



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS QUIXADÁ
CURSO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE

FRANCISCO CREONILSO RODRIGUES

UM ESTUDO SOBRE ABORDAGENS PARA LOCALIZAÇÃO INDOOR

**QUIXADÁ
2013**

FRANCISCO CREONILSO RODRIGUES

UM ESTUDO SOBRE ABORDAGENS PARA LOCALIZAÇÃO INDOOR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Área de concentração: computação

Orientador Prof. Marcio Espíndola Freire Maia

**QUIXADÁ
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do Campus de Quixadá

R612e Rodrigues, Francisco Creonilso
Um estudo sobre abordagens para localização indoor / Francisco Creonilso Rodrigues – 2013.
60 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, Curso de Engenharia de Software, Quixadá, 2013.
Orientação: Prof. Me. Márcio Espíndola Freire Maia
Área de concentração: Computação

1. **Computação móvel** 2. Android (recurso eletrônico) 3. Redes locais sem fio I. Título.

CDD 005.26

FRANCISCO CREONILSO RODRIGUES

UM ESTUDO SOBRE ABORDAGENS PARA LOCALIZAÇÃO INDOOR

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel.

Área de concentração: computação

Aprovado em: 07 / janeiro / 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Marcio Espíndola Freire Maia (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Lincoln Sousa Rocha
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. MSc. Jeandro de M. Bezerra
Universidade Federal do Ceará-UFC

Aos meus pais, minhas irmãs,
meus amigos e minha namorada...

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Valdivino Rodrigues (*in memoriam*) e Maria Mirtes Gomes Rodrigues, por serem um exemplo em minha vida, pelo incentivo nos estudos e pelo apoio nas horas difíceis.

À minhas irmãs, por terem sempre me incentivado a estudar e também cuidaram de me na ausência dos meus pais, vocês foram meu espelho e minha inspiração.

À Lidia, minha namorada, pessoa com quem amo compartilhar a vida. Obrigado pelo carinho, compreensão e a paciência de nem sempre poder me ver todos os dias.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, alegrias e tristezas compartilhadas.

Ao meu orientador, Marcio Espíndola Freire Maia por ter me dado total apoio nessa jornada. Pelos seus ensinamentos, paciência e incentivo. Por ter me guiado nesta área que pretendo seguir.

Aos professores, Jeandro Bezerra e Lincoln Rocha, pelas suas valiosas contribuições para este trabalho, pois também ajudaram no seu desenvolvimento. É um prazer tê-los na banca examinadora.

Aos docentes que contribuíram para minha formação, me educando e preparando para uma vida pós-faculdade, sendo na área acadêmica e mercado de trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a execução desse trabalho.

"O sucesso é ir de fracasso em fracasso
sem perder o entusiasmo."
(Winston Churchill)

RESUMO

Nesse trabalho foi realizado um levantamento das diversas abordagens para a localização indoor existentes, criando critérios de avaliação e definindo as abordagens mais adequadas para serem implementadas no campus da Universidade Federal do Ceará de Quixadá. Aqui, o principal critério imposto foi que para a implementação não existisse alteração do ambiente nem a inserção de nenhum equipamento extra. Com isso, foi escolhido a técnica de fingerprint tendo como base os dados da potência da rede Wi-Fi e os eixos X, Y e Z do campo magnético, pois todo o ambiente é coberto por redes Wi-Fi e sensores de campo magnéticos são facilmente encontrados em alguns dispositivos móveis. Além de implementar a mesma técnica usando a potência das antenas Wi-Fi e o campo magnético, também foram utilizados dois algoritmos diferentes para a classificação dos dados: o KNN e o K-Means. Por fim, foram realizados testes no ambiente utilizando aplicativos desenvolvidos para a plataforma android. Esses testes mostraram um desempenho abaixo do esperado em todos os algoritmos sendo que o que se saiu melhor foi o que usou Wi-Fi como fonte de dados e o K-Means como algoritmo classificador que teve 60% de acertos.

Palavras chave: Dispositivos móveis. Plataforma android. Localização indoor. Wi-Fi. Campo Magnético.

ABSTRACT

This study presents a survey of several existing approaches to indoor localization was performed, creating benchmarks and defining the most appropriate approaches to be implemented at the Federal University of Ceará Quixadá campus. Here, the main criterion was imposed that did not exist to implement change for the environment and the inclusion of any extra equipment. With this technique was chosen based on fingerprint data of the power of Wi-Fi network and the X, Y and Z axes of the magnetic field, because the whole environment is covered by Wi-Fi networks and magnetic field sensors are easily found on some mobile devices. The KNN and K-Means: In addition to implementing the same technique using the power of Wi-Fi antennas and the magnetic field, also for two different data classification algorithms were used. Finally, the testing environment using applications developed for the android platform have been performed. These tests showed poor performance in all algorithms being what was better was that used Wi-Fi as a data source and the K-Means algorithm as classifier had 60 % accuracy.

Keywords : Mobile devices. Android platform. Indoor location. Wi-Fi. Magnetic Field.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sistema de localização usando RSSI.	18
Figura 2- Técnica de triangulação que utiliza a informação do ângulo do sinal.	19
Figura 3 - Resultado da abordagem Média com campo magnético	51
Figura 4 – Resultados K-Means com campo magnético	53
Figura 5 - Resultado KNN com WI-FI.....	55
Figura 6 - K-Means com WI-FI.....	56
Figura 7 - Resultado WI-FI e campo magnético usando KNN	57
Figura 8 - Resultado da abordagem usando Média das potências da rede WI-FI	58
Figura 9 - Resultado K-Means com WI-FI e Campo Magnético	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Abordagens para localização indoor	14
2.1.1 Baseada em RFID	14
2.1.2 Baseadas em Bluetooth.....	15
2.1.3 Baseadas em Infravermelho.....	15
2.1.4 Baseadas sensores.....	16
2.1.5 Análise de imagens	16
2.1.6 Baseadas em WI-FI	17
2.2 Técnicas de localização.....	17
2.2.1 Mapeamento de RSSI (<i>Fingerprinting</i>).....	17
2.2.2 AoA (Angle of Arrivel)	18
2.2.3 Proximidade.....	19
2.3 Dispositivos móveis.....	19
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
4 COMPARAÇÃO DAS ABORDAGENS EXISTENTES	21
4.1 Requisitos para avaliação de um sistema de localização indoor.....	22
4.2 Comparação	28
4.3 A escolha da abordagem	46
5 DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE DIVERSAS VARIAÇÕES DA ABORDAGEN ESCOLHIDA	47
5.1.1 Aplicação desenvolvida para coleta	47
5.2 Fase off-line (coleta).....	48
5.3 Descrição dos algoritmos utilizados	48
5.4 WEKA	49
5.5 Métodos utilizando campo magnético	50
5.5.1 Campo magnético com KNN	50
5.5.2 Campo magnético com média	51
5.5.3 Campo magnético com K-Means	52
5.6 Métodos utilizando WI-FI	53
5.6.1 WI-FI com KNN.....	53
5.6.2 WI-FI com média das distâncias	55
5.6.3 WI-FI com K-Means	55
5.7 Métodos utilizando WI-FI e sensor	56
5.7.1 WI-FI e campo magnético usando KNN	57
5.7.2 WI-FI e sensor usando média das distâncias	57
5.7.3 WI-FI e campo magnético usando K-Means.....	58
6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	59
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60

7.1	Trabalhos futuros	61
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Conhecer a posição exata ou aproximada de uma pessoa ou objeto é hoje um tema bastante estudado, pois tem se observado a proliferação dos dispositivos móveis e o grande crescimento das aplicações sensíveis ao contexto, essas aplicações são adaptadas de acordo com a mudança do contexto, “contexto da aplicação incluem informações sobre quem está usando o computador; quem mais está perto; informações de ambientes como luz, som e temperatura; material físico e ferramentas usadas; e outros dispositivos no local” (KRUMM, 2010). Nesse tipo de aplicação a localização é utilizada para alterar ou guiar o comportamento da aplicação.

