

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

LEANDRO NASCIMENTO ORTIZ

**INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA
PESSOAL COM A INFRAESTRUTURA URBANA:
UMA PROPOSTA PARA CIDADES INTELIGENTES**

CAMPINAS

2017

LEANDRO NASCIMENTO ORTIZ

**INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA
PESSOAL COM A INFRAESTRUTURA URBANA:
UMA PROPOSTA PARA CIDADES INTELIGENTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador: Prof. Dr. David Bianchini

PUC-CAMPINAS

2017

Ficha catalográfica elaborada por Marluce Barbosa – CRB 8/7313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

t303.4834 Ortiz, Leandro Nascimento.
O77i Integração da tecnologia assistiva pessoal com a infraestrutura urbana: uma proposta para cidades inteligentes / Leandro Nascimento Ortiz. - Campinas: PUC-Campinas, 2017.
61f.

Orientador: David Bianchini.
Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Inclui bibliografia.

1. Inclusão digital. 2. Deficientes visuais. 3. Tecnologia da informação. 4. Comunicações digitais. I. Bianchini, David. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

CDD – 22.ed. t303.4834

LEANDRO NASCIMENTO ORTIZ

**INTEGRAÇÃO DA TECNOLOGIA ASSISTIVA PESSOAL
COM A INFRAESTRUTURA URBANA: UMA PROPOSTA
PARA CIDADES INTELIGENTES**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a) David Bianchini

Dissertação defendida e aprovada em 22 de novembro de 2017 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. David Bianchini
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Frank Herman Behrens
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Rangel Arthur
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Dedico este trabalho primeira a Deus, sem o qual nada disso seria possível; e a todas as pessoas com deficiência que possam, algum dia, se beneficiar deste projeto

AGRADECIMENTOS

A Deus,
Agradeço pela inspiração do projeto e pela força em realizá-lo.

A minha esposa Pâmela,
Pela paciência nesses dois anos e pelo incentivo e suporte durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao meus pais,
Pelo encorajamento e apoio aos estudos em toda a minha vida.

Ao Prof. Dr. David Bianchini,
Pelas orientações, direções e apoio neste trabalho. Sempre paciente e motivador, mesmo nos momentos de prazos apertados, revisando, ajudando e orientando o projeto.

“Quem dentre vós é sábio e entendido? Mostre pelo seu bom trato as suas obras em mansidão de sabedoria.”

Tiago 3:13

RESUMO

ORTIZ, Leandro Nascimento. *Integração da tecnologia assistiva pessoal com a infraestrutura urbana: Uma proposta para cidades inteligentes*. 2017. 61f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro De Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Campinas, 2017.

As pessoas com deficiência podem usufruir de produtos pessoais de tecnologia assistivas ou de infraestruturas urbanas assistivas para auxílio no cotidiano. Entretanto, elas poderiam usufruir ainda mais com a integração dos produtos assistivos pessoais com a infraestrutura assistiva urbana. Neste trabalho, propõe-se um caso de integração, aplicada à deficiência visual, juntamente com o desenvolvimento de uma prova de conceito da proposta, resultando em uma plataforma *on-line* (*Infratech*), dois sistemas (*TagMaps* e *CityDevices*) e uma bengala inteligente.

Palavras-chave: 1- Tecnologia Assistiva; 2- Infraestrutura Urbana; 3- Integração de Tecnologia; 4- *Infratech*; 5- *TagMaps*; 6- *CityDevices* 7- Bengala Inteligente

ABSTRACT

ORTIZ, Leandro Nascimento. *Integration of personal assistive technology with urban infrastructure: A proposal for smart cities*. 2017. 61f. Dissertation (Master in Urban Infrastructure Systems) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro De Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Campinas, 2017.

People with disabilities can benefit from personal assistive technology products or urban assistive infrastructures in everyday life. However, they could benefit even more from the integration of personal assistive products with urban assistive infrastructure. This work proposes a case of integration, applied to visual impairment, together with the development of a proof of concept for the proposal, resulting in an on-line platform (Infratech), two systems (TagMaps and CityDevices) and a smart cane.

Keywords: 1- Assistive Technology; 2- Urban Infrastructure; 3- Technology Integration; 4- Infratech; 5- TagMaps; 6- CityDevices 7- Smart Cane

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- API = Application Programming Interface
- ASCII = American Standard Code for Information Interchange
- CSS = Cascading Style Sheets
- HTML = HyperText Markup Language
- ID = Identificador
- ORM = Object-relational Mapping
- RFID = Radio-Frequency Identification
- SQL = Structured Query Language
- USB = Universal Serial Bus
- UWP = Universal Windows Plataform

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1. Objetivo Geral | 13 |
| 1.2. Objetivos Específicos..... | 13 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1. Pessoas com deficiência..... | 14 |
| 2.2. Acessibilidade | 14 |
| 2.3. Desenho Universal..... | 15 |
| 2.4. Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva | 15 |
| 2.5. Tecnologia Assistiva Urbana..... | 16 |
| 2.6. Tecnologia Assistiva Pessoal..... | 16 |
| 2.7. Integração de Tecnologias Assistivas | 18 |
| 3. PLATAFORMAS E SISTEMAS WEB..... | 22 |
| 3.1. <i>Front-end</i> | 22 |
| 3.2. <i>Back-end</i> | 23 |
| 3.3. Hospedagem..... | 23 |
| 4. DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA..... | 25 |
| 4.1. Arquitetura Geral..... | 25 |
| 4.2. Plataforma <i>Infratech</i> | 26 |
| 4.3. Sistema da Plataforma: <i>TagMaps</i> | 27 |
| 4.4. Sistema da Plataforma: <i>CityDevices</i> | 28 |
| 4.5. Padrões de Tecnologia e Protocolo do <i>CityDevices</i> | 30 |
| 4.6. Bengala Inteligente | 33 |
| 4.7. Emuladores..... | 39 |
| 5. RESULTADOS E ANÁLISES | 42 |
| 5.1. Testes Funcionais Específicos..... | 42 |
| 5.2. Testes no Modo de Navegação | 53 |
| 5.3. Teste de Percurso..... | 54 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 59 |

1. INTRODUÇÃO

Novas tecnologias são constantemente desenvolvidas e empregadas nos mais diversos produtos e aplicações. Uma aplicação de grande importância social é a utilização da tecnologia no auxílio de pessoas com algum tipo de necessidade especial em suas tarefas do cotidiano, podendo ser do trabalho, do lazer ou simples tarefas rotineiras. Nesse caso, essa tecnologia passa a ser chamada de Tecnologia Assistiva.

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 participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. (CAT, 2008 apud SEDH, 2009, p.9)

As tecnologias aplicadas na assistividade não se limitam apenas ao auxílio de pessoas com deficiência. Por exemplo, os idosos possuem necessidades especiais e específicas em relação à locomoção, audição, entre outras áreas, variando de pessoa a pessoa. O alcance das tecnologias assistivas estende-se até mesmo aos indivíduos com necessidades momentâneas, acidentados ou se recuperando de cirurgias. Um paciente intubado, por exemplo, fica privado de se comunicar por fala, necessitando de uma tecnologia assistiva temporariamente.

Devido à importância social dessa área, muitos centros de pesquisas e empresas têm desenvolvido produtos e soluções em tecnologia assistiva para uso pessoal ou público. Os produtos podem ser desde simples pisos táteis até sofisticados assistentes pessoais eletrônicos.

Como acontece em todas áreas da indústria, os produtos são desenvolvidos por empresas diferentes, com tecnologias específicas, sendo difíceis de se integrarem ou interoperarem. Existem normas, conforme listado por SEDH (2009), que visam a integridade dos dispositivos, a acessibilidade ao usuário, mas que não normatizam padrões que possibilitem futuras integrações.

Entretanto, devido ao custo social da aplicação e o fato de que os usuários estão utilizando os produtos em busca de auxílio, o isolamento tecnológico nessa área pode ser bem prejudicial. Por exemplo, um usuário precisaria carregar consigo

diversos assistentes pessoais, um para cada aplicação, caso eles forem impedidos de se interoperarem e não puderem ser integrados por alguma empresa.

Os produtos de uso público, como pisos táteis e semáforos audíveis costumam ser isolados, como parte da assistividade urbana, mas sem integração com os assistentes pessoais dos usuários.

Algumas vezes são apresentadas soluções que interagem produtos pessoais com infraestrutura urbana, mas limitados à um produto específico, de um fabricante próprio. Novamente, se diversos fabricantes desenvolverem soluções dessa forma, o usuário precisaria carregar consigo diversos aparelhos para interagir com cada item específico da cidade.

Assim, muito poderia se aproveitar de uma integração de produtos de tecnologia assistiva e da interoperabilidade, principalmente entre a infraestrutura assistiva e os produtos pessoais dos cidadãos.

Uma possível solução seria a criação de uma plataforma *on-line* que concentrasse informações importantes sobre a infraestrutura urbana, em um banco de dados comum, disponibilizando-a para diversos produtos e sistemas de tecnologia assistiva. A partir da mesma plataforma, os produtos poderiam se interoperar, baseado em padrões e protocolos pré-definidos, incentivados pelo uso desse sistema comum.

Diversas soluções podem ser criadas, que aproveitem os recursos compartilhados desta plataforma e promovam a integração de sistemas e produtos de tecnologia assistiva. Por exemplo, uma cidade pode prover uma infraestrutura assistiva, instalando etiquetas de RFID (*Radio-Frequency Identification*) para indicar pontos importantes em pisos táteis. As informações de cada um desses pontos podem ser mantidas atualizadas no banco de dados da plataforma para serem acessadas por um sistema de navegação em um dispositivo pessoal, como por exemplo, uma bengala inteligente, dotada de capacidade computacional para executar aplicativos. Desta forma, uma tecnologia assistiva urbana pode ser utilizada em conjunto com uma tecnologia assistiva pessoal, integradas via a plataforma *on-line*.

Outra possibilidade seria no caso da interação entre dispositivos urbanos e pessoais. A cidade poderia dispor de dispositivos urbanos interativos, como um semáforo que pudesse avisar diretamente uma bengala inteligente sobre o

momento de atravessar a rua; ou uma plataforma de elevação que pudesse ser acionada diretamente por uma cadeira de rodas inteligente. Nestes casos, os dispositivos poderiam ser cadastrados na plataforma para receberem códigos únicos de identificação e poderem se interoperar, baseando-se em protocolos padronizados pela mesma plataforma.

Por fim, poderia haver uma integração entre os sistemas da própria plataforma, no caso, utilizando-se as etiquetas de RFID dos pisos táteis para indicar a presença de um semáforo interativo e armazenar seu código identificador para que a comunicação direta seja iniciada. Com isso, uma bengala inteligente utilizaria dois sistemas da plataforma, integrados, para automatizar ainda mais a navegação de uma pessoa com deficiência visual.

À medida que novos sistemas forem sendo introduzidos na plataforma, novas funcionalidades podem surgir, resultantes da integração entre eles, trazendo novos benefícios aos usuários de tecnologia assistiva. Assim, esse tipo de tecnologia poderá ser realmente assistiva, em sua plenitude, sem reservas de mercado, sem isolamento tecnológico, com benefícios diretos aos seus usuários.

1.1. Objetivo Geral

Propõe-se apresentar um caso de integração da Tecnologia Assistiva Pessoal com a Infraestrutura Assistiva Urbana, no contexto de Cidades Inteligentes, através do desenvolvimento de uma prova de conceito, aplicada ao caso de deficiência visual.

1.2. Objetivos Específicos

Desenvolver uma plataforma *on-line*, denominada *Infratech*, que possibilite integrar diferentes sistemas de infraestrutura urbana entre si e com dispositivos pessoais dos cidadãos. Inclui-se ainda o desenvolvimento de dois sistemas integrados na plataforma (denominados *TagMaps* e *CityDevices*) e uma bengala inteligente, que interage com a infraestrutura urbana através dos sistemas da plataforma.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Pessoas com deficiência

Existem inúmeras pessoas com algum tipo de deficiência vivendo nas cidades de todo o mundo. Somente no Brasil, o CENSO (2010) apontou cerca de 45 milhões de pessoas sofrendo de algum tipo de deficiência. Dessas pessoas, cerca de 7 milhões sofrem de alguma deficiência auditiva, sendo cerca de 344 mil indivíduos totalmente surdos.

O CENSO também relatou cerca de 29 milhões de pessoas com alguma dificuldade visual, sendo mais de 500 mil indivíduos com cegueira total.

Já as deficiências motoras chegam a 8 milhões, sendo mais de 700 mil indivíduos totalmente impedidos de se movimentar.

2.2. Acessibilidade

Visando a inclusão de todos os indivíduos da sociedade no acesso à infraestrutura e aos produtos/serviços, começou-se a considerar a questão da acessibilidade. De acordo com SASSAKI (2009), a acessibilidade pode ser classificada em 6 dimensões:

Arquitetônica: Inexistência de barreiras físicas em casas, edifícios, espaços, equipamentos urbanos e meios de transportes.

Comunicacional: promover a comunicação interpessoal, escrita ou virtual, sem barreiras.

Metodológica: eliminação das barreiras nos métodos e técnicas nas áreas de lazer, trabalho, educação, entre outras.

Instrumental: acesso aos instrumentos e ferramentas de ensino, trabalho e lazer.

Programática: eliminar as barreiras embutidas nas políticas públicas, legislações e normas.

Atitudinal: eliminação de preconceitos, estereótipos e discriminações em relação às pessoas com deficiência.

No Brasil, a norma ABNT NBR 9050:2015 estabelece os critérios e parâmetros de acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Um dos itens de acessibilidade abordados pela norma é o piso tátil (ABNT, 2015).

2.3. Desenho Universal

Com o avanço nas buscas pela acessibilidade e inclusão de todos os indivíduos, tem-se como objetivo o Desenho Universal, em que a acessibilidade é pensada desde a concepção do projeto, e não, uma adaptação. Por exemplo, uma calçada projetada com esse princípio seria nivelada com a rua em toda a sua extensão, ao invés de possuir rampas de acesso em alguns pontos específicos (CAMPÊLO, 2011).

O Decreto 5.296 define o Desenho Universal como a “*concepção de espaços, artefatos e produtos que visam atender simultaneamente todas as pessoas*” (DECRETO, 2004), independentemente de suas características (antropométricas ou sensoriais) e ainda de forma autônoma, segura e confortável.

2.4. Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva

Conforme a sociedade tem se atentado para as dificuldades e necessidades das pessoas com deficiência, muitos esforços têm sido feitos por parte de empresas, centros de pesquisas e órgãos de fomento.

Somente no Brasil, nos últimos anos, o governo federal financiou 71 grupos de pesquisas, sendo catalogados mais de 1500 produtos de tecnologia assistiva (BRASIL, 2015).

Também em todas as partes do mundo, empresas e centros de pesquisas têm desenvolvidos produtos pessoais de tecnologia assistiva, cada uma com sua tecnologia própria, desenvolvendo *hardwares* ou aproveitando plataformas móveis como celulares.

2.5. Tecnologia Assistiva Urbana

No âmbito da infraestrutura das cidades, a tecnologia assistiva urbana consiste em rampas de acesso, pisos táteis, semáforos com áudio, entre outros. Nesta área, a questão de padronização se torna importante, por se tratar de acesso público, sendo regido por normas e conceitos de desenho universal. Existem normas que abrangem desde o uso de terminologias até detalhes do projeto, conforme abordado por SEDH (2009).

Apesar dos esforços para normatização, muitos países possuem diferentes parâmetros técnicos para a acessibilidade urbana, conforme constatado por HASHIZUME *et al* (2009), em um trabalho de comparação entre normas de diferentes países a respeito de medidas de vãos e degraus nas plataformas de trem, pensando no deslocamento de cadeirantes.

Muitos dos sistemas assistivos compõe a nova infraestrutura urbana necessária para as chamadas cidades inteligentes (CIDADES, 2013). Além da assistividade, diversos outros sistemas tecnológicos têm sido incorporados na infraestrutura urbana como, por exemplo, plataformas inteligentes de segurança pública (BARTOLI, 2015).

2.6. Tecnologia Assistiva Pessoal

As tecnologias assistivas de uso pessoal compreendem desde cadeiras de rodas mecânicas até assistentes pessoais eletrônicos ou aplicativos de celular.

Um tipo de tecnologia assistiva pessoal muito comum é o “vocalizador”, que normalmente consiste em uma prancheta com diferentes figuras, as quais reproduzem frases ao serem pressionadas. Em geral, são produtos voltados para educação infantil, com frases simples, ilustrações lúdicas e resistência contra quedas.

A Figura 1 mostra um vocalizador da empresa *Attainment Company* (VOCALIZADOR, 2016), com 20 ilustrações, expansível com a troca do papel-cartão.



Figura 1. GoTalk 20+ da Attainment Company. Fonte: (VOCALIZADOR, 2016).

