

Uma Solução de Localização e Navegação *indoor* para o sistema MyMobiConf

Pedro H. S. Oliveira¹, Thais R. M. B. Silva²

¹Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas
Universidade Federal de Viçosa - Campus UFV-Florestal (UFV)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Florestal – MG – Brazil

{pedro.oliveira3,thais.braga}@ufv.br

Resumo. *Atualmente várias tecnologias que utilizam o GPS (Global Positioning System) como solução de localização estão disponíveis para diferentes campos de aplicação. Entretanto a precisão dessas tecnologias podem variar bastante, especialmente no interior de construções onde podem existir inúmeros bloqueios de sinal dos satélites. Abordagens alternativas para esses cenários que possuem bons resultados costumam utilizar infraestrutura adicional para melhorar a precisão. A abordagem do presente trabalho, por sua vez, usa apenas os componentes integrados em smartphones para prover um sistema de navegação viável para um aplicativo de apoio à participação em eventos, o myMobiConf. A proposta implementada se mostrou eficiente para uma vasta gama de edifícios e, portanto, vários tipos de evento. Além de utilizar fusão de sensores para compensar os erros inerentes aos sistemas de navegação inercial.*

1. Introdução

Com o rápido desenvolvimento da indústria de dispositivos móveis, inúmeros sensores usados para aferir posicionamento, como receptores GPS, acelerômetros, giroscópios, bússolas, câmeras, Wi-fi e Bluetooth já são equipados nos *smartphones* atuais para dar suporte a variados serviços baseados em localização [Hu 2013].

O GPS (*Global Positioning System*) é a principal tecnologia utilizada neste contexto e fornece uma posição aproximada do dispositivo, onde a acurácia depende de vários fatores: ambiente, condições atmosféricas, sinal do satélite, entre outros. A acurácia comum desses dispositivos é aceitável para algumas aplicações como navegação utilizando um veículo ou para reconhecer lugares próximos [Simões 2013] como o Waze¹ ou o Google Maps². Mas quando essa problemática é trazida para a navegação de um pedestre, a tarefa se torna mais difícil.

O myMobiConf é um sistema de gerenciamento e apoio a eventos para o criador quanto para os participantes do mesmo. A versão do organizador é disponibilizada em uma plataforma WEB e permite que o criador do evento gerencie questionários, atividades, estratégias de gamificação, dentre outros. Já a versão do participante é disponibilizada como um aplicativo que permite ao usuário cadastrar-se em um evento, visualizar as atividades, avaliá-las, participar da gamificação, emitir opiniões, etc³.

¹<https://www.waze.com/about/>

²<https://www.google.com/intl/pt-br/maps/about/#/>

³<http://www.mymobiconf.caf.ufv.br/informacoes/sobre.html>

Normalmente, eventos ocorrem em ambientes fechados, dentro de salas ou laboratórios que podem ser difíceis de encontrar dependendo das características do edifício. A fim de melhorar ainda mais a experiência do participante, especialmente quando o mesmo desconhece o local da realização do evento, foi implementada uma solução de localização e navegação para ambientes internos (*indoor*), que permite o participante se localizar no mapa onde o evento é realizado, visualizar dinamicamente a rota de sua presente posição até o destino de sua próxima atividade e, por fim, ser guiado através de um sistema de navegação até o local.

A utilização de outras soluções em ambientes fechados é limitada pela sua dependência do uso do GPS, o qual por sua vez, neste contexto, entrega um resultado com níveis inaceitáveis de imprecisão. As soluções alternativas, na sua maioria, necessitam da instalação de equipamentos distribuídos pelo ambiente, o que muitas vezes inviabiliza o seu desenvolvimento [Arantes 2018]. Especialmente no myMobiConf, significaria que cada evento que desejasse utilizar a funcionalidade de localização do aplicativo teria que dispor desses equipamentos espalhados por, muitas vezes, mais de um edifício e seus andares, além de demandarem manutenção constante, inviabilizando essa abordagem.

Portanto, uma alternativa mais viável a ser implementada junto ao myMobiConf seria utilizar navegação estimada com o auxílio dos sensores disponíveis nos *smartphones* para corrigir a trajetória do usuário, ao invés de utilizar apenas o GPS. Dessa forma, a funcionalidade pode ser genérica o suficiente para abranger diferentes eventos e ainda entregar resultados com precisão satisfatória para a visualização de pontos, rotas e trajetórias em locais internos, desde que seja criado previamente um mapa do edifício em que o evento ocorrerá.

O restante do trabalho está organizado em seis partes. A seção 2 introduzirá os principais conceitos que serão utilizados no trabalho. Na seção 3 são descritos alguns trabalhos relacionados e pertinentes ao projeto. A seção 4 detalha e explica a solução proposta, os resultados são apresentados na seção 5 e a última parte (seção 6) irá abranger a conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

2. Referencial Teórico

2.1. Sensores

Sensores podem ser definidos como dispositivos sensíveis à alguma forma de energia do ambiente, a qual pode ser luminosa, térmica, cinética, dentre outras, relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser mensurada como, por exemplo, temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração e posição [Wendling 2010].

- GPS (Sistema de Posicionamento Global): É um sistema de navegação por rádio satélite desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA. O sistema faz uso da transmissão de sinais de microondas produzidos pelos satélites de órbita terrestre, permitindo que um receptor determine a sua posição, velocidade e tempo [Eissfeller et al. 2007]. Este sistema é especificado para fornecer as coordenadas bi ou tridimensionais de pontos no terreno, bem como a velocidade e direção do deslocamento entre pontos [Albuquerque 2003]. O GPS pode apresentar falhas devido a degradação do sinal do satélite em relação a posição do usuário por diversos fatores [Arantes 2018].

- **Acelerômetro:** É um instrumento responsável por aferir a taxa de variação de velocidade de um objeto em movimento e é amplamente utilizado em *smartphones*. Essa aceleração, por sua vez, não pode ser aferida diretamente. Para isso, ele irá aferir a força exercida em uma referência de massa com posição fixa equipada no dispositivo quando ele se move. A aceleração, por fim, é calculada usando a relação entre a força de restrição e a aceleração dada pela segunda lei de Newton: $\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}^4$.
- **Magnetômetro:** É um sensor que aferi a força e direção de campos magnéticos⁵. Os que são comumente utilizados nos dispositivos móveis são particularmente úteis para esse projeto pois funcionam bem dentro de edifícios, consomem pouca energia em comparação com outros sensores e não precisam de nenhuma infraestrutura adicional além, claro, de estar disponível na maioria dos modelos de *smartphones* [Jeong et al. 2019].
- **Giroscópio:** Um giroscópio mede a velocidade de rotação de um objeto em torno do centro de rotação [Forhan and Senna 2010] e, através dele, é possível saber a direção para qual o usuário está caminhando.
- **Fusão de sensores:** É chamada fusão de sensores quando a combinação de mais de um sensor ou derivados produz melhores resultados do que se utilizados individualmente [Elmenreich 2002]. Quando usados de forma isolada, os sensores sofrem interferências que podem gerar erros no valor apresentado, além de problemas de arredondamento que se acumulam e fazem o erro aumentar. Para minimizar esse efeito, utiliza-se a fusão de sensores [Souza 2017].

2.2. Sistemas de Navegação

Navegação é o processo de calcular as alterações na posição, velocidade, atitude e/ou taxas de rotação de um objeto em movimento necessárias para seguir uma determinada trajetória e/ou perfil de atitude com base em informações sobre o estado de movimento do objeto [Grewal 2013]. Sendo esse resultado alcançado através de tecnologias e métodos para estimar posição.