Com isso, Serviços Baseados em Localização (LBSs) tem se tornado cada vez mais utilizados. Eles dizem respeito a um conjunto de dispositivos, técnicas, algoritmos e aplicações que em conjunto estimam as coordenadas absolutas ou relativas de uma pessoa ou objeto em um determinado ambiente de localização (PEDRO; BRÁS, 2009). Com o uso de LBSs, aplicações que usam a localização do usuário estão surgindo, como mensagens instantâneas e alertas baseados em localização (LI; LEE, 2008).

Existem na literatura sistemas de localização precisos e eficientes tal como *Global Position System* (GPS). Este sistema, porém, funciona satisfatoriamente bem apenas em ambientes externos (*outdoor*), não possuindo uma boa acurácia em ambientes fechados (*indoor*) (FAGUNDES, 2008). Para a localização *indoor* ainda há muito a se estudar, nota-se que existem diferentes abordagens para diversos tipos de ambientes e não é simples escolher a melhor abordagem para cada situação.

Ao analisar trabalhos já realizados nota-se o grande uso de sistema de localização *indoor* baseados em redes Wi-Fi (Wireless Fidelity), talvez pela proliferação do uso dessas redes em todo o mundo. Dentre as principais soluções para localização em ambientes internos encontram-se as soluções baseadas em treinamentos, que utilizam informações previamente coletadas de potências de sinais recebidos (RSSI - Received Signal Strength Indication) para permitir que um classificador, como o kNN (k-Nearest-Neighbor), estime a posição dos nós (MOURÃO E OLIVEIRA, 2013).

Em Harder, Song e Wang (2005), é apresentada uma proposta para um sistema de localização *indoor* usando a rede Wi-Fi no padrão IEEE 802.11. Esse sistema usa a informação da força do sinal de múltiplas estações bases reunidas em locais diferentes para criar um mapeamento entre a força do sinal e a localização física.

Já em Moura e Oliveira (2013) é definido um sistema denominado SPoT (Sistema de Posicionamento com variação da Potência de Transmissão), correspondendo a uma variação da abordagem anterior em que ao invés de enviar diversos pacotes com a mesma potência de transmissão, são enviados diversos pacotes cada um com uma potência de transmissão diferente. Segundo os autores do SPoT, o objetivo dessa variação é que o comportamento da queda dos sinais possa servir como uma característica extra para um classificador usado como, neste caso, o KNN.

Dentre as abordagens gerais existentes, destacam-se as que utilizam ondas eletromagnéticas, tais como infravermelho, ultra sons, sinais de radio ou de luz. Métodos para a determinação de posição incluem; 1) *Cell of Origin* (CoO - célula de origem) em que a localização de um usuário é descrito em uma determinada célula de uma área ao redor de um transmissor; 2) *Time of Arrival* (ToA - tempo de chegada), em que o tempo de viagem de um sinal entre um transmissor e um receptor é obtido; 3) *Time Difference of Arrival* (TDoA - diferença de chegada de tempo) em que a diferença de chegada de sinais enviados por um transmissor é determinada em duas estações, que recebem a potência de força do sinal para determinação de localização usando *fingerprinting* (impressão digital ou técnicas de aprendizagem), em que os valores da força dos sinais são comparados com os valores armazenados anteriormente em uma base de dados e o local do indivíduo é obtido utilizando uma abordagem de combinação, e determinação de localização usando imagens digitais (RETSCHER, 2006). Por fim, um método descrito em Storms, Shockley e Raquet (2010), que se utiliza as variações do campo magnético em diferentes locais de um ambiente interno para localizar um veículo.

Neste trabalho, serão analisadas diferentes técnicas para a localização *indoor* existentes e selecionada aquela que se mostrar mais adequada para implementação no campus da UFC – Quixadá. Essa técnica pode ser utilizada para a criação de sistemas de apoio a professores e alunos, pois com a expansão do campus, sistemas que utilizam localização indoor podem ser úteis. O objetivo será utilizar uma técnica que não utilize de qualquer infraestrutura extra, pois a ideia é utilizar uma técnica que se adapte ao ambiente de desenvolvimento aproveitando-se das redes WIFI já existentes e dos sensores embutidos nos dispositivos móveis existentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Abordagens para localização indoor

2.1.1 Baseada em RFID

Radio-Frequency Identification (RFID) é uma tecnologia que permite recuperar e armazenar dados através de transmissão eletromagnética para um circuito integrado compatível com Radio Frequência (RF), em pequenos dispositivos denominados Etiquetas RFID (LIU *et al.*, 2007).

Um sistema que utilize essa tecnologia tem vários componentes básicos, tais como um número de leitores e etiquetas de RFID (*tags*). Esses leitores são capazes de ler ou escrever informações nas *tags*, que contêm chips e antenas que permitem responder a sinais enviados pelos leitores. Neiva (2012) define as *tags* RFID em três grupos: ativas, passivas e semi-passivas.

- Ativas – ao contrario das *tags* passivas e semi-passivas, esse grupo possui alimentação própria (podem estar ligadas a uma infra-estrutura que forneça energia ou possuir uma bateria) e transmissor integrado permitindo assim um alcance na casa das dezenas de metros.
- Passivas – as *tags* pertencentes a esse grupo não possuem alimentação interna, aproveitando-se dos sinais de radio frequência para gerar energia e assim permitir sua comunicação. Por este fato, um sistema de localização que utilize essas *tags* tornam-se mais baratos, mas, por outro lado, perdem um pouco da precisão, pois elas possuem um alcance reduzido em relação as *tags* ativas. Os cartões magnéticos de acesso às portas com fechadura eletrônica são um exemplo de uma tecnologia deste tipo.
- Semi-passivas – possui uma bateria acoplada para alimentar o seu circuito integrado como nas ativas, mas não possui um transmissor integrado necessitando ainda da energia do sinal de radiofrequência proveniente do leitor para efetuar as comunicações de volta para o leitor.

Uma forma de uso em um sistema que venha a usar a tecnologia RFID para obter uma localização, seria espalhar leitores RFID no local escolhido para que posteriormente *tags* RFID possam ser identificadas ao se aproximar de um desses leitores. Então a posição de um

individuo seria calculada a partir de técnicas auxiliares como de proximidade ou simplesmente associar a posição ao ultimo leitor que identificou a *tag*.

Um sistema proposto em NI (2003), denominado LANDMARC (*Indoor Location Sensing Using Active RFID*), usa frequência de operação do leitor de RFID com 308 MHz. A fim de aumentar a precisão, sem precisar colocar mais leitores, o sistema emprega a ideia de ter etiquetas extras no local de referência fixa para ajudar a calibração local.

Outra forma é mostrada em Neiva (2012), onde é proposto um sistema de auxílio à localização e orientação de pessoas invisuais ou com déficit de orientação. Neste sistema, é usado um leitor RFID no calçado do utilizador e *tags* passivas distribuídas por todo o chão do edifício mantendo assim próximos os leitores RFID das *tags*. O usuário do sistema também precisará de um dispositivo móvel que será usado como um terminal para processar as informações vindas dos leitores RFID.

