

Uma Solução de Localização e Navegação Interna para o Sistema myMobiConf

Pedro H. S. Oliveira¹, Thais R. M. B. Silva¹, Fabrício A. Silva¹

¹Laboratório de Inteligência em Sistemas Pervasivos e Distribuídos (NESPeD-Lab)
Universidade Federal de Viçosa - UFV-Florestal
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Florestal – MG – Brasil

{pedro.oliveira3, thais.braga, fabricio.asilva}@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 pode 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 diferentes edifícios e, portanto, para eventos em locais diversos, além de utilizar fusão de sensores para compensar os erros inerentes aos sistemas de navegação inercial.

1. Introdução

O myMobiConf¹ é um sistema de gerenciamento e apoio a eventos para o organizador e para os participantes do mesmo. A versão do organizador é disponibilizada em uma plataforma WEB e permite o gerenciamento de 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, dentre outras funcionalidades.

Normalmente, eventos ocorrem em ambientes fechados, dentro de salas ou laboratórios que podem ser difíceis de encontrar dependendo das características do edifício. Atualmente, o myMobiConf não conta com um sistema de localização, que poderia auxiliar o participante a encontrar o local de realização das atividades, principalmente em grandes eventos.

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]. Portanto, esses recursos podem ser utilizados para facilitar a localização e a navegação interna de usuários.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma solução de localização interna para o myMobiConf que permita ao participante, por meio do aplicativo, se localizar no mapa

¹<http://www.mymobiconf.caf.ufv.br/informacoes/sobre.html>

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 solução proposta não requer a instalação de equipamentos (i.e., antenas com uso de *beacons*) nos locais, e utiliza a navegação estimada com o auxílio dos sensores disponíveis nos *smartphones* para corrigir a trajetória do usuário, ao invés de considerar apenas o GPS. Dessa forma, a funcionalidade pode ser genérica o suficiente para abranger diferentes eventos e ainda entregar resultados com precisão satisfatória

O restante do trabalho está organizado em cinco partes. Na seção 2 são descritos alguns trabalhos relacionados e pertinentes ao projeto. A seção 3 detalha e explica a solução proposta, e os resultados são apresentados na seção 4. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Sistemas de localização e navegação já são amplamente utilizados em várias aplicações do mercado. Entretanto, estimar a posição do usuário em ambientes internos é uma tarefa complexa, capaz de envolver diversas abordagens, sensores e tecnologias de comunicações [Makki et al. 2015].

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, os autores 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 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 exhibe 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 interna 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 (*Pedestrian Dead Reckoning*) [Beauregard and Haas 2006] para corrigir a trajetória do usuário. PDR 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.

3. Projeto e Implementação da Solução

Para o desenvolvimento da proposta deste trabalho e a posterior realização de testes foi utilizado o *smartphone* Redmi Note 10S², que é equipado com os sensores GPS, acelerômetro e magnetômetro. Em termos de software, as tecnologias usadas foram: Ionic Framework, Capacitor, Google My Maps, Google Maps API e alguns pacotes Javascript auxiliares.

3.1. Visão Geral

A solução desenvolvida neste trabalho consiste em permitir aos usuários do myMobiConf localizarem os lugares dentro das instalações físicas 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 da área física, 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 das instalações físicas, como será descrito nesta seção, o evento contará com auxílio de localização em sua tela de atividades.

3.2. Construção do Mapa

Para que a aplicação funcione na área 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 1.

Cada ponto inserido no mapa deve conter informações que o sistema de localização precisa saber para funcionar como o esperado.

- nome: 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.
- descrição: Atributo opcional de texto que traz uma descrição breve sobre o ponto.
- isDestino: Atributo obrigatório “Verdadeiro/Falso” do mapa que informa se um ponto será considerado como um possível destino para o usuário ser guiado até ele.
- isPontoAcesso: Atributo obrigatório “Verdadeiro/Falso” que informa se o ponto é um ponto que dá acesso a um andar (superior ou inferior).
- andar: Atributo numérico obrigatório que informa qual andar do edifício o ponto está presente.
- imagem: Atributo opcional de texto que carrega um link para uma imagem do ponto criado.

²<https://www.mi.com/global/product/redmi-note-10s/specs>



Figura 1. Exemplo de um mapa produzido com o Google My Maps.

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 *Google My Maps* é recomendável que pelo menos o atributo nome seja preenchido.

Construído o mapa, exporta-se o arquivo do edifício para o formato *Keyhole Markup Language* (KML) que em seguida é convertido para o formato GeoJSON, que é mais enxuto.

