

Análise da Aplicação da Técnica de Trilateração em Redes de Sensores Wi-Fi Para Localização em Ambientes *Indoor*

Lucas F. Mendes, Sidney José R. Lima, Emanuel F. Coutinho

Resumo—A localização de pessoas e objetos em ambientes internos se torna cada vez mais importante em aplicações sensíveis ao contexto. O presente trabalho traz uma análise da aplicação da técnica de localização interna por trilateração de sinais aplicada em uma Rede de Sensores Sem Fio *Wi-Fi*, utilizando o indicador de intensidade de recepção de sinal. Como resultado obteve-se um erro médio de 1,04 m em um ambiente de 50 m² e 2,08 m em um ambiente de 180 m², representando um baixo nível de erro de localização, visto que nenhum fator de correção foi aplicado.

Palavras-Chave—Localização Interna, Posicionamento Interno, Trilateração de Sinais, Wi-Fi.

Abstract—Locating people and objects indoors is becoming increasingly important in context-sensitive applications. This paper presents an analysis of the application of the signal trilateration indoor location technique applied to a Wi-Fi Wireless Sensor Network, using the signal reception intensity indicator. As a result, an average error of 1.04 m was obtained in an environment of 50 m² and 2.08 m in an environment of 180 m², representing a low level of error, since no correction factor was applied.

Keywords—Indoor Location, Indoor Positioning, Signal Trilateration, Wi-Fi.

I. INTRODUÇÃO

Aplicações sensíveis ao contexto estão se tornando comuns com a implantação de serviços baseados em IoT (*Internet of Things* - Internet das Coisas) de forma mais próxima aos usuários finais, como casas inteligentes, cidades inteligentes e até mesmo serviços de cuidado e assistência à saúde. Nesse sentido, informações contextuais como a localização de objetos e pessoas em ambientes internos (*indoor*) tem sido cada vez mais importantes para tais aplicações.

O sistema GPS (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global) é amplamente utilizado para localização e rastreamento de objetos e pessoas em um contexto de ambientes externos (*outdoor*). Entretanto, quando o contexto se refere à ambientes indoor, essa tecnologia se mostra inadequada, pois a precisão da localização é afetada diretamente pelas características físicas do ambiente gerando obstruções ao sinal do GPS [1].

Nesse contexto, os Sistemas de Posicionamento Interno - IPS (*Internal Positioning System*) estão recebendo bastante

Lucas F. Mendes, Programa de Pós-Graduação em Computação, Universidade Federal do Ceará, Quixadá-CE, e-mail: mendes.lucas.lfm@gmail.com; Sidney José R. Lima, Graduação em Telemática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Tauá-CE, e-mail: sidney.jrodrigues.lima@gmail.com; Emanuel F. Coutinho, Departamento de Computação, Universidade Federal do Ceará, Quixadá-CE, e-mail: emanuel@virtual.ufc.br

atenção da comunidade acadêmica e científica, sendo um tema amplamente pesquisado e aplicado. Entre as diversas aplicações, podemos destacar: orientação de bombeiros, rastreamento de pacientes em hospitais, orientações de pessoas com dificuldades relacionadas à mobilidade, orientação de pessoas em shoppings, entre outras aplicações [2].

Uma das possibilidades de aplicar uma solução IPS, está na utilização de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). Nesse sentido, uma das técnicas mais indicadas para desenvolvimento de sistemas de localização aplicadas em uma RSSF é a técnica de lateração, por apresentar baixa complexidade e baixo custo envolvido em sua implementação [3].

Nesse contexto, uma variável muito utilizada como suporte à essa técnica é a intensidade do sinal recebido - RSSI (*Received Signal Strength Indication*). Esse indicador é coletado no receptor quando este recebe um sinal do transmissor. Desde que seja conhecida a potência do sinal transmitido, é possível aferir a distância de um dispositivo (*smartphone*, por exemplo) e um *Access Point* (AP) avaliando a atenuação total do sinal [4].