2.1.2 Baseadas em Bluetooth

Bluetooth utiliza uma frequência de rádio com ondas curtas não tendo um alcance muito longo baseando-se em outras tecnologias. Seu alcance varia de 1 a 100 metros em geral, e essa variação é dada de acordo com a classe, pois existem três classes de *Bluetooth*, cada uma com potência e alcance diferentes. *Bluetooth* é um padrão "leve", consome pouca energia e encontra-se incorporado na maioria dos dispositivos moveis.

Nesta abordagem, para estimar uma localização utiliza-se *tags Bluetooth*, que são transceptores de pequeno tamanho, que como qualquer outro dispositivo *Bluetooth*, contém um ID único. Esse ID é utilizado por dispositivos com esta mesma tecnologia e que estejam dentro do raio de alcance para localizar essas *tags*, mesmo que estejam em ambientes diferentes. Para auxiliar na estimativa de posicionamento indoor existem principalmente duas técnicas: triangulação e *fingerprinting* (BEKKELIEN, 2012).

2.1.3 Baseadas em Infravermelho

Sistemas de posicionamentos indoor (IPS) baseados em Infravermelho (IR) estão cada vez mais comuns nos dias de hoje. Utilizado de forma integrada com a tecnologia IR, estão presentes em dispositivos como TV, impressora, telefones celulares, PDAs.

Em um sistema de posicionamento baseado em IR, para obter uma estimativa absoluta de posicionamento, é necessário comunicação com linha de visada (linha de visão) entre transmissores e receptores. Assim, a faixa de cobertura alcançada por dispositivos nesta infra-estrutura é limitada dentro de uma sala. Em locais com muitos ambientes, praticamente

um sensor infravermelho deveria ser instalado para cada ambiente, elevando o custo de manutenção e instalação. Além disso, sinais infravermelhos sofrem atenuação quando expostos à luz do sol, prejudicando a captação pelos sensores (FONSECA, 2011).

Abordagens que se baseiam em IR geralmente usam a técnica de proximidade, veja sessão 2.2.3.

2.1.4 Baseadas sensores

É comum encontrar trabalhos onde seus autores falam sobre a abordagem baseados em sensores (ALVES, 2012), (GU, Y.; LO, A.; NIEMEGEERS, I. 2009), como acelerômetros, bússolas/magnetômetros e giroscópios, geralmente utilizados para detectar a ocorrência de passos e proporcionar um meio de determinar a distância e direção em que estes foram dados. Geralmente para uma boa precisão essa abordagem depende inicialmente de outros tipos de sistemas de localização como GPS (ALVES, 2012).

Um exemplo prático do uso desta abordagem seria um usuário dotado de um dispositivo móvel com sensores como acelerômetro, bússola e/ou giroscópio, capaz de determinar sua localização em um ambiente *indoor* a partir de uma localização inicial dada por um sistema auxiliar como GPS. Nesse momento, utilizando esses sensores e um mapa interno poderia ser obtido a localização do usuário baseando-se no seu comportamento, quantos passos deu e para que direção se locomoveu. Isso é possível pois acelerômetros são sensores que medem a taxa de variação da velocidade ao longo do tempo; a bússola é utilizada para determinar a direção relativa aos polos magnéticos terrestres; e os giroscópios eletrônicos determinam a orientação do objeto, em qualquer momento, tendo como base os princípios do momento angular (ALVES, 2012).

2.1.5 Análise de imagens

Sistemas de posicionamento que utilizam análise de imagem, usam câmeras para determinar a posição de um dispositivo móvel através do estudo visual do espaço à sua volta, utilizando como referência características naturais ou artificiais do ambiente que são conhecidas (ALVES, 2012).

Nesta abordagem pode-se utilizar câmeras fixas para analisar o ambiente ou ainda, pode-se utilizar uma câmera móvel como a de um dispositivo móvel. Existem dois métodos de se obter a localização através de imagens. O primeiro identifica características naturais da imagem para acompanhar o seu movimento e assim tirar conclusões sobre seu posicionamento. A segunda utiliza imagens inseridas intencionalmente no ambiente contendo informações relacionadas a si. Basicamente neste tipo de abordagens são utilizados *QR-codes*,

que são um tipo de código de barras 2D utilizados para codificar e decodificar dados a grande velocidade e foi concebido principalmente para ser um símbolo que é facilmente interpretado por câmeras.

A implementação desta abordagem utilizando QR-code é feita distribuindo essas imagens em pontos estratégicos pelo ambiente, onde cada QR-code contém informações a sua localização e informações do ambiente. Posteriormente, um usuário fará a leitura deste QR-code utilizando um dispositivo móvel e um software que identifique esta tecnologia.

2.1.6 Baseadas em WI-FI

É comum encontrar trabalhos na literatura onde seus autores dão ênfase a localização *indoor* baseadas em redes Wi-Fi, como em Paul, WAN (2009) e Fagundes (2007). Um método de localização baseado nas redes Wi-Fi citado em Teixeira (2010) utiliza como base o ponto de acesso que o usuário está conectado, também em Roberto (2006) é apresentado uma abordagem que se baseia em redes Wi-Fi IEEE 802.11 fundamentada na noção de agentes racionais e de redes neurais artificiais.

Nesta abordagem a localização pode ser obtida através da consulta dos diversos pontos de acesso (APs) existentes na infraestrutura de comunicação, pesquisando o AP que contém determinado endereço de hardware, ou a localização pode ser determinada no próprio equipamento, a partir da melhor potência de sinal recebida de diferentes APs (TEIXEIRA, 2010). Para a localização de dispositivos ou utilizadores numa rede Wi-Fi podem ainda ser utilizados métodos descritos na sessão 3.2, sabendo sempre da existência do multi-caminho ou multi-percurso que está associado à complexidade de propagação de ondas de rádio em um ambiente indoor, o multi-percurso é considerado um problema, pois o sinal RF é refletido em paredes ou outros objetos. “Além das diferentes atenuações que os diferentes materiais podem provocar no sinal original, o sinal recebido no receptor poderá ser originário de um sinal refletido o que poderá levar a uma interpretação errada na localização.” (BRÁS, 2009).

2.2 Técnicas de localização

2.2.1 Mapeamento de RSSI (*Fingerprinting*)

Esta metodologia pode ser usada em qualquer tecnologia que obtenha sinal RF, a sua implementação tem como base um Mapa de *Fingerprinting*.

“Apesar de se poder obter *Fingerprints* a partir de qualquer propriedade do sinal a medir, é mais comum usar o valor de RSSI, pois este é normalmente cedido pelo controlador

