estes existam.

Todas as falas são geradas por computador. Isso permite economizar o tamanho do software cliente, pois não é necessário armazenar arquivos de áudio, e também responder rapidamente a mudanças no ambiente, visto que não existe a exigência de que as falas passem pelo processo de gravação e que o cliente tenha de ser atualizado para dispor das novas instruções.

4.3 Componentes do serviço Insight

O serviço Insight é o componente onde é feito o gerenciamento e o monitoramento do modelo. Sua arquitetura em nuvem é projetada para oferecer escalabilidade e tolerância a falhas, bem como integração com outras soluções. Como pode ser visto na Figura 3, ela é dividida em cinco módulos. Nesta subseção, é detalhado o funcionamento de cada um.

Figura 3 – Diagrama de blocos da arquitetura do serviço Insight



Fonte: Elaborado pelo autor.

O editor de ambientes é a ferramenta através da qual os administradores mapeiam o am-

biente. Totalmente visual, nele os administradores criam uma representação bidimensional do ambiente, onde devem ser cadastrados os locais e recursos, bem como trechos a serem percorridos e o posicionamento dos beacons. Para auxiliar nessa tarefa, o modelo permite visualizar áreas não cobertas pelos beacons e oferece sugestões de posicionamento.

O módulo de controle mantém informações e referências a todas as instâncias da aplicação servidor. É o responsável por gerenciar o ciclo de vida das instâncias, bem como manter seu registro de execução. Também é capaz de atuar como balanceador de carga quando detecta que uma instância está sobrecarregada, distribuindo suas requisições para outras instâncias. Este módulo oferece um painel onde podem ser monitorados em tempo real informações relevantes sobre o estado das instâncias, usuários ativos, pedidos de ajuda e outras informações analíticas.

A base de dados do serviço Insight é o principal repositório de informações do modelo. Nela, ficam armazenados os beacons, rotas e locais existentes no modelo. As informações relativas a locais e rotas existentes são armazenadas em forma de grafo. Os dados aqui contidos são acessados por cada uma das instâncias através de um web service REST, assim eles podem ser acessados independentemente da plataforma utilizada.

A coleção de instâncias é o conjunto de todas as cópias da aplicação servidor sendo executadas em um dado momento. Mais detalhes sobre a aplicação servidor são apresentados na Seção 4.4.

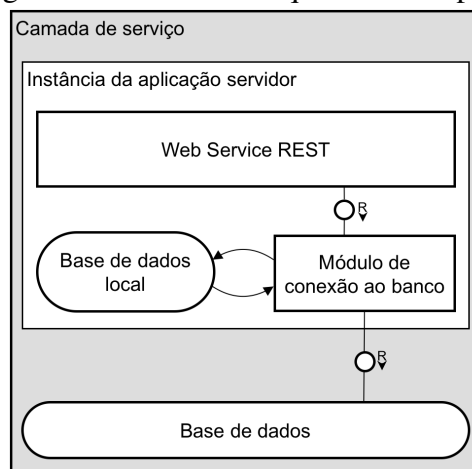
Um importante aspecto do modelo é sua interoperabilidade. O Insight oferece um serviço completo de localização em ambientes internos. Aliadas com a infraestrutura de localização formada pelos beacons, diversas aplicações são possíveis. Cada instituição que adota o Insight pode fazer uso dos dados do modelo para desenvolver novas soluções em suas dependências, aproveitando toda a infraestrutura já existente para diminuir novos custos. Os dados são expostos via web service REST, permitindo que sejam consumidos por qualquer plataforma, oferecendo flexibilidade para as soluções desenvolvidas.

4.4 Componentes da aplicação servidor

Cada instância Insight da coleção roda uma cópia da aplicação servidor. Cada uma delas é executada em um servidor físico específico, com recursos de hardware próprios, garantindo estabilidade e disponibilidade sem prejudicar a performance. Não há limite para a quantidade de instâncias executadas simultaneamente, e cada uma é independente das outras, não possuindo qualquer conhecimento sobre outras instâncias em execução. Conforme visto na Figura 4, ela é formada por três componentes, explicados em mais detalhes nesta subseção.

O web service REST de cada instância é o responsável por expor os dados armazenados na base de dados. Segundo Richardson e Ruby (2008), padrão Representational State Transfer, ou REST, é amplamente utilizado na comunicação entre sistemas, devido a sua capacidade de simplificar o acesso mesmo a dados bastante complexos. O padrão REST não é limitado a alguma plataforma específica, de forma que clientes em quaisquer sistemas possam facilmente

Figura 4 – Diagrama de blocos da arquitetura da aplicação servidor



Fonte: Elaborado pelo autor.

consumir web services REST.

Através deste componente, são realizadas a comunicação e a interoperabilidade do Insight. Ele recebe requisições de dados e obtém a resposta vinda do módulo de conexão ao banco. As requisições podem se originar de outras soluções ou então dos clientes Insight sincronizando dados. Os clientes Insight lidam com mudanças no ambiente consultando mais frequentemente este componente.

O módulo de conexão ao banco de dados é responsável por realizar as operações que necessitam consultar os dados cadastrados no modelo. Ele mantém registro das últimas consultas feitas à base de dados, bem como os dados retornados por ela. Desta forma, quando uma nova requisição chega, ele pode determinar quem consultar, o cache da instância ou a base de dados principal do modelo.

A base de dados local da aplicação atua como um ponto de consulta intermediário entre o web service REST da instância e a base de dados principal do modelo. Ela mantém em cache uma cópia temporária das informações que foram recentemente buscadas na base principal. Tal mecanismo tem por fim melhorar o tempo de resposta às requisições externas, uma vez que uma consulta ao cache é mais rápida do que uma consulta até a base de dados principal.