Existem alguns tipos sistemas de navegação que são encontrados comumente na literatura:

- **Sistema de navegação por satélite:** Trata-se de um sistema estruturado a partir de um conjunto de satélites que, ao aferir a distância entre o receptor e o satélite em órbita, e o tempo que o sinal gasta para chegar até o dispositivo, é possível estimar a posição do receptor [Grewal 2013]. Esse é o sistema mais utilizado em aplicativos convencionais do mercado.
- **Sistema de navegação baseado em redes:** São sistemas que utilizam tecnologias de transmissão sem fio e seus parâmetros para a estimação da posição absoluta do usuário [Castro 2018].
- **Sistema de navegação inercial (INS):** São os sistemas onde a atualização da trajetória de um ponto de partida não depende de sinais externos e a trajetória e direção são conhecidas utilizando um arranjo de acelerômetros, giroscópio ou bússola [Groves 2013]. Em outras palavras, dada uma aceleração, é possível determinar velocidade e posição através de sucessivos cálculos matemáticos. Além

⁴<https://www.britannica.com/technology/accelerometer>

⁵<https://www.britannica.com/technology/magnetometer>

disso, a rotação pode ser obtida através da velocidade de rotação em torno dos eixos através do magnetômetro e/ou giroscópio [Groves 2013].

- Navegação estimada para pedestres: O PDR (*Pedestrian Dead Reckoning*) é, de maneira simples, estimar a distância percorrida e a direção em que a pessoa caminhou. Essa técnica utiliza uma navegação baseada no posicionamento relativo e, partindo de uma posição conhecida, sucessivos deslocamentos são adicionados a ela [Beauregard and Haas 2006]. Uma solução para o desenvolvimento de um sistema de navegação estimada para pedestre é o uso de sensores inerciais para a contagem dos passos realizados pelo usuário, substituindo assim, os cálculos de posição e velocidade realizados nos sistemas de navegação inercial (INS) tradicionais, resultando em uma melhora significativa do resultado [Groves 2013].

2.3. Posicionamento

- Posicionamento absoluto: Nesse tipo de posicionamento a localização do usuário é aferida através de informações obtidas de equipamentos (*beacons*) fixados no ambiente, os pontos de referência. Os principais métodos usados para determinar a posição de um dispositivo móvel envolvem medir a diferença do tempo de chegada, o ângulo de chegada ou a potência do sinal [Arantes 2018] e, dessa forma, conseguem alcançar resultados com boa precisão. Devido a popularidade desse produto no mercado, normalmente são encontrados trabalhos baseados em redes com tecnologia WiFi. Mas também existem os que utilizam uma rede de *beacons* Bluetooth 4.0 espalhados por um edifício para utilizar esses métodos [Castro 2018].
- Posicionamento Relativo: No Posicionamento Relativo a posição atual é baseada na última posição conhecida. A navegação inercial pode ser usada na criação de sistemas de Posicionamento Relativo e o principal método utilizado é o *Dead Reckoning* [Arantes 2018].

3. Trabalhos Relacionados

Sistemas de localização e navegação já são amplamente utilizados em várias aplicações do mercado. Entretanto, estimar a posição do usuário em ambientes *indoor* é uma tarefa complexa, capaz de envolver diversas abordagens, sensores e tecnologias de comunicações [Makki et al. 2015]. Logo a presente seção apresentará alguns sistemas e metodologias encontrados na literatura sobre a problemática de localização e navegação para ambientes fechados.

Em [Mecking 2015] é proposto um sistema de navegação por satélite que analisa os pontos de interesse em volta do usuário e, dessa forma, permite que o mesmo se localize em um campus universitário. [Simões 2015] apresenta uma solução de um sistema de localização *indoor* com base em rede WiFi para o campus da Universidade de Lisboa, combinando técnicas de triangulação em um servidor e desenvolvendo uma aplicação móvel para a plataforma Android.

Em [Bekkelien et al. 2012], por outro lado, desenvolveram uma solução que utiliza *beacons* Bluetooth: espalham-se várias antenas em um edifício e a posição exata de cada uma deve ser registrada para que o sistema a utilize como referência. A força do sinal é usada para calcular a distância do dispositivo para a antena Bluetooth, inferindo assim

a posição do usuário. Essas possibilidades, como já mencionado na seção 2, incorrem em um custo extra para a aplicação.

Já [Arantes 2018] propõe um modelo que utiliza navegação inercial com contagem de passos e auxílio de realidade aumentada para produzir um sistema de navegação intuitivo para o usuário. [Stockx et al. 2014] também utiliza técnicas de navegação inercial para estimar posição através do acelerômetro e do giroscópio uma vez que o usuário insere os pontos de início e destino. Um outro exemplo é descrito no trabalho [Silva et al. 2017], que segue essa metodologia e utiliza o magnetômetro e o acelerômetro para alimentar uma API que será responsável por calcular a posição do usuário baseado em um mapa previamente concebido. [Hu 2013] cria um protótipo que exibe a posição do usuário baseado na contagem de passos, entretanto utiliza diferentes classificações do movimento para melhorar a acurácia da contagem.

Este trabalho apresenta uma solução e implementação de um sistema de localização e navegação *indoor* que não depende de nenhuma infraestrutura adicional, não é dependente do GPS, pode ser usado para diversos edifícios independente do número de andares e utiliza a abordagem PDR para corrigir a trajetória do usuário.

4. Projeto e Implementação da Solução

4.1. Recursos Utilizados

Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho e a posterior realização de testes foi utilizado o *smartphone* Redmi Note 10S⁶, que é equipado com os sensores GPS, acelerômetro e magnetômetro. Em termos de software, as tecnologias listadas abaixo foram utilizadas na implementação:

- Ionic Framework: O myMobiConf foi desenvolvido utilizando o Ionic Framework que, segundo sua documentação oficial, é um kit de ferramentas de interface do usuário de código aberto para criar aplicativos multiplataforma modernos e de alto desempenho a partir de uma única base de código⁷. Além de funcionar em múltiplas plataformas, utiliza Javascript e Typescript, o que permite ao aplicativo utilizar inúmeros pacotes NPM (*Node Package Manager*).
- Capacitor: O Capacitor é um *framework* utilizado no Ionic para rodar código nativo em todas as plataformas, facilitando a criação de aplicativos móveis de alto desempenho executados nativamente em iOS ou Android. Adicionar funcionalidade nativa, como monitoramento dos sensores do dispositivo, é simples com uma API de *plug-in* para Swift no iOS, Java no Android e JavaScript para a Web⁸. Os *plug-ins* *Motion* e *Geolocation* foram utilizados neste projeto para monitorar o GPS, o acelerômetro e o magnetômetro.
- Google My Maps: O Google My Maps (Meus Mapas) é um software gratuito desenvolvido pela empresa Google que tem como principal função a criação colaborativa de mapas digitais personalizados, sendo possível localizar lugares, traçar rotas, importar e/ou exportar informações geográficas nos formatos de arquivo KML e KMZ, adicionar propriedades para os componentes, dentre outras funcionalidades⁹.

⁶<https://www.mi.com/global/product/redmi-note-10s/specs>

⁷<https://ionic.io/framework>

⁸<https://capacitorjs.com/docs/>

⁹<https://www.google.com/intl/pt-BR/maps/about/mymaps/>

- Google Maps API: Com a API Maps JavaScript, é possível personalizar mapas com seu próprio conteúdo e imagens para exibir em páginas da Web e dispositivos móveis. O mapa pode ser alterado usando camadas e estilos, controles e eventos, além de vários serviços e bibliotecas. É uma ferramenta Javascript (compatível com o Ionic) amplamente utilizada e que permite utilizar mapas dinâmicos, interativos e altamente personalizados¹⁰.
- Pacotes javascript auxiliares: Foram usados alguns pacotes Javascript para auxiliar neste trabalho, o pacote graphology¹¹ permite o aplicativo comportar grafos complexos e otimizados em tempo de execução, além de fornecer algoritmos otimizados de menor caminho para grafos ponderados ou não ponderados, com arestas ou sem arestas, rotulados ou não, dentre outras possibilidades. O pacote geolib¹², por outro lado, oferece algoritmos para cálculos otimizados de geolocalização, utilizando coordenadas do mapa (latitude e longitude). Para o cálculo da posição do usuário utilizando a distância deslocada e a direção do deslocamento, por exemplo, o pacote geolib já possui uma função integrada para esse fim.