Outro uso importante da tecnologia assistiva está no aproveitamento de recursos dos celulares, como os microfones e a alta capacidade de processamento. Um exemplo são os aplicativos que auxiliam pessoas com deficiência auditiva a “escutar” o ambiente, detectando e identificando sons, como os de sirenes. Nesse caso, o usuário pode ser alertado de forma visual e/ou vibratória sobre algum perigo eminente.

O aplicativo *Hearing Aide* (APLICATIVO, 2016), por exemplo, reconhece sirenes ou alarmes, informando o usuário por meio de imagens na tela. Além disso, permite gravar sons específicos para serem reconhecidos posteriormente. A Figura 2 exemplifica o alerta do aplicativo sobre o reconhecimento de sirenes e alarmes.



Figura 2. Aplicativo *Hearing Aide*. Fonte: (APLICATIVO, 2016).

Alguns produtos são resultados de melhorias em tecnologias assistivas já consolidadas, como as bengalas de cegos. Com o avanço da eletrônica e da computação, as bengalas têm se tornado inteligentes, contando com sensores para detectarem obstáculos oblíquos (na altura da cabeça do usuário) ou que sejam mais distantes que o comprimento da bengala.

Uma pesquisa conduzida por pesquisadores sul-coreanos (KIM, 2013) analisou 12 dispositivos para pessoas com deficiência visual, entre eles, 6 modelos de bengalas inteligentes. Foram analisados os quesitos de usabilidade e eficácia na detecção de obstáculos.

Uma das bengalas analisadas é a *UltraCane*, mostrada na Figura 3. Conforme pode ser visto na figura, a bengala possui dois sensores de ultrassom, um apontado na direção da haste (para detectar obstáculos distantes) e outro perpendicular ao cabo (para detectar obstáculos oblíquos).



Figura 3. Bengala *UltraCane*. Fonte: (ULTRACANE, 2017)

2.7. Integração de Tecnologias Assistivas

As tecnologias assistivas são, na maioria das vezes, independentes umas das outras, gerando produtos isolados, sem interoperabilidade. A integração das tecnologias pode acontecer dentro de grupos de aplicação semelhantes, por

exemplo, integrando dispositivos pessoais entre si; ou ainda, na interoperabilidade de sistemas assistivos de infraestrutura urbana.

A integração de dispositivos pessoais necessita de padronização das tecnologias, com interfaces abertas e genéricas para permitir a troca de dados e sinais entre os dispositivos, conforme proposto por NISBET (1996), que já se preocupava com a integração de dispositivos na década de 90. Entretanto, a padronização e abertura dos dispositivos pessoais costuma ser sufocada pela questão comercial e estratégica dos fabricantes.

Já a interoperabilidade de sistemas assistivos urbanos está respaldada na própria busca de integração na infraestrutura urbana, devido ao avanço das cidades inteligentes. Neste aspecto, muitos trabalhos têm buscado modelos de integração de sistemas de infraestrutura urbana. Por exemplo, TOMAS (2014) propõe uma arquitetura de sistemas baseada na Internet das Coisas; já o trabalho de NANNI *et al* (2014) envolve um modelo organizacional conceitual e arquitetural para as cidades inteligentes, com a integração de dados de diferentes sistemas, através do desenvolvimento de uma camada de *middleware*.

Uma outra forma de integração pouco explorada e que pode trazer muitos benefícios é a interoperabilidade entre os grupos de aplicação, por exemplo, integrando produtos pessoais com infraestrutura urbana. Este caso, inclusive, faz parte do objetivo principal deste presente trabalho.

Um dos poucos exemplos desse tipo de integração pode ser encontrado nos chamados Aros Indutivos (ou *Hearing Loops*), que consistem em sistemas de transmissão de áudio diretamente para aparelhos auditivos dos usuários, conforme mostrado na Figura 4.

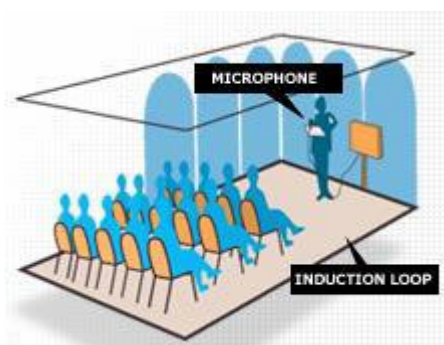


Figura 4. Aro Magnético. Fonte: (LOOPS, 2017)

Muitos aparelhos auditivos possuem uma bobina interna chamada *T-Coil*, que funciona para receber o sinal eletromagnético do alto-falante do telefone, sem precisar amplificar o áudio pelo microfone de captação ambiente, deixando a recepção mais clara para o portador do aparelho. Esse é também um dos poucos casos de integração entre dispositivos pessoais. Baseado nesse princípio de funcionamento, muitos lugares públicos, como teatros, aeroportos, centros de convenções e até mesmo bilheterias possuem um aro de indução eletromagnética ao redor do perímetro local, que envia sinais eletromagnéticos diretamente para as bobinas internas dos aparelhos auditivos. Com isso, o mesmo sinal do microfone é enviado para os alto-falantes locais e também para o aro de indução, permitindo uma recepção muito mais clara e sem ruído para o usuário (GREENEMEIER, 2010).

Assim, um sistema de infraestrutura assistiva (aro de indução instalado nos locais públicos) interopera com um dispositivo pessoal (aparelho auditivo), proporcionando um benefício que só poderia ser alcançado através da integração das tecnologias assistivas pessoais e urbanas.

Um outro exemplo desse tipo de integração são as bengalas inteligentes com leitores RFID (*Radio-Frequency Identification*). Neste caso, a infraestrutura urbana conta com *tags* (etiquetas) de RFID, que contém informações descritivas do local ou códigos de identificação. Em geral, as etiquetas são instaladas no percurso dos pisos táteis para serem detectadas e lidas pela bengala inteligente. Nessa integração, a infraestrutura da cidade pode fornecer dados diretamente para o dispositivo pessoal do usuário, que irá sintetizar em voz a descrição do local no fone de ouvido ou poderá traçar rotas baseado nos dados obtidos.

O trabalho de ARAUJO (2015) desenvolve uma bengala com leitor de *tags* RFID, instaladas sobre pisos táteis, contendo códigos identificadores de cada ponto. As informações de cada ponto ficam armazenadas em arquivos de áudio, gravados previamente, em um cartão de memória. Ao ler uma *tag*, a bengala busca o arquivo correto, baseado no código identificador obtido, reproduzindo no fone de ouvido do usuário.

Outros sistemas semelhantes envolvendo bengalas com leitor RFID são constituídos para navegação ponto-a-ponto, enviando os códigos identificadores das *tags* para servidores, via internet móvel. Então, a rota é calculada no servidor

remoto e retornada para a bengala, também via internet. Com as informações retornadas, a bengala sintetiza em voz os comandos de navegação para o usuário. Esses sistemas são citados e comparados por ARAUJO (2015), como por exemplo as pesquisas de Sakmongkon et al (2013, *apud* ARAUJO, 2015).

Em sequência das análises dos sistemas atuais citados, os próximos capítulos trazem o desenvolvimento da prova de conceito proposta pelo presente trabalho.

3. PLATAFORMAS E SISTEMAS WEB

A prova de conceito deste trabalho engloba o desenvolvimento de um sistema *web* que não funciona apenas como um *website*, mas como uma aplicação *web* completa (FORTES, 2013), operando em um servidor remoto, com acesso à banco de dados e dividido em *front-end* e *back-end*.

O *front-end* é a camada de interface com o usuário, que consiste em um *website* completo com menus, botões, formulários, caixas de texto e todos os outros componentes necessários para apresentação de dados e controles.

Já o *back-end* é o conjunto de camadas que processam as requisições e gerenciam o acesso à dados. Consiste em uma aplicação *web*, também chamada de servidor.

A forma de acessar o *back-end* e fazer requisições é através de serviço via API (*Application Programming Interface*), chamado de *Web APIs*. Dessa forma, o *back-end* expõe os serviços para serem consumidos pelo *front-end* ou por outras aplicações, como por exemplo, aplicativos de celular.

3.1. Front-end

O *front-end* consiste de um *website* típico, com as páginas escritas em HTML (*HyperText Markup Language*) e com os estilos dos elementos definidos com CSS (*Cascading Style Sheets*). Além disso, são carregados *scripts* para prover o comportamento dos componentes. No caso, os *scripts* foram escritos em *JavaScript*. Assim, a aplicação é dividida em 3 partes:

- Estruturação da página web: HTML
- Definição dos estilos de cada elemento HTML: CSS
- Scripts comportamentais da página web: *JavaScript*

Como o *front-end* é uma aplicação *web* (*Web App*), ele realiza diversas chamadas no *back-end* e precisa alterar apenas partes da tela com os resultados das chamadas. Dessa forma, ele não poderia fazer requisições de páginas *web* inteiras no servidor a cada mudança na interface, como ocorre em um *website* comum, necessitando empregar o conceito de *single-page application* (SPA, 2017).

Este conceito permite que o *front-end*, com todas as suas telas, seja executado em apenas uma página HTML, trocando-se apenas o conteúdo parcial necessário. Este conceito pode ser aplicado através de diversos *frameworks* disponíveis, entre eles, o *AngularJS*, que foi utilizado nesse projeto.

3.2. Back-end

O *back-end* é a aplicação *web* no lado do servidor, sendo formado por um conjunto de camadas, que expõe os serviços e realiza o acesso à dados. Essas camadas foram escritas em C# e utilizam o *framework* “*dotNet*” da *Microsoft*. Assim, a aplicação é dividida em 4 camadas:

- *Web API Controllers*: Camada de exposição dos serviços
- *Models*: Camada responsável pelas classes de objetos transicionais utilizados pela API
- *Business*: Camada responsável por implementar as regras de negócio
- *Data*: Camada de acesso à dados, responsável pela persistência no banco de dados

O banco de dados utilizado é do tipo relacional (COSTA, 2011), em que os dados são armazenados em tabelas, podendo ser facilmente recuperados e relacionados entre si, utilizando a linguagem SQL (*Structured Query Language*). No caso, utilizou-se o banco *SQL Server*, da *Microsoft*.

Como a aplicação é feita com uma linguagem de paradigma orientado-à-objeto, pode-se utilizar um *framework* do tipo ORM (*Object-relational Mapping*) que realiza o mapeamento de objetos em tabelas relacionais, facilitando o desenvolvimento. No projeto, o ORM utilizado foi o *NHibernate*.

3.3. Hospedagem

O serviço de hospedagem utilizado foi o *Azure* (AZURE, 2017) da própria *Microsoft*, devido às facilidades de integração com a aplicação do *back-end* e com o banco de dados, pois fazem parte do mesmo fornecedor.

O *Azure* possui uma ampla variedade de planos de hospedagem, desde gratuitos (em máquinas virtuais compartilhadas) até grandes arranjos de máquinas virtuais distribuídas em diversos continentes, garantindo disponibilidade do serviço em todo o tempo e com redundância de dados. Desta forma, muitos dos requisitos de plataformas *web* (como disponibilidade, segurança, redundância de dados) podem ser alcançados ao assinar um plano de grande porte. No caso deste projeto, o plano gratuito é suficiente para a prova de conceito desejada.

O *Azure* possui o aluguel tradicional de máquinas virtuais, em que precisariam ser instaladas as aplicações *web* e o *SQL Server*. Entretanto, o *Azure* também fornece novos serviços de hospedagem, mais simples de gerenciar e de publicar as alterações, sem precisar alugar uma máquina virtual, compreendendo no aluguel do espaço de um *Web App* e do serviço de *SQL Server* em nuvem. Assim, foi escolhida essa forma de hospedagem para a plataforma.

O capítulo seguinte descreve com detalhes cada sistema, a arquitetura de integração e a bengala inteligente.

4. DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA

O presente trabalho tem por objetivo apresentar um caso de integração de tecnologia assistiva pessoal com a infraestrutura assistiva urbana, evidenciando seus benefícios e possibilidades.

Para tal, o trabalho consiste no desenvolvimento de uma plataforma *on-line* (*Infratech*), uma bengala inteligente e dois sistemas integrados na plataforma (*TagMaps* e *CityDevices*).

4.1. Arquitetura Geral

Para viabilizar a integração proposta por este trabalho, foi desenvolvida uma plataforma *on-line*, denominada *Infratech*, que contém sistemas interoperáveis, banco de dados unificado e gerenciamento de cadastro/ acesso único para usuários.

Como exemplo de sistemas interoperáveis, foram desenvolvidos dois sistemas. O primeiro deles, o *TagMaps*, que consiste em um sistema de gestão de etiquetas de RFID, utilizadas para fornecer informações sobre o percurso ao longo do piso tátil em uma cidade.

Já o outro sistema, o *CityDevices*, funciona como um gestor de configuração para permitir a comunicação direta entre dispositivos pessoais e dispositivos urbanos. Além disso, foi desenvolvido o protocolo *CityDevices* com diretrizes sobre a comunicação entre os dispositivos.

Por fim, foi desenvolvida uma bengala inteligente, que realiza login na plataforma *Infratech*, recebe um ID (Identificador) de dispositivo pessoal do sistema *CityDevices* e sincroniza-se com o banco de dados do *TagMaps*.

Com essa integração da bengala com a *Infratech* e seus sistemas (*CityDevices* e *TagMaps*), a bengala pode realizar leituras de informações em etiquetas de RFID no piso tátil e interagir com semáforos interativos. A Figura 5 ilustra a arquitetura geral de todos os sistemas presentes neste trabalho:

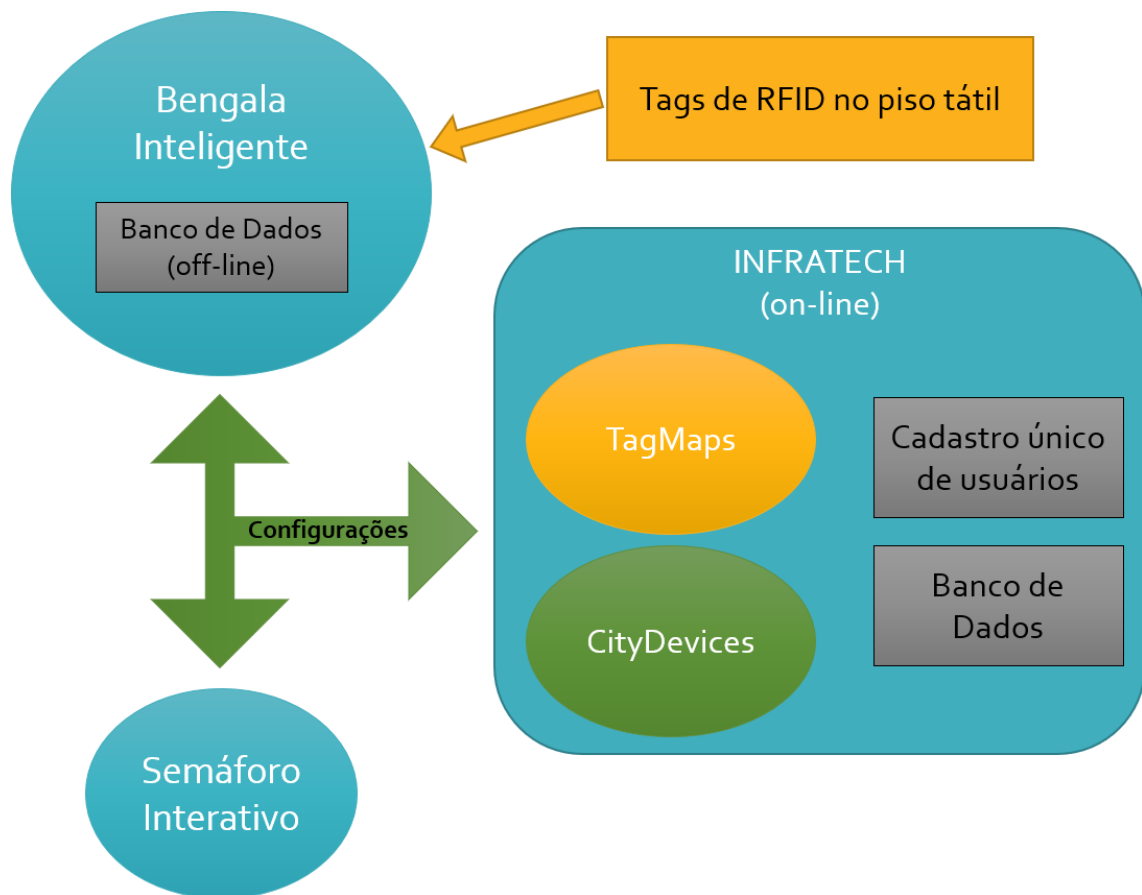


Figura 5. Arquitetura Geral. Fonte: Produzida pelo autor.