4.5 Modelo de contexto

No Insight, a ciência ao contexto do usuário é fundamental para que o modelo possa ser utilizado da forma mais intuitiva possível. Devido à natureza do modelo, a informação mais relevante é a localização atual. Ela será utilizada em três momentos, que juntos oferecem uma experiência melhor e mais segura:

O primeiro, que também é a base para os outros momentos, é quando o usuário deseja obter uma rota até algum destino. A localização será utilizada para definir automaticamente o ponto

inicial do trajeto como o ponto em que o usuário se encontra. A partir de então entram em cena os outros momentos, usados para monitorar se o usuário está seguindo corretamente a rota indicada e não se afastando do trajeto.

O segundo é durante os deslocamentos até o destino: através do contexto, o sistema irá automaticamente detectar a evolução do usuário no percurso definido para então fornecer o próximo conjunto de instruções, a fim de dispensar qualquer tipo de interação do usuário com o modelo durante o deslocamento.

O terceiro também ocorre durante os deslocamentos pelo trajeto. Para garantir que o usuário não se afaste inadvertidamente da rota determinada pelo modelo, após o cálculo da rota são mapeados locais que não fazem parte do trajeto. Dessa forma o modelo sabe alertar o usuário rapidamente quando ele se afasta do caminho.

Para a detecção do contexto, são espalhados beacons Bluetooth pelo ambiente. Estes, por sua vez, emitirão sinais que serão detectados pelo smartphone do usuário ao entrar na zona de alcance do beacon. O modelo possui em seu banco de dados as informações necessárias para obter o posicionamento do beacon ao detectar seu sinal. O contexto do usuário é armazenado somente durante a utilização do modelo, de forma que rota percorrida não causa influência das rotas que o usuário ainda percorrerá.

4.6 Implementação

Para a avaliação do Insight, foi desenvolvido um protótipo composto por alguns dos requisitos funcionais e não funcionais elencados para o modelo. A listagem completa dos requisitos é encontrada no Apêndice A. O desenvolvimento foi dividido em três etapas: seleção dos requisitos, escolha da tecnologia e codificação do protótipo.

A seleção dos requisitos foi feita levando-se em consideração quais são considerados essenciais para uma solução completa e que seja capaz de servir como base para avaliação do modelo proposto. Os requisitos funcionais deixados de fora do protótipo são o RF03, RF11, o RF12, RF13 e RF14.

A escolha da tecnologia foi feita considerando que o maior requisito do modelo é ter o cliente em um dispositivo móvel. Para atender a tal requisito, foram analisadas as plataformas Android⁷, iOS⁸ e Windows Phone⁹.

O aplicativo foi desenvolvido para a plataforma Android, escolhida por ser aquela com que o autor possui mais conhecimento e experiência. O desenvolvimento foi feito utilizando a linguagem Java, nativa desta plataforma, em conjunto com o ambiente de desenvolvimento Android Studio¹⁰, pois a combinação oferece integração com as bibliotecas e funcionalidades do Android. Para o controle das versões do código gerado foi utilizado um repositório Git, hospedado

⁷Disponível em <https://www.android.com>

⁸Disponível em <http://www.apple.com/br/ios/>

⁹Disponível em <https://www.microsoft.com/pt-br/windows/phones>

¹⁰Disponível em <https://developer.android.com/sdk/index.html>

no Github¹¹. As interfaces de usuário desenvolvidas no protótipo podem ser observadas no Apêndice B.

Durante o desenvolvimento, três modelos de smartphone com Android foram utilizados para os testes, descritos abaixo:

- **Samsung Galaxy Note II:** smartphone com 5,5 polegadas e resolução 1280x720, com sistema operacional Android versão 4.0
- **Motorola Moto G:** smartphone com 5,5 polegadas e resolução 1920x1080, com sistema operacional Android versão 5.1
- **Motorola Moto X:** smartphone com 4,5 polegadas e resolução 1280x720, com sistema operacional Android versão 5.1

5 AVALIAÇÃO

A comunidade científica utiliza cenários para avaliação de sistemas sensíveis ao contexto e de sistemas ubíquos, segundo as abordagens de Dey, Abowd e Salber (2001) e Satyanarayanan (2011), respectivamente. Seguindo estas abordagens, foram criados dois cenários para teste e avaliação do Insight. Os cenários foram criados para simular a rotina de um usuário PDV fictício dentro de um ambiente de trabalho acessível.

O cenário 1 apresenta a chegada do usuário a seu local de trabalho, seu deslocamento até seu posto de trabalho, sua interação com os recursos apresentados pelo modelo e o chamado por ajuda. O cenário 2 aprofunda a interação do usuário com o ambiente, mostrando seu deslocamento de seu posto de trabalho até uma das salas de reunião do prédio, passando antes por um banheiro acessível.

A próxima subseção apresenta cada um dos cenários, mostrando detalhadamente sua execução e a interação do usuário com o modelo, enquanto a subseção 5.3 apresenta as considerações sobre a realização da avaliação.

5.1 Cenário 1

Eduardo possui deficiência visual desde os cinco anos de idade. Vítima de catarata, se tornou completamente cego. Por ter perdido a visão cedo, possui lembranças limitadas sobre as poucas coisas que já viu. Algumas pessoas que nunca tiveram contato com outros PDV não sabem dar assistência a Eduardo quando ele solicita, de forma que eventualmente ele prefere não pedir ajuda a outras pessoas. Eduardo é capaz de utilizar diariamente computadores e smartphones, graças a recursos assistivos tais como leitores de tela presentes nesses aparelhos. Recentemente, Eduardo começou a trabalhar para uma empresa multinacional situada

¹¹Disponível em <https://github.com>

no campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, graças aos recursos de acessibilidade dos quais a empresa dispõe.