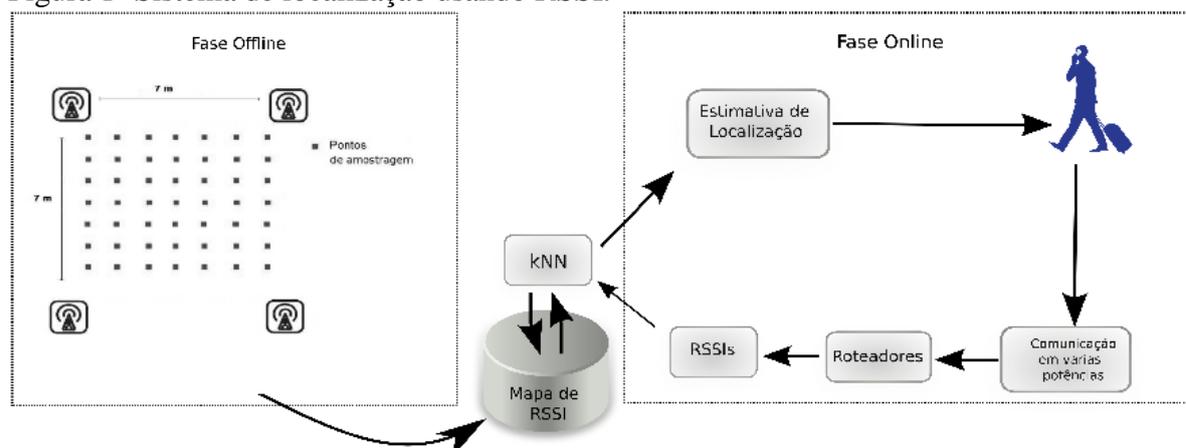
do dispositivo móvel e caracteriza mais uma determinada localização“ (FONSECA, 2011). Nesta técnica existem duas fases: off-line e online. Na off-line ou fase de calibração, sinais RSSI são previamente coletados em vários pontos de um ambiente e de diferentes APs e armazenados em um banco de dados. Cada sinal coletado é associado ao ponto de coleta, gerando assim um mapa RSSI do local. Na fase online, um dispositivo faz a leitura do sinal RSSI de um local e esse sinal é comparado com os sinais previamente coletados do banco de dados. O local associado ao RSSI encontrado pela busca é retornado. Essa busca faz uma comparação de todos os sinais RSSI do banco de dados com o sinal coletado em tempo real.

Para auxiliar na comparação existem alguns algoritmos classificadores. Fonseca (2011) apresenta uma definição desses algoritmos separando em dois grupos:

- Determinísticos - utilização das distâncias no domínio dos sinais para acharem o ponto que melhor é caracterizado pelo *Fingerprint* obtido na fase online. O processamento é feito, sobretudo nesta fase, e.g., *Nearest Neighbour* (KNN) e Redes neurais artificiais (RNA);
- Probabilísticos - consideram informações características do cenário, funções de probabilidade e teorema de Bayes. O processamento é feito, sobretudo na fase de calibração, e.g., Support Vector Machines (SVM) e métodos que usam o teorema de Bayes.

A figura a seguir mostra a arquitetura de um sistema para a localização usando a técnica *Fingerprint*.

Figura 1- Sistema de localização usando RSSI.



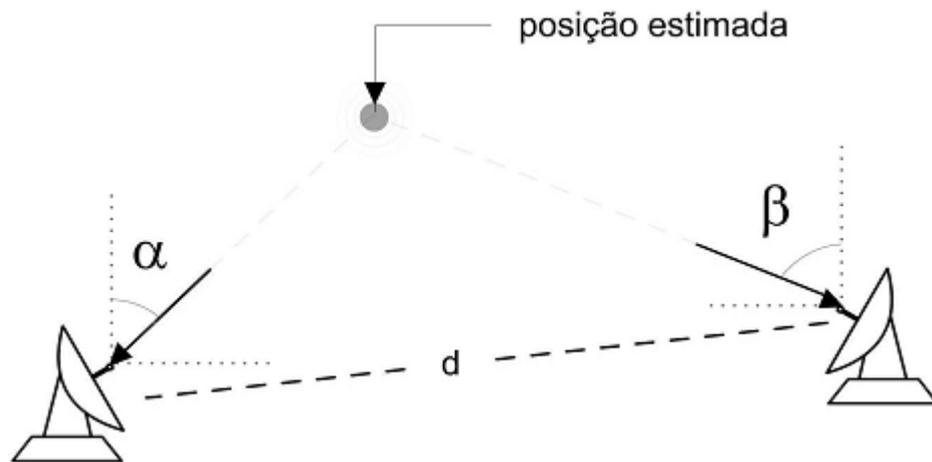
Fonte: Mourão e Oliveira (2013).

2.2.2 AoA (Angle of Arrival)

A AoA é utilizada em sistemas que utilizam triangulação com antenas direcionais. Para estimar a posição elas utilizam-se de três pontos de referência no raio de acesso ao

dispositivo, calculando o ângulo e o tamanho das arestas do triângulo formado. Essa técnica apresenta desempenho satisfatório quando usada em ambientes abertos, mas sofre de diversos problemas em ambientes fechados, como reflexão do sinal pelas paredes e andares dos prédios (MOURA, 2007). Ainda Segundo Moura (2007), sistemas que utilizam o AOA não servem para ambientes indoor devido ao multi-percurso. Além disso, a implementação de um sistema que utiliza AOA necessita de antenas direcionais nos receptores, o que não é viável para localização Wi-Fi.

Figura 2- Técnica de triangulação que utiliza a informação do ângulo do sinal.



Fonte: Moura (2007)

2.2.3 Proximidade

Nesta técnica a posição de um objeto é estimada através da sua proximidade com um dispositivo de referência, com isso apenas é identificado que o dispositivo é localizado próximo do dispositivo de referência, mas não é conhecida a distância exata entre os dispositivos.

Dispositivos de referências (nós), são usados para detectar um dispositivo que esteja próximo e então sua localização é considerada próxima desse nó. “Caso a detecção seja efetuada por mais de um nó de referência a posição é atribuída ao nó que detectar maior potência de sinal. Em particular, sistemas baseados em IR e RFID usam esses métodos” (BRÁS, 2009).

2.3 Dispositivos móveis

Dispositivos móveis como celulares, *Smartphones* e *Tablets* estão se tornando cada vez populares. Uma característica que os dispositivos móveis recentes apresentam é a

presença de sensores como acelerômetro, bússola e também GPS, dentre outros. O uso desses sensores permite a criação de novas aplicações, por exemplo, aplicações sensíveis ao contexto. No entanto, para acessar todos esses recursos, uma abordagem comum é desenvolver aplicações nativas. Em Androide, isso implica aprender detalhes da plataforma como, *activities*, *intents*, *manifests*, *layouts*, *threading* e *resources* (GOSSWEILER *et al.*, 2011).

Além de aplicações nativas, existem outras duas abordagens para o desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis, são elas, aplicações híbridas e aplicações web. Uma das vantagens das aplicações híbridas e web é que independe da plataforma utilizada, podendo a mesma aplicação ser compatível com plataformas como Androide, IOS e Windows Phone, mas por outro lado perdem o acesso total aos recursos nativos do aparelho. Mesmo as aplicações híbridas que contam com o auxílio de ferramentas como Argos e PhoneGap, só têm acesso a alguns tipos de sensores. A maioria dos sistemas de posicionamento para localização *indoor* baseados em sensores depende dos três sensores básicos, Acelerômetro, Bússola e Giroscópio, dificultando assim a criação de aplicações híbridas e Web.

Existem diversos trabalhos literários que abordam técnicas de localização *indoor* a partir de dispositivos móveis, como em Moura (2007), Fagundes (2008), Mourão e Oliveira (2013). Eles enfatizam técnicas que podem ser utilizadas com o auxílio de um dispositivo móvel, utilizando tecnologias citadas anteriormente, como GPS, Wi-Fi, Bluetooth, Infravermelho, Bússola e câmera.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, será realizada uma análise de algumas das principais técnicas para a localização *indoor* existentes e então será implementada uma dessas técnicas na UFC Campus de Quixadá.

Os passos para a execução desse trabalho envolvem o levantamento e análise das abordagens para a localização *indoor* existentes, identificação de uma abordagem que possa ser usada no Campus da UFC em Quixadá, implementação da abordagem escolhida e por fim, análise de desempenho da abordagem implementada. A seguir esses passos são detalhados.

3.1. Levantamento e análise das abordagens existentes

Nesta etapa foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de obter os pontos fortes e fracos das técnicas de localização *indoor* que estão sendo mais utilizadas.