4.2. Metodologia

4.2.1. Visão Geral

A solução desenvolvida neste trabalho consiste em permitir aos usuários do myMobiConf localizarem os lugares dentro do edifício em que um evento ocorrerá, mostrando a rota mais curta até o destino, a distância, informações a respeito dos possíveis destinos, dentre outras. A ideia é prover uma funcionalidade que, independente do edifício, permita criar um mapa e traçar rotas entre a posição do usuário e os possíveis destinos, sendo assim genérica o suficiente para ser usada por qualquer evento, independente do seu tipo ou qualquer de suas características. A proposta também atende ao requisito de minimizar os efeitos dos desafios da localização *indoor* utilizando os sensores equipados no *smartphone*. Assim, desde que seja criado previamente um mapa do edifício, como será descrito nesta seção, o evento contará com auxílio de localização em sua tela de atividades.

As seções 4.2.2 e 4.2.3 explicam a função das telas do sistema e recursos gerais implementados. As seções posteriores detalham cada parte da metodologia implementada do trabalho.

4.2.2. Tela para Escolha de Destino

A tela para escolha de destino (Figura 1) é a responsável por exibir e definir a rota que pode ser percorrida. A posição inicial do marcador é aferida através do GPS e monitorada a cada período de tempo. Portanto, a posição se mantém atualizada mesmo que o usuário se desloque. É possível também selecionar manualmente a própria posição caso considere que as interferências no GPS não permitem ao sistema obter a localização de maneira adequada.

É possível visualizar todos os andares cadastrados no mapa através da opção “Andar sendo visualizado no mapa”. Ao alterar o andar através dessa opção, os pontos de

¹⁰<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript>

¹¹<https://graphology.github.io/>

¹²<https://github.com/manuelbieh/geolib>

destino que correspondem ao andar selecionado serão exibidos e os outros removidos. É possível alterar também o andar do edifício em que a pessoa se encontra através da opção de seleção “Usuário está no andar” e, dessa forma, definir rotas do primeiro para o segundo andar, do terceiro para o primeiro, e assim sucessivamente.

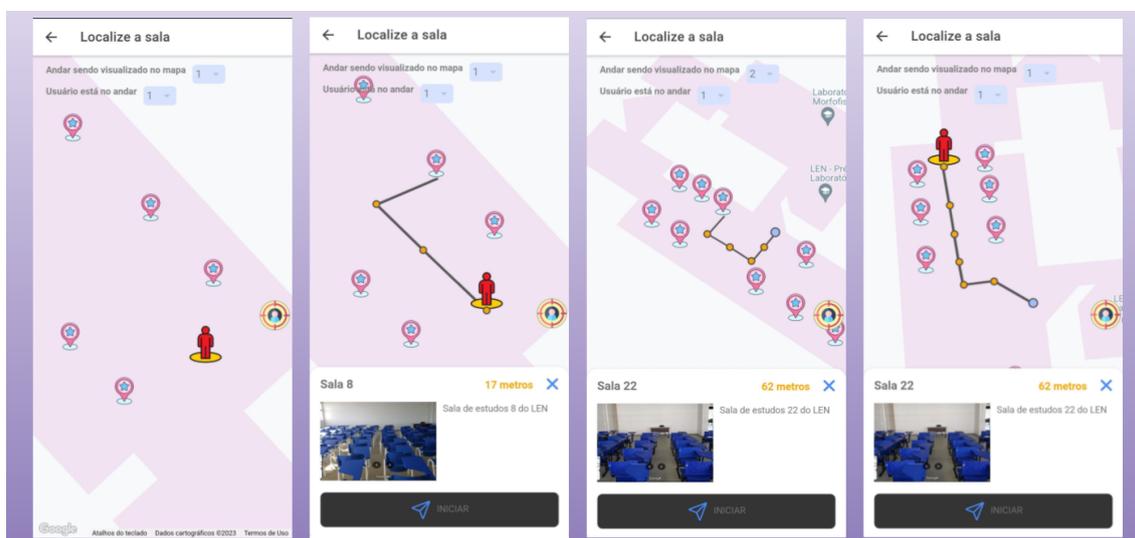


Figure 1. Tela para escolha de destino do myMobiConf.

Ao selecionar algum dos destinos dispostos no mapa, a rota é traçada da posição atual do usuário até o ponto selecionado. Para que o marcador da posição atual do usuário apareça no mapa, ele deve estar visualizando exatamente o andar em que ele está, ou seja, se o andar selecionado para o mapa for o primeiro e a pessoa marcou que está no segundo andar, seu marcador não irá aparecer. Além disso, mesmo que a rota da posição do usuário até o destino envolva mais de um andar, só serão exibidos os pontos da rota que pertencem ao andar que estiver sendo visualizado no mapa pelo usuário.

O mapa permite que sejam alteradas a posição, inclinação e rotação para melhorar a usabilidade. Além disso, visando comodidade, foi adicionado um botão lateral que retorna para o local onde o usuário está no mapa, imediatamente abaixo da seleção manual de posição. Permitindo, dessa forma, que o utilizador navegue em qualquer lugar do mapa e ainda assim não perca a referência rápida de onde se encontra. Por fim, ao selecionar um ponto de destino é possível iniciar o trajeto até ele através do sistema de navegação clicando em “Iniciar”.

4.2.3. Tela de Navegação

Na tela de navegação (Figura 2) foi implementado um sistema de navegação inercial que utiliza o GPS (quando possível) e o PDR para guiar a pessoa até o ponto escolhido utilizando os sensores presentes no dispositivo.

A página recebe a rota escolhida pelo usuário e assume que o primeiro item da rota é a posição inicial e o último item, o destino. Então, se o *smartphone* que estiver executando o aplicativo possuir o magnetômetro, o mapa apontará na direção pra onde o celular está apontando automaticamente e em tempo real, melhorando a usabilidade.

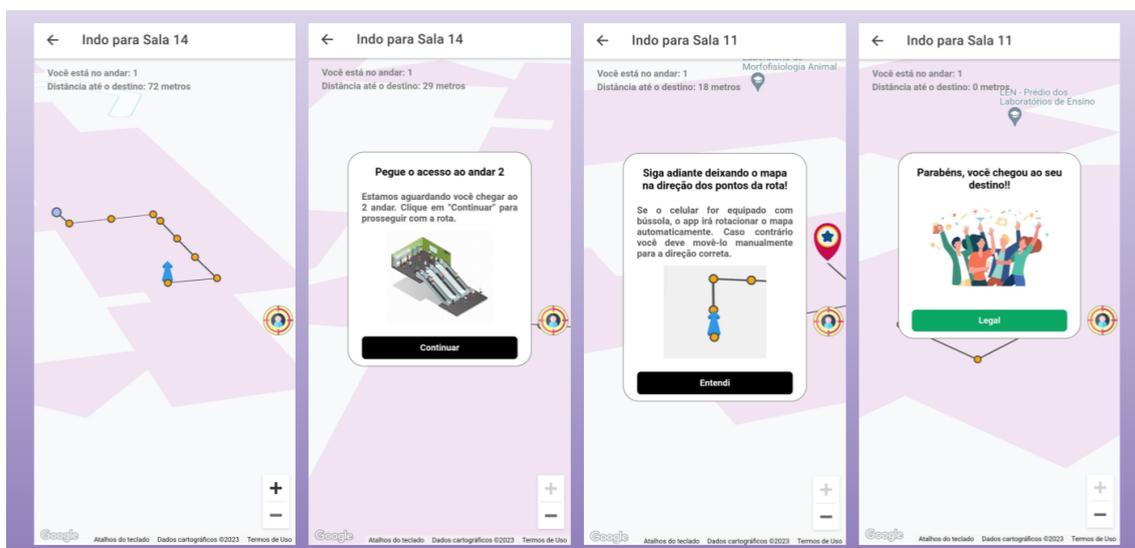


Figure 2. Tela de navegação da *feature* de localização do myMobiConf.