Em seu primeiro dia, Eduardo já possui em seu smartphone o mais novo recurso acessível da empresa, um software chamado *Insight*. Conforme ele se aproxima da entrada principal da empresa, o *Insight* detecta sua posição e questiona Eduardo se ele deseja utilizar o aplicativo. Após resposta positiva, o aplicativo se inicia e informa a localização atual do usuário através de síntese de voz. Eduardo interage com o aplicativo de forma a selecionar o local do prédio aonde deseja ir, navegando a lista de destinos usando gestos na tela até encontrar a opção "Setor 1B". Após selecionar seu posto de trabalho, Eduardo é informado que seu trajeto será dividido em oito etapas, e é instruído a seguir reto à frente para chegar até a recepção, local que marca o fim da primeira etapa. Eduardo lentamente gira em torno de seu eixo até que seu smartphone comece a vibrar, indicando a direção a seguir. Quando o telefone vibra, Eduardo inicia seu deslocamento, seguindo as instruções, até que o *Insight* o avise sobre sua nova localização e forneça novas instruções. Ele é instruído a virar à direita e seguir reto até passar as catracas, e assim o faz até ser avisado de que concluiu outra etapa. Ao receber as instruções do próximo caminho, Eduardo descobre que deverá subir dois lances de escada, cada um com doze degraus, para concluir a próxima etapa do trajeto.

Normalmente, além da escada, existem dois elevadores à disposição, porém, naquele dia, eles estavam em manutenção, de forma que o *Insight* os evita quando calcula a rota que será informada a Eduardo. Como escadas caracterizam um trajeto perigoso, Eduardo então resolve solicitar ajuda para realizar o trajeto pela primeira vez. Para tal, Eduardo seleciona o botão Chamar ajuda e pressiona a tela duas vezes, ativando a funcionalidade. O *Insight* então avisa a Eduardo que um segurança está a caminho para o ajudar. Eduardo é devidamente acompanhado até seu posto de trabalho pelo segurança.

A Tabela 2 resume a interação entre usuário e sistema, destacando atores e ações.

Tabela 2 – Dinâmica das interações Usuário-Modelo no primeiro cenário

Ator	Ação
Usuário	Com o Insight em seu smartphone, se aproxima da porta de entrada principal da empresa
Insight	Detecta a aproximação do usuário e o questiona se deseja utilizar o aplicativo
Usuário	Responde positivamente
Insight	Detecta e informa que o usuário está na entrada principal
Usuário	Clica em Escolher Destino, navega a lista procurando a opção Setor 1B
Insight	Calcula rota até Setor 1B partindo da entrada principal, avisa que o caminho foi dividido em oito etapas e instrui o usuário a seguir reto para chegar até a recepção, o próximo destino
Usuário	Gira em seu eixo para encontrar a direção em que se encontra o próximo destino
Insight	Vibra quando o usuário vira o smartphone na direção correta
Usuário	Desloca-se até a recepção seguindo as instruções
Insight	Detecta a nova localização do usuário e o instrui a dobrar a direita e seguir reto passando pelas catracas até o acesso ao segundo pavimento, o próximo destino
Usuário	Desloca-se até o acesso ao segundo pavimento, passando pelas catracas
Insight	Detecta nova localização e fornece as instruções até o segundo pavimento, subindo as escadas
Usuário	Percebe a dificuldade no percurso e decide solicitar ajuda para subir as escadas clicando no botão Chamar ajuda
Insight	Avisa o usuário que um segurança está a caminho
Usuário	Se dirige até seu posto de trabalho guiado devidamente pelo segurança.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Cenário 2

É comum que, em seu novo emprego, Eduardo tenha que se dirigir até alguma das salas de reunião da empresa, conforme surge a necessidade. Em seu posto de trabalho, Eduardo recebe o aviso de que faltam poucos minutos até o horário de próxima reunião, de forma que ele resolve iniciar o deslocamento até o local marcado. Consultando em seu computador, Eduardo verifica que a reunião acontecerá na sala chamada 1C 01 e pega seu smartphone para iniciar o Insight. Com o telefone na mão, Eduardo desliza o dedo em sua tela até encontra o ícone do aplicativo e, assim que o faz, com um duplo toque inicia o aplicativo.

Quando se inicia, o Insight detecta que a comunicação Bluetooth do smartphone de Eduardo está desligada, solicitando, através de voz, que Eduardo a ligue a fim de permitir o correto funcionamento do aplicativo. Outra vez percorrendo a tela com o dedo, Eduardo encontra opção Ativar e, com um duplo toque, a ativa. Uma vez que o Bluetooth esteja funcionando, o Insight detecta e informa a Eduardo sua localização atual, setor 1B. Já com o aplicativo aberto e sabendo para onde deve ir, Eduardo percebe que a reunião pode demorar e então decide passar antes no banheiro. Eduardo seleciona o botão Escolher destino e, deslizando o dedo para a direita na tela, percorre a lista procurando pelo banheiro mais próximo. Quando o encontra, com um duplo toque, Eduardo o escolhe. O Insight informa que o trajeto compreendido entre seu posto de trabalho e o banheiro possui três etapas, e fornece as primeiras instruções, informando que Eduardo deve seguir em linha reta de sua posição atual até o corredor para concluir a primeira etapa. Ele gira lentamente em busca da direção correta até que o smartphone em sua mão vibre, então começa a andar. Chegando no corredor, Eduardo é informado sobre sua nova posição e o caminho que deve fazer para concluir mais uma etapa. Após encontrar a direção correta, ele segue reto até ouvir o familiar barulho da porta de correr automática que marca o fim daquela etapa, restando apenas seguir reto até que o Insight o avise que ele chegou ao banheiro.

Prestes a sair do banheiro, Eduardo usa o Insight para obter a rota restante até a sala de reuniões 1C 01 clicando no botão Escolher destino e selecionando a opção correspondente. O novo caminho é dividido em apenas duas etapas. Obtendo as novas instruções do Insight, ele descobre que deve apenas seguir reto após sair do banheiro até que seja informado sobre a próxima etapa. Chegando ao corredor que marca a última etapa, ele deve apenas seguir até a porta em frente, que terá chegado na sala de reuniões. O Insight detecta e informa que o usuário chegou no destino escolhido.

A Tabela 3 resume a interação entre usuário e sistema, destacando atores e ações.