Em seguida as técnicas pesquisadas foram comparadas. Também foram utilizados estudos comparativos já realizados como em Liu *et al* (2007) e Pedro e Brás (2009) em que autores falam como obtiveram esses dados e porque que uma técnica é melhor que a outra. A partir desta análise, o passo seguinte foi: a decisão de qual técnica usar para achar a localização dentro do campus da UFC em Quixadá.

3.2. Identificar uma abordagem que possa ser implementada e utilizada no campus da UFC em Quixadá

Para a escolha da técnica a ser implementada no campus da UFC em Quixadá foi levado em consideração qual das abordagens já analisadas nesse trabalho não iria precisar de uma infraestrutura adicional, se beneficiando da infraestrutura existente e de sensores embutidos em *smartphones* populares, diminuindo o custo de implementação.

3.3. Implementar abordagem escolhida

O processo de implementação trata-se da obtenção ou implantação das ferramentas e/ou dispositivos necessários tais como notebook, *smartphone*, dispositivos infravermelhos e Bluetooth, entre outros. Também faz-se necessário, em alguns casos, a coleta de dados com RSSI e um algoritmo classificador como KNN (k-vizinhos-próximos) comumente utilizados em abordagens baseadas em ambientes Wi-Fi. Para essa etapa, após a implementação da técnica escolhida, foi realizado uma análise de desempenho, com o objetivo de analisar a eficácia da abordagem escolhida.

3.4. Análise de desempenho da abordagem implementada

Para finalizar, após a implementação da abordagem escolhida, foi feita uma análise de desempenho para essa abordagem que se deu a partir de estudos feitos sobre os dados obtidos na utilização da técnica. Estes dados foram obtidos após a execução de alguns testes feitos para estimar a localização de um dispositivo móvel dentro do campus da UFC de Quixadá, com isso foi conhecido o potencial de erros e acertos desta abordagem e se seu desempenho é realmente satisfatório.

4 COMPARAÇÃO DAS ABORDAGENS EXISTENTES

São muitas as questões que surgem quando se pretende implementar um sistema de localização indoor (IPS), pois “cada abordagem ao processo de localização é diferente, sendo necessário avaliar qual o melhor método de localização a utilizar bem como as tecnologias

necessárias ao processo de localização” (TEIXEIRA, 2010). A seguir são mostrados alguns desses requisitos que podem auxiliar na escolha de uma abordagem e também uma breve descrição de cada um.

4.1 Requisitos para avaliação de um sistema de localização indoor

I. Custo

a. Custo de instalação

Para o custo de instalação (CI) serão considerados fatores como o tempo gasto na instalação de equipamentos necessários, montagem da infraestrutura, preço dos equipamentos e periféricos e também o espaço ocupado durante a implantação. Em alguns casos existe a chance do reaproveitamento de uma infraestrutura existente diminuindo no custo da instalação, mas existem outros casos em que os IPS incluem o uso de uma infraestrutura extra tal como, sistemas de posicionamento baseados em sensores que precisam às vezes de uma complexa instalação para fixar vários sensores em diferentes lugares de uma área *indoor* (GU, Y.; LO, A. ; NIEMEGEERS, I. 2009)

Alguns fatores que podem influenciar no CI são:

- **Alterações do espaço**

Uma abordagem que não requer a alteração do espaço terá CI reduzido, pois reaproveitará a infraestrutura existente.

- **Custo da tecnologia utilizada**

O valor da tecnologia pode afetar o CI, por exemplo, se um sistema utiliza RFID o custo financeiro para a implantação será incrementado de acordo com a quantidade de tag RFID ou leitores RFID implantados no local.

- **Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis**

A grande maioria dos dispositivos móveis atuais traz com si tecnologias que podem ser usadas em técnicas de localização indoor, por exemplo, Bluetooth, Infravermelho, Wi-Fi e sensores como bússola, giroscópio e acelerômetro.

- **Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware**

Essa parte é importante, pois quanto maior for a área de cobertura de uma tecnologia menos equipamentos serão necessários, por exemplo, o alcance do Bluetooth varia de 1 a 100 metros dependendo da sua classe, infravermelho o seu alcance já é menor e ainda existe a limitação de dentro de um espaço já que os raios infravermelhos não atravessam paredes.

b. Custo de manutenção

O custo de manutenção (CM) é todo o esforço gasto com a manutenção do sistema implantado, como o custo das peças e equipamentos que terão de ser trocadas em um futuro próximo, a frequência com que esses equipamentos terão de ser trocados e custo da mão de obra.

Em geral, esses quesitos são definidos de acordo com a tecnologia utilizada, por exemplo, o CM em um sistema que utilize RFID é relativamente maior do que um sistema que utilize QRcode, pois a manutenção em um sistema QRcode é apenas trocar os códigos que podem facilmente serem impressos em papel, também em um sistema que utilize Wi-Fi, o CM será de médio para alto, pois cada vez que os APs são trocados de lugar a precisão da localização pode ser afetada podendo até em alguns casos ser preciso ser reimplementada.

Alguns fatores que podem influenciar no CM são:

- **Custo da tecnologia utilizada**

Uma tecnologia de alto custo impactará no CM financeiramente, por exemplo, em uma abordagem que utilize análise de imagem com câmeras que analisam um local e identificam mudanças no padrão do ambiente, se uma dessas câmeras para de funcionar, terá de ser trocadas imediatamente ou comprometerá no bom funcionamento da técnica aplicada.

- **Tecnologia reutilizável**

Uma tecnologia que possa ser reutilizada diminui no CM, pois um sistema pode ser reimplementado ou mesmo mudado de local, sendo possível assim reaproveitar os equipamentos.

- **Vida útil.**

Um equipamento com vida útil alta pode evitar manutenções futuras.

c. Custo de tempo

Custo de tempo (CT) estar relacionado à instalação e manutenção do sistema (LIU *et al.*, 2007), incluindo fatores tais como o tempo levado para a implantação do sistema e também o tempo gasto para a manutenção e administração do sistema, por exemplo, em um sistema que se utilize das redes Wi-Fi se no ambiente existir redes suficientes para a implantação, o CT nesse quesito será reduzido pois ele estar se aproveitando de uma infraestrutura existente, por outro lado se ainda não existir uma rede Wi-Fi no ambiente o CT e custo financeiro aumentará significativamente.

O CT também será incrementado se existir uma grande complexidade na instalação ou se a abordagem escolhida necessita de uma fase de treinamento como a abordagem que utiliza a técnica de *fingerprint*.

Alguns fatores que podem influenciar no CT são:

- Algoritmos complexos

Para algumas abordagens terem uma alta precisão é preciso que se utilizem algoritmos para fazer algum tipo de processamento, no entanto, na maioria das vezes utilizar um desses algoritmos não se torna uma tarefa trivial, requer tempo de estudo para implementar e entender o seu funcionamento ou se aproveitar de um algoritmo já existente.

- Tamanho da área para implantar o sistema

Quanto maior for o ambiente em que o sistema será implementado maior será a quantidade de equipamentos e conseqüentemente o CT aumentará.

d. Custo de espaço

Custo de espaço inclui o espaço ocupado pelos equipamentos de hardwares, que são os componentes de infraestrutura instalados e dispositivos de usuários, pois em alguns casos

não é conveniente que o utilizador carregue os dispositivos no seu dia-a-dia, geralmente esses sistemas ocupam pouco espaço, pois se trata de dispositivos pequenos. Em outras palavras requisitos de CE são o tamanho e o lugar onde os componentes de infraestruturas são instalados e os dispositivos de usuários guardados (GU, Y.; LO, A. ; NIEMEGEERS, I. 2009).