Por questões de custo, disponibilidade de dispositivos compatíveis e infraestrutura necessária, as tecnologias *Wi-Fi* e *Bluetooth Low Energy* (BLE) são tecnologias atrativas para aplicações de localização *indoor* pelo método de lateração utilizando o RSSI como variável principal [3], [5].

Nesse sentido, o presente trabalho busca analisar e comparar o comportamento e o desempenho do método de localização *indoor* por trilateração, utilizando o parâmetro RSSI, aplicado a uma rede de sensores *Wi-Fi* em dois ambientes com dimensões divergentes. Com isso, pretende-se avaliar a viabilidade desse método e possibilitar novos estudos em torno dessa técnica, bem como analisar seu comportamento em ambientes com dimensões diferentes.

Este artigo está organizado da seguinte maneira. Na seção II são apresentados alguns trabalhos relacionados ao tema deste artigo. Na seção III apresenta-se um breve referencial teórico sobre sistemas IPS e a técnica de trilateração de sinais. Na seção IV são apresentados os métodos utilizados e o planejamento do experimento. Por fim, nas seções V e VI são apresentados os resultados obtidos no experimento e as considerações finais deste trabalho, respectivamente.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Existem inúmeros trabalhos científicos abordando o uso do RSSI como principal indicador na determinação da posição de

nós em uma RSSF aplicada a sistemas de navegação e posicionamento *indoor*. Em sua maioria, a tecnologia escolhida para implementar a RSSF é o *Wi-Fi* [6], [5].

No trabalho de [6] é proposto um *framework*, constituído por uma combinação de sensores para localização interna usando dados de sensores de medição inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*), RSSI, trilateração, técnica de localização por *fingerpringing* e o algoritmo *Pedestrian Dead Reckoning* (PDR). O *framework* proposto apresentou um erro de localização máximo de 1,17 m para um movimento retangular e um erro máximo de 0,44 m para movimento linear.

Em [5], o objetivo também foi propor um sistema híbrido utilizando as tecnologias *Wi-Fi* e PDR, porém, permitindo ao usuário locomover-se e visualizar a sua localização corrente através de uma representação em um mapa. Foi então realizado um experimento com cinco participantes, utilizando um *smartphone* com o aplicativo desenvolvido e fazendo uma rota predefinida. Os dados dos deslocamentos são enviados para um processo servidor que realiza a determinação da localização corrente. Ao final, são apresentados resultados satisfatórios, porém, constatando a direta influência de fatores como: características físicas do usuário, localização do *smartphone*, velocidade da marcha adotada e adoção de movimentos constantes.

Em contrapartida, estudos que utilizam o BLE como tecnologia aplicada na implementação da RSSF se mostram mais escassos, porém em crescimento, principalmente pelo fator do consumo reduzido de energia apresentado pelo BLE em comparação com tecnologias *Bluetooth* mais antigas [7], [8].

Em [7] é proposto um método de rastreamento de localização *indoor* utilizando o valor RSSI recebido de *beacons* BLE. No trabalho, os pesquisadores trazem como problemática central a dificuldade de melhorar a precisão na determinação da localização interna, por causa da influência de vários fatores ambientais externos que adicionam ruído ao sinal transmitido e que apresentam diferentes fatores de atenuação do sinal. Nesse contexto, os autores propõem um algoritmo com o uso de um filtro Gaussiano Duplo e a alocação de pesos adicionais aos valores de RSSI recebidos de cada dispositivo. Os resultados experimentais mostraram que o algoritmo proposto ajuda a calcular distâncias precisas entre o dispositivo alvo e um ponto de referência (*beacon*).

No trabalho de [8], os autores relatam um experimento aplicado com o SensorTag CC2650 da Texas Instruments utilizando uma interface sem fio BLE. No trabalho os autores constatam que há grande variação no valor de RSSI recebido por causa de vários fatores, como: multipercurso, design da antena, design do hardware e os fatores relativos ao ambiente. Com isso, sugere-se que sejam feitas pelo menos 20 medições em um mesmo local utilizando a média ou mediana dos valores obtidos para cálculo da distância entre o dispositivo alvo e o ponto de referência.