Tabela 3 – Dinâmica das interações Usuário-Modelo no segundo cenário

Ator	Ação
Usuário	Inicia o Insight em seu smartphone
Insight	Detecta que a comunicação Bluetooth está desligada e solicita que Eduardo a ligue
Usuário	Liga a comunicação Bluetooth
Insight	Detecta e informa que o usuário está em seu posto de trabalho no setor 1B
Usuário	Clica em Escolher Destino, navega a lista procurando a opção Banheiro acessível 1C
Insight	Calcula rota até o local selecionado partindo do local atual, avisa que o caminho foi dividido em três etapas e instrui o usuário a virar para a direita de seu posto de trabalho e seguir reto até o corredor do setor, o próximo destino
Usuário	Gira em seu eixo para encontrar a direção em que se encontra o próximo destino
Insight	Vibra quando o usuário vira o smartphone na direção correta
Usuário	Desloca-se até o corredor seguindo as instruções
Insight	Detecta a nova localização e instrui o usuário a seguir reto até a porta de correr automática do setor, o próximo destino
Usuário	Se vira para a direita e segue reto até ouvir o som da porta
Insight	Instrui o usuário e passar a porta e seguir reto até o banheiro
Usuário	Segue reto até encontrar a porta do banheiro
Insight	Detecta e informa que o usuário chegou ao seu destino
Usuário	Prestes a sair do banheiro, clica em Escolher Destino, navegando a lista até encontrar a sala de reuniões 1C 01
Insight	Calcula rota até a sala de reuniões 1C 01 partindo do banheiro, avisa que o caminho foi dividido em duas etapas e instrui o usuário a seguir reto até chegar ao corredor de acesso as salas de reunião, o próximo destino
Usuário	Sai do banheiro e continua seguindo reto até o corredor
Insight	Detecta a localização do usuário e fornece instruções até a sala de reunião 1C 01, o ultimo destino
Usuário	Segue reto até encontrar a sala
Insight	Detecta e informa que o usuário chegou ao seu destino

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Considerações

Apenas a parte de localização, porção principal do modelo, foi testada, visto que um teste completo exigiria o desenvolvimento módulo de sincronização e do serviço na nuvem, além de outro usuário para atuar como provedor da ajuda.

Os cenários descritos foram testados fisicamente por um aluno da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, escolhido por não ter tido contato algum com o modelo durante seu desenvolvimento. Ele o fez vendado e portando um smartphone Galaxy Note II, onde estava instalado o protótipo desenvolvido, acompanhado de um fone de ouvido. Uma foto do usuário tirada durante a execução dos cenários pode ser vista na Figura 5. Tal configuração teve o intuito de simular o uso do sistema por um usuário PDV. Para a localização, foram espalhados beacons Bluetooth na quantidade mínima necessária para cobertura da área de execução dos cenários na ordem descrita. Cada beacon representava um local e todos foram previamente cadastrados na base do dispositivo.

Figura 5 – Usuário durante a execução dos cenários



Fonte: Tirada pelo autor.

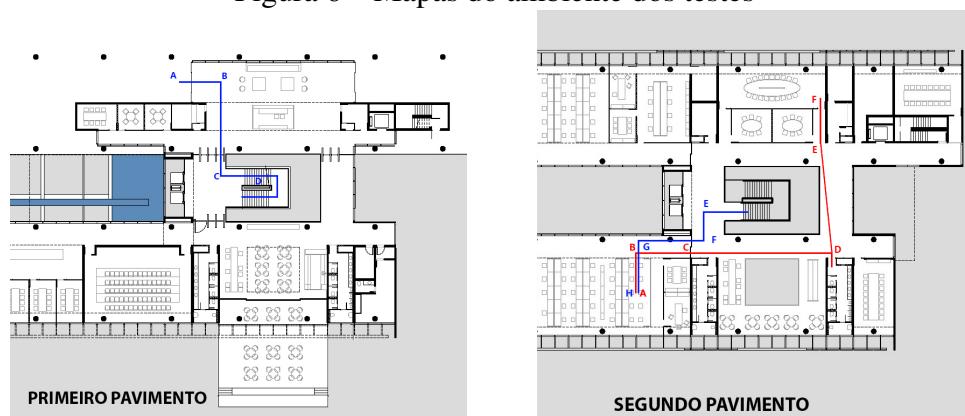
O usuário foi capaz de executar ambos os cenários sem intervenção externa. Concluída a execução, uma dificuldade e uma oportunidade de melhora foram relatadas, citadas abaixo. A adaptação a ambas será adicionada aos trabalhos futuros.

- Não há previsto no modelo uma forma fácil do usuário ouvir novamente as últimas instruções fornecidas, obrigando-o a iniciar o cálculo da rota novamente. Algumas ocasiões em que o usuário pode ficar desorientado são caso o ambiente em que ele se encontra possua muito barulho e caso ele interaja com o aplicativo durante a verbalização das instruções.

- Foi sugerido que o modelo forneça automaticamente instruções de uso na primeira vez em que é utilizado pelo usuário, evitando que ele fique desorientado e diminuindo a curva de aprendizado do modelo.

A Figura 6 mostra o mapa do local onde os testes foram realizados. Nela, a linha azul mostra a rota calculada pelo Insight no primeiro cenário, enquanto a linha vermelha mostra a rota calculada para o segundo cenário. As letras simbolizam os pontos onde a rota foi dividida e onde o usuário recebe novas instruções.

Figura 6 – Mapas do ambiente dos testes



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os cenários descritos demonstram a capacidade do modelo de fornecer rotas amigáveis e deslocamento seguro ao usuário usando como base seu contexto de localização. O protótipo foi capaz de identificar rapidamente mudanças na localização, fornecendo as novas instruções em tempo hábil. Baseado no comportamento apresentado por ele, é possível concluir que a proposta do trabalho foi atendida. Através da combinação de síntese de voz e dos recursos providos pelo modo de acessibilidade do smartphone, como leitura de tela, alertas vibratórios e navegação por gestos, foi possível prover uma experiência acessível aos usuários.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs um modelo computacional acessível para auxílio a pessoas com deficiência visual, usando conceitos da computação móvel e ubíqua. Para isso, uma grande pesquisa bibliográfica foi realizada a fim de conhecer o estado da arte na área da acessibilidade. Os trabalhos mais relevantes encontrados foram listados na seção 3. O estudo dos trabalhos relacionados possibilitou a criação de um modelo focado no usuário que leva em consideração a usabilidade do sistema. Denominado Insight, ele atua auxiliando usuários PDV em seu deslocamento em ambientes internos.