Em geral o CE em todas as abordagens não é muito grande, já que os equipamentos de hoje em dia estão cada vez mais compactos, um exemplo de ocupação de espaço em um IPS poderia ser um armário que guarde roteadores, ambiente de um servidor de dados ou de aplicação, ambiente para guardar dispositivos entre outros itens necessários.

Alguns fatores que podem influenciar no CE são:

- Alcance da tecnologia escolhida

Uma tecnologia de baixo alcance obrigará o aumento do número de periféricos no ambiente ocupando assim uma área maior do local

- Tamanho dos periféricos

Quanto maior for o dispositivo ou equipamento maior será o espaço ocupado por ele

e. Custo Financeiro

O custo financeiro (CF) é o custo em dinheiro que será gasto durante a fase de implantação e manutenção, serão considerados fatores como a compra de um dispositivo móvel que terá que ter características como, poder de processamento e bateria de longa duração, pois algumas vezes esses dispositivos são usados para resolver algoritmos complexos em questão de segundos aumentando assim o custo do aparelho significativamente, outros custos são com contratação de funcionários, compra de equipamentos entre outras coisas previstas e não previstas dentro da implantação de um sistema (GU, Y.; LO, A.; NIEMEGEERS, I. 2009).

Alguns fatores que podem influenciar no CF são:

- Tecnologia utilizada.

Um fator que pode elevar o custo de um IPS é a escolha da tecnologia utilizada, por exemplo, o custo de um sistema que utilize *tags* RFID ativa é maior do que um sistema que utilize *tags* RFID passivas, pois as *tags* passivas são mais baratas.

- Alteração do ambiente

Uma forma de baratear a implantação de um sistema é usando uma tecnologia já existente no local, assim o custo maior seria com manutenção já que a infraestrutura já estaria montada.

II. Desempenho

Acurácia e precisão são dois dos principais parâmetros de avaliação de um IPS, onde a acurácia significa o percentual de erro de distância e a precisão é definida como a probabilidade de sucesso da posição estimada a respeito da acurácia predefinida (GU, Y.; LO, A.; NIEMEGERERS, I. 2009), que estão diretamente relacionadas com o tipo de aplicações e contexto em que serão utilizadas, bem como a qualidade e características do equipamento em uso.

Um IPS é considerado com alto desempenho quando o percentual de erro estiver dentro do esperado, ou seja, é um percentual de erro aceitável para a aplicação em questão. Esse quesito é um dos mais importantes, pois um sistema com baixo desempenho pode ser inútil em alguns casos específicos onde o usuário requer uma precisão alta de localização, por exemplo, se o usuário quer achar um item em um supermercado, um sistema que apenas indique o setor onde a mercadoria está, talvez não seja o suficiente.

Alguns fatores que podem influenciar no desempenho são:

- Algoritmos complexos

Algoritmos complexos podem ser mal compreendidos e assim conter erros na sua implementação e consequentemente afetar a precisão e acurácia da abordagem.

- Volatilidade quanto a interferências magnéticas

Abordagens que tem essas características tendem a diminuir muito o seu desempenho. Técnicas que dependem de uma bússola podem sofrer esse tipo de problema.

- Existência de erro acumulado

Essa característica torna uma abordagem com baixa precisão.

III. Escalabilidade

Um equipamento móvel pode ser localizado num qualquer ponto do planeta terra, numa área metropolitana, dentro de um Campus ou num edifício em particular. O número de equipamentos que pode ser localizado de acordo com uma determinada infraestrutura também pode variar. Por exemplo, um número ilimitado de terminais GPS pode localizar a sua posição em qualquer parte do globo, por outro lado, um leitor RFID apenas consegue ler, em geral, um marcador de cada vez ao seu alcance. Assim, a escala de um sistema está relacionada com a sua área de cobertura e com o número de equipamentos que suporta num determinado momento e contexto (BORRIELLO J. H., 2001).

Alguns fatores que podem influenciar na escalabilidade são:

- Alcance da tecnologia utilizada

A escalabilidade de um IPS é dada de acordo com a área de cobertura do sistema que em geral é a capacidade de alcance da tecnologia utilizada, por exemplo, um sistema que utilize Wi-Fi tem uma escalabilidade alta, já o sistema que utiliza Infravermelho tem uma escalabilidade baixa, em geral seu alcance é limitado dentro de uma sala.

- Leituras simultâneas

Em algumas tecnologias não é possível fazer leituras simultâneas, por exemplo, em uma abordagem que utilize QRCode, um dispositivo só poderá fazer a leitura de um QRCode de cada vez.

- Linha de visão

Algumas tecnologias dependem de uma linha de visão para funcionar como, por exemplo, o infravermelho.

IV. Complexidade

Complexidade em IPS pode ser atribuído ao hardware, software e fatores operacionais, por exemplo, a complexidade de software pode ser a complexidade de computação do algoritmo, se a computação do algoritmo requer muito processamento e esse processamento é feito em um servidor o posicionamento pode ser calculado rapidamente, por outro lado se esse processamento é feito direto em um dispositivo móvel por exemplo em um *smartphone*, o efeito da complexidade será evidente (LIU *et al.*, 2007). A maioria dos dispositivos móveis possuem um bom poder de processamento e uma bateria de longa duração, mas no caso em que o processamento do cálculo da localização dure muito, a utilização deste sistema pode ficar inviável em alguns casos, por exemplo, em casos em que o usuário esteja se movimentando rapidamente quando a posição estimada for passada para o usuário ele já não se encontrara no local, fazendo com que a precisão seja afetada.

Alguns fatores que podem influenciar na complexidade são:

- Algoritmos complexos.

Alguns fatores podem fazer com que a complexidade de um IPS aumente, por exemplo, ser necessário algoritmos complexos como algoritmos de análise de imagens e algoritmos classificadores, estudar e entender novas tecnologias ou tecnologias desconhecidas, equipamentos que não são comuns no dia-a-dia como sensores de movimento e leitores RFID.

4.2 Comparação

Na tabela 1 mostra uma breve comparação entre as abordagens citadas anteriormente nesse trabalho, a avaliação foi feita a partir da análise dos requisitos definidos anteriormente, sendo que cada um dos requisitos será avaliado com valores de alto (A), médio (M) e baixo (B) para cada abordagem.

Tabela 1 - Comparativo das abordagens apresentadas

Abordagens	CI	CM	CT	CE	CF	Desemp	Escal	Comp.
RFID	A	B	M	B	M	A	A	M
Sensores	A	B	A	B	A	M	B	M
WI-FI	B	M	M	B	M	M	A	M
Imagens/QR Code	M	M	M	M	M	M	B	M
Bluetooth	M	M	M	B	M	M	M	M
IR	M	M	M	B	M	M	B	B

O comparativo foi feito como mostra a seguir.

Baseadas em RFID - CI.

- Alteração do espaço

RFID é uma tecnologia que não é comumente encontrada em ambientes indoor, portanto na maioria das vezes, para implementar uma abordagem que utilize RFID é preciso implantar *tag* ou leitores de RFID.

- Custo da tecnologia utilizada

O custo de *tags* RFID ativa é mais elevado do que o custo das *tags* passivas mais mesmo assim o custo de uma *tag* RFID ativa é considerado relativamente baixo. O custo dos leitores RFID segundo Neiva (2012) varia de 80€ a 600€ dependendo do seu modelo.

- Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware

Tags passivas são mais baratas que *tag* ativas, mas em compensação *tags* passivas possuem um alcance bem menor do que as ativas, portanto mesmo no caso das *tags* ativas que possuem um alcance maior, para implementar um IPS em um ambiente grande é preciso de numerosas *tags* RFID espalhadas pelo local aumentando o custo da instalação.

- Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis

RFID não é uma tecnologia comum de se ver em dispositivos móveis, existem leitores feitos para ser implantados em celulares e mesmo alguns celulares que foram lançados de fábrica com essa tecnologia embutida, mais ainda são poucos no mercado.

Baseadas em RFID - CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em RFID foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Custo da tecnologia utilizada

Assim como no custo para instalação o custo da tecnologia também impactará no custo da instalação, pois se uma *tag* ou leitor de RFID ficar danificado será preciso trocá-lo imediatamente, pois isso pode afetar no desempenho do sistema.

- Tecnologia reutilizável

Tanto as *tags* passivas como as ativas são reutilizáveis, podendo assim ser movidas e reutilizadas de um ambiente para outro diminuindo o CM, pois se isso não fosse possível, ao mover ou reimplementar um sistema que utilize RFID, teria que comprar todos os equipamentos novamente (*tags* e leitores).

- Vida útil

A vida útil das *tags* RFID passivas e ativas é considerada alto diminuindo assim o CM dessa abordagem.

Baseadas em RFID - CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em RFID foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Um IPS que utilize RFID pode ser implementado usando a técnica de proximidade que não é preciso de um algoritmo muito complexo, por outro lado, em alguns trabalhos é utilizado RFID com técnica de *fingerprint* e assim pra o bom funcionamento é preciso que utilize algoritmos como KNN e redes neurais.

- Tamanho da área para implantar o sistema

Se a implantação do sistema que use RFID for em uma área grande, haverá um esforço maior pois *tags* RFID não possuem um alcance muito grande e para cobrir uma área grande terá que ser implantadas varias *tags* no ambiente, ah não ser que seja utilizada *tags* com um maior poder de alcance deixando assim o CF mais elevado.

Baseadas em RFID - CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em RFID foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida

O alcance para a maioria das *tags* RFID é considerado médio, portando para uma área grande é preciso que vários leitores RFID ou *tags* RFID sejam instalados.

- Tamanho dos periféricos

Existem *tags* e leitores RFID de todos os formatos e tamanho, mais em geral são todos muito pequenos e portáteis, ainda é possível utilizar essas *tags* em locais como roupa, animais, próteses dentárias entre outros locais.

Baseadas em RFID - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em RFID foi considerado médio pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada

Em geral as *tags* RFID não são tão caras, o custo só fica mais elevado, pois se optar pelo uso de *tags* de baixo custo consequentemente aumentará no numero de *tags* que terá de ser adquiridas, pois *tags* baratas possuem um baixo alcance.

- Alteração do ambiente

A alteração do ambiente para essa abordagem implica em adquirir *tags* e leitores de RFID, e como esse tipo de tecnologia não é muito comum em ambientes indoor então quase sempre isso ocorre aumentando o custo financeiro.

Baseadas em RFID - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em RFID foi considerado alto pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Como dito anteriormente, essa abordagem pode conter algoritmos complexos ou não dependendo da técnica a ser implementada.

- Volatilidade quanto a interferências magnéticas

Não possui.

- Existência de erro acumulado

Não possui.

Baseadas em RFID – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em RFID foi considerada alta pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada

O alcance das *tags* e leitores RFID em geral são de médio para baixo.

- Leituras simultâneas

Essa abordagem permite leituras simultâneas, uma única *tag* pode ser “vista” por vários leitores.

- Linha de visão

Nessa abordagem não é necessário que haja linha de visão, podendo o leitor estar em um ambiente e a *tag* em outro.

Baseadas em RFID – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em RFID foi considerada média pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

A complexidade dessa abordagem está na escolha do algoritmo para auxiliar na implantação, também pode-se implementar utilizando uma técnica de proximidade que tira a complexidade de se entender um e implementar um desses algoritmos.

Baseadas em sensores - CI.

O custo de implantação para abordagens baseadas em sensores foi considerado médio pela análise a seguir.

- Alteração do espaço

Sensores não é uma tecnologia comum em ambientes indoor, portanto na maioria das vezes, para implementar uma abordagem que utilize algum tipo de sensor é preciso implantar

sensores no local. Hoje em dia já existem diversos tipos de celulares que saem de fábrica com alguns sensores embutidos, permitindo que essa abordagem seja implementada sem a necessidade de adquirir outros tipos de sensores.

- **Custo da tecnologia utilizada**

Sensores podem ser encontrados com preços bem acessíveis assim como também podem ser encontrados em dispositivos moveis como celulares.

- **Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware**

Não apresenta, geralmente para implementar uma abordagem utilizando sensores se utiliza muitos sensores para poder abranger uma grande área, a não ser quando se utiliza técnicas que utilizam o sensor de magnetômetro para medir a foça do campo magnético que usará no mínimo um sensor por usuário.

- **Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis**

Sim, sensores são comumente encontrados em dispositivos moveis.

Baseadas em sensores - CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em sensores foi considerado baixo pela análise a seguir.

- **Custo da tecnologia utilizada**

Como foi falado anteriormente o custo de um sensor não é muito alto dependendo do tipo sensor e da quantidade utilizada.

- **Tecnologia reutilizável**

Sim, um sensor pode ser reutilizado em outro sistema a não ser que esses sensores sejam incorporados no ambiente, pois assim pode ser danificados ao tentar remover.

- **Vida útil**

A vida útil dos sensores normalmente é alta, a não ser as incorporadas em dispositivos que o seu tempo de vida vai depender da qualidade do aparelho

Baseadas em sensores - CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em sensores foi considerado alto pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Um IPS que utilize sensores é comumente utilizado uma técnica de proximidade que não precisa de um algoritmo muito complexo, assim a complexidade diminui.

- Tamanho da área para implantar o sistema

Se o sistema for implantado em uma área grande, nessa abordagem utilizando uma técnica de proximidade será preciso de muitos sensores, no mínimo um em cada sala.

Baseadas em sensores - CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em sensores foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida

O alcance é baixo, a maioria dos sensores requer a aproximação do dispositivo.

- Tamanho dos periféricos

Sensores são geralmente pequenos, não ocupando muito espaço.

Baseadas em sensores - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em sensores foi considerado alto pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada

Existem sensores de todos os tipos e marcas, mais em geral possuem um custo acessível, não muito alto.

- Alteração do ambiente

Existem algumas técnicas que se usadas obrigatoriamente terá a alteração do ambiente como a de proximidade, pois não é comum em ambientes indoor conter algum tipo de sensor e também essa técnica requer sensores em pontos específicos.

Baseadas em sensores - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em sensores foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Como dito anteriormente, se utilizado uma técnica como a de proximidade então a complexidade diminuirá.
- Volatilidade quanto a interferências magnéticas
Possui se for usado um sensor de magnetômetro.
- Existência de erro acumulado
Sim, quando usado técnicas que usem sensores como acelerômetro e magnetômetro.

Baseadas em sensores – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em sensores foi considerada baixa pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada
O alcance dos sensores é baixo, requer a aproximação do dispositivo.
- Leituras simultâneas
Não permite, um leitor identifica um objeto de cada vez.
- Linha de visão
Para alguns sensores é preciso que aja linha de visão.

Baseadas em sensores – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em sensores foi considerada média pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Pode ser implementada utilizando algoritmos complexos mais comumente são encontrados sistemas que utilizam técnicas de proximidade.

Baseadas em WI-FI - CI.

Imagens/QRCode

O custo de implantação para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alteração do espaço

Wi-Fi é uma tecnologia comumente encontrada em ambientes indoor e também outdoor, portanto não existe a necessidade da alteração do espaço, podendo utilizar a tecnologia existente.