A posição do usuário é atualizada a medida em que ele se locomove na direção do destino enquanto trás informações na tela para auxiliá-lo no trajeto. Ao chegar a fim da rota, é possível retornar à página de escolha de destino e realizar uma nova navegação.

4.2.4. Construção do Mapa

Para que a aplicação funcione no edifício do evento, deve ser construído anteriormente um mapa que corresponde a planta do local e suas possíveis rotas utilizando o Google My Maps. Três tipos de pontos podem ser utilizados neste mapa: os pontos de destino, de navegação (utilizados para as rotas) e de acesso (que dão acesso a um outro andar). Um exemplo de mapa é mostrado na Figura 3.



Figure 3. Exemplo de um mapa produzido com o Google My Maps.

4.2.5. Definição de Atributos para Pontos do Mapa

Cada ponto inserido no mapa deve conter informações que o sistema de localização precisa saber para funcionar como o esperado. Abaixo, na Figura 4 estão listados os atributos para um ponto:

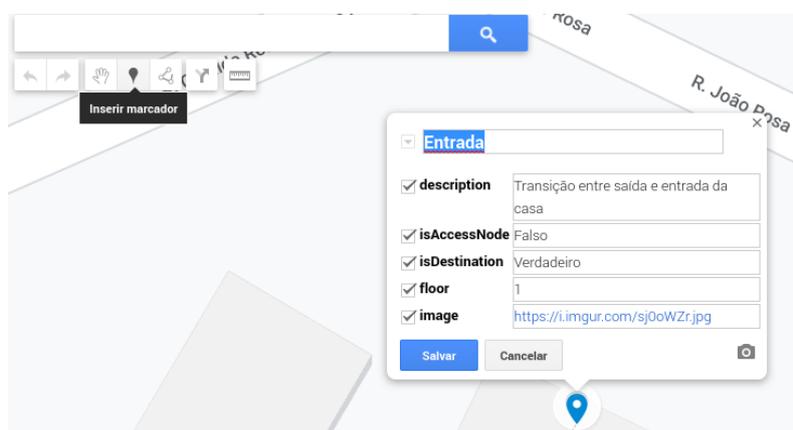


Figure 4. Exemplo do preenchimento de atributos para um ponto inserido no mapa.

- name: Atributo obrigatório de texto do mapa responsável por inserir um nome/rótulo ao ponto. É importante que cada ponto tenha um nome diferente pois será sua chave única. Como será definida uma rota, é necessário saber para qual ponto o usuário irá em sequência e não é possível realizar isso sem um identificador.
- description: Atributo opcional de texto que traz uma descrição breve sobre o ponto. Só é necessário inserir valor se for um ponto de destino.
- isDestination: Atributo obrigatório “Verdadeiro/Falso” do mapa que informa se um ponto será considerado como um possível destino para o usuário ser guiado até ele. Se o valor for verdadeiro, é um ponto de destino, caso contrário, é um ponto de navegação que será utilizado para traçar as rotas do mapa.
- isAccessNode: Atributo obrigatório “Verdadeiro/Falso” que informa se o ponto é um ponto que dá acesso a um andar (superior ou inferior). Verdadeiro se for um ponto que provê acesso.
- floor: Atributo numérico obrigatório que informa qual andar do edifício o ponto está presente. Essa aplicação suporta mapas que possuem mais de um andar então é importante registrar o andar de cada ponto. A contagem começa a partir do valor 1, ou seja, se o valor for 1 significa que o ponto está no primeiro andar.
- image: Atributo opcional de texto que carrega um link para uma imagem do ponto criado. Só importa para os marcadores de destino.

4.2.6. Inserção de Arestas no Mapa

As arestas ligam necessariamente dois pontos e devem ser colocadas uma de cada vez para cada dois pontos do mapa. As arestas não precisam ser preenchidas com nenhuma propriedade. Porém, para melhor leitura do mapa ao editá-lo no My Maps é recomendável que pelo menos o atributo nome seja preenchido.

4.2.7. Extração dos Dados do Mapa

Construído o mapa, exporta-se o arquivo do edifício para o formato .kml utilizando o My Maps e, como esse arquivo possui muitos detalhes e não mantém um padrão amigável, a extração de dados em linha de código se torna mais difícil. Logo, o mapa é convertido para o tipo .geojson que, por sua vez, é um formato mais familiar pois se trata de um *array* de componentes do mapa criado (Figura 5).

Arquivos do tipo GeoJSON são, basicamente um formato JSON para codificação de várias estruturas de dados como pontos e arestas¹³. Existem inúmeras ferramentas online gratuitas para esse fim como Aspose Converter¹⁴ e GroupDocs Converter¹⁵.

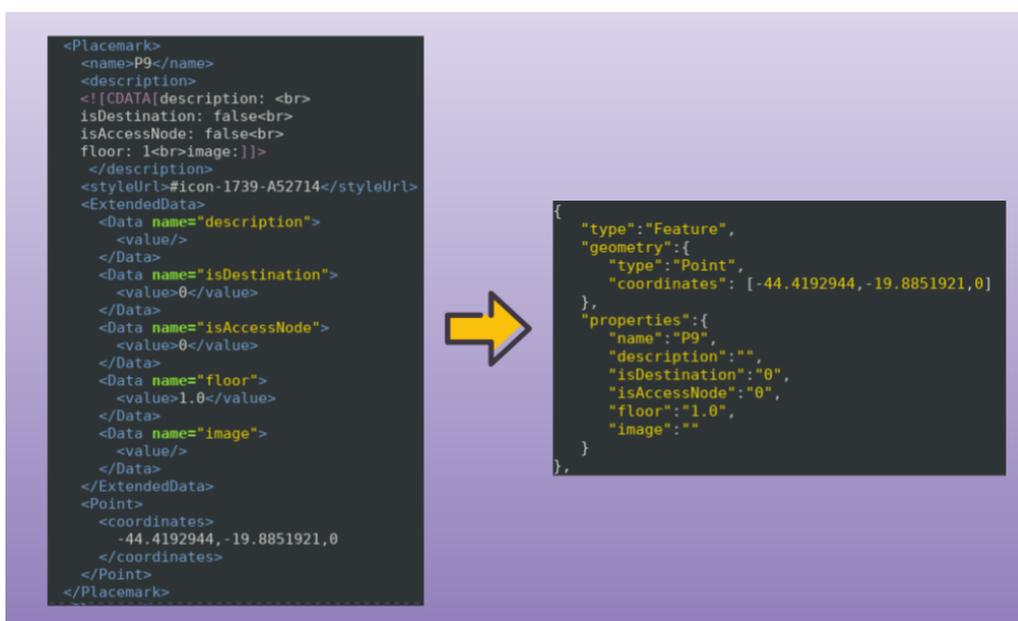


Figure 5. Um ponto arbitrário "P9" convertido de KML para GeoJSON.

O arquivo .geojson gerado serve de entrada para a montagem do grafo que será utilizado pelo aplicativo do myMobiConf. O grafo será ponderado pela distância entre dois pontos e cada rótulo de cada vértice será o nome dado a ele na montagem do mapa. Portanto, como supracitado, é extremamente importante que cada ponto possua um nome diferente. Uma vez com o grafo montado, será possível calcular as rotas de maneira eficiente utilizando abordagem de Dijkstra [Javaid 2013], que já está presente no pacote Graphology.

4.2.8. Escolha da Rota

Na tela de escolha do destino, a posição atual do usuário é monitorada através do GPS e aproximada de um dos pontos (navegação ou destino) que estiverem realmente próximos

¹³<https://geojson.org/>

¹⁴<https://products.aspose.app/gis/conversion/kml-to-geojson>

¹⁵<https://products.groupdocs.app/conversion/kml-to-geojson>

da posição atual. Caso contrário, significaria que o usuário está fora do edifício e, portanto, não poderia utilizar a navegação *indoor* desenvolvida. Entretanto ele ainda poderá visualizar sua posição atual no mapa, os pontos de interesse e demais informações, além do mapa do próprio Google Maps.