O modelo proposto consiste de uma solução para dispositivos móveis que visa promover acessibilidade aos usuários mapeando sua localização em ambientes internos através de bea-

cons Bluetooth Low Energy. O Insight permite ao usuário selecionar um local para onde deseja ir e obter uma rota e instruções que o guiem até chegar no destino. O modelo contém ainda um serviço com o qual os clientes são sincronizados periodicamente para obter toda e qualquer modificação nas rotas e recursos disponíveis no local. Além disso, o Insight prevê um pedido de ajuda aos administradores, caso o usuário sinta-se desorientado ou enfrente alguma dificuldade.

O Insight teve como principal contribuição científica a utilização de uma arquitetura de serviço na nuvem. Nela, diversas instâncias do servidor são executadas simultaneamente a fim de fornecer escalabilidade e disponibilidade ao modelo. Levando em consideração os trabalhos relacionados, no modelo proposto destaca-se ainda a possibilidade de integração com outras soluções.

Para o processo de avaliação do Insight foi desenvolvido um protótipo, que foi submetido a abordagem de avaliação por cenários. Dois cenários foram criados para simular a rotina diária de um PDV em um ambiente de trabalho acessível. Ambos foram executados com sucesso por um aluno da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, mostrando a capacidade do modelo de fornecer uma localização confiável e um deslocamento seguro. Após a execução, o usuário relatou sua experiência, sugerindo dois acréscimos ao modelo, listados neste trabalho como trabalhos futuros.

6.1 Comparação entre os trabalhos relacionados e o Insight

Esta subseção apresenta um comparativo entre o modelo proposto e os trabalhos relacionados apresentados na seção 3. Para tal, foram adicionados as informações do modelo proposto à Tabela 1, obtendo como resultado a Tabela 4.

Analisando a tabela, é fácil perceber que todos os trabalhos são semelhantes em questão do acesso através de dispositivos móveis, da comunicação através da internet e da exigência de hardware específico. Apenas o PERCEPT se destaca negativamente exigindo hardware customizado para utilização do modelo.

O Insight se destaca dos trabalhos relacionados em diversos pontos:

- Na utilização da tecnologia Bluetooth Low Energy combinada com a área de abrangência em ambientes internos, enquanto o outro trabalho que utiliza a mesma tecnologia possui alcance limitado ao entorno de zonas em obras.
- Nas formas de interação do usuário com o modelo. O Insight é o único que suporta a combinação toques, gestos e voz. Os trabalhos relacionados suportam apenas toques ou então toques e gestos.
- Juntamente com o Tirésias, o modelo tem suporte a interoperabilidade com outras soluções. Porém, o Insight usa web services REST enquanto o Tirésias faz uso de agentes.
- O Insight é o único modelo que usa uma biblioteca dedicada à construção de soluções de

Tabela 4 – Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados e o Insight

	Percept	UCAT	Navigation System for Work-zone	Tirésias	Insight
Método de localização	RFID	Bluetooth 2.1	Bluetooth LE	GPS	Bluetooth LE
Abrangência	Indoor	Indoor e outdoor	Zonas em obras	Indoor	Indoor
Ambientes dinâmicos	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Sim
Meio de acesso	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis	Dispositivos móveis
Interface do utilizador	Toques	Toques e gestos	Toques	Toques e gestos	Toques, gestos e voz
Hardware específico	Sim	Não	Não	Não	Não
Comunicação	Internet ou intranet	Internet	Internet	Internet ou intranet	Internet ou intranet
Interoperabilidade	Não	Não	Não	Sim, através de agentes	Sim, através de web services REST
Adaptação	Não	Sim, através de sensibilidade ao contexto	Não	Sim, através de sensibilidade ao contexto	Sim, através de sensibilidade ao contexto
Banco de dados	Postgres	SQLite	MySQL	Não especificado	SQLite
Linguagem	Java	Java	Java	Objective-C	Java
Sistema operacional	Android	Android	Android	iOS	Android
Bibliotecas utilizadas	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Não especificado	Indoo.rs
Hardware	Luva equipada c/ leitor RFID e dispositivo móvel c/ Bluetooth	Dispositivos móveis c/ Bluetooth	Dispositivos móveis c/ Bluetooth	Dispositivos Móveis c/ GPS	Dispostivos móveis com Bluetooth
Arquitetura	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Distribuída (nuvem)

Fonte: Elaborado pelo autor.

localização, fornecendo uma base pronta o desenvolvimento de modelos para localização em ambientes internos com beacons BLE.

- A arquitetura do Insight é caracterizada como serviço distribuído na nuvem. Isso garante a infraestrutura para uma solução escalável e altamente disponível aos usuários. Todos os trabalhos relacionados fazem uso da estrutura cliente-servidor, menos escalável que o Insight.
- O Insight aplica a ciência de contexto para se adaptar as necessidades do usuário. Dos quatro trabalhos relacionados, apenas 2 também usam o contexto para reagir às mudanças no ambiente do usuário.

6.2 Trabalhos Futuros

Existem oportunidades de melhoria do modelo, listadas aqui como possíveis trabalhos a serem desenvolvidos no futuro.

A principal sugestão é a realização de testes com o protótipo por parte de pessoas com deficiência visual, visto que esse é o público alvo do sistema. Esta etapa consistiria em um usuário PDV executando os cenários aqui descritos e uma entrevista a fim de obter sua avaliação e percepções. Por ter como objetivo a promoção de acessibilidade, essa é uma oportunidade de avaliar e melhorar a usabilidade do modelo proposto.

Outra sugestão interessante seria o desenvolvimento de um protótipo do modelo contendo módulos que não foram testados no protótipo apresentado neste trabalho, como por exemplo o serviço Insight. Tal teste seria fundamental para uma avaliação do modelo por inteiro.