Como o *TagMaps* e o *CityDevices* fazem parte da mesma plataforma, eles também se interoperam, oferecendo mais benefícios para o usuário da plataforma. Um exemplo está na identificação de semáforos interativos. O semáforo é cadastrado como dispositivo urbano no sistema *CityDevices*, recebendo um ID específico. Então, o ID é registrado nas informações da *tag* de RFID que fica no ponto de parada do piso tátil, exatamente no local de aguardar o semáforo. Com isso, a bengala pode ler as informações da *tag*, avisar o usuário de que existe uma travessia com semáforo interativo e iniciar uma comunicação direta com o semáforo (utilizando o ID que está registrado na *tag*).

4.2. Plataforma *Infratech*

A plataforma *on-line*, denominada *Infratech*, consiste de aplicações *web*, que foram desenvolvidas de acordo com as especificações descritas no capítulo

anterior. Ela é formada por duas aplicações *web* (*Web Apps*), sendo uma para o *front-end* e outra para o *back-end*.

O *front-end* consiste no Portal, onde o usuário cria uma conta, realiza login, gerencia seus dados pessoais e navega pelos sistemas integrados da plataforma.

Já o *back-end*, consiste na *Web API*, que expõe os serviços da plataforma para serem consumidos pelo Portal ou por qualquer outra aplicação, como por exemplo, um aplicativo de celular.

Como a *Infratech* é uma prova de conceito, focada na integração entre sistemas de tecnologias assistivas, os requisitos típicos de plataformas (como, por exemplo, segurança) não foram implementados.

Os sistemas integrados (*TagMaps* e *CityDevices*) fazem parte da plataforma, contidos tanto no *front-end*, como no *back-end*. Além disso, o banco de dados é o mesmo para a plataforma e os dois sistemas integrados.

A hospedagem da plataforma, juntamente com seus sistemas é feita através do aluguel de dois *Web Apps* do *Azure* (um para o *front-end* e outro para o *back-end*) e de um serviço de *SQL Server* em nuvem.

4.3. Sistema da Plataforma: *TagMaps*

Como forma de apresentar um caso de integração entre a infraestrutura urbana e a bengala inteligente, um dos sistemas desenvolvidos para a plataforma foi o *TagMaps*.

O *TagMaps* consiste em um sistema de apoio à navegação de uma pessoa com deficiência visual pelas ruas da cidade ou no interior de estabelecimentos, como *shoppings centers*, lojas, empresas, aeroportos e prédios públicos.

Ele abrange uma parte da infraestrutura urbana, pois necessita da instalação de *tags* de RFID ao longo do percurso de pisos táteis. Essas *tags* possuem um número de série, que pode ser relacionado em um banco de dados com informações sobre o caminho que a pessoa está passando, como nome da rua, lojas próximas, além de informações sobre obstáculos, calçadas, rampas, escadas e semáforos, por exemplo.

Essas informações são armazenadas no banco de dados da *Infratech*, podendo ser cadastradas e gerenciadas pelo portal, através do sistema *TagMaps*, integrado na plataforma *Infratech*.

O sistema consiste em um formulário de cadastro de *tags*, relacionando-as em um componente de mapa do *Google Maps*, na visão híbrida (fotos do satélite + mapa). Ao clicar em um ponto do mapa, aparece um formulário para preenchimento das frases a serem sintetizadas em voz para o usuário.

Existem 4 opções de frase, dependendo do sentido de deslocamento do usuário (norte, sul, leste ou oeste). Por exemplo, a *tag* próxima de uma sarjeta precisa avisar que a calçada terminou apenas se a pessoa estiver se deslocando no sentido de ir para a rua; caso contrário, deve informar que a pessoa terminou de atravessar a rua e uma nova calçada se inicia.

Por ser uma prova de conceito, foram utilizados apenas 4 sentidos de deslocamento (norte, sul, leste e oeste), devendo-se considerar para o mais próximo. Em novas versões, pode-se subdividir os sentidos para aumentar a precisão.

O *TagMaps* foi projetado para abranger trajetos de piso tátil da cidade e de estabelecimentos, cobertos e descobertos. Entretanto, na prova de conceito, foi desenvolvido apenas o cadastramento de *tags* nas cidades, em locais descobertos, que podem ser visualizados no *Google Maps*. Para os demais cadastros, em trabalho futuro, será necessário desenvolver ferramentas de desenho de mapas internos, aumentando consideravelmente a complexidade da prova de conceito.

4.4. Sistema da Plataforma: *CityDevices*

O sistema *CityDevices* é outro sistema desenvolvido neste trabalho para a plataforma *Infratech*, a fim de contribuir para integração de tecnologias assistivas.

Ele foi concebido para permitir a comunicação direta entre dispositivos pessoais e dispositivos urbanos, sem intermediários no ato da comunicação. Por exemplo, uma bengala inteligente (dispositivo pessoal) pode se comunicar diretamente com um semáforo interativo (dispositivo urbano), solicitando passagem de pedestre e recebendo informações da permissão de passagem.

Para tal, o *CityDevices* compreende em 3 partes:

- Conjunto de padrões de tecnologia do *CityDevices*
- Protocolo *CityDevices*
- Sistema *CityDevices* (integrado na plataforma)

O conjunto de padrões de tecnologias e o protocolo do *CityDevices* são necessários para permitir a comunicação direta entre os dispositivos pessoais e urbanos. Ambos serão abordados detalhadamente no próximo item deste capítulo.

Já o sistema *CityDevices* é o sistema integrado na plataforma, podendo ser acessado no portal da *Infratech*. Ele funciona como um intermediário entre os dispositivos pessoais e urbanos, mas antes da comunicação ser iniciada, permitindo a obtenção dos dados necessários para que ela possa ocorrer de forma direta logo a seguir.

Os dispositivos urbanos são cadastrados no sistema *CityDevices* para receberem um ID (Identificação) do *CityDevices*. O cadastro é feito através de um componente de mapa do *Google Maps*, de forma semelhante ao cadastro de *tags* no *TagMaps*. Ao clicar em um ponto no mapa, aparece um formulário para o cadastro do dispositivo urbano. Também, quando um usuário realiza login na bengala inteligente, a bengala recebe um ID do *CityDevices*.

A interação entre os dispositivos é sempre iniciada pelo dispositivo pessoal, que precisa saber o ID do dispositivo urbano para enviar uma mensagem. Como a comunicação é sem fio, todos os dispositivos ao redor estariam recebendo a mensagem, mas apenas o dispositivo urbano endereçado com o determinado ID irá atendê-la.

No caso do uso com bengalas inteligentes, operadas por pessoas com deficiência visual, o ID de um semáforo não poderia estar escrito nele para ser selecionado pelo usuário. Então, foi desenvolvida uma integração do *CityDevices* com o *TagMaps*, para que o ID do semáforo possa ser relacionado nas informações da *tag* mais próxima do início do cruzamento.

4.5. Padrões de Tecnologia e Protocolo do *CityDevices*

Para que os dispositivos pessoais possam se comunicar diretamente com os dispositivos urbanos, o *CityDevices* exige alguns padrões de tecnologia, como o uso do Radiuino e o protocolo *CityDevices*.

O módulo de sistema rádio utilizado foi o Radiuino BE900, que consiste em um microcontrolador Atmega328 com um transreceptor Texas CC1101. A frequência de operação é 915 MHz, no canal 10.

O Radiuino possui um pacote padrão de 52 *bytes*, com funções específicas em cada *byte*, dentro do protocolo Radiuino. Como o Radiuino foi utilizado apenas como camada física e de enlace para a comunicação *CityDevices*, apenas os primeiros *bytes* do pacote Radiuino precisam ser respeitados. Os demais *bytes* ficam livres para encapsular o pacote *CityDevices*, permitindo uma comunicação “*CityDevices Over Radiuino*”.

Além disso, a configuração de nó/base padrão do Radiuino também não será utilizada. No *CityDevices*, todos os Radiuinos são configurados como base para operarem em modo transparente, repassando o pacote de 52 *bytes* do Radiuino diretamente da porta serial para o transceptor e vice-versa.

Durante a configuração, cada Radiuino recebe um ID, que depois é utilizado no *byte* 8 (para identificar o destinatário) e no *byte* 10 (para identificar o remetente). Na configuração padrão do Radiuino, cada módulo de rádio deveria ter um ID único para que o pacote de 52 *bytes* seja enviado para o módulo correto. Também, por ser limitado ao tamanho de um *byte*, podem haver no máximo 256 módulos na mesma rede.

Entretanto, o padrão *CityDevices* possui um sistema próprio de endereçamento, baseado no ID de cadastro no sistema *CityDevices*, que possui 4 *bytes*, podendo chegar a mais de 2 bilhões de dispositivos. Para que esse ID do pacote *CityDevices* possa ser utilizado, todos os dispositivos precisam estar endereçados com o mesmo ID do Radiuino para receberem as mensagens. No tratamento interno do Radiuino (camada de enlace), todas as mensagens são recebidas, sendo distinguidas apenas na camada de aplicação (que opera com o pacote *CityDevices*).

Assim, foi convencionado 2 tipos de IDs fixos para os módulos Radiuino: o ID=97 para dispositivos pessoais; e ID=98 para dispositivos urbanos. Estes

números correspondem as letras ‘a’ e ‘b’, respectivamente, na tabela ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), facilitando a formação do pacote de 52 *bytes*.

A Figura 6 mostra a inserção do pacote do *CityDevices* no pacote do Radiuino, com os *bytes* 8 e 10 que endereçam tipos de módulos.

| Pacote Radiuino (52 bytes) | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|--------|-------------------------------|---------|------------------------|--|---------|
| 0 - 15 | | | | 16 - 19 | 20 - 49 | | 50 - 51 |
| Cabeçalho Radiuino | | | | vazio | CityDevices (30 bytes) | | vazio |
| bytes 0 - 7 | byte 8 DST_ID (destino) | byte 9 | byte 10 SRC_ID (origem) | | | | |

Figura 6. *CityDevices* over *Radiuino*. Fonte: Produzida pelo autor.

Já o pacote *CityDevices* possui 30 *bytes* e transmite a mensagem utilizando os IDs cadastrados para os dispositivos pessoais e urbanos no banco de dados da *Infratech*. A Figura 7 ilustra este pacote.

| Pacote CityDevices (30 bytes) | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|---------|----------|--|--|---------|----------|-----------------------------|---------|
| 0 - 11 | | | 12 - 23 | | | | 24 - 29 | | | |
| byte 0 | bytes 1 - 10 (ID do Dispositivo Pessoal) | | byte 11 | byte 12 | bytes 13 - 22 (ID do Dispositivo Urbano) | | byte 23 | byte 24 | bytes 25 - 28 (Dados) | byte 29 |
| P | string de 10 dígitos | | * | U | string de 10 dígitos | | * | D | 4 bytes | * |

Figura 7. Pacote do *CityDevices*. Fonte: Produzida pelo autor.

Os *bytes* 24 à 29 contém efetivamente o conteúdo da mensagem a ser trocada entre os dispositivos pessoais e urbanos, seguindo um padrão específico:

- Solicitação para passagem de pedestre (duração normal)
 - A bengala envia “A100”
 - O semáforo confirma o recebimento com “A1aa”
- Solicitação para passagem de pedestre (longa duração)
 - A bengala envia “A200”
 - O semáforo confirma o recebimento com “A2aa”

- Solicitação de *status* para travessia de pedestre
 - A bengala envia “B100”
 - O semáforo responde “B1b1” para “Liberado”
 - O semáforo responde “B1b2” para “Aguarde”

Assim, o pacote de 30 *bytes* do *CityDevices* é encapsulado no pacote de 52 *bytes* do Radiuino e transmitido entre dispositivos pessoais e urbanos. O exemplo abaixo mostra uma comunicação entre uma bengala inteligente e um semáforo interativo:

Dispositivo Pessoal (bengala inteligente):

CityDevices: ID = 0000000150 (exemplo)

Radiuino: sempre ID=97 ('a')

Dispositivo Urbano (semáforo interativo):

CityDevices: ID = 0000000230 (exemplo)

Radiuino: sempre ID=98 (char 'b')

Exemplo: Bengala solicita o *status* para travessia:

Pacote *CityDevices*: P0000000150*U0000000230*DB100*

Radiuino: Dispositivo Pessoal (ID='a') p/ Dispositivo Urbano (ID='b')

Pacote Final (52 bytes):

00000000b0a000000000P0000000150*U0000000230*DB100*00

Exemplo: Semáforo responde que a passagem está liberada:

Pacote *CityDevices*: P0000000150 *U0000000230*DB1b1*

Radiuino: Dispositivo Urbano (ID='b') p/ Dispositivo Pessoal (ID='a')

Pacote Final (52 bytes):

00000000a0b000000000P0000000150*U0000000230*DB1b1*00

4.6. Bengala Inteligente

Como a prova de conceito deste projeto é aplicada ao caso de deficiência visual, o produto de tecnologia assistiva pessoal desenvolvido foi uma bengala inteligente. Esse tipo de produto poderia existir de forma independente, com sensores e sistemas de auxílio às pessoas com deficiência visual. Ao incorporar funcionalidades que realizem a comunicação com a *Infratech*, por exemplo, a integração entre a tecnologia pessoal com a assistividade urbana começa a acontecer.

Nessa prova de conceito não foram inseridos os sistemas isolados (como sensores de obstáculos, por exemplo), sendo desenvolvido apenas os recursos que integram a bengala à *Infratech*. Entretanto, vale ressaltar que a bengala não existe apenas para se comunicar com infraestrutura urbana. Ela foi pensada para ser um produto de uso pessoal (com sistemas isolados) e que possui a capacidade de se integrar com a infraestrutura urbana.

Basicamente, a bengala inteligente desenvolvida é um dispositivo pessoal que executa duas funções:

1. A leitura das *tags* de RFID no piso tátil, sintetizando em voz para o fone de ouvido do usuário
2. A comunicação com semáforos interativos, solicitando a passagem de pedestre e recebendo a liberação para atravessar

Para realizar essas funções, a bengala necessita de um *hardware* embarcado com diversos módulos e também de uma capacidade computacional similar à de um *smartphone*, com sistema operacional, capaz executar uma aplicação e gerenciar um banco de dados local. Além disso, ela também precisaria conectar-se à internet e possuir uma tela *touch-screen* para configurações.

Assim, a bengala foi projetada com um *hardware* embarcado voltado para os módulos de sensores e de comunicação de dados, sendo que todos os recursos similares ao *smartphone* foram transferidos para o uso concomitante do *smartphone* do usuário. Então, a bengala possui um módulo *Bluetooth*, utilizado para conectar-se ao celular do usuário, onde será executado o aplicativo da bengala.

Com isso, o *hardware* embarcado da bengala possui:

- Leitor de RFID (para ler as *tags* cadastradas no *TagMaps*)
- Bussola digital (para identificar o sentido de navegação)
- *Joystick* (para o usuário interagir com o sistema)
- Motor-vibrador (para alertar o usuário por vibração)
- Módulo do Radiuino (para se comunicar com o semáforo)
- Módulo *Bluetooth* (para se comunicar com o aplicativo de celular)
- Módulo Arduino (para gerenciar todo o *hardware* embarcado)

Já o aplicativo de celular executa a aplicação principal, possui o banco de dados local (*off-line*) com as informações das *tags* e realiza as configurações iniciais (com o auxílio de uma pessoa que não tenha deficiência visual). Utiliza-se a conexão de internet do próprio celular, o armazenamento interno, o *Bluetooth*, a tela *touch-screen* e o sistema de som (fones de ouvido).

O funcionamento da bengala está centralizado no aplicativo de celular, que acessa os componentes do *hardware* embarcado, através do Arduino. A comunicação *Bluetooth* é feita através de quadros, que podem ser de diferentes tipos, conforme a informação que está sendo transmitida. No cabeçalho de cada quadro, há um identificador, com tipo do quadro.

Quando o leitor de RFID encontra uma *tag*, ele retorna uma mensagem serial para o Arduino com o número da *tag*. Então, o Arduino extrai o número, solicita o sentido para a bússola digital e monta um quadro com esses dados. Como esse quadro é do tipo Q1 (leitura de *tag*), ele recebe um identificador no cabeçalho (“Q1**”) e, então, é enviado pelo módulo *Bluetooth* para o celular.

Da mesma forma, quando uma mensagem para dispositivos pessoais chega no módulo do Radiuino (independente do ID no *CityDevices*), ela é recebida pela porta serial do Arduino. Então, um novo quadro é montado, com o identificador do tipo Q2 (Radiuino) e enviado para o celular via *Bluetooth*.

O Arduino também monitora o *Joystick* constantemente, em busca de mudanças de posição ou pelo botão central pressionado. Caso haja alguma mudança, um novo quadro é montado, do tipo Q3 (pinos do Arduino), e então, enviado para o celular.

Já no lado do celular, quando o aplicativo necessita enviar uma mensagem para um dispositivo urbano, ele cria um quadro do tipo Q2 e envia por *Bluetooth* para a bengala. Então, o Arduino identifica esse tipo de quadro, extrai o pacote de 52 *bytes* e repassa para o módulo do Rádiumo.