Este trabalho também utiliza o fator RSSI como informação principal para determinar o posicionamento interno de um dispositivo no ambiente. Porém, utiliza-se somente a técnica de trilateração de sinais em uma rede *Wi-Fi*. Diferente dos trabalhos supracitados, o experimento aplicado neste trabalho visa analisar o desempenho dessa técnica em ambientes com dimensões distintas, como apresentado na Seção IV, verifi-

cando o comportamento do método quando a distância entre os pontos de referência da rede aumenta ou diminui.

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antes de apresentar a técnica de trilateração como método de localização *indoor*, é importante entender de forma geral o propósito e a arquitetura comumente utilizada em sistemas de navegação/posicionamento *indoor*. Geralmente soluções para navegação e posicionamento interno utilizam uma estrutura que consiste em duas partes: dispositivos móveis e um servidor [4].

Em uma RSSF essa arquitetura pode ser entendida como um conjunto de nós sensores interconectados e fixos no ambiente, trocando dados entre si e se comunicando com os nós sensores a serem localizados e guiados [9]. Dessa forma, muitas são as possibilidades de tecnologias para a implementação dessa comunicação, a exemplo do *Wi-Fi*, *Bluetooth Low Energy* (BLE), *Zigbee*, *Near-Field Communication* (NFC), entre outras.

Em grande parte dos ambientes internos de organizações, empresas e instituições, a infraestrutura de rede existente utiliza como tecnologia *wireless* o *Wi-Fi*, dessa forma tornando bastante acessível a aplicação de soluções de navegação *indoor* que utilizem como base essa tecnologia em uma forma de rede de sensores [3], [5].

Existem atualmente várias técnicas, métodos e tecnologias aplicadas em serviços de localização *indoor* em RSSF's que podem ser classificadas em: lateração, proximidade e angulação. A técnica de lateração calcula a coordenada de localização a partir das distâncias entre alvos e pontos de referência, sendo dessa forma uma técnica bastante indicada para ser utilizada em uma RSSF, pois atualmente vários dispositivos de radiofrequência (RF) possibilitam o acesso fácil a dados como a intensidade de recepção do sinal, tempo de chegada de dados, entre outras informações [3].

O indicador de intensidade de recepção do sinal - RSSI, é uma variável bastante utilizada como range para calcular a distância entre dois sensores *wireless*. A partir desse indicador é possível medir a distância entre dois nós através do princípio de atenuação do sinal e sua relação com a distância entre emissor e receptor de RF [10]. O indicador RSSI segue a Equação 1, utilizando o modelo de propagação log-distância, sendo esse um modelo de fácil implementação [11]:

$$RSSI = P_r(d) = P_r(d_0) - 10 \cdot \beta \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

Na Equação 1, $P_r(d)$ é a intensidade do sinal recebido em uma distância d , $P_r(d_0)$ é a intensidade do sinal recebido em uma distância d_0 , obtida geralmente de forma experimental e a uma distância de 1 m. Por fim, β representa o coeficiente de perda de percurso, que pode ter seu valor variando de 2 a 6 dependendo do ambiente [10].

Como traz [3], para que a técnica de lateração possa ser utilizada é necessário pelo menos três nós de referência. Dessa forma temos uma trilateração (Fig. 6), onde as distâncias entre as posições dos nós de referência (AP) e a posição do nó desconhecido (T) podem ser representadas como os raios dos círculos com centro na posição de cada nó de referência.

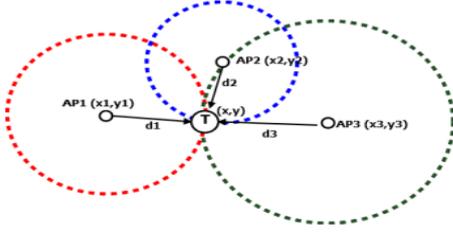


Fig. 1: Técnica de trilateração para determinação de posição [3].