Uma outra grande oportunidade de melhoria é a adaptação do modelo para suportar compromissos do usuário vindos de outras soluções. Tal integração tornaria possível, por exemplo, que o modelo seja utilizado facilmente por alunos de escolas ou Universidades. Do sistema interno da instituição de ensino viriam os horários e locais em que o aluno tem aula. O Insight ficaria responsável por armazenar essas informações e proativamente oferecer ajuda ao usuário uma vez que ele chegue a instituição, tornando ainda mais transparente e fácil o uso do modelo.

Sugestões vindas diretamente do usuário avaliador são interessantes de serem contempladas em uma futura versão do modelo: uma forma do usuário ouvir novamente as últimas instruções recebidas e o uso do acelerômetro para detectar possíveis dificuldades de orientação enfrentadas pelo usuário durante o uso do modelo.

INSIGHT: AN ACCESSIBLE MODEL FOR NAVIGATION INSIDE INDOOR ENVIRONMENTS USING BLUETOOTH LOW ENERGY

Abstract: Visually impaired people face great difficulties during their navigation, because they can't rely on visual signs, which frequently are the only signing available. Even more, positioning systems usually use GPS technology, which proves itself insufficient for indoor environments. Trying to mitigate this issue, this article describes a computational model named Insight. The system was designed to be utilized by people with visual impairment, providing them with a reliable localization and a secure navigation through voice instructions, screen reading and haptic feedback, allowing the users to walk in unfamiliar environments without assistance of other people. The model is based in a cloud service with distributed servers, where the clients are mobile devices considering different forms of interaction in order to allow, in the most natural way, a integration of the system with the user's daily routine. We evaluated Insight using scenarios strategy, in which two scenarios where created to test its viability and behavior in an environment that simulates the daily routine of a visually impaired person.

Keywords: Ubiquitous Accessibility. Visual Impairment. Indoor positioning systems \LaTeX .

REFERÊNCIAS

- ACESSIBILIDADE BRASIL. **O que é acessibilidade?** Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/publicacoes>>. Acesso em: 20 maio 2015.
- BALLANCE, E. J.; LEE, H. Developing proactive information delivery system through bluetooth in ubiquitous networks. In: **Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2008. MUE 2008. International Conference on.** IEEE, 2008. p. 413–418.
- BOHONOS, S. et al. Universal real-time navigational assistance (URNA): an urban bluetooth beacon for the blind. In: **Proceedings of the 1st ACM SIGMOBILE international workshop on Systems and networking support for healthcare and assisted living environments.** ACM, 2007. p. 83–88.
- BRADY, E. et al. Visual challenges in the everyday lives of blind people. In: **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.** ACM, 2013. p. 2117–2126.
- Brasil. SNPDPD. **Tecnologia Assistiva.** [S.l.: s.n.], 2009. 138 p. Disponível em: <<http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br/app/publicacoes>>. Acesso em: 20 maio 2015.
- CHEN-FU, L. **Development of a navigation system using smartphone and bluetooth technologies to help the visually impaired navigate work zones safely.** Minnesota Department of Transportation, Research Services & Library, 2014.
- COSTA, C. A. da; YAMIN, A. C.; GEYER, C. F. R. Toward a general software infrastructure for ubiquitous computing. **IEEE Pervasive Computing**, [S.l.], n. 1, p. 64–73, 2008.
- DEY, A. K. Understanding and using context. **Personal and ubiquitous computing**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 4–7, 2001.
- DEY, A. K.; ABOWD, G. D.; SALBER, D. A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. **Human-computer interaction**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 97–166, 2001.
- DIAS, M. B. **NavPal : technology solutions for enhancing urban navigation for blind travelers.** 2014. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Carnegie-Mellon University, 2014.
- DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. **Numerische Mathematik**, [S.l.], v. 1, p. 269–271, 1959.
- FALK, R. A.; TAVARES, J. E. d. R.; BARBOSA, J. L. V. Tirésias: um modelo para acessibilidade ubíqua orientado à deficiência visual. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, [S.l.], p. 55–70, 2013.
- GANZ, A. et al. Percept: indoor navigation for the blind and visually impaired. **Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE**, [S.l.], p. 856–859, 2011.
- GANZ, A. et al. Percept indoor navigation system for the blind and visually impaired: architecture and experimentation. **International journal of telemedicine and applications**, [S.l.], v. 2012, p. 19, 2012.

GANZ, A. et al. PERCEPT-II: Smartphone based indoor navigation system for the blind. In: **Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE**. IEEE, 2014. p. 3662–3665.

GEDAWY, H. K. **Designing an interface and path translator for a smart phone-based indoor navigation system for visually impaired users**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Qatar Foundation, 2011.

HARPER, S.; GREEN, P. A travel flow and mobility framework for visually impaired travellers. In: **International Conference on Computers Helping People with Special Needs**. 2000. p. 289–296.

IBGE. **Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência**. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010>>. Acesso em: 02 jan. 2015.

MAU, S. et al. Blindaid: an electronic travel aid for the blind. **Robotics Institute Report, CMU-RI-TR-07-39**, [S.l.], 2008.

MONTAGUE, K. Accessible indoor navigation. In: **Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility**. ACM, 2010. p. 305–306.

NARASIMHAN, P.; GANDHI, R.; ROSSI, D. Smartphone-based assistive technologies for the blind. In: **Proceedings of the 2009 international conference on Compilers, architecture, and synthesis for embedded systems**. ACM, 2009. p. 223–232.

PUPO, D. T.; MELO, A. M.; FERRÉS, S. P. Acessibilidade: discurso e prática no cotidiano das bibliotecas. **Campinas: Unicamp/Biblioteca Central César Lattes**, [S.l.], 2006.

QUINONES, Pablo-Alejandro. et al. Supporting visually impaired navigation: a needs-finding study. In: **CHI'11 EXTENDED ABSTRACTS ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS**. ACM, 2011. p. 1645–1650.

RICHARDSON, L.; RUBY, S. **Restful web services**. First Edit. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2008. 409 p.

RODRIGUES, I. R. P. **UCAT: ubiquitous context awareness tools for the blind**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade de Lisboa, 2013.