Também, quando o aplicativo precisa alertar o usuário com vibração na bengala, ele monta um quadro do tipo Q3 e envia para a bengala. Então, o Arduino aciona o motor-vibrador para causar a vibração.

Assim, a aplicativo do celular tem acesso a todos os componentes da bengala, podendo executar as funções esperadas da bengala inteligente.

Para que cada componente da bengala pudesse ser testado, foram desenvolvidas algumas telas de teste no aplicativo, que não fazem parte da versão de distribuição do aplicativo. Por exemplo, foi desenvolvida uma tela para a visualização da posição do *Joystick* e acionamento de vibração da bengala; outra tela para visualização dos dados da leitura de *tag* (número de série, sentido de navegação e frase associada); e uma tela para comunicação manual com qualquer semáforo interativo. Nesses casos, a bengala estaria sendo utilizada em modo de teste.

Também foi criada uma tela com um botão de ativação/desativação do “modo de navegação”, que seria o modo automático de funcionamento da bengala, a ser utilizado pelo usuário final. Na versão de distribuição do aplicativo, as telas de testes e o modo de teste não existem, deixando a bengala sempre no modo de navegação.

As duas funções da bengala (leitura de *tags* e comunicação com semáforo) são executadas de forma automática no modo de navegação. Então, o usuário precisa apenas da tela de configurações iniciais (*login* na *Infratech* e atualização do banco de dados local).

Basicamente, o usuário precisaria de ajuda de uma pessoa que não tenha deficiência visual para se cadastrar no site da *Infratech*, instalar o aplicativo da bengala no celular pessoal, fazer *login* pelo aplicativo e clicar em “sincronizar” para atualizar o banco de dados local (*off-line*).

A partir desse ponto, todo o funcionamento é automático. Ao passar com a bengala em uma *tag*, o aplicativo procura no banco de dados local pelo número de

série da *tag*, verifica qual é a frase no sentido de navegação apontado pela bússola e sintetiza-a em voz, diretamente no fone de ouvido do usuário.

Quando a *tag* contiver informações “especiais” (dados no campo de comunicação máquina-a-máquina) naquele sentido de navegação, o aplicativo entende que existe um semáforo eminente e avisa o usuário por voz. Neste aviso, é perguntado ao usuário se ele deseja atravessar a rua (ou seja, se ele deseja solicitar a passagem de pedestre).

Caso o usuário confirme a intenção (pressionando o botão central do *Joystick*), o aplicativo inicia uma comunicação via Radiuino com o semáforo, utilizando o ID do *CityDevices* do semáforo, que estava associado naquela *tag*. Após a solicitação de passagem, o aplicativo inicia uma rotina de solicitar o status da travessia ao semáforo, até que a resposta seja “liberado”. Então, o aplicativo avisa, por voz, o usuário de que ele pode atravessar a rua. Todas as etapas são realizadas automaticamente pelo aplicativo, necessitando apenas da confirmação do usuário pelo botão do *Joystick*.

Por fim, a função de leitura de *tags* ainda possui um recurso extra. Como as informações das *tags* estão armazenadas no banco de dados local do aplicativo e, as *tags* são relacionadas entre si no momento de cadastramento, o usuário pode “navegar” pelas demais *tags* na sequência do piso tátil, sem precisar se deslocar fisicamente, apenas utilizando o *Joystick*. Se houver *tag* na direção selecionada, a frase será sintetizada em voz; caso não exista *tag*, a bengala vibrará.

Neste projeto, o aplicativo foi desenvolvido apenas para celulares com sistema operacional *Windows 10 Mobile*. Em versões futuras, ele poderá ser desenvolvido também para *Android* e *iOS*.

A bengala inteligente foi montada a partir de uma bengala metálica, fixando o leitor de RFID na ponta (para permitir a leitura das *tags* no piso) e colocando o *Joystick* juntamente com o motor-vibrador na outra extremidade, próximo da mão do usuário. Já na parte central, foram instalados o Arduino, Radiuino, módulo *Bluetooth* e a bússola digital.

A consumo de corrente medido é de 150 mA, aumentando para 230 mA apenas nos instantes em que o motor-vibrador é acionado. Entretanto, as baterias de 5V *Power-Bank*, com saída USB (*Universal Serial Bus*), precisam ter a saída de corrente superior a 1A para que o sistema funcione corretamente. Assim, foi

acoplada uma bateria de 10.400 mAh, na saída de 2A, que proporciona uma autonomia calculada de 70h para a bengala. As Figuras de 8 à 14 mostram a montagem final da bengala.

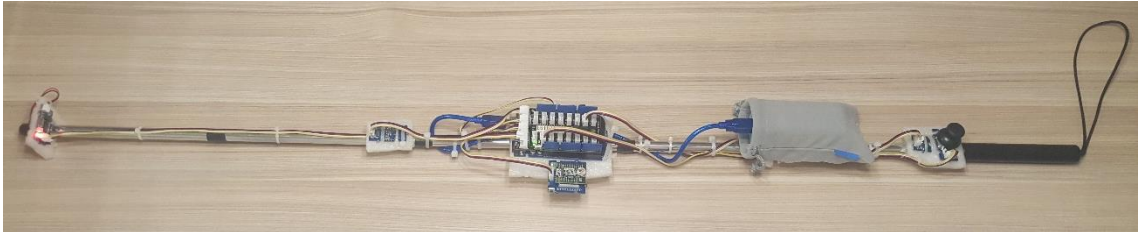


Figura 8. Bengala Inteligente – Visão Geral. Fonte: Produzida pelo autor.



Figura 9. Leitor de RFID na ponta da bengala (vista de frente). Fonte: Produzida pelo autor.

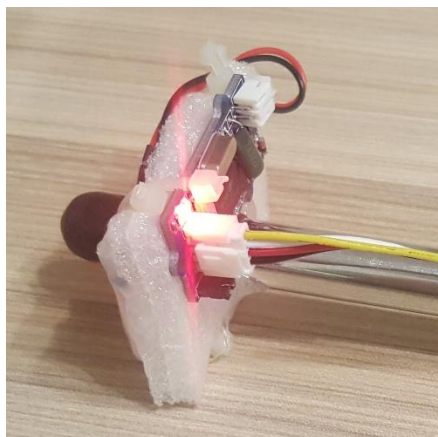


Figura 10. Leitor de RFID na ponta da bengala (vista de lado). Fonte: Produzida pelo autor.

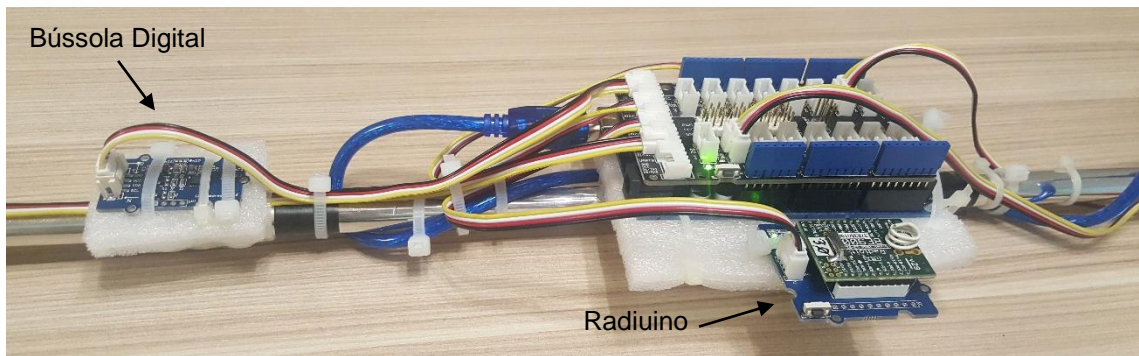


Figura 11. Parte central. Fonte: Produzida pelo autor.

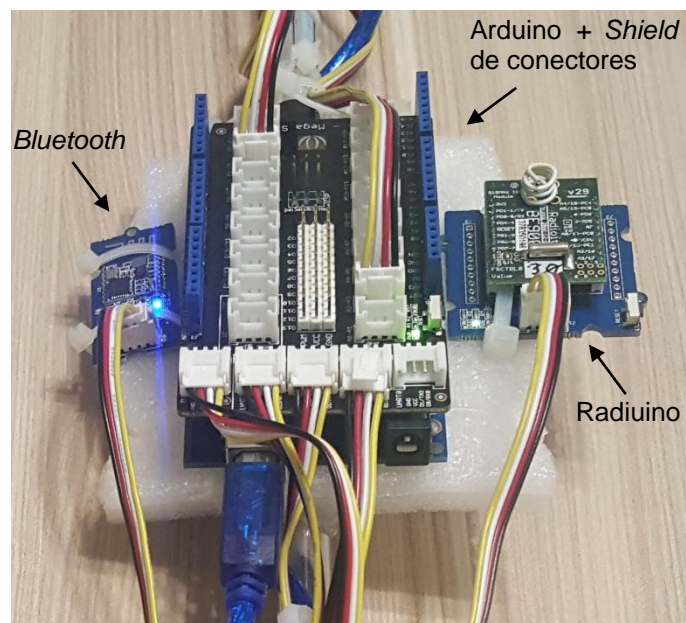


Figura 12. Módulo *Bluetooth*, Radiuino e Arduino. Fonte: Produzida pelo autor.

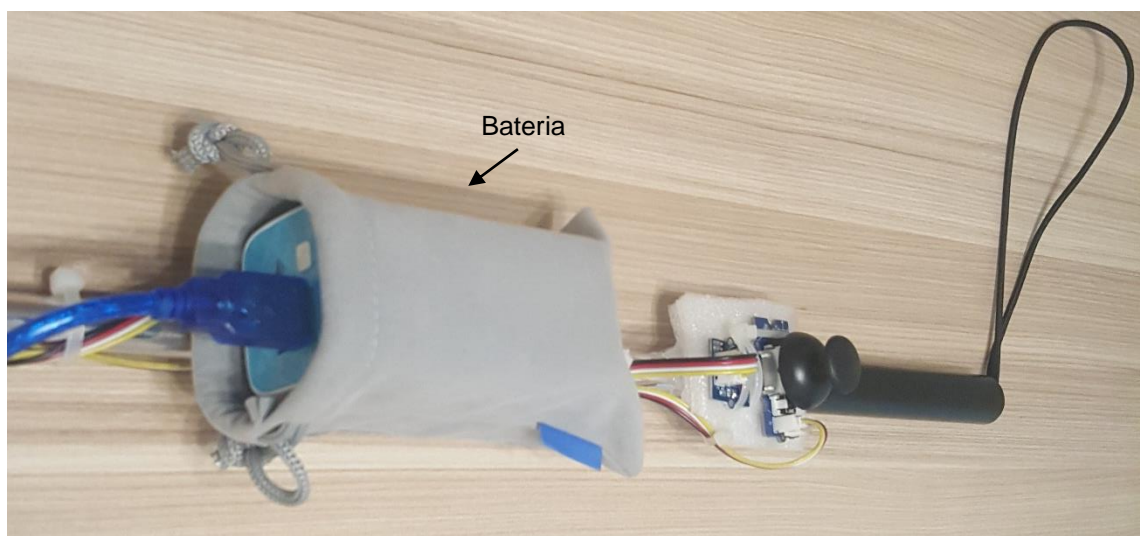


Figura 13. Bateria e extremidade próxima à mão do usuário. Fonte: Produzida pelo autor.

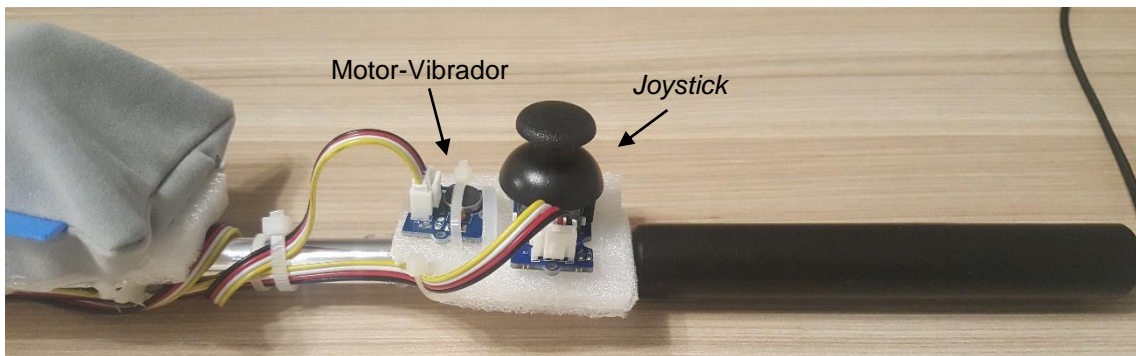


Figura 14. Joystick e motor-vibrador. Fonte: Produzida pelo autor.

4.7. Emuladores

Como o semáforo interativo não faz parte do escopo deste projeto, ele foi realizado no trabalho de iniciação científica de uma aluna da Faculdade de Engenharia de Telecomunicações da PUC-Campinas.

Para permitir a independência entre o trabalho de iniciação científica e este trabalho de mestrado, foram desenvolvidos dois emuladores de comunicação no padrão *CityDevices*:

- Um emulador de bengala (para que o semáforo pudesse ser testado sem a bengala inteligente)
- Um emulador de semáforo interativo (para que a bengala pudesse ser testada sem a necessidade do semáforo)

Os emuladores são aplicativos UWP (*Universal Windows Platform*) que podem ser executados em qualquer computador com *Windows 10*. O módulo Radiuino pode ser conectado ao computador pela porta USB, utilizando o suporte de programação do módulo. Esses aplicativos acessam o Radiuino pela porta serial emulada na porta USB, permitindo o envio e recebimento dos pacotes de 52 *bytes*.

O emulador de bengala possui os controles básicos utilizados nas telas de teste do aplicativo de bengala, que permitem solicitar uma passagem e pedir o status da travessia. Pode-se escolher o ID de dispositivo pessoal (que o emulador representa) e o ID do semáforo destino.

Já o emulador de semáforo possui um controle para indicar se o semáforo está aberto/fechado e qual será o ID dele. Ao receber uma mensagem de solicitação de passagem, ele altera seu status para o sinal “verde”

automaticamente. As Figuras 15, 16 e 17 mostram a interface de controle dos emuladores e a forma de conexão com o Radiuino na porta USB.



Figura 15. Emulador de bengala inteligente. Fonte: Produzida pelo autor.

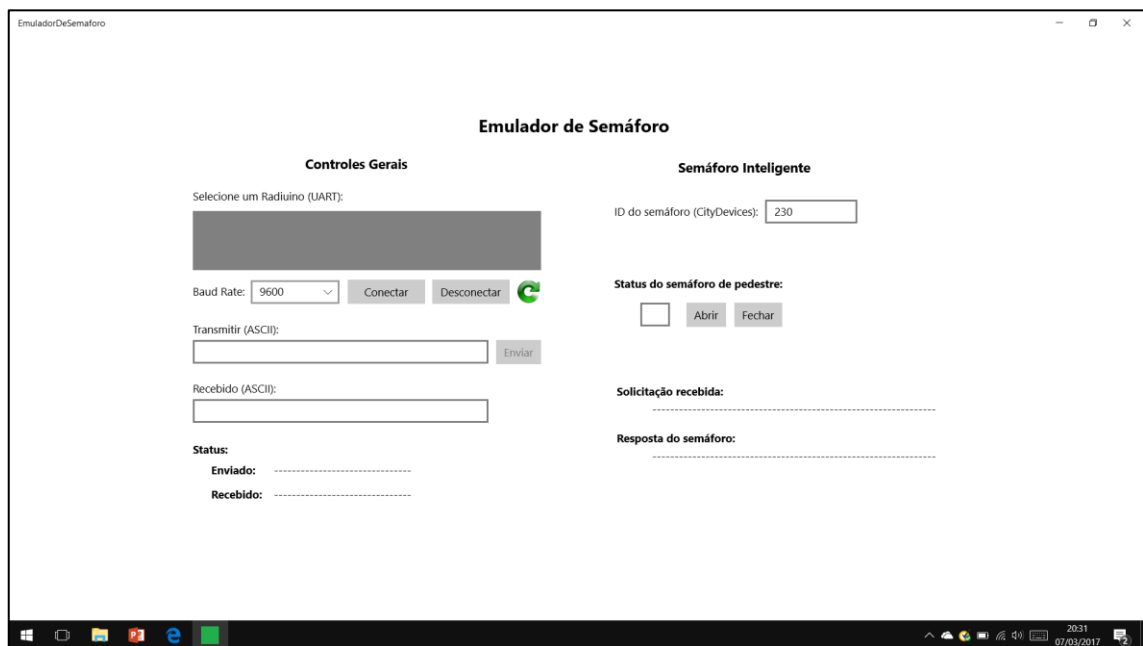


Figura 16. Emulador de semáforo interativo. Fonte: Produzida pelo autor.