Assumindo as coordenadas dos nós de referência como $AP1(x_1, y_1)$, $AP2(x_2, y_2)$ e $AP3(x_3, y_3)$, enquanto as coordenadas do nó de posição desconhecida representadas por $T(x, y)$ e utilizando o Teorema de Pitágoras, pode-se descrever as equações que relacionam as distâncias e as coordenadas dos nós. Como as distâncias podem ser calculadas pelo valor do RSSI recebido de cada nó de referência, as coordenadas do nó de posição desconhecida podem ser calculadas pela Equação 2.

$$\begin{aligned} d_1^2 &= (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \\ d_2^2 &= (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \\ d_3^2 &= (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

IV. PROJETO DE EXPERIMENTO

A técnica de análise utilizada foi a medição, utilizando equipamentos e ambientes reais de operação. As métricas utilizadas para a análise foram: precisão e acurácia na determinação da posição desconhecida e alcance do sinal. O experimento utilizou-se de um *smartphone*, como o nó sensor de posição desconhecida, com conectividade Wi-Fi. A análise consistiu-se da aplicação do experimento em dois cenários distintos, variando em cada cenário um total de três posições diferentes e aplicando 20 rodadas de medição para cada posição, como sugere [8].

Cenário 1: Laboratório de Eletrônica de uma instituição de ensino com uma área aproximada de 50 m². O referido ambiente contém apenas obstáculos móveis de altitude baixa, até 1,20 m, exceto dois armários em aço localizados em uma das laterais do local.

Cenário 2: Auditório de uma instituição de ensino com uma área aproximada de 180 m². O referido ambiente contém apenas obstáculos móveis de altitude baixa, até 1 m.

Em cada cenário, foram dispostos três roteadores similares, ambos com potência de transmissão igual a 20 dBm, sendo esses os nós de referência AP1, AP2 e AP3. As coordenadas de cada nó de referência são conhecidas para cada ambiente, seguindo o seguinte padrão de disposição bidimensional: AP1 (0, 0), AP2 (p, 0) e AP3 (q, r). Essa disposição dos nós de referência no ambiente, tendo as coordenadas p, q e r conhecidas, bem como as distâncias d_1 (AP1), d_2 (AP2) e d_3 (AP3) entre cada nó e o dispositivo alvo, possibilitam

determinar as coordenadas x e y do dispositivo a ser localizado (T), através das Equações 3.1 e 3.2 [12].

$$x = \frac{d_1^2 - d_2^2 + p^2}{2 \cdot p} \quad (3.1)$$

$$y = \frac{d_1^2 - d_3^2 + q^2 + r^2}{2 \cdot r} - x \cdot \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

As coordenadas de cada nó de referência, em metros, no ambiente 1 são as seguintes: AP1 (0, 0), AP2 (9,6, 0) e AP3 (4,15, 4,15). Enquanto no ambiente 2, as coordenadas de cada nó de referência, em metros, são as seguintes: AP1 (0, 0), AP2 (10,17, 0) e AP3 (5,75, 9,36). Em ambos os locais, os nós de referências foram posicionados a uma altura de aproximadamente 1,20 m em relação ao piso.

V. RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Nesta seção serão apresentados os principais resultados referentes à aplicação do experimento descrito na seção IV. Em ambos os ambientes de teste, houve a variação de três posições distintas, sendo que em cada posição foram coletadas 20 medições do fator RSSI para cada nó de referência, com intervalo de 10 segundos entre cada medição. Foi desenvolvido um aplicativo para realizar as medições, coletando o fator RSSI e estimando a distância para cada nó de referência, bem como estimando as coordenadas x e y para o dispositivo alvo (T).