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.

3.3. Tela para Escolha de Destino

A tela do aplicativo para a escolha de destino (Figura 2) 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, sem a necessidade do GPS. Ao selecionar algum dos destinos dispostos no mapa, a rota é traçada da posição atual do usuário até o ponto selecionado.

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. Isso permite que o utilizador navegue em qualquer lugar do mapa e ainda assim não perca a referência rápida de onde se encontra.

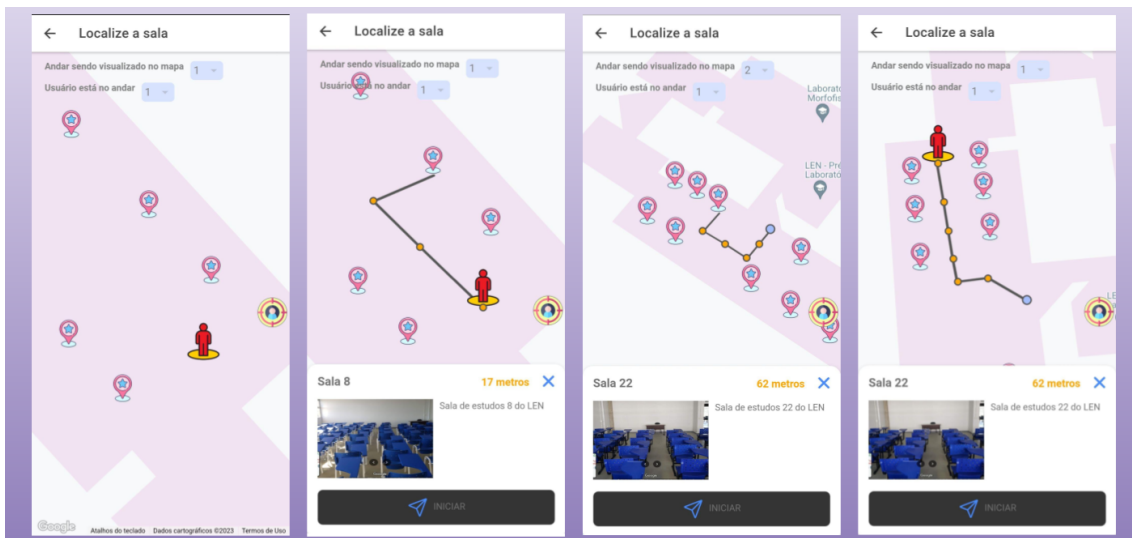


Figura 2. Tela para escolha de destino do myMobiConf.

3.4. Tela de Navegação

Na tela de navegação (Figura 3) 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.

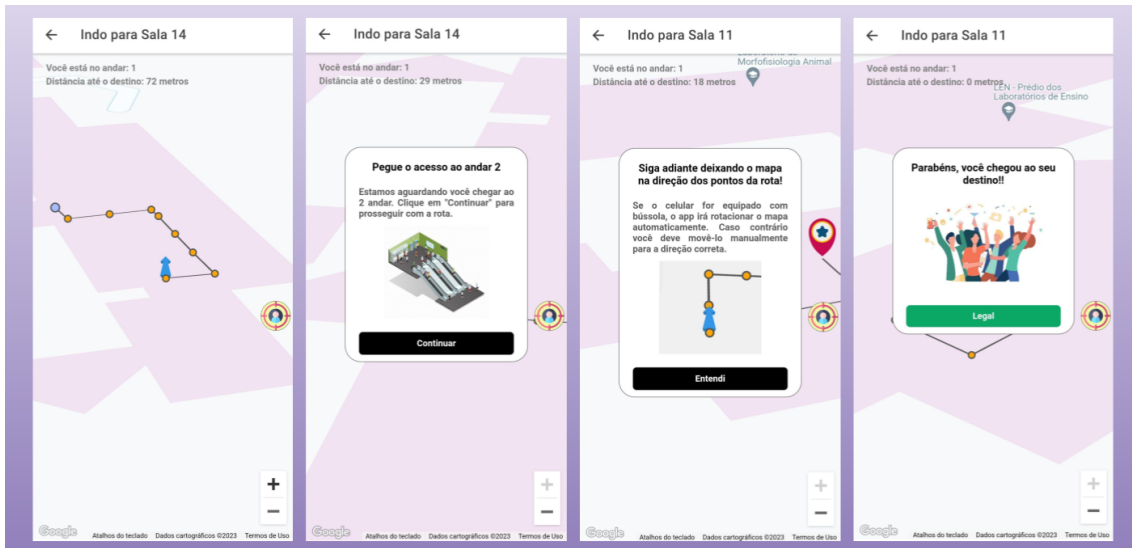


Figura 3. Tela de navegação da *feature* de localização do myMobiConf.