É possível também selecionar manualmente a própria posição caso o usuário considere que o GPS está muito impreciso. Como é difícil para um usuário que desconhece o local saber necessariamente onde está, o ponto de entrada do edifício deve servir, novamente, como referência de lugar conhecido para a seleção manual. Ao ser selecionado um ponto de destino, a rota entre a presente posição do usuário e o ponto escolhido é traçada imediatamente utilizando o grafo, sendo exibidas as informações relevantes a respeito do mesmo. Uma vez que o usuário deseja ser guiado até o destino selecionado, a rota traçada é enviada para a tela de navegação e o sistema de navegação é iniciado.

4.2.9. Navegação

Como explicado anteriormente (Seção 2), um requisito essencial é que a navegação inercial tenha um ponto de partida. Portanto, assume-se que o primeiro item da rota é a posição inicial e o último item, o destino.

Caso o *smartphone* que esteja executando o aplicativo possua o magnetômetro, o mapa apontará na direção para onde o celular está direcionado automaticamente e em tempo real, melhorando a usabilidade.

4.2.10. Contagem de Passos

Para as novas versões do Ionic que usam o Capacitor não existe um contador de passos já implementado que possa ser usado. Ao invés disso, se o acelerômetro estiver disponível no *smartphone*, é possível monitorar os picos de aceleração do dispositivo através do *plug-in* Motion e, dessa forma, realizar uma contagem de passos [Simões 2013]. O *plug-in* utilizado retorna as variações da aceleração em m/s^2 na direção dos eixos x, y e z¹⁶. O eixo x mede aceleração para a direita e para a esquerda do dispositivo, o eixo y para frente e para trás do dispositivo e o eixo z para cima e para baixo do chão (Figura 6).

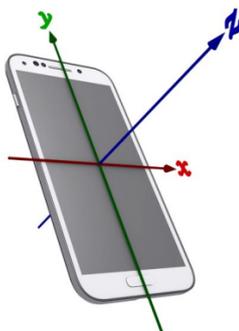


Figure 6. Eixos analisados [Arantes 2018].

¹⁶<https://capacitorjs.com/docs/apis/motion#pluginlistenerhandle>

A princípio foi considerado utilizar abordagens da média de valores obtidos do acelerômetro como em [Simões 2013], entretanto muitos cálculos em tempo real incorreram em perda de desempenho do sistema. [Arantes 2018] também utiliza cálculos em grandes recortes de dados detectados pelo acelerômetro e só considera o eixo z para a contagem de passos, isso não se sustentou empiricamente pois o caminhar do usuário não necessariamente tem que seguir um mesmo padrão de subida e descida do dispositivo ao caminhar. Uma maneira viável foi considerar o tempo gasto para um passo ser realizado. Segundo [Jin et al. 2011], o tempo de ocorrência de um passo humano está entre 150 ms e 400 ms. Foi utilizada, portanto, a média desse valor (275 ms) para estabelecer uma janela de tempo em que um passo pudesse acontecer.

Uma constante `STEP_THRESHOLD`, cujo valor é a aceleração mínima para ser contado um passo em qualquer um dos três eixos, foi definida de maneira empírica com valor $1,3m/s^2$. A cada conjunto de dados retornado pelo acelerômetro, mesmo que a aceleração mínima seja ultrapassada em mais de um eixo, só pode ser contado um passo por vez para evitar repetição.

Então as condições para que seja calculado um passo no sistema são:

- Ultrapassar a aceleração mínima para um passo em qualquer um dos eixos.
- Respeitar o limite de um passo a cada janela de tempo de 275 ms.

4.2.11. Estimando a Posição do Usuário

Para corrigir a trajetória ao longo de sua navegação é preciso analisar as possíveis posições em que o usuário pode ir a cada momento. Em ambientes fechados o GPS apresenta imprecisões, mas em alguns momentos conseguem performar adequadamente e é possível utilizá-lo para estimar a posição do usuário. A abordagem PDR implementada é utilizada para compensar as falhas do GPS durante a navegação.

Em intervalos de 1 segundo a posição atual do GPS no aplicativo é monitorada e, se essa posição for considerada válida, a posição também será utilizada para prever a nova localização do usuário.

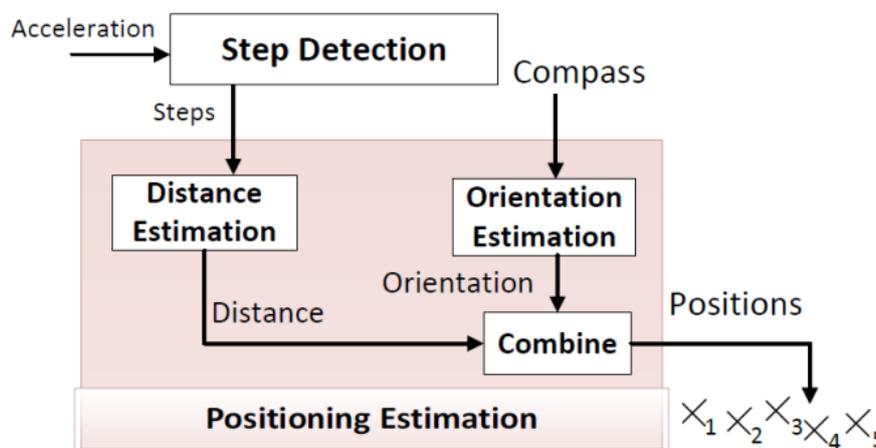


Figure 7. Pedestrian Dead Reckoning [Simões 2013].

O ponto retornado pelo GPS é válido se o atributo "accuracy" (acurácia do GPS em metros), que é retornado pelo *plug-in* Geolocation, for menor que 8 metros. Além disso, se a distância do GPS para o último ponto calculado do usuário for maior que 8 metros, o ponto é inválido. Essa condição também é utilizada para o ponto da fusão de sensores (magnetômetro e acelerômetro).

Nesse instante de tempo, além da posição do GPS, o cálculo da $quantidadeDePassos * tamanhoDoPasso$ é realizado para descobrir a distância deslocada e, levando em conta a direção para onde o mapa está apontando através do magnetômetro, é possível obter a posição aproximada do usuário, como mostrado na Figura 7.

O tamanho do passo usado nesse trabalho foi de 70 cm e leva em consideração a média do tamanho do passo de um homem (75 cm) e de uma mulher (67 cm) [Castro 2018]. Em seguida, caso o ponto resultante da fusão de sensores e o ponto do GPS sejam válidos, é realizado um cálculo para encontrar a posição média entre eles e, com esse ponto, é feita uma aproximação dessa nova posição para o ponto da rota mais próximo, corrigindo os possíveis erros de trajetória (Fig 8).

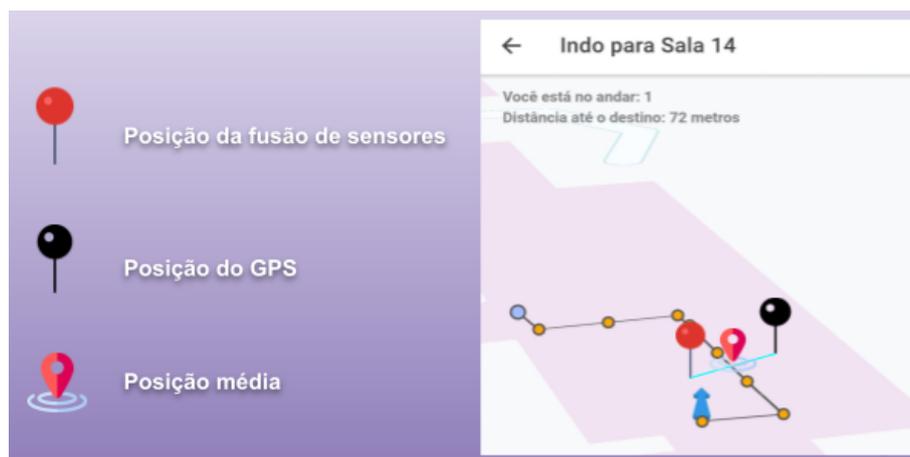


Figure 8. Ponto médio entre possíveis posições da fusão de sensores e GPS calculados.