A. Ambiente 1 - Laboratório de Eletrônica

No primeiro local de testes, laboratório de eletrônica, foi inicialmente realizado um estudo do ambiente para determinar o melhor fator de perda (β), de forma experimental, aplicado à Equação 1 para estimação das distâncias para cada nó de referência, chegando a valores variando de 2 a 5 dependendo do nó de referência e os obstáculos próximos a ele. Além disso, foram definidas, aleatoriamente, as posições de teste para a coleta de dados e aplicação da técnica de trilateração. As posições definidas apresentam as seguintes coordenadas em metros: T_1 (5,35, 4,05), T_2 (1,24, 2,36) e T_3 (7,16, 1,12).

A Fig. 2 mostra o gráfico com a variação da potência recebida de cada nó de referência durante o período de medição para a terceira posição, que apresentou maiores variações nos valores RSSI lidos. Já a Tabela I apresenta os dados obtidos nas medições realizadas em cada posição, sendo apresentadas a média, mediana e desvio padrão dos valores RSSI recebidos de cada nó de referência, a distância real e a distância estimada entre o nó de referência e o dispositivo alvo.

As distâncias estimadas para cada nó de referência foram calculadas, com base na potência média recebida de cada um, utilizando a Equação 1. A partir desse resultado é possível calcular as coordenadas estimadas para o dispositivo alvo, em cada uma das posições, utilizando as Equações 3.1 e 3.2. Com base nos dados apresentados na Tabela I, as coordenadas estimadas, calculadas para cada posição, foram: T'_1 (5,96, 3,91), T'_2 (2,09, 2,43) e T'_3 (5,51, 1,33).

Utilizando o cálculo da distância euclidiana, obteve-se as seguintes diferenças entre os posicionamentos reais e estimados: 0,62 m para a primeira posição, 0,85 m para a segunda

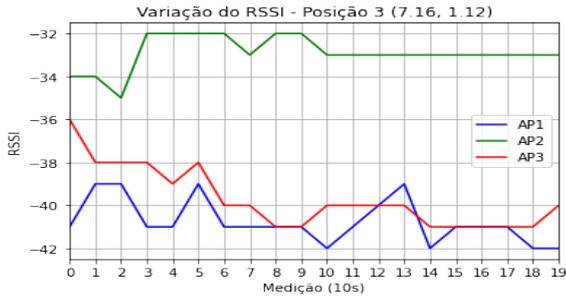


Fig. 2: Variação RSSI na Posição 3 - Ambiente 1.

posição e 1,66 m para a terceira posição. Em média obteve-se um erro de localização de 1,04 m para esse ambiente de teste. A Fig. 3 apresenta a representação 2D do laboratório de eletrônica com a marcação das posições reais e estimadas (marcadas com um "X") do dispositivo alvo.

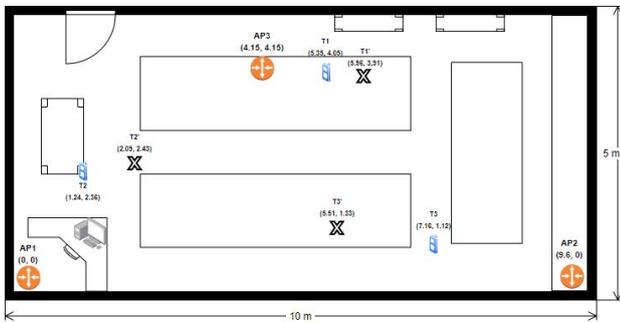


Fig. 3: Posicionamento Real x Posicionamento Estimado - Ambiente 1.