A tela 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.

A posição do usuário é atualizada à 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.

3.5. Navegação

A navegação utiliza um Sistema de Navegação Inercial (INS) em que 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 disso, a rotação pode ser obtida através da velocidade de rotação em torno dos eixos através do magnetômetro e/ou giroscópio. Para estimar a posição do usuário, é importante realizar a contagem de passos.

3.5.1. Contagem de Passos

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 z³. 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 4).

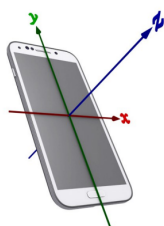


Figura 4. Eixos analisados [Arantes 2018].

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, o que 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.

O valor de 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.

³<https://capacitorjs.com/docs/apis/motion#pluginlistenerhandle>

3.5.2. 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 consegue funcionar 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.

O ponto retornado pelo GPS é válido se a 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.

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 (Figura 5).



Figura 5. 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.

4. Avaliação

4.1. Mapas Criados

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 (com no mínimo 8 e máximo 18 salas, sendo que um deles possui dois andares) 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 que correspondam à planta do ambiente, seguindo uma série de regras. O autor do mapa precisa conhecer os caminhos e os acessos a andares que podem ser percorridos dentro do edifício e, por isso, deve se dirigir até o local e avaliar precisamente o ambiente.

Para ter um referencial de cada sala e lugar, foi utilizado o aplicativo Google Maps⁴, 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.

4.2. 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 feitos experimentos reais com 6 usuários voluntários, com diferentes modelos de *smartphones*. 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

⁴<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps>

deslocamento na abordagem de PDR utilizada. Portanto o bom desempenho do sistema depende do bom desempenho do magnetômetro.

Os gráficos da figura 6 mostram as informações coletadas a respeito do uso desse sensor no aplicativo. Apenas um usuário respondeu que seu dispositivo não possuía magnetômetro e foi obrigado a girar manualmente o mapa.

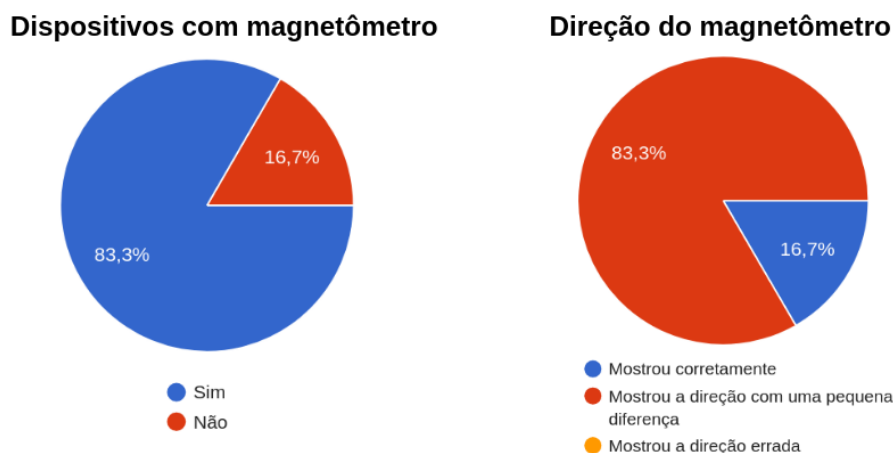


Figura 6. Gráfico das respostas a respeito do magnetômetro.

No sistema de navegação, os usuários relataram que algumas vezes o magnetômetro apontou a direção incorreta, o que impacta negativamente na utilização. O motivo para isso pode ser a influência de ruídos no ambiente, 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 o desempenho 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. Então mesmo que a posição do GPS seja imprecisa, a solução integrada ao myMobiConf conseguiu guiar até o destino escolhido com sucesso.

5. 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 interna 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. Como trabalhos futuros, pode-se citar a necessidade de calibração dos sensores no início do uso do sistema, e uma investigação sobre a possibilidade de automatizar a criação dos mapas, que é uma tarefa dispendiosa.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Fapemig (Projeto APQ-04997-23).

Referências

- 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.
- Beaugard, 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.
- 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.
- 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.
- 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.