Caso um dos pontos, fusão de sensores ou GPS, seja inválido, apenas o ponto válido é considerado para a aproximação. Caso ambos sejam inválidos, a posição é descartada e, neste caso, o estado atual exibido na tela é mantido. Se sucessivas posições forem descartadas, o sistema de navegação é encerrado e o usuário é redirecionado para a tela de escolha de destino.

Se o ponto mais próximo desse novo ponto for o mesmo em que o usuário estava, o marcador não se move. Porém, o usuário provavelmente já se deslocou uma certa distância, logo a posição anterior obtida através dos sensores é armazenada e, quando for novamente o momento de avaliar a posição do usuário, não será considerada a posição do marcador do usuário e sim o último ponto calculado através da fusão de sensores como ponto inicial. Se a aproximação resultou em um ponto diferente do ponto do marcador do usuário, o marcador se move e a nova posição inicial a ser avaliada será a posição do marcador. A contagem de passos é reiniciada a cada instante de tempo em que essas posições são atualizadas até que o usuário chegue em seu destino ou retorne a tela anterior. Se o

smartphone não for equipado com magnetômetro, o usuário terá que rotacionar manualmente o mapa na direção em que ele deseja se deslocar a cada momento ou o ponto criado através da contagem de passos será inútil ao longo da navegação, reduzindo a acurácia do sistema.

5. Avaliação

Para avaliar a possibilidade de utilizar a solução em qualquer edifício independente de suas características, foram construídos quatro mapas. Três deles são pavilhões de aulas da UFV - Campus Florestal (PVE, PVB e LEN) e o outro, o mapa de uma residência.

Confeccionar um bom mapa para o evento envolve muito esforço e é a parte mais trabalhosa da solução, pois é preciso criar rotas com "boa aparência" e que correspondam a planta do ambiente, seguindo uma série de regras. O autor do mapa precisa conhecer os caminhos e os acessos a andar que podem ser percorridos dentro do edifício e, por isso, deve se dirigir até o local e avaliar precisamente o ambiente. Quanto maior e mais complexa a estrutura, mais difícil se torna criar um mapa válido com boas condições de uso. Fortuitamente, para todos os mapas criados foi possível alcançar mapas com boa aparência e o aplicativo traçou rotas válidas para todos os pontos.

Para ter um referencial de cada sala e lugar, foi utilizado o aplicativo Google Maps¹⁷, já que a ferramenta de criação do mapa do presente trabalho é baseado no mapa do Google maps, facilitando que o mapa seja confeccionado com posições mais precisas de seus componentes.

5.1. Mapas Criados

5.1.1. PVE - Pavilhão de Aulas E (UFV-CAF)

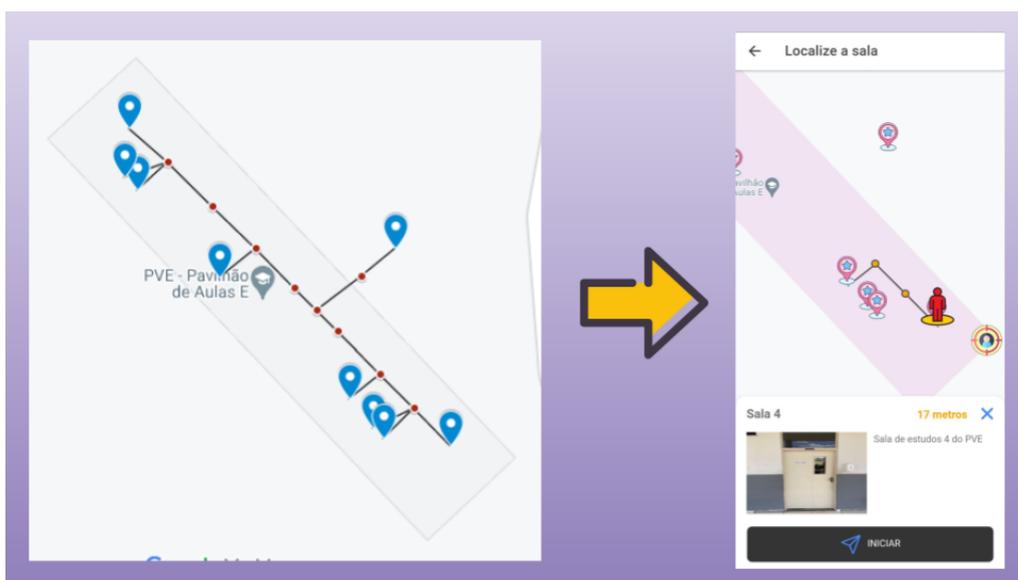


Figure 9. Mapa confeccionado do PVE e seu respectivo mapa mostrado ao usuário no myMobiConf.

¹⁷<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps>

Esse pavilhão tem um andar e possui oito salas de estudo, as demais são para outros fins. O lado de fora das salas é um ambiente semi-aberto, com um extenso corredor que interliga todas as salas e banheiros. Além desses pontos, foi inserido um ponto de entrada do pavilhão fora do edifício.

O sinal GPS nesse edifício pareceu sofrer menos com a degradação do sinal já que o Google Maps apontou uma boa precisão (menor do que 5 metros). Dessa forma, se tornou mais fácil identificar os pontos se posicionando em cima de cada um e observando a respectiva posição no Google Maps. O mapa foi criado utilizando a metodologia detalhada na seção 4 e a confecção durou cerca de uma hora. A Figura 9 mostra o mapa e seu funcionamento no myMobiConf.

5.1.2. PVB - Pavilhão de Aulas B (UFV-CAF)

O PVB também tem um andar e possui cinco salas para uso, três laboratórios com computadores e duas salas de estudo convencionais. O lado de fora das salas é um ambiente semi-aberto, com um corredor que interliga todas as salas e banheiros. Além desses pontos, foi inserido um ponto de entrada antes das escadas que dão acesso ao corredor que interliga as salas, do lado de fora do edifício. O sinal GPS nesse edifício também se comportou de maneira funcional. Dessa forma, utilizando o Google Maps foram definidos os pontos. A confecção durou cerca de quarenta minutos e a Figura 10 mostra o mapa e seu funcionamento no myMobiConf.

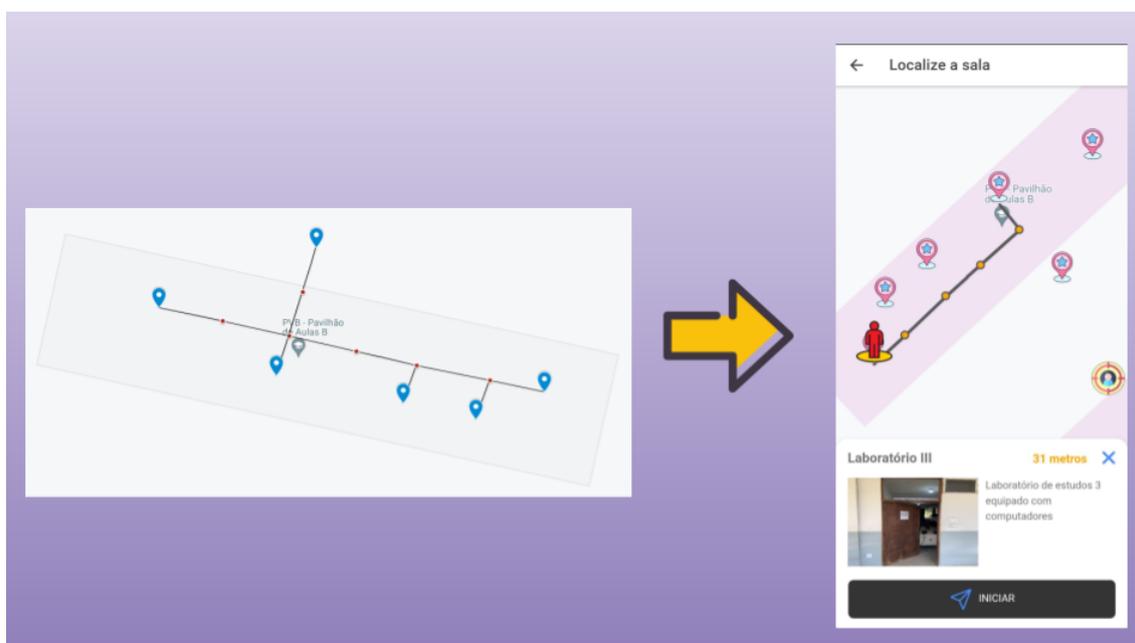


Figure 10. Mapa confeccionado do PVB e seu respectivo mapa mostrado ao usuário no myMobiConf.