RODRIGUEZ-SANCHEZ, M. et al. Accessible smartphones for blind users: a case study for a wayfinding system. **Expert Systems with Applications**, [S.l.], v. 41, n. 16, p. 7210–7222, 2014.

Royal London Society for Blind People. **Youth Manifesto**. Disponível em: <<http://www.rlsb.org.uk/campaigns/youth-manifesto>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

SAP. **Standardized Technical Architecture Modeling: conceptual and design level**. [S.l.: s.n.], 2007. Disponível em: <<http://www.fmc-modeling.org/download/fmc-and-tam/>>. Acesso em: 02 set. 2015.

SATYANARAYANAN, M. Mobile computing: the next decade. **ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 2–10, 2011.

STEWART, J. et al. Accessible contextual information for urban orientation. In: **Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing** ACM, 2008. p. 332–335.

TAVARES, J. a. E. d. R. **Hefestos: um modelo para suporte à acessibilidade ubíqua**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade do Vale do Rio do Sinos, 2011.

TAYLOR, B. et al. **Smart shone-based indoor guidance system for the visually impaired**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Brigham Young University, 2012.

TOWNSEND, K. et al. **Getting Started with Bluetooth Low Energy: tools and techniques for low-power networking**. First Edit. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2014. 180 p.

ULLMAN, B. R.; TROUT, N. D. Accommodating pedestrians with visual impairments in and around work zones. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [S.l.], v. 2140, n. 1, p. 96–102, 2009.

VANDERHEIDEN, G. C. Ubiquitous accessibility, common technology core, and micro assistive technology: commentary on “computers and people with disabilities”. **ACM Transactions on Accessible Computing (TACCESS)**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 10, 2008.

W3C. **Web content accessibility guidelines**. Disponível em: <http://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/>. Acesso em: 29 maio 2015.

WEISER, M. The computer for the 21st century. **Scientific American**, [S.l.], v. 265, p. 94–104, 1991.

ZAFARI, F.; PAPAPANAGIOTOU, I.; CHRISTIDIS, K. Micro-location for internet of things equipped smart buildings. **arXiv preprint arXiv:1501.01539**, [S.l.], 2015.

APÊNDICE A – REQUISITOS

Este apêndice apresenta a listagem dos requisitos elicitados para o modelo Insight, sendo divididos em requisitos funcionais e não funcionais.

A.1 Funcionais

Neste apêndice, são apresentados os requisitos funcionais elicitados para o modelo Insight. Cada requisito funcional corresponde a uma funcionalidade presente na modelo, a fim de que usuários possam desempenhar suas ações. Para a definição dos requisitos, foi levado em consideração que o sistema possui dois tipos de atores: usuários e administradores.

- **RF01 - Obter localização atual:** o usuário poderá obter sua localização atual a qualquer momento.
- **RF02 - Visualizar locais próximos:** o usuário poderá visualizar os locais próximos a si, ordenados pela distância até o local.
- **RF03 - Pesquisar por local:** o usuário poderá pesquisar entre os locais disponíveis usando critérios como nome ou categoria.
- **RF04 - Visualizar detalhes do local:** o usuário poderá visualizar informações específicas do local selecionado, tais como nome, descrição, categoria e distância até ele.
- **RF05 - Obter rota até local selecionado:** o usuário poderá obter uma rota até o local selecionado, partindo do seu local atual.
- **RF06 - Obter direção até destino:** o sistema deverá indicar ao usuário através de vibrações quando ele aponta o telefone em direção ao próximo destino.
- **RF07 - Listar locais favoritos:** o usuário poderá visualizar uma lista com os locais marcados como seus favoritos.
- **RF08 - Manter locais favoritos:** o usuário poderá adicionar ou excluir locais da lista de locais favoritos.
- **RF09 - Mensagem de boas-vindas:** o sistema deverá detectar quando o usuário chega no ambiente e enviar uma notificação ao usuário perguntando se ele deseja usar o cliente.
- **RF10 - Enviar pedido de ajuda:** o usuário poderá enviar aos administradores um pedido de ajuda informando o seu último local conhecido, para que alguém seja enviado para socorrer o usuário.
- **RF11 - Manter locais:** o administrador poderá adicionar, editar, ou excluir locais e rotas cadastrados no modelo.

- **RF12 - Manter beacons:** o administrador poderá adicionar, editar, ou excluir beacons cadastrados no modelo.
- **RF13 - Sincronização:** o administrador poderá alterar a periodicidade das sincronizações do cliente com o servidor.
- **RF14 - Afastamento da rota:** Após ter obtido a rota até o destino desejado, o cliente deverá avisar o usuário caso ele saia do caminho traçado a fim de que ele possa corrigir seu deslocamento.
- **RF15 - Tecnologia:** o cliente será compatível com a tecnologia Bluetooth Low Energy.

A.2 Não Funcionais

Neste apêndice são apresentados os requisitos não funcionais elicitados para o modelo In-sight. Os requisitos não funcionais descrevem aspectos internos da aplicação no que diz respeito ao desempenho, confiabilidade, interoperabilidade, mobilidade, disponibilidade, segurança e usabilidade.