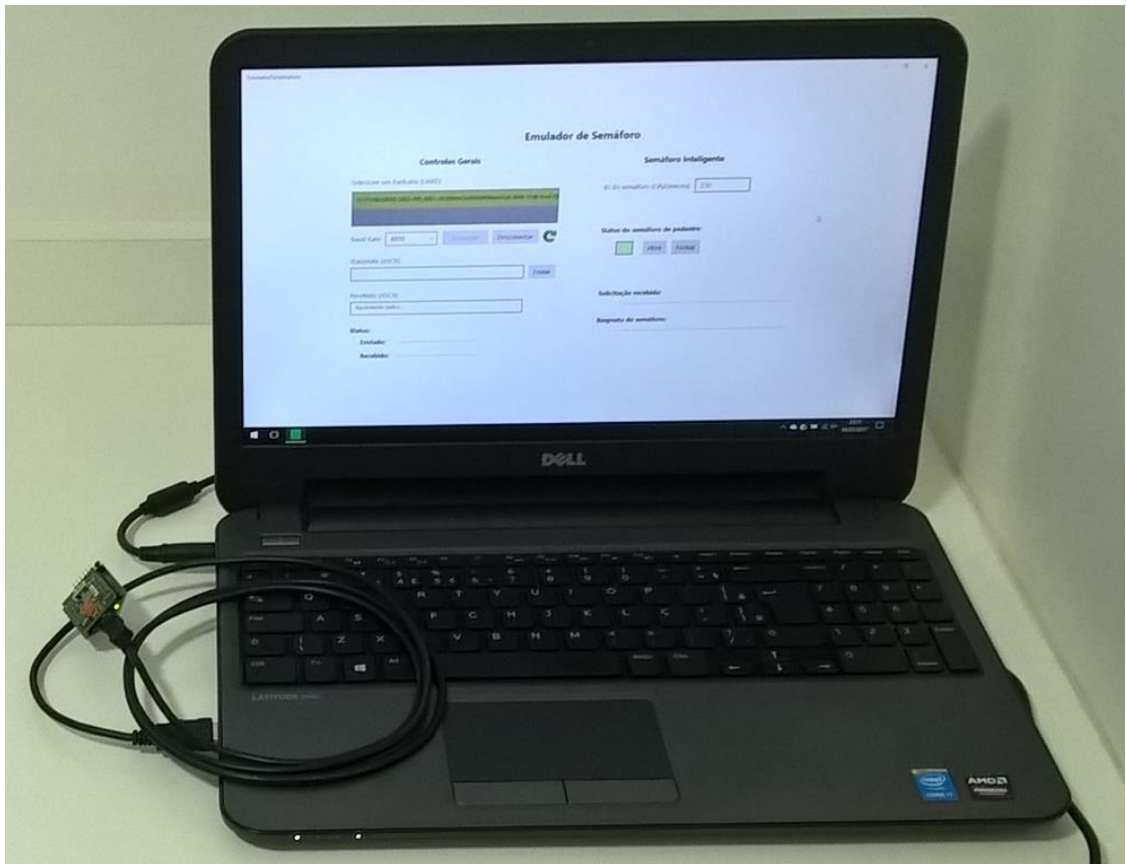


Figura 17. RPiino conectado no emulador. Fonte: Produzida pelo autor.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

5.1. Testes Funcionais Específicos

Com a conclusão do desenvolvimento da *Infratech*, *TagMaps*, *CityDevices* e da bengala inteligente, cada funcionalidade foi testada separadamente para verificar o funcionamento específico.

Primeiramente, foi testado o portal da *Infratech*, realizando-se cadastros, *login*, alteração de perfil e testes nos menus. O usuário pode editar seus dados pessoais e administrar seus dispositivos pessoais em um menu especial no canto superior direito, ao lado de seu nome e foto. Todas as funcionalidades ocorreram conforme o esperado. Algumas dessas telas podem ser vistas nas Figuras 18, 19, 20, 21 e 22.

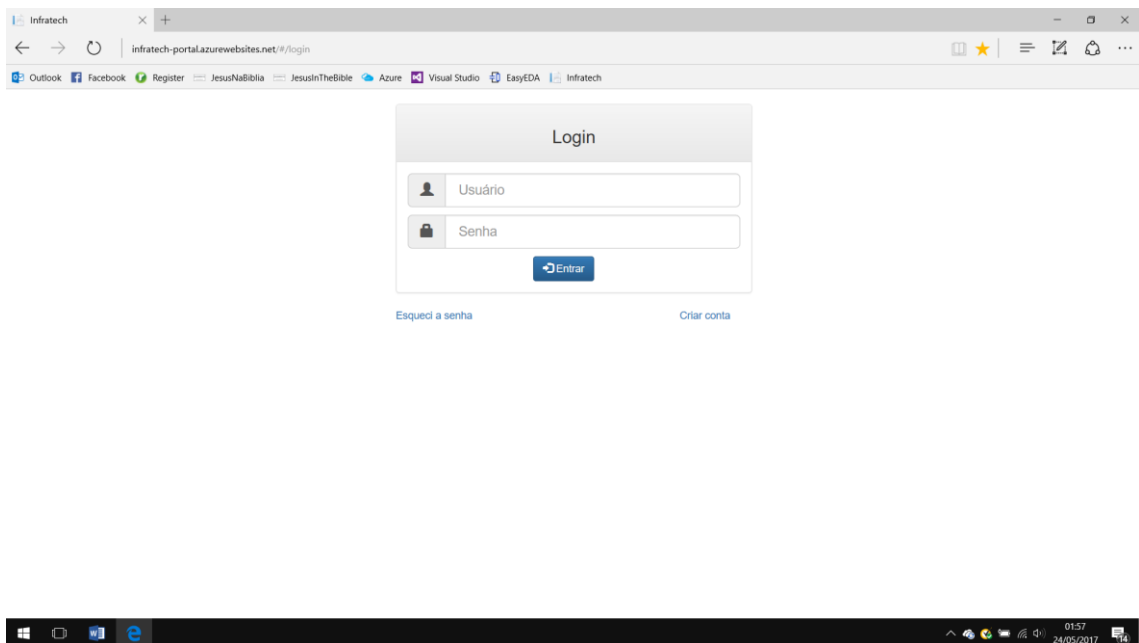


Figura 18. Login na *Infratech*. Fonte: Produzida pelo autor.

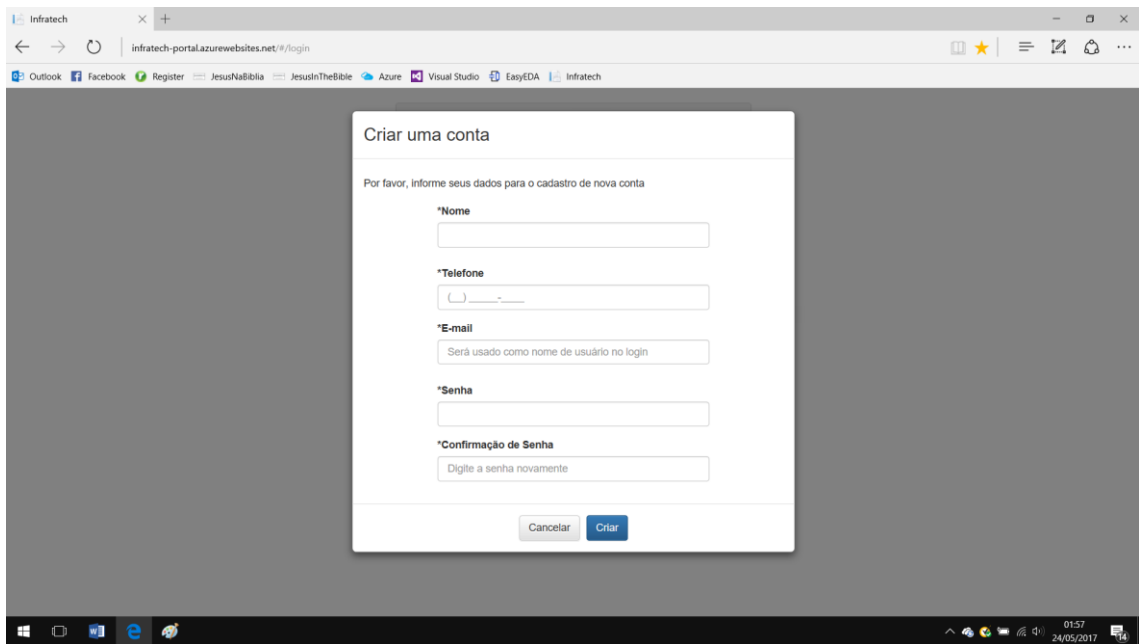


Figura 19. Cadastro na *Infratech*. Fonte: Produzida pelo autor.

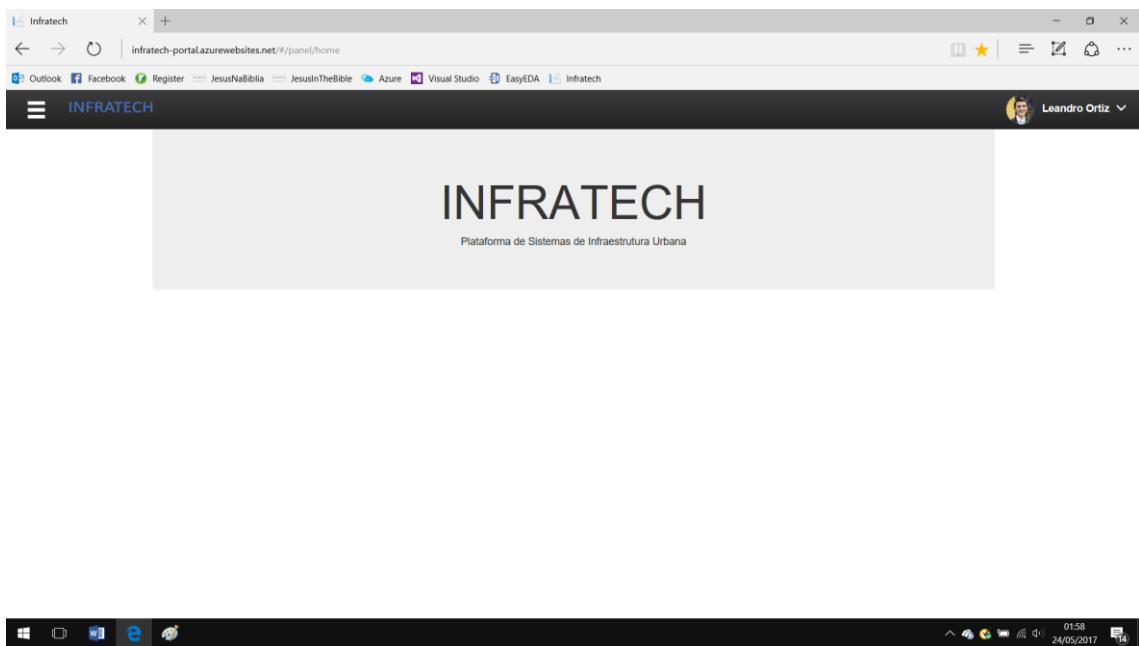


Figura 20. *Infratech* – Tela inicial. Fonte: Produzida pelo autor.

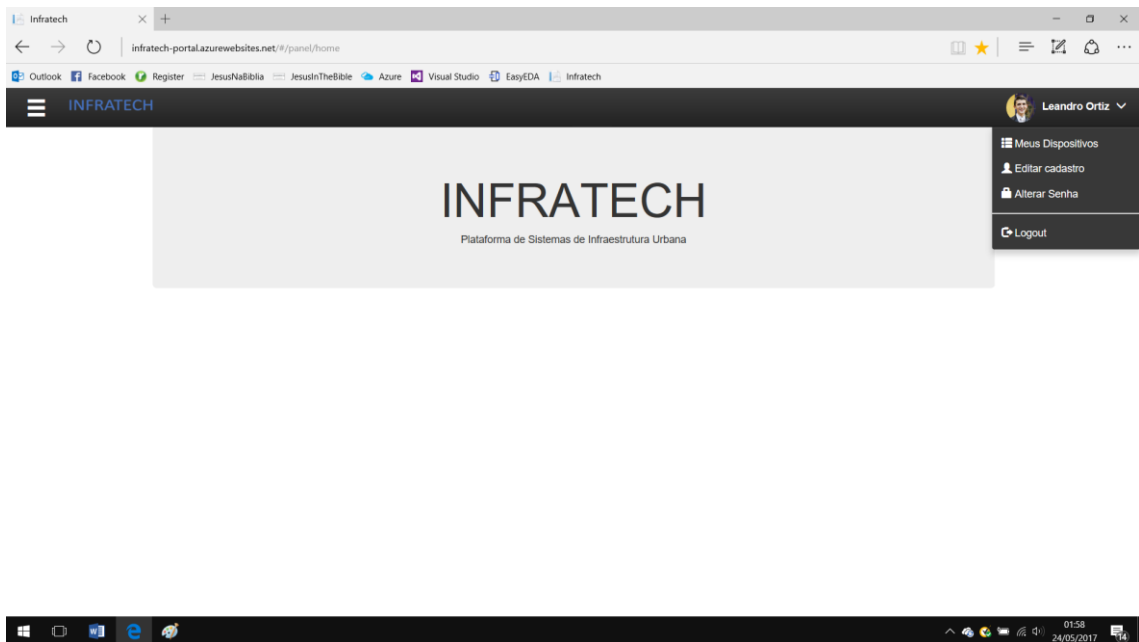


Figura 21. Menu de usuário. Fonte: Produzida pelo autor.

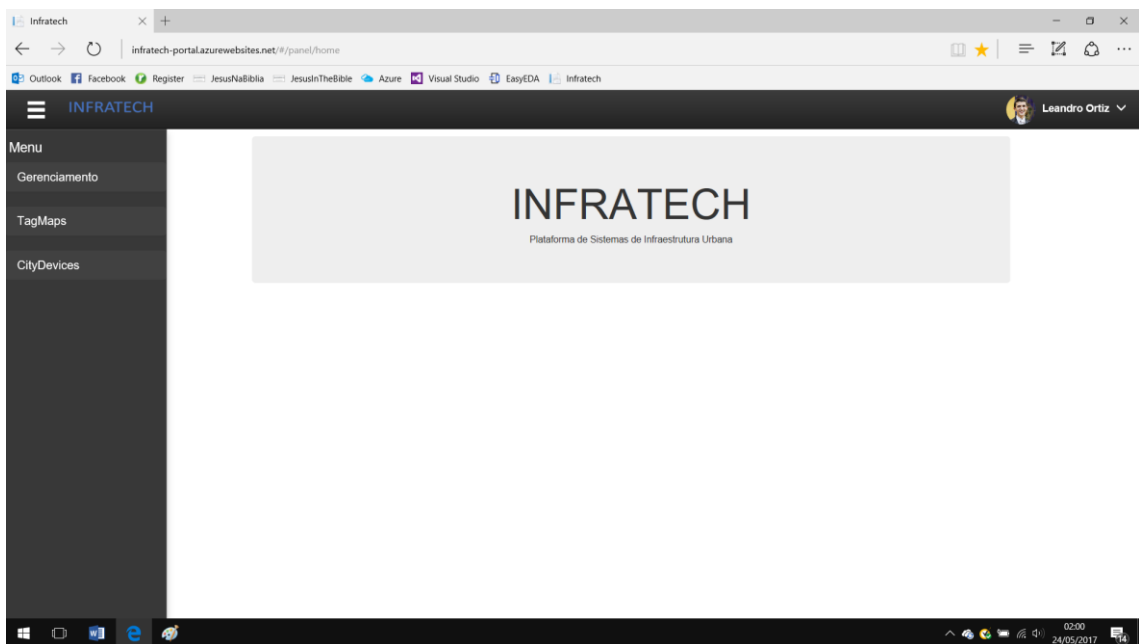


Figura 22. Menu lateral. Fonte: Produzida pelo autor.

Depois, foi testado o sistema *CityDevices*, cadastrando-se dispositivos urbanos. Ao clicar em um ponto do mapa, um marcador é inserido e um formulário de cadastro é aberto ao lado, com as coordenadas de latitude/longitude automaticamente preenchidas. Foram testadas as operações de cadastro, edição

e exclusão de dispositivos urbanos, estando todas funcionando corretamente. Um exemplo de cadastro pode ser visto na Figura 23.