B. Ambiente 2 - Auditório

Assim como no primeiro ambiente, inicialmente foi realizado um estudo do local para determinar o melhor fator de perda, de forma experimental, chegando ao valor de 2,5 para todos os nós de referência, visto a maior uniformidade na distribuição dos obstáculos no local e a área livre maior próxima a cada nó. Logo após, foram definidas as posições de teste para a coleta de dados e aplicação da técnica de

TABELA I: Resultados da aplicação do experimento no ambiente 1 - laboratório de eletrônica.

| Posição | | T_1 | T_2 | T_3 |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|
| RSSI média [dBm] | AP1 | -44,35 | -31,68 | -40,75 |
| | AP2 | -36,05 | -39,50 | -32,90 |
| | AP3 | -32,95 | -33,80 | -39,70 |
| RSSI mediana [dBm] | AP1 | -44,00 | -31,34 | -41,00 |
| | AP2 | -36,00 | -40,00 | -33,00 |
| | AP3 | -33,00 | -34,00 | -40,00 |
| Desvio Padrão [dBm] | AP1 | 0,59 | 0,86 | 1,02 |
| | AP2 | 0,76 | 0,99 | 0,79 |
| | AP3 | 1,10 | 0,70 | 1,42 |
| Distância Real [m] | AP1 | 6,71 | 2,60 | 7,25 |
| | AP2 | 5,77 | 8,68 | 2,56 |
| | AP3 | 1,20 | 3,45 | 4,20 |
| Distância Estimada [m] | AP1 | 7,12 | 2,56 | 5,33 |
| | AP2 | 5,34 | 7,66 | 3,84 |
| | AP3 | 1,81 | 1,88 | 2,47 |

trilateração. As posições definidas apresentam as seguintes coordenadas em metros: T_1 (5,62, 3,33), T_2 (-3,11, 6,20) e T_3 (3,75, 7,20).

A Fig. 4 mostra o gráfico com a variação da potência recebida de cada nó de referência durante o período de medição para a segunda posição, que apresentou maiores variações nos valores RSSI lidos, enquanto a Tabela II apresenta os dados consolidados, obtidos nas medições realizadas em cada posição.

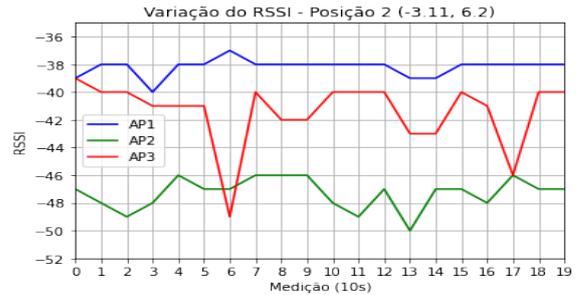


Fig. 4: Variação RSSI na Posição 2 - Ambiente 2.

TABELA II: Resultados da aplicação do experimento no ambiente 2 - auditório.

| Posição | | T_1 | T_2 | T_3 |
|------------------------|-----|--------|--------|--------|
| RSSI média [dBm] | AP1 | -36,20 | -38,20 | -34,05 |
| | AP2 | -35,70 | -47,30 | -36,75 |
| | AP3 | -34,65 | -41,40 | -32,75 |
| RSSI mediana [dBm] | AP1 | -36,00 | -38,00 | -34,00 |
| | AP2 | -35,50 | -47,00 | -37,00 |
| | AP3 | -34,50 | -40,50 | -32,00 |
| Desvio Padrão [dBm] | AP1 | 1,06 | 0,61 | 0,22 |
| | AP2 | 0,80 | 1,13 | 0,44 |
| | AP3 | 0,93 | 2,39 | 2,27 |
| Distância Real [m] | AP1 | 6,53 | 6,93 | 8,12 |
| | AP2 | 5,64 | 14,65 | 9,64 |
| | AP3 | 6,03 | 9,40 | 2,94 |
| Distância Estimada [m] | AP1 | 4,43 | 5,32 | 3,63 |
| | AP2 | 4,23 | 12,31 | 4,65 |
| | AP3 | 3,84 | 7,15 | 3,22 |

Com base nos dados apresentados na Tabela II as coordenadas estimadas, calculadas para cada posição, foram: T_1' (5,17, 3,53), T_2' (-0,97, 5,83) e T_3' (4,67, 3,73). Obtendo as seguintes diferenças entre os posicionamentos reais e estimados: 0,49 m para a primeira posição, 2,17 m para a segunda posição e 3,59 m para a terceira posição. Em média obteve-se uma precisão de 2,08 m para esse ambiente de teste. A Fig. 5 mostra a representação 2D do auditório com a marcação das posições reais e estimadas (marcadas com um "X") do dispositivo alvo.