5.1.3. LEN - Laboratório de Ensino (UFV-CAF)

Especialmente nesse edifício o GPS não apresentou bons resultados, só foi possível localizar-se com precisão utilizando o Google Maps do lado de fora, na entrada. Logo o mapa foi construído baseando-se no reconhecimento visual do local e avaliando sua devida relação com o mapa do Google Maps. O LEN possui cerca de 18 salas de estudo convencionais possíveis de serem utilizadas para eventos e são distribuídas entre dois andares, as demais salas são destinadas para outros fins. Percebendo esse cenário, não foi necessário mapear o pavilhão inteiro visto que serão lugares inacessíveis a quem irá participar do evento. Os pontos, portanto, foram inseridos apenas na "área de evento" do LEN (Figura 11).

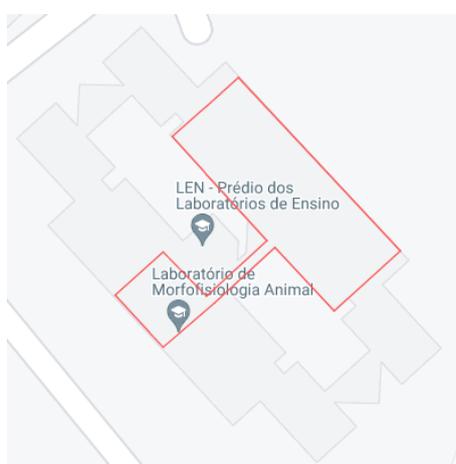


Figure 11. Região mapeada do LEN.

Corredores em ambos os andares interligam a primeira parte do edifício até as salas. Esses andares são ligados através de escadas, cada uma em um ponto diferente. Portanto existirão 2 pontos de acesso diferentes para cada andar. O mapa foi criado utilizando a metodologia detalhada na seção 4 e a confecção durou cerca de oito horas. A Figura 12 mostra o mapa e seu funcionamento no myMobiConf.

5.1.4. Residência

Esse ambiente também foi mapeado para teste e uso pois, dessa forma, mesmo que seja um ambiente bem diferente dos edifícios anteriores, é possível mostrar que a solução funciona para quaisquer lugares. A residência é muito menor em comparação com os demais edifícios mapeados e é composto por cozinha, dois quartos e um escritório. Nesse caso foi possível utilizar o GPS e o Google Maps para inserir os pontos. A confecção do mapa durou cerca de 40 minutos e o resultado é exibido na Figura 13.



Figure 12. Mapa confeccionado do LEN e seu respectivo mapa mostrado ao usuário no myMobiConf.

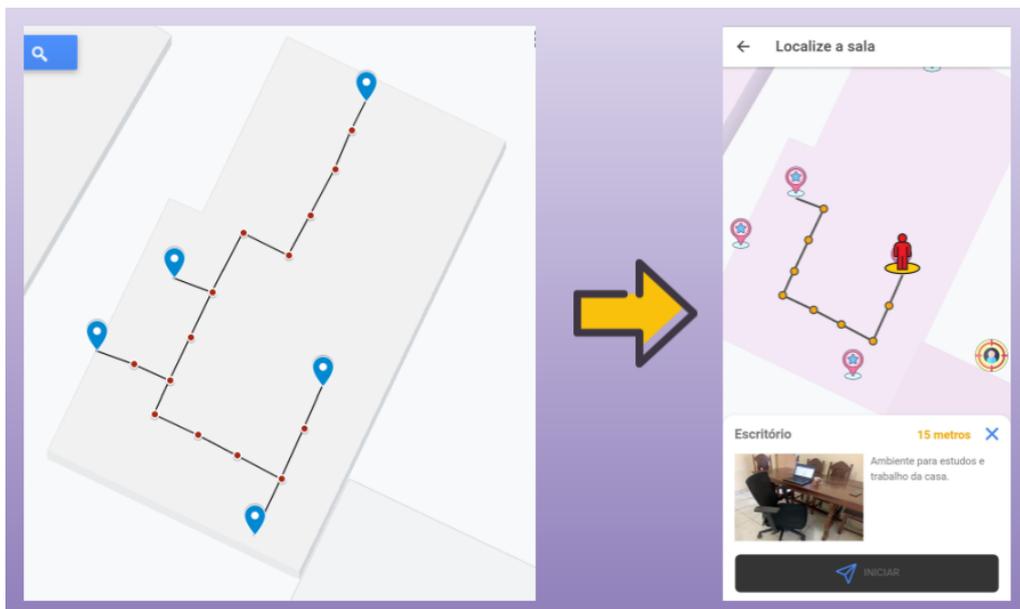


Figure 13. Mapa confeccionado da residência e seu respectivo mapa mostrado ao usuário no myMobiConf.

5.2. Utilização do sistema de localização do myMobiConf

É esperado do sistema de localização do myMobiConf que seja possível para o usuário definir facilmente a rota para o destino que ele deseja ir através dos mapas criados anteriormente. Além disso, o usuário deve ser guiado com sucesso até o seu destino, independente do edifício e das condições do GPS, pois é esperado que sejam superados os desafios inerentes a sistemas de navegação *indoor*.

Foram criadas, portanto, diferentes versões do sistema, cada uma contendo um dos mapas confeccionados na UFV-Campus Florestal. Esses arquivos foram distribuídos para cinco usuários distintos que deveriam escolher uma dessas versões e detalhar suas considerações através de um questionário. Um dos usuários respondeu o questionário para mais de um pavilhão e registrou duas vezes suas considerações.

As perguntas foram elaboradas para aferir a dificuldade do usuário com relação ao uso do aplicativo: Se o mapa corresponde ao ambiente, sobre o uso do magnetômetro e se o sistema de navegação performou de maneira adequada.

Os usuários utilizaram diferentes *smartphones* nos testes, as marcas e modelos registradas seguem a seguinte distribuição:

- Dois usuários utilizaram o Redmi Note 11¹⁸ da Xiaomi.
- Um usuário utilizou o Moto G8 Power¹⁹ da Motorola.
- Um usuário utilizou o Galaxy A31²⁰ da Samsung.
- E o usuário que respondeu em duas oportunidades utilizou o Galaxy M31²¹ da Samsung.

Todos os usuários utilizaram o LEN. Esta situação é interessante pois nesse edifício em específico o GPS apresentou muita imprecisão durante a confecção dos mapas. Portanto, se o sistema do myMobiConf performar bem nesse pavilhão, é um grande indício de que o sistema de navegação funciona como o esperado. Além do LEN, um dos usuários também testou o sistema no PVE.

Os usuários não demonstraram nenhuma dificuldade em usar a funcionalidade de seleção de rotas, mesmo os que utilizaram os controles de andar dispostos na tela. Logo os mapas criados parecem corresponder de maneira adequada as características do edifício.

Um outro ponto a ser avaliado era a direção em que o magnetômetro apontava. O sistema possui uma dependência desse sensor pois é a partir dele que se tem a direção do deslocamento na abordagem de PDR utilizada. Portanto o bom desempenho do sistema depende do bom desempenho do magnetômetro. Os gráficos da figura 14 mostram as informações coletadas a respeito do uso desse sensor no aplicativo.

Felizmente, Apenas um usuário respondeu que seu dispositivo não possuía magnetômetro e foi obrigado a girar manualmente o mapa.