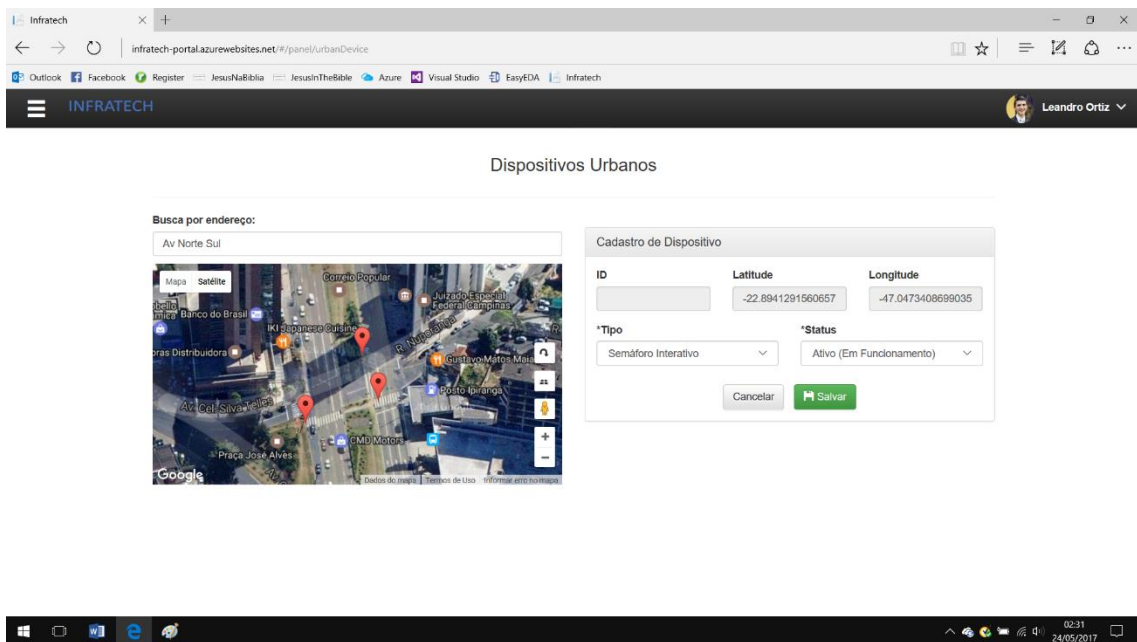


Figura 23. *CityDevices*. Fonte: Produzida pelo autor.

Então, foi testado o sistema *TagMaps*, cadastrando-se *tags*. O cadastro funciona de forma semelhante do sistema *CityDevices*, mas com alguns campos adicionais. Quando um ponto do mapa é selecionado, além de ser inserido um marcador, o sistema exibe uma seta temporária, apontando sempre para o norte, facilitando a decisão de aproximação no cadastro das frases em cada sentido de deslocamento. Foram testados o cadastro, edição e exclusão de *tags*, funcionando todos corretamente. A Figura 24 mostra o momento de cadastro de uma *tag*, com a seta auxiliar.

The screenshot shows a web browser window with the URL `infotech-portal.azurewebsites.net/#panel/tagMapsCity`. The page title is "TagMaps - Cidade". The interface includes a search bar with the text "Busca por endereço:" and "Av Norte Sul". Below the search bar is a Google Maps view showing a street intersection. To the right of the map is a "Cadastro de Tags" form. The form contains the following fields:

- Latitude:
- Longitude:
- Serial:
- *Status:
- Frase - Direção Norte:
- Frase - Direção Sul:
- Frase - Direção Leste:
- Frase - Direção Oeste:
- Dados - Norte:
- Dados - Sul:
- Dados - Leste:
- Dados - Oeste:
- Tag ao Norte:
- Tag ao Sul:
- Tag à Leste:
- Tag à Oeste:

At the bottom of the form are "Cancelar" and "Salvar" buttons. The Windows taskbar at the bottom shows the date and time as 02:25 24/05/2017.

Figura 24. Cadastro de *tag* no *TagMaps*. Fonte: Produzida pelo autor.

Ainda no cadastro de *tag*, existe a possibilidade de registrar o ID *CityDevices* de um semáforo interativo (dispositivo urbano) nas informações da *tag* mais próxima do início do cruzamento. Assim, as *tags* possuem um tipo especial de campo, voltado para comunicação máquina-à-máquina, onde o ID é armazenado para que a bengala possa iniciar a comunicação direta com o semáforo.

Como existem 4 sentidos para aproximar a localização do semáforo em relação à *tag*, existem 4 campos de cadastro de dados, da mesma forma que ocorre com o cadastro de frases.

Para facilitar o preenchimento do cadastro, pode-se clicar em cima do dispositivo urbano (ícone de semáforo) e selecionar se ele é um dispositivo ao norte, sul, leste ou oeste. Após clicar, o ID dele é automaticamente preenchido no campo correto da *tag*. Esse procedimento também funcionou corretamente, conforme pode ser visto na Figura 25.

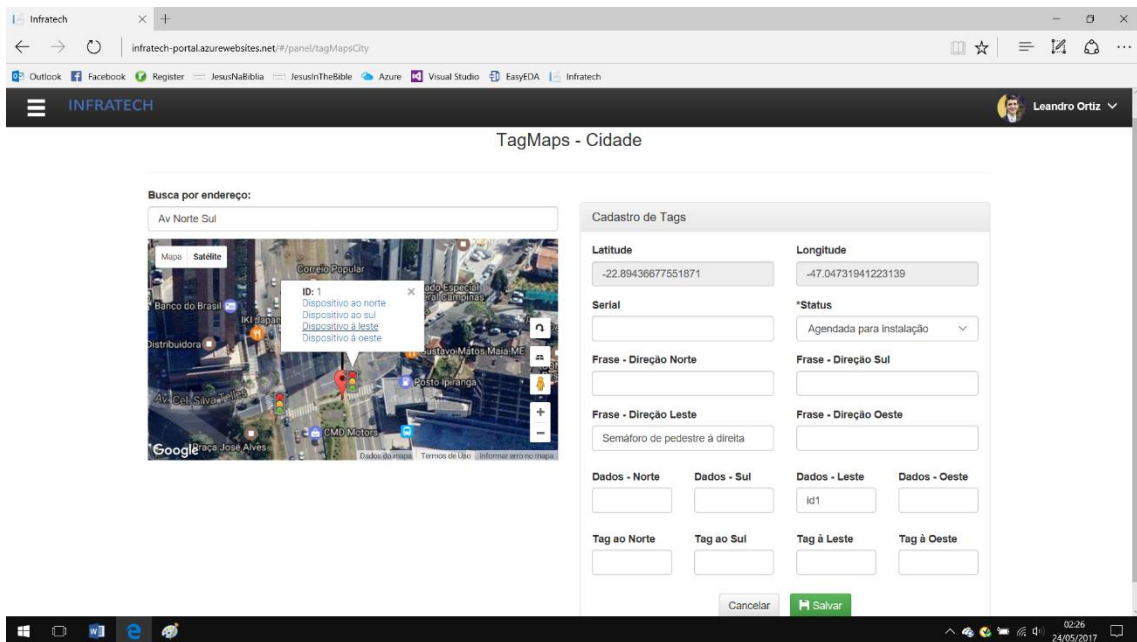


Figura 25. Relacionamento de dispositivo urbano. Fonte: Produzida pelo autor.

Por fim, o cadastro de *tag* também possui o recurso de associação de outras *tags* para serem acessadas pelo *Joystick* da bengala. Como a *tag* relacionada pode estar ao norte, sul, leste ou oeste, são necessários 4 campos para armazenar o relacionamento. Para facilitar o cadastro dos relacionamentos, pode-se clicar em uma *tag* já cadastrada e selecionar a opção de *tag* ao norte, sul, leste ou oeste. Esse recurso também funcionou corretamente, conforme visto na Figura 26.

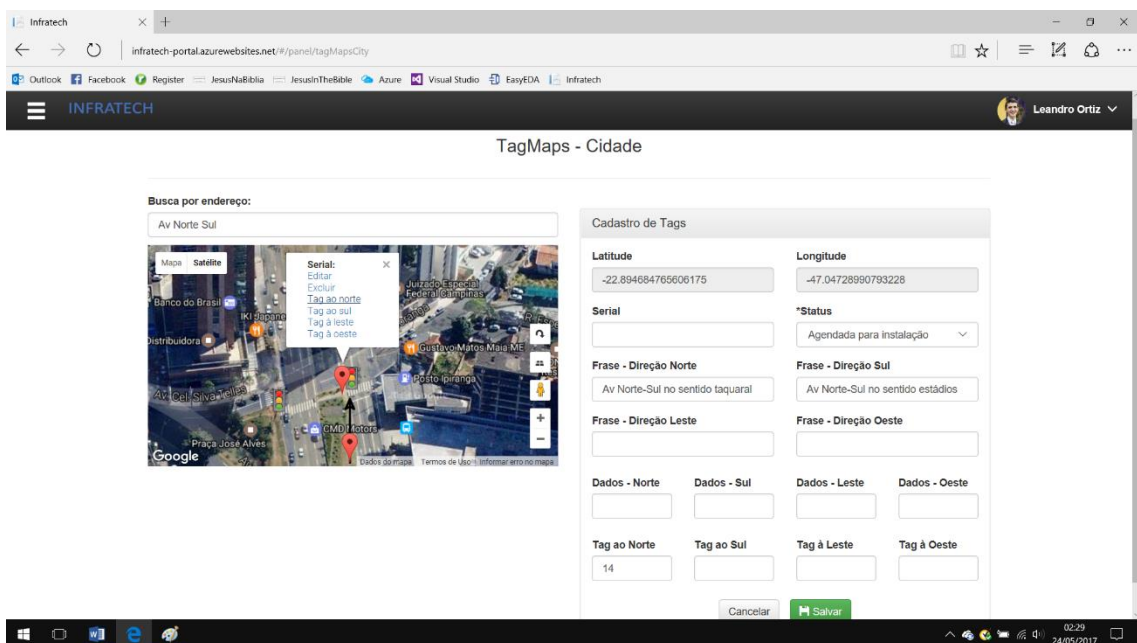


Figura 26. Relacionamento entre *tags* no *TagMaps*. Fonte: Produzida pelo autor.

Com o portal funcionando corretamente, as funcionalidades isoladas da bengala puderam ser testadas, a partir de telas específicas do aplicativo da bengala. A primeira tela de teste verifica as mudanças de posição do *Joystick*, o pressionamento do botão central e ainda permite acionar a vibração da bengala. Essas funcionalidades foram testadas e corresponderam ao funcionamento esperado. A Figura 27 mostra a posição do *Joystick* sendo alterada e mostrada na tela do aplicativo.

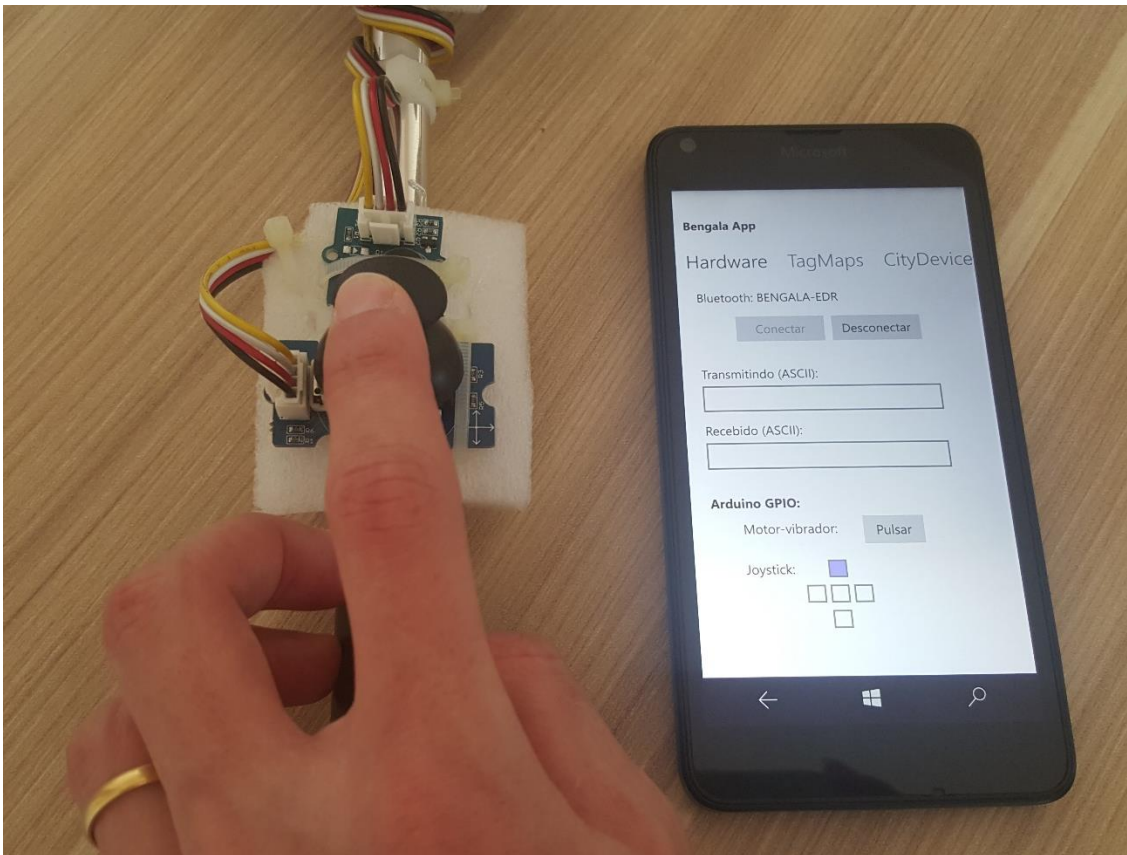


Figura 27. Teste do *Joystick*. Fonte: Produzida pelo autor.

A próxima tela testada foi a de *login* na *Infratech*. Essa tela não foi desenvolvida unicamente para testes, continuando a existir no aplicativo final. Nessa tela, podem ser verificadas as funcionalidades de *login*, obtenção do ID de dispositivo pessoal no *CityDevices* e a atualização do banco de dados local do aplicativo (para acesso off-line). Durante os testes, todas as funcionalidades foram executadas conforme o esperado. As Figuras 28 e 29 mostram essas funcionalidades sendo executadas.

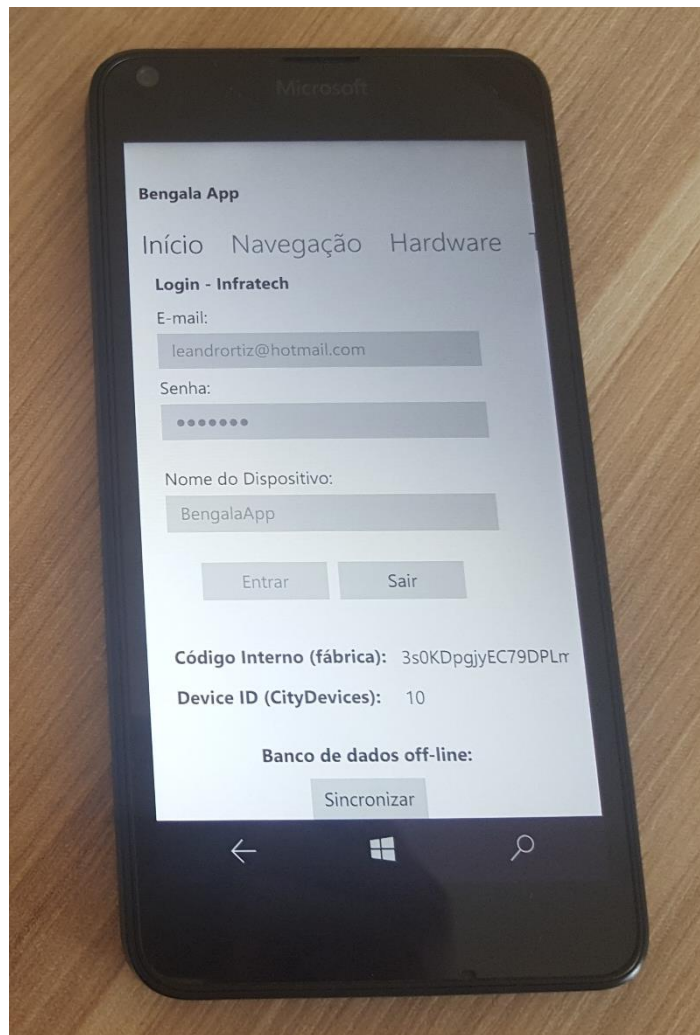


Figura 28. Teste de *login* e obtenção do ID no *CityDevices*. Fonte: Produzida pelo autor.