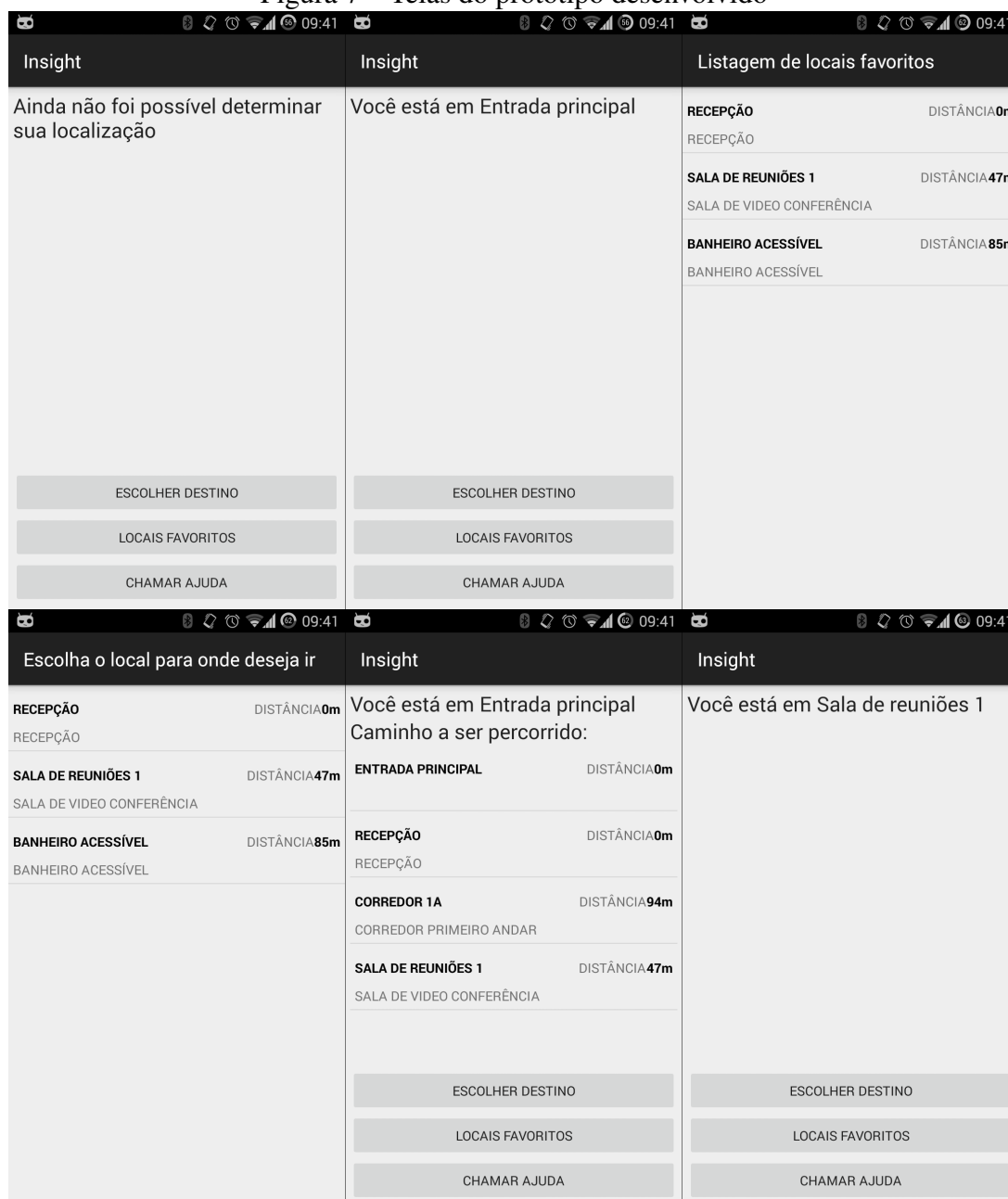
- **RNF01 - Escalabilidade e disponibilidade - Serviço na nuvem:** A aplicação servidor será uma aplicação web.
- **RNF02 - Interoperabilidade - Serviços web REST:** a aplicação servidor disponibilizará web services utilizando o padrão Representational State Transfer (REST) para realizar a integração com os clientes e outras soluções.
- **RNF03 - Interoperabilidade - JSON:** o sistema usará o padrão Javascript Object Notation (JSON) para a transferência de informações a partir do servidor REST, a fim de facilitar a comunicação com os clientes e outras soluções.
- **RNF04 - Portabilidade - Clientes para dispositivos móveis:** a aplicação cliente será utilizado em smartphones ou tablets.
- **RNF05 - Usabilidade - Base de dados local:** O cliente deverá conter uma cópia local do banco de dados localizado na nuvem.
- **RNF06 - Confiabilidade - Sincronização:** O cliente deverá periodicamente sincronizar sua base de dados com a base de dados na nuvem.
- **RNF07 - Usabilidade - Adaptação ao contexto:** o cliente deverá identificar o contexto do usuário através do uso da localização, a fim de exibir os locais mais relevantes e fornecer os próximos passos da navegação.
- **RNF08 - Usabilidade - Comandos por gestos:** o cliente deverá permitir a interação do usuário através de gestos.

- **RNF09 - Usabilidade - Comandos por voz:** o cliente deverá permitir a interação do usuário através de comandos de voz.
- **RNF10 - Acessibilidade - Feedback por voz:** o cliente deverá fornecer informações ao usuário através do uso de voz.
- **RNF11 - Acessibilidade - Feedback tátil:** o cliente deverá fornecer informações ao usuário através do uso de alertas vibratórios.
- **RNF12 - Acessibilidade - Descrição:** o modelo deve poder ser utilizado a partir de hardware leve e discreto.
- **RNF13 - Usabilidade - Interferência:** o modelo não deve interferir em outras ferramentas que o usuário possa estar usando para se deslocar.
- **RNF14 - Confiabilidade - Cache:** cada instância deverá manter uma cópia local temporária dos dados que forem obtidos da base principal, a fim de otimizar o tempo de resposta.
- **RNF15 - Confiabilidade - Cache:** a instância deverá, a cada consulta ao banco de dados, verificar se os dados já existem na base local, antes de consultar na base principal.
- **RNF16 - Desempenho - Formato de armazenamento:** o modelo deve armazenar as informações relativas a rotas no formato de grafos.
- **RNF17 - Desempenho - Calculo de rotas:** as rotas deverão ser calculadas através do algoritmo de Dijkstra.

APÊNDICE B – TELAS

Neste apêndice são exibidas imagens das telas que compõe a interface de usuário desenvolvidas no protótipo. As imagens mostram, em ordem, a tela inicial do sistema; a tela inicial após o sistema ter detectado a posição do usuário; a listagem de locais marcados pelo usuário como favoritos; a listagem de possíveis destinos; o aplicativo durante o deslocamento do usuário; o aplicativo após o usuário chegar ao destino escolhido.

Figura 7 – Telas do protótipo desenvolvido



Fonte: Elaborado pelo autor.