No sistema de navegação, os usuários relataram que algumas vezes o magnetômetro apontou a direção incorreta. E, quando essa situação ocorre, impacta negativamente na utilização. O motivo para isso pode ser a influência de ruídos no ambiente,

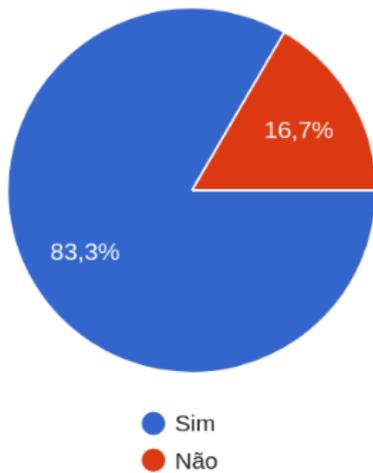
¹⁸<https://www.mi.com/br/product/redmi-note-11/specs/>

¹⁹<https://www.motorola.com/we/smartphones-moto-g-power-gen-8/p?skuId=114>

²⁰<https://www.samsung.com/my/smartphones/galaxy-a/galaxy-a31-white-128gb-sm-a315gzwwxme/>

²¹<https://www.samsung.com/levant/smartphones/galaxy-m/galaxy-m31-blue-128gb-sm-m315fzbvmid/>

Dispositivos com magnetômetro



Direção do magnetômetro



Figure 14. Gráfico das respostas a respeito do magnetômetro.

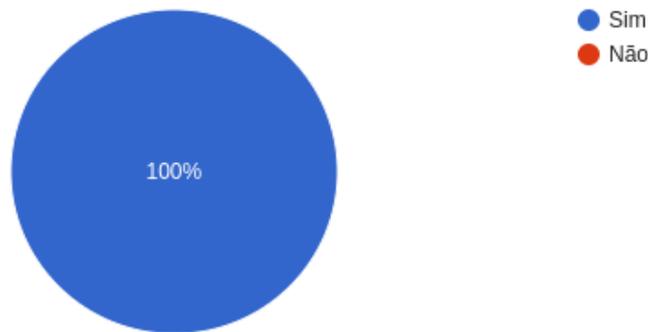


Figure 15. Gráfico de usuários que concluíram com sucesso o trajeto selecionado.

principalmente os magnéticos. Neste caso, os dados providos por sensores podem conter imprecisões, o que acaba gerando erros nos resultados dos cálculos que os utilizam [Arantes 2018]. Assim, é possível que seja necessário utilizar novas abordagens para a calibragem dos equipamentos antes de iniciar a funcionalidade para que a performance alcance seu máximo.

Por fim, para avaliar se a navegação implementada corresponde a sua finalidade, é essencial que o usuário tenha conseguido chegar ao destino selecionado. Os usuários que testaram em sua totalidade afirmaram que conseguiram chegar ao seu destino (Fig 15).

Então mesmo que a posição do GPS seja imprecisa no edifício do LEN, o myMobiConf conseguiu guiar até o destino escolhido com sucesso.

6. Conclusão e Trabalhos Futuros

A fim de melhorar ainda mais a experiência do usuário durante um evento, especialmente quando a pessoa desconhece o lugar em que o mesmo ocorrerá, foi proposto neste trabalho uma nova solução de implementação de um sistema de localização *indoor* no

aplicativo myMobiConf.

Essa solução deve ser capaz de minimizar os efeitos da degradação do sinal do GPS e funcionar para qualquer edifício, independente de suas características. Sendo viável, portanto, para qualquer tipo de evento.

Através dos resultados foi analisado que a implementação alcançou um resultado desejável para o que foi proposto a priori, visto que o sistema, segundo os usuários que testaram, conseguiu localizá-los de maneira simples e todos conseguiram chegar a seus respectivos destinos.

Um ponto de atenção levantado nos resultados foi o desempenho do magnetômetro pois, em alguns momentos, apresentava imprecisão na direção do mapa. Portanto a calibragem desses sensores antes do uso pode ser tema de trabalhos futuros. Por outro lado, a solução também deveria ser compatível com a maioria dos *smartphones* do mercado e, fortuitamente, apenas um dos dispositivos utilizados nos testes não era equipado com este sensor.

Um ponto fraco observado é o tempo para a confecção dos mapas, principalmente em edifícios com plantas mais complexas, como o caso do LEN. Pode ser tema de trabalhos futuros, então, abordagens de automatização para a construção desse mapa que visam reduzir o tempo de para confeccionar o mesmo.

O sistema de contagem de passos, por outro lado, apresentou resultados favoráveis já que a detecção do movimento para os usuários não foi um problema.

A abordagem implementada foca unicamente na problemática da localização em ambientes fechados. Logo uma futura abordagem que utilize um método híbrido de localização *indoor* e *outdoor* (Ambientes abertos) pode também complementar o trabalho e extendê-lo para eventos que cobrem inúmeros edifícios de uma vez.

References

- Albuquerque, Paulo César Gurgel, C. C. d. S. (2003). Gps para iniciantes. In XI Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Arantes, W. V. (2018). Uma Arquitetura para o uso de Sistemas de Localização Outdoor e Indoor por meio de Dispositivos Móveis. PhD thesis, Universidade Federal de Uberlândia.
- Beauregard, S. and Haas, H. (2006). Pedestrian dead reckoning: A basis for personal positioning. In Proceedings of the 3rd Workshop on Positioning, Navigation and Communication, pages 27–35.
- Bekkelien, A., Deriaz, M., and Marchand Maillet, S. (2012). Bluetooth indoor positioning. Master's thesis, University of Geneva.
- Castro, H. J. S. (2018). Uma metodologia de localização indoor híbrida para sistemas móveis. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Eissfeller, B., Ameres, G., Kropp, V., and Sanroma, D. (2007). Performance of gps, glonass and galileo. In Photogrammetric Week, volume 7, pages 185–199.
- Elmenreich, W. (2002). An introduction to sensor fusion. Vienna University of Technology, Austria.

- Forhan, N. A. E. and Senna, J. R. S. (2010). Giroscópios mems. urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19, 80:01–25.
- Grewal, Mohinder, A. P. A. (2013). Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration. John Wiley & Sons, 3rd edition edition.
- Groves, P. (2013). Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, Second Edition. Artech House.
- Hu, B. (2013). Wi-Fi based indoor positioning system using smartphone. PhD thesis, RMIT University.
- Javaid, A. (2013). Understanding dijkstra’s algorithm. [Available at SSRN 2340905](http://www.ssrn.com/abstract/2340905).
- Jeong, S., Kuk, S., and Kim, H. (2019). A smartphone magnetometer-based diagnostic test for automatic contact tracing in infectious disease epidemics. *IEEE Access*, 7.
- Jin, Y., Toh, H.-S., Soh, W.-S., and Wong, W.-C. (2011). A robust dead-reckoning pedestrian tracking system with low cost sensors. In 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom), pages 222–230.
- Makki, A., Siddig, A., Saad, M., and Bleakley, C. (2015). Survey of wifi positioning using time-based techniques. *Computer Networks*, 88:218–233.
- Mecking, F. S. (2015). Incampus: sistema móvel para localização em ambientes outdoor e indoor aplicado a um campus universitário.
- Silva, C. D., Komati, K. S., and Trindade, D. R. (2017). Sistema mobile para localização indoor usando tratamento de posição e correção de rota. In Anais do IX Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC, SBC.
- Simões, C. F. C. S. d. (2013). Andreck: positioning estimation using pedestrian dead reckoning on smartphones. Master’s thesis.
- Simões, D. M. (2015). Navegação indoor baseada na rede WIFI como suporte a serviços baseados na localização: estudo de caso no campus da UL. PhD thesis.
- Souza, G. M. (2017). Cilocalize: um aplicativo de localização indoor para o centro de informática.
- Stockx, T., Hecht, B., and Schoning, J. (2014). Subwayps: Towards smartphone positioning in underground public transportation systems. New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.
- Wendling, M. (2010). Sensores. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2010:20.