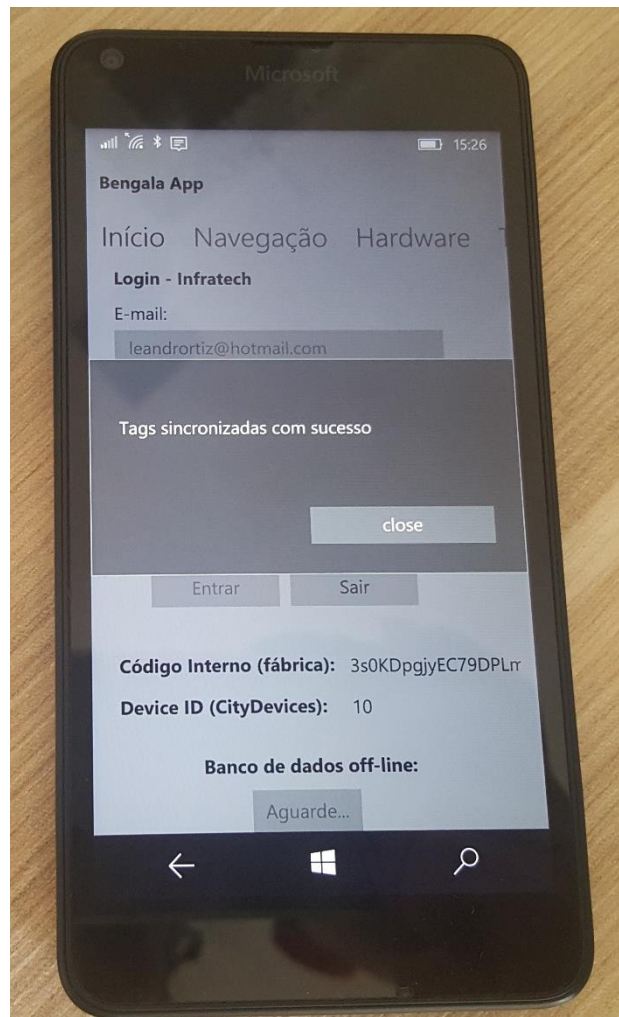


Figura 29. Teste de atualização do banco de dados *off-line*. Fonte: Produzida pelo autor.

Quando o usuário realiza o *login* no aplicativo da bengala, essa bengala (representada pela instância do aplicativo) recebe um ID no *CityDevices* e é automaticamente registrada na lista de dispositivos pessoais do usuário, podendo ser visualizada no portal. A Figura 30 mostra a tela de dispositivos pessoais, acessada no menu de usuário.

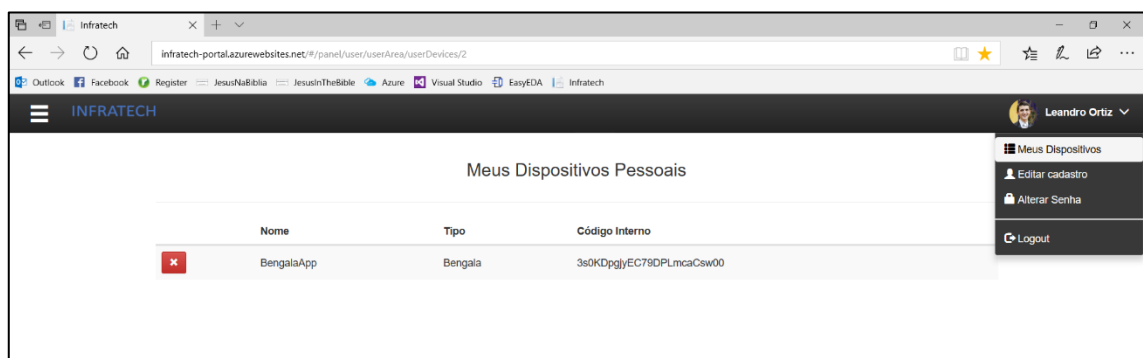


Figura 30. Dispositivos pessoais do usuário. Fonte: Produzida pelo autor.

Com o banco de dados local atualizado, a tela de teste de *tags* pôde ser testada. Essa tela verifica uma leitura de *tag*, mostrando o código de série obtido, o sentido de navegação detectado pela bússola digital e a frase associada no banco de dados local do aplicativo. Além disso, a tela possui um botão “falar” para testar a sintetização em voz da frase. Todas essas funcionalidades foram testadas e operaram corretamente. A Figura 31 mostra uma *tag* sendo lida pela bengala e as informações correspondentes na tela do aplicativo.

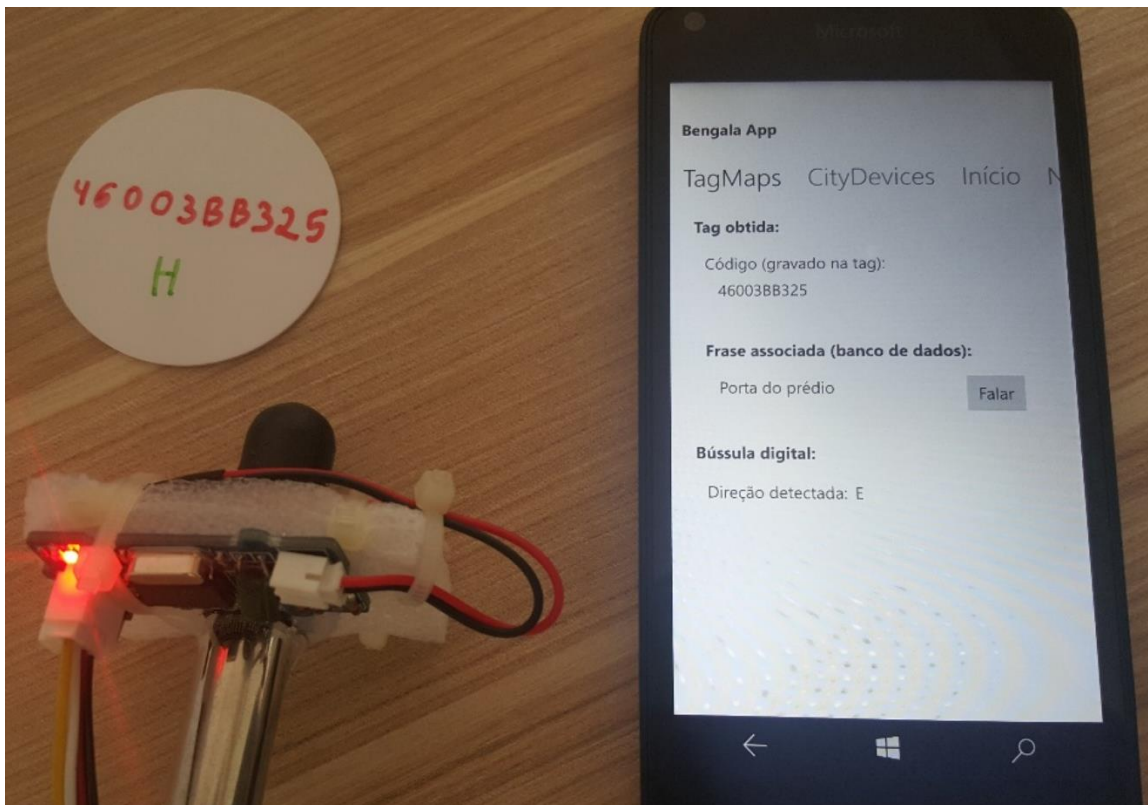


Figura 31. Tela de teste de *tags*. Fonte: Produzida pelo autor.

A última tela de testes é relacionada à comunicação entre os dispositivos pessoais e urbanos pelo *CityDevices*. Nessa tela, pode ser escolhido o ID do dispositivo pessoal (independentemente do ID obtido no *login*, permitindo mais possibilidades de testes) e o ID do dispositivo urbano. Com os IDs definidos, pode-se clicar nas opções de comunicação com o semáforo, enviando mensagens pelo protocolo *CityDevices* e visualizando a resposta. Essas funcionalidades foram

testadas, utilizando o emulador de semáforo, e operaram corretamente. As Figuras 32 e 33 mostram a tela de teste do *CityDevices* e a comunicação com o emulador.

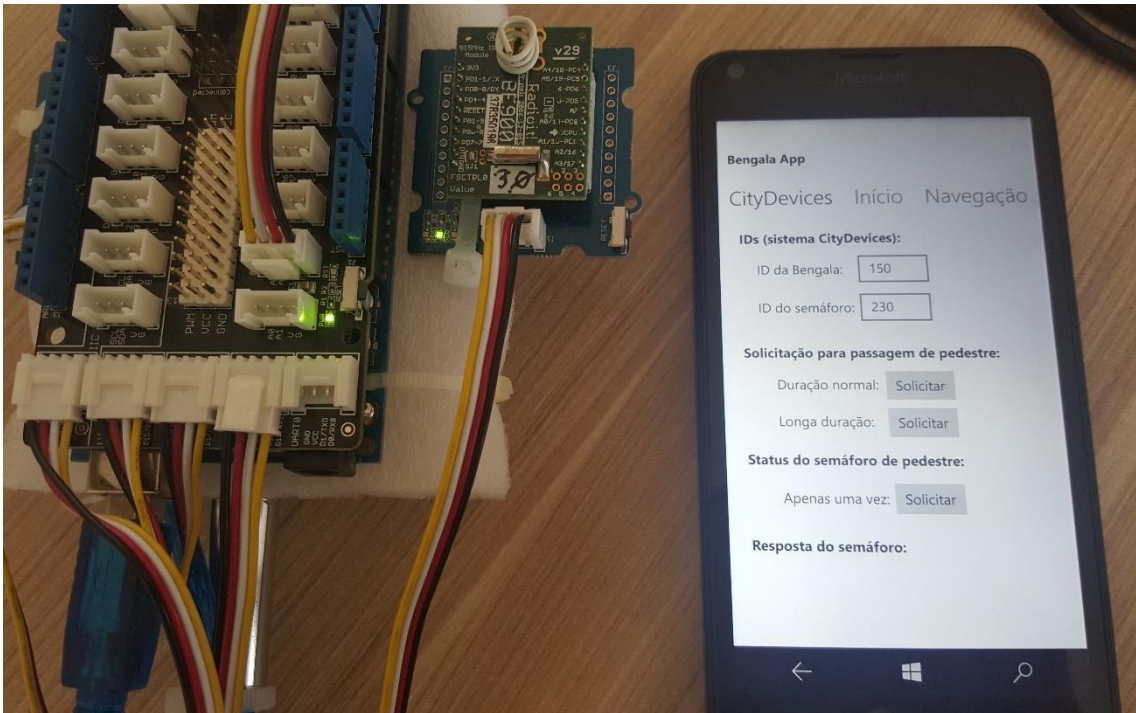


Figura 32. Tela de teste do *CityDevices*. Fonte: Produzida pelo autor.

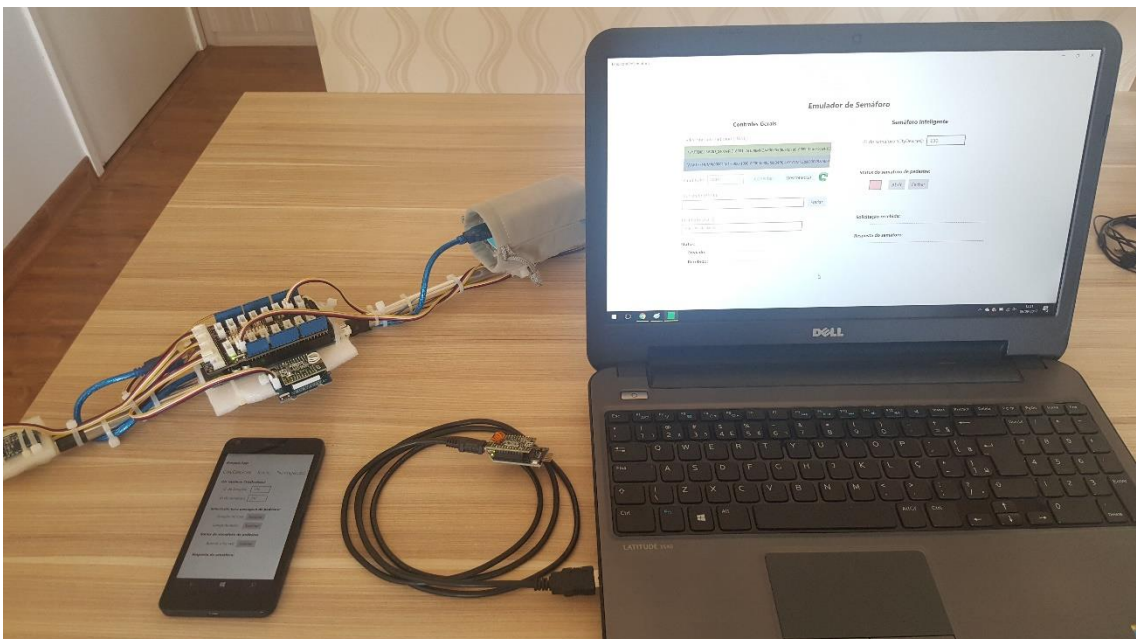


Figura 33. Teste do *CityDevices* com emulador de semáforo. Fonte: Produzida pelo autor.

Com isso, foram testados cada recurso da *Infratech*, *TagMaps*, *CityDevices* e da bengala inteligente, além da integração entre esses sistemas, incluindo a comunicação com um semáforo interativo emulado. Todas as funcionalidades específicas operaram conforme o esperado, validando o projeto em nível de funcionalidade.

5.2. Testes no Modo de Navegação

Após os testes funcionais específicos, a bengala foi colocada em “Modo de Navegação”, que corresponde ao único modo existente na versão para usuário final, em que não existem telas de testes. Para facilitar a troca entre modo de teste e de navegação, foi desenvolvida uma tela com um botão de seleção, conforme visto na Figura 34.

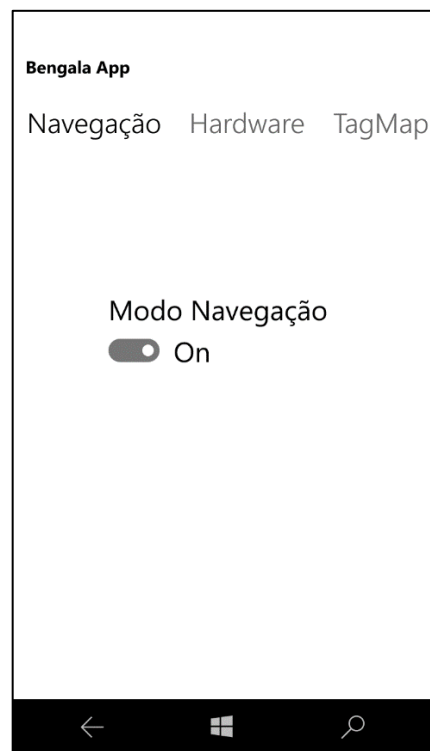


Figura 34. Tela de seleção do Modo de Navegação. Fonte: Produzida pelo autor.

Quando a bengala está operando no Modo de Navegação, qualquer *tag* detectada é automaticamente buscada no banco de dados local, baseando-se no sentido de navegação, e a frase é sintetizada em voz. Caso exista uma informação

de semáforo interativo associada na *tag*, o usuário também recebe um aviso por voz, automaticamente. Então, se o usuário sinalizar que deseja atravessar, a comunicação com o semáforo interativo é iniciada e gerenciada pela bengala, alertando o usuário no momento de atravessar. Além disso, se o usuário movimentar o *Joystick*, as informações das próximas *tags* são automaticamente buscadas e sintetizadas em voz.

Todo esse fluxo automático do Modo de Navegação, incluindo a comunicação com semáforo e movimentação do *Joystick*, foi testado em um ambiente interno, com *tags* de exemplo, validando o projeto em nível de integração.

5.3. Teste de Percurso

Por fim, com o projeto validado em nível de funcionalidades e de integração, foi realizado o teste de percurso, com o objetivo de validar a viabilidade operacional no dia-a-dia.

Primeiramente foi criado um percurso real, em um ambiente externo, cadastrando *tags* no *TagMaps*, conforme mostrado nas Figuras 35 à 38.

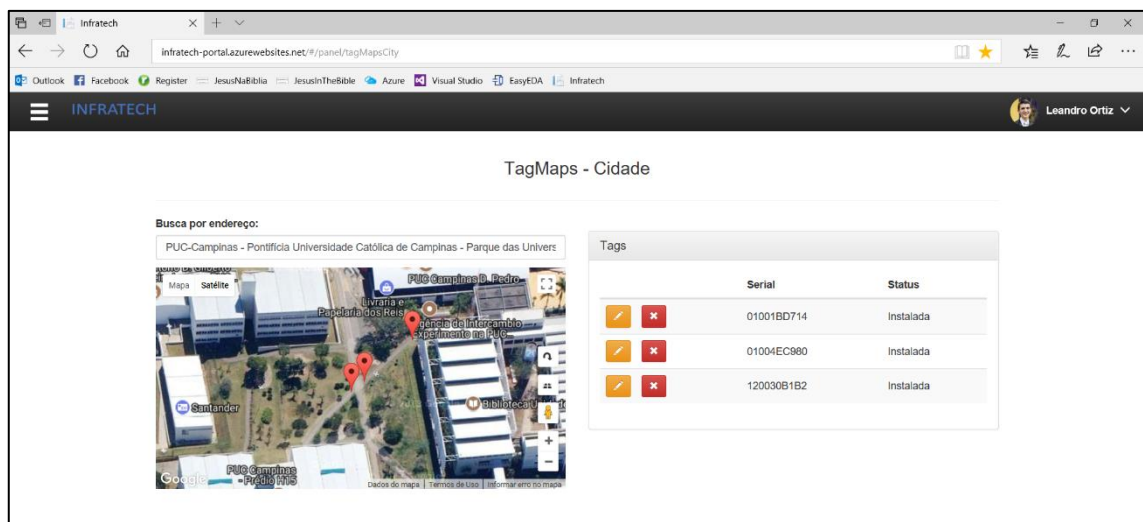


Figura 35. Cadastro de *tags* no *TagMaps*. Fonte: Produzida pelo autor.