C. Discussão dos Resultados

Com os dados obtidos observou-se que no primeiro ambiente o erro médio de localização foi de 1,04 m, enquanto no segundo ambiente o erro médio foi o dobro, 2,08 m variando de 0,49 m a 3,59 m. A Fig. 6 apresenta um gráfico do erro médio obtido em cada ambiente, onde é possível ter uma noção da dispersão das estimativas de posição obtidas. Isso pode indicar uma tendência de perda de precisão na localização em ambientes com maiores dimensões, ocorrendo uma maior

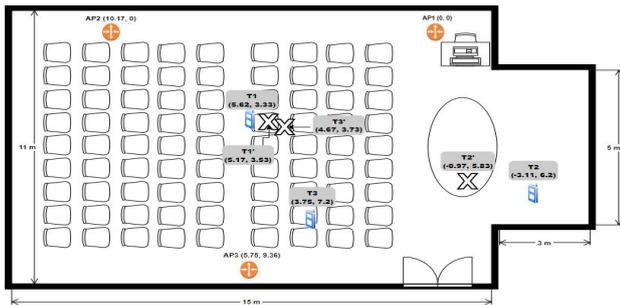


Fig. 5: Posicionamento Real x Posicionamento Estimado - Ambiente 2.

probabilidade de ocorrência de fatores que atenuam o sinal e influenciam as medições do RSSI. No ambiente 1 foi possível constatar variações de até 5 dBm, enquanto no ambiente 2, com maiores dimensões, constatou-se variações de até 10 dBm.

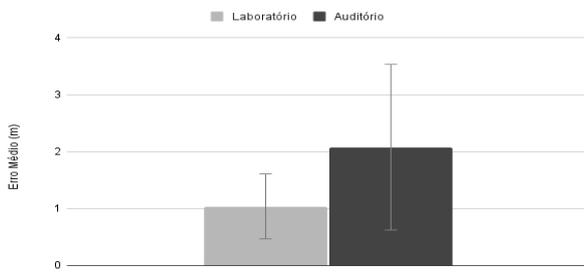


Fig. 6: Erro médio obtido.

Outro fator que influencia diretamente na precisão da determinação das coordenadas de localização é a definição do fator de perda de percurso ideal para cada ambiente. Foi constatado muita dificuldade ao determinar essa medida, pois os fatores que influenciam a atenuação do sinal, como o efeito multipercurso (perda em pequena escala), interferências, ruídos, dentre outros, dependem diretamente da posição do dispositivo receptor em relação aos nós emissores e os obstáculos presentes nesse percurso. Dessa maneira, é necessário utilizar um valor β aproximado, que mais se adeque a cada ambiente, ocasionando alta divergência nos erros de estimação em diferentes posições em um mesmo ambiente *indoor*.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho aplicou um projeto de experimento de análise de desempenho da técnica de trilateração de sinais para posicionamento *indoor* utilizando a tecnologia Wi-Fi com o valor de RSSI como o principal fator para cálculo e estimação da localização de um dispositivo alvo em dois ambientes internos com dimensões diferentes.

Os resultados obtidos mostraram um erro médio de localização de 1,04 m no primeiro ambiente, com 50 m² de área, e 2,08 m no segundo ambiente, com 180 m² de área. Percebeu-se então, que houve uma perda de precisão no ambiente 2, de maior dimensão, em relação ao ambiente 1, com menor dimensão. Houve muitas variações de medidas

RSSI no segundo ambiente, além da dificuldade em definir um valor padrão para o fator β .