Figura 36. Percurso real. Fonte: Produzida pelo autor.

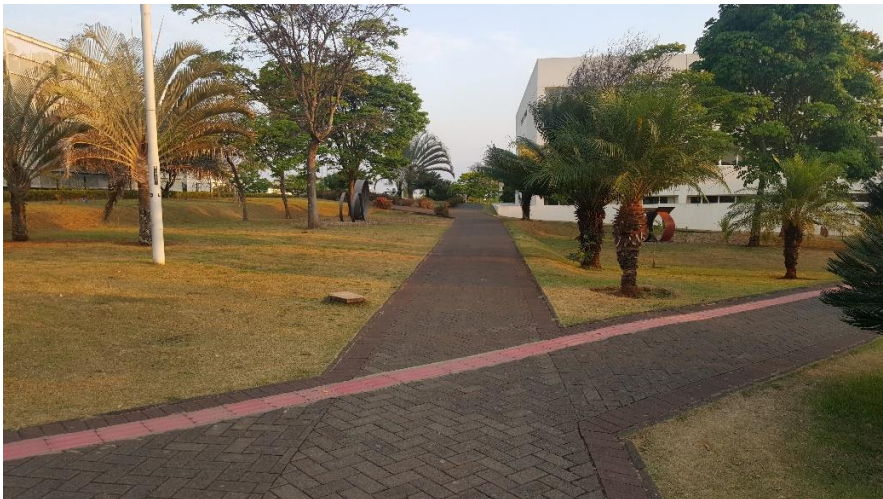


Figura 37. Percurso real (visão lateral). Fonte: Produzida pelo autor.

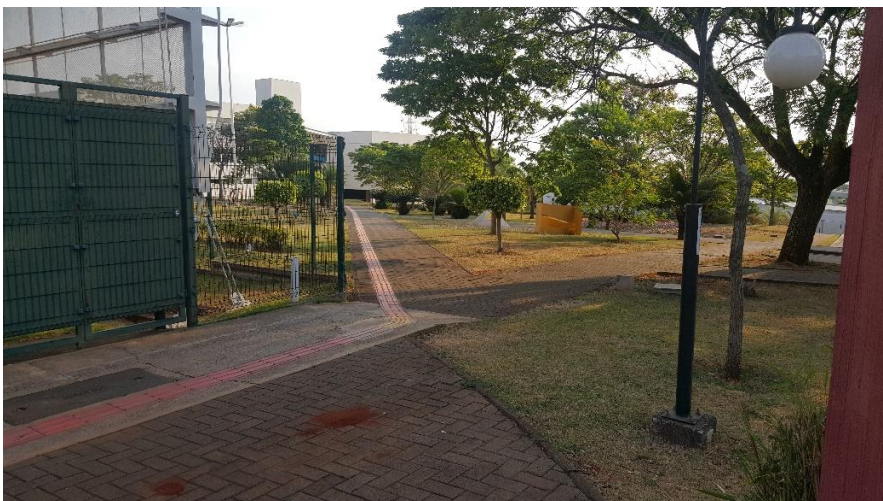


Figura 38. Percurso real (próximo à biblioteca). Fonte: Produzida pelo autor.

Após o cadastro no *TagMaps*, foram colocadas as *tags* de teste em cima do piso tátil. Em uma instalação real, podem ser utilizadas *tags* no formato de “parafuso”, rosqueadas no piso. No teste, as *tags* foram apenas dispostas sobre o piso, conforme visto na Figura 39.



Figura 39. Tag de teste no piso tátil. Fonte: Produzida pelo autor.

Então, o percurso foi realizado, em cima do piso tátil, tentando passar a bengala sobre as tags, conforme mostrado nas Figuras 40 e 41.

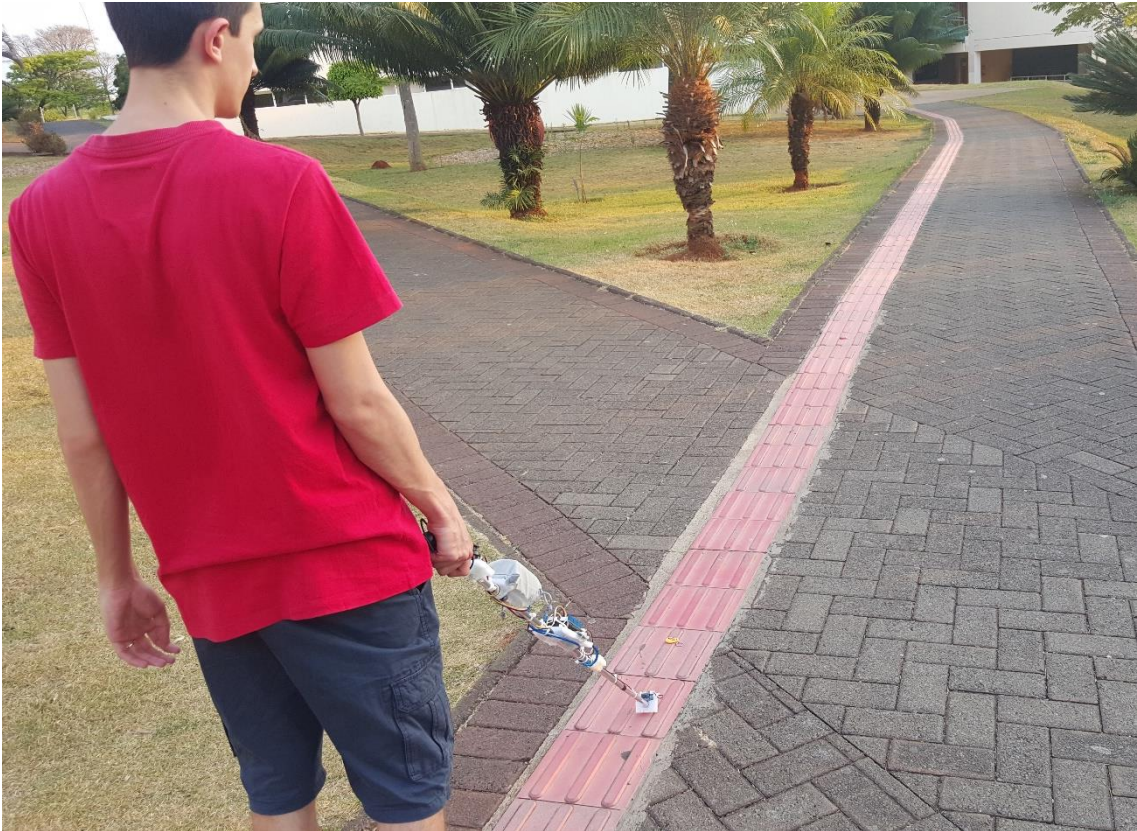


Figura 40. Percurso no piso tátil. Fonte: Produzida pelo autor.

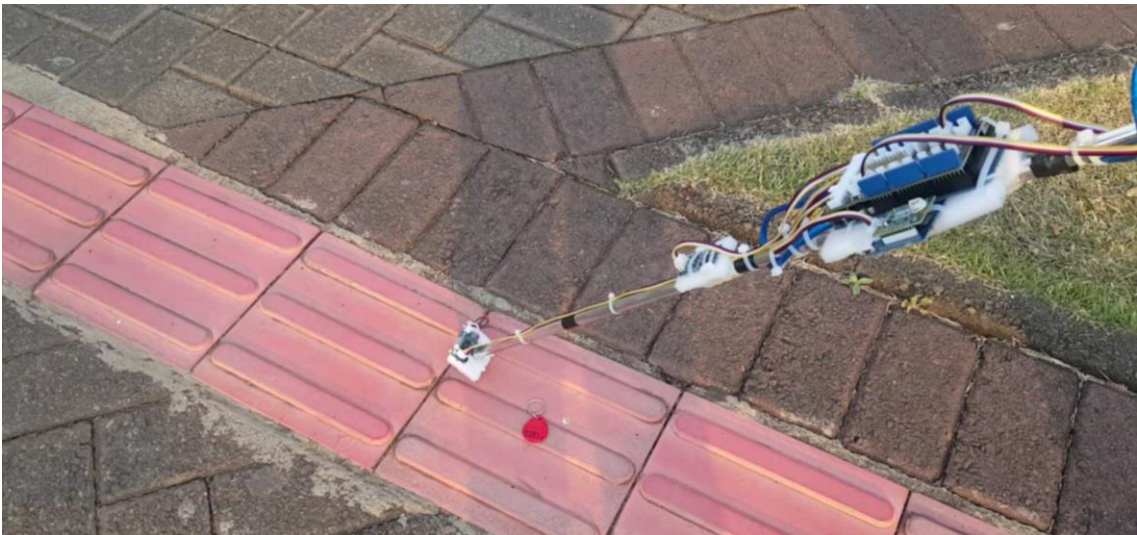


Figura 41. Bengala e *Tag* no piso tátil. Fonte: Produzida pelo autor.

Foram testadas todas as funcionalidades no Modo de Navegação, exceto a comunicação com o semáforo, que já havia sido testada diversas vezes no ambiente interno. No aspecto funcional, todos os resultados corresponderam ao esperado.

Entretanto, algumas questões importantes foram observadas, no aspecto da viabilidade operacional. A primeira delas é no cadastro de *tags*, em que é preciso aproximar as opções de frase para cada sentido de navegação (norte, sul, leste ou oeste). Dependendo da posição do piso tátil, algumas opções podem ficar muito próximas da região intermediária entre dois sentidos, dificultando a decisão de aproximação.

A outra questão está na distância necessária entre o leitor e a *tag*. Como a distância é de poucos centímetros, a ponta da bengala precisa passar exatamente em cima da *tag* para que ela seja detectada. Com isso, o usuário precisa saber exatamente a região de instalação da *tag* para manter a bengala constantemente naquela área. Por exemplo, pode-se convencionar que a *tag* será instalada sempre na linha central do piso tátil. Assim, o usuário poderia andar com a bengala sempre apontada para o meio do piso tátil. Apesar de ser uma solução, ainda existe riscos do usuário não passar exatamente em cima da *tag*, perdendo uma informação que poderia ser importante.

6. CONCLUSÃO

Conforme as tecnologias avançam, os produtos pessoais melhoram e as cidades implementam novas tecnologias. Muitas das melhorias podem ser para auxílio de pessoas com deficiência, avançando-se nas tecnologias assistivas.

Entretanto, as tecnologias desenvolvidas costumam não se integrar, deixando de proporcionar novas funcionalidades e benefícios para os usuários. Ainda nesse âmbito, a integração das tecnologias assistivas pessoais com a infraestrutura assistiva urbana poderia trazer ainda mais benefícios para os usuários, conforme proposto neste trabalho.

Assim, foi desenvolvida uma plataforma (*Infratech*) para que sistemas integráveis possam ser desenvolvidos, o que provou-se ser necessária e útil para permitir uma integração completa entre os sistemas pessoais e urbanos.

Os sistemas de exemplo (*TagMaps* e *CityDevices*) e a bengala inteligente permitiram verificar como diversas funcionalidades podem ser obtidas com sistemas integrados, facilitando o dia-a-dia na cidade de uma pessoa com deficiência.

Do ponto de vista funcional, o projeto obteve êxito, com todos os sistemas operando corretamente e de forma integrada. Já na análise de viabilidade operacional, algumas questões foram identificadas, como por exemplo, a limitação de cadastros de sentidos de navegação e a dificuldade de passar o leitor exatamente em cima das *tags*. Essas questões são passíveis de serem solucionadas em versões futuras dos sistemas.

Para trabalhos futuros, no total, foram levantadas a necessidade de criação do cadastro de *tags* para ambientes fechados, a subdivisão em mais sentidos de navegação, o aumento do alcance de leitura das *tags* e o aplicativo da bengala para *Android* e *iOS*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 9050:2015. Disponível em <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=344730>>. Acesso em: Junho 2016

APLICATIVO. *Hearing Aide*. Disponível em <<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.grey.hearingaide>>. Acesso em: Maio 2016.

ARAUJO, Renato Pereira de. *Sistema RFID complementar de piso tátil para localização de deficientes visuais em ambientes fechados*. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2015.

AZURE. What is Azure. Disponível em <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-azure/>>. Acesso em: Out. 2017.

BARTOLI, G; FANTACCI, R; GEI, F; MARABISSI, D.; MICCIULLO, L. *A novel emergency management platform for smart public safety*. International Journal of Communication Systems, Vol. 28, pp. 928-943, 2015.

BRASIL, PORTAL. Tecnologia Assistiva no Brasil em 2015. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/ciencia-e-tecnologia/2015/09/tecnologia-assistiva-no-brasil/view>>. Acesso em: Maio 2016.

CAMPÊLO, Ana Elisa Pinheiro. *Proposição de modelo para escolha de rotas urbanas acessíveis considerando-se os critérios de microacessibilidade para as pessoas com deficiência física motora*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 142 fl, 2011.

CENSO. Censo 2010: *População com deficiência*. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/94/cd_2010_religiao_deficiencia.pdf>. Acesso em: Maio 2016.

CIDADES. *O que são as cidades inteligentes – 2013*. Disponível em <<http://www.telesintese.com.br/o-que-sao-aas-cidades-inteligentes-e-o-que-as-torna-smart-uma-abordagem-tecnologica-de-redes-inteligentes-de-comunicacao/>>. Acesso em: Out. 2015.

COSTA, Elisângela Rocha da. Banco de Dados Relacionais. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2011. Disponível em <<http://www.fatecsp.br/dti/tcc/tcc0025>>. Acesso em: Out. 2017.

DECRETO 5.296 – 2 de dezembro de 2004. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5296.htm>. Acesso em: Jun. 2016

FORTES, Rubio Martin Sá. Modelo Geral para Elaboração de Aplicações Web. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Presidente Antônio Carlos, 2013. Disponível em <<http://www.unipac.br/site/bb/tcc/tcc-80dda1d9118c6b4fd433b0632ed754fe.pdf>>. Acesso em: Out. 2017.

GREENEMEIER, Larry. *Loopy idea brings in speech loud and clear*. Scientific American, Janeiro, 2010.

HASHIZUME, Tsutomu; YONEDA, Ikuo; KITAGAWA, Hiroshi; FUJISAWA, Shoichiro; SUEDA, Osamu. *Accessibilities of Wheelchair Users to Cross the Gaps and Steps between Platforms and Trains*. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 2, No. 4, pp. 199–205, Julho 2009

INCLUSÃO de idosos e outros grupos. Disponível em <<http://www.bengalalegal.com/veronica-camisao>>. Acesso em: Out. 2015.

KIM, S. Y., & CHO, K. *Usability and design guidelines of smart canes for users with visual impairments*. International Journal of Design, pp. 99-110, Vol 7, Nº1, 2013.

LAROCHE, C. et al. *Field Evaluation of Audible Traffic Signals For Blind Pedestrians*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2000.

NANNI, Stefania; MAZZINI, Gianluca. *From the Smart City to the Smart Community, Model and Architecture of a Real Project: SensorNet*. Journal of Communications software and Systems, Vol. 10, No. 3, September 2014.

LOOPS. *Hearing Loops*. Disponível em <<http://www.healthyhearing.com/>>. Acesso em: Maio 2017.

NISBET, P. *Integrating assistive Technologies: current practices and future possibilities*. Med Eng Phys, Vol. 18, No 3, pp 193-202. Elsevier, 1996.

SAKMONGKON, C.; PERANITTI, T.; PHONGSAK, K. "A Blind Navigation System" Using RFID for Indoor Environments", IEEE Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. ECTI-COM 2008. 5th International Conference, Volume: 2.

SASSAKI, Romeu Kazumi. Inclusão: acessibilidade no lazer, trabalho e educação. Revista Nacional de Reabilitação (Reação), São Paulo, Ano XII, mar./abr. 2009, p. 10-16.

SEDH, CORDE. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. Tecnologia Assistiva. Brasília, 2009. 138 p.

SPA. Single Page Application Disponível em <<http://www.techferry.com/articles/single-page-applications.html>>. Acesso em: Out. 2017.

TOMAS, Gustavo Henrique Rodrigues Pinto. *Uma arquitetura para cidades inteligentes baseada na internet das coisas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2014. Disponível em <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/11501>>. Acesso em: Abril 2016.

ULTRACANE. *Bengala Ultracane*. Disponível em <<http://www.ultracane.com/>>. Acesso em: Maio 2017.

VOCALIZADOR. *Attainment Company*. Disponível em <<https://www.attainmentcompany.com/gotalks>>. Acesso em: Maio 2016.