Contudo, o presente trabalho apresentou resultados satisfatórios, visto que o erro médio apresentado foi relativamente baixo, levando em consideração que não houve a aplicação de nenhum fator de correção ou outra técnica que vise minimizar o erro de localização. O sistema GPS por sua vez, possui erros em *smartphones* modernos que podem variar de 5 m a 20 m em ambientes abertos e uma faixa de erro ainda maior em ambientes internos, visto que tende a falhar, devido a degradação do sinal do satélite [13]. Nesse sentido, a utilização da técnica de trilateração utilizando a medida RSSI em redes Wi-Fi é promissora e pode oferecer uma boa precisão para sistemas de localização *indoor* caso sejam aplicadas técnicas de correção de erros, como filtros e algoritmos de aprendizagem de máquina.

Como trabalhos futuros, propõe-se a aplicação de filtros de redução de ruído e a técnica *fingerprinting* em conjunto com a trilateração para obter localizações mais precisas e menor erro médio. Além disso, pode-se também realizar uma análise de desempenho comparativa entre RSSFs Wi-Fi e BLE. Por fim, esse estudo pode servir como base para a proposição de uma arquitetura de localização *indoor* baseada em trilateração e técnica de *fingerprinting* usando computação sensível ao contexto.

REFERÊNCIAS

- [1] Y. Wu; H. Zhu; Q. Du e S. Tang, "A Survey of the Research Status of Pedestrian Dead Reckoning Systems Based on Inertial Sensors." *International Journal of Automation and Computing*, v. 16, 2018, pp. 65–83.
- [2] C. Fischer e H. Gellersen, *Location and navigation support for emergency responders: A survey*. IEEE Pervasive Computing, 2010, 9.1: 38–47.
- [3] F. M. Moreira; M. S. Farias e P. V. R. de Carvalho, *Posicionamento em ambientes internos com dispositivos Wi-Fi de baixo custo*. International Nuclear Atlantic Conference (INAC), Belo Horizonte, 2017.
- [4] D. Plikyinas; A. Žvironas; A. Budrionis e M. Gudauskis, *Indoor Navigation Systems for Visually Impaired Persons: Mapping the Features of Existing Technologies to User Needs*. Sensors 2020.
- [5] M. A. Santos, *Localização em ambientes internos utilizando PDR e Wi-Fi*. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas, 2018.
- [6] A. Poulou; J. Kim e D. S. Han, *A Sensor Fusion Framework for Indoor Localization Using Smartphone Sensors and Wi-Fi RSSI Measurements*. Applied Science, 2019, 9, 4379.
- [7] J. G. Lee; J. Kim; S. W. Lee e Y. W. Ko, *A location tracking system using BLE beacon exploiting a Double-Gaussian Filter*. KSII Transactions on Internet and Information Systems, v. 11, n. 2, 2017.
- [8] M. Kaczmarek; J. Ruminski e A. Bujnowski, *Accuracy analysis of the RSSI BLE SensorTag signal for indoor localization purposes*. Proceedings of the 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki (eds). ACSIS, v. 8, pages 1413–1416 (2016)
- [9] A. Y. Chang e T. Liu, "Performance evaluation of real-time indoor positioning with active RFID and ZigBee-based WSN systems." *Journal of Vibroengineering*, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 736–745, 2013.
- [10] T. S. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice*. Prentice Hall PTR, 1996.
- [11] F. S. Sousa; I. R. S. Casella e C. E. Capovilla, "Análise de Redes Bluetooth Low Energy em Ambiente Indoor Considerando o efeito de Shadowing". *Journal of Communication and Information Systems (JCIS)*, 2017.
- [12] S. Sadowski e P. Spachos, *Rssi-based indoor localization with the internet of things*. IEEE Access, IEEE, v. 6, p. 30149–30161, 2018.
- [13] W. V. Arantes, *Uma Arquitetura para o uso de Sistemas de Localização Outdoor e Indoor por meio de Dispositivos Móveis*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, 2018.