- Custo da tecnologia utilizada

O custo para uma tecnologia dessas pode se tornar alto se for necessário adquiri-la, mais como geralmente esse tipo de tecnologia já se encontra no ambiente, o custo cai relativamente.

- Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware

Sim, dependendo do modelo do AP, ele pode ter uma cobertura grande.

- Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis

Sim, Wi-Fi é comumente encontrada em dispositivos moveis modernos e populares.

Baseadas em WI-FI - CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado alto pela análise a seguir.

- Custo da tecnologia utilizada

O custo da tecnologia pode ser considerado médio, pois é alto se for instalar todo equipamento mais geralmente isso não é preciso, pois na maioria das vezes esse tipo de infraestrutura já se encontra no ambiente de desenvolvimento.

- Tecnologia reutilizável

Sim, um sensor pode ser reutilizado em outros sistemas.

- Vida útil

Media, dependendo da qualidade dos equipamentos.

Baseadas em WI-FI - CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Um IPS que utilize Wi-Fi geralmente usa técnicas que necessitam de um algoritmo classificador, portanto a complexidade vai depender do algoritmo escolhido.

- Tamanho da área para implantar o sistema

Esse quesito não influencia muito, pois essa tecnologia tem um longo alcance.

Baseadas em WI-FI - CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida

O alcance é longo, podendo cobrir um ambiente inteiro.

- Tamanho dos periféricos

São geralmente médios ou pequenos.

Baseadas em WI-FI - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado médio pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada

O custo da tecnologia não é muito alto e ainda assim é possível que se use uma infraestrutura já existente.

- Alteração do ambiente

Não precisa, pois geralmente se usa o que já tem em um ambiente real.

Baseadas em WI-FI - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Depende da escolha do algoritmo.

- Volatilidade quanto a interferências magnéticas

Não possui.

- Existência de erro acumulado

Sim, dependendo da técnica utilizada.

Baseadas em WI-FI – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerada baixa pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada
Geralmente média ou alta.

- Leituras simultâneas

Sim permite, pois vários dispositivos podem estar conectados a um mesmo AP ao mesmo tempo.

- Linha de visão

Não precisa.

Baseadas em WI-FI – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Wi-Fi foi considerada média pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Geralmente sim, dependendo da escolha.

Imagens/QRCode - CI.

O custo de implantação para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado médio pela análise a seguir.

- Alteração do espaço

Geralmente sim, pois não é comumente encontrada em ambientes *indoor*.

- Custo da tecnologia utilizada

O custo em adquirir câmeras é alto mais pode ser barateado com o uso de câmeras dos dispositivos móveis,

- Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware
Não possuem, geralmente tem que se aproximar do alvo para obter um resultado.
- Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis
Sim, câmeras são geralmente encontradas em dispositivos moveis modernos e populares.

Imagens/QRCode- CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado alto pela análise a seguir.

- Custo da tecnologia utilizada
Alto, mais a tecnologia pode ser encontrada em dispositivos moveis de uso pessoal.
- Tecnologia reutilizável
Sim, uma câmera pode ser reutilizada em outros sistemas.
- Vida útil
Média, dependendo da qualidade dos equipamentos.

Imagens/QRCode- CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado médio pela analise a seguir.

- Algoritmos complexos
Sim, dependendo do algoritmo escolhido.
- Tamanho da área para implantar o sistema
Geralmente nessa técnica, precisa da aproximação com o dispositivo e imagem então uma área grande influencia no sistema.

Imagens/QRCode- CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado médio pela analise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida
O alcance não é longe, necessitando da aproximação com o dispositivo.

- Tamanho dos periféricos

São geralmente médios ou pequenos.

Imagens/QRCode - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado médio pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada

O custo da tecnologia não é alto mais é possível usar a tecnologia presente em um dispositivo móvel.

- Alteração do ambiente

Geralmente precisa.

Imagens/QRCode - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Depende da escolha do algoritmo.

- Volatilidade quanto a interferências magnéticas

Não possui.

- Existência de erro acumulado

Sim, dependendo da técnica ou algoritmo utilizado.

Imagens/QRCode – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerada baixa pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada

Baixa, tendo geralmente que se aproximar do dispositivo.

- Leituras simultâneas

Não permite, no caso do QRcode, o dispositivo só consegue ler um por vez.

- Linha de visão

Precisa, uma câmera não consegue ver através de objetos.

Imagens/QRCode – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Imagens/QRCode foi considerada média pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Geralmente sim, dependendo da escolha.

Bluetooth- CI.

O custo de implantação para abordagens baseadas Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Alteração do espaço

Geralmente sim, pois não é comumente encontrada em ambientes *indoor*.

- Custo da tecnologia utilizada

É geralmente baixo, dependendo da quantidade necessária.

- Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware

Existem varias classe de Bluetooth, podendo atingir até 100 metros mais quanto maior o alcance, maior o preço.

- Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis

Sim, é comumente encontrado.

Bluetooth - CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Custo da tecnologia utilizada

Médio, pois o custo é baixo mais geralmente é preciso vários Bluetooth para implementar um sistema.

- Tecnologia reutilizável

Sim.

- Vida útil
Média, dependendo da qualidade dos equipamentos.

Bluetooth - CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Não, geralmente se usa técnica de proximidade.
- Tamanho da área para implantar o sistema
Geralmente nessa técnica, precisa da aproximação com o dispositivo fazendo com que uma área grande influencie bastante.

Bluetooth - CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida
O alcance não é longe, necessitando da aproximação com o dispositivo.
- Tamanho dos periféricos
São geralmente pequenos.

Bluetooth - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada
O custo da tecnologia não é alto mais é possível que se precise de vários dispositivos para a implantação de um sistema.
- Alteração do ambiente
Geralmente precisa.

Bluetooth - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Geralmente não, mais é possível usar técnica de *fingerprint*, necessitando de um algoritmo.
- Volatilidade quanto a interferências magnéticas
Não possui.
- Existência de erro acumulado
Depende da abordagem.

Bluetooth – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerada média pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada
Geralmente baixa, tendo geralmente que se aproximar do dispositivo.
- Leituras simultâneas
Não permite, o dispositivo só consegue ler um por vez.
- Linha de visão
Não precisa.

Bluetooth – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerada média pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Geralmente não, pois geralmente usam-se técnicas de proximidade.

IR- CI.

O custo de implantação para abordagens baseadas IR foi considerado médio pela análise a seguir.

- Alteração do espaço
Geralmente sim, pois não é comumente encontrada em ambientes *indoor*.

- Custo da tecnologia utilizada
É geralmente baixo, dependendo da quantidade necessária.
- Apresentam uma área de cobertura maior e requerem de menos hardware
A cobertura de um dispositivo IR é baixa.
- Uso de tecnologias existentes atualmente nos dispositivos móveis
Hoje em dia não é mais comum, mais ainda existem.

IR - CM.

O custo de manutenção para abordagens baseadas em IR foi considerado médio pela análise a seguir.

- Custo da tecnologia utilizada
Médio, pois o custo é baixo mais geralmente é preciso vários IR para implementar um sistema.
- Tecnologia reutilizável
Sim.
- Vida útil
Média, dependendo da qualidade dos equipamentos.

IR - CT.

O custo de tempo para abordagens baseadas em IR foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos
Não, geralmente se usa técnica de proximidade.
- Tamanho da área para implantar o sistema
Geralmente nessa técnica, precisa da aproximação com o dispositivo.

IR - CE.

O custo de espaço para abordagens baseadas em IR foi considerado baixo pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia escolhida

O alcance é curto.

- Tamanho dos periféricos

São geralmente pequenos.

IR - CF.

O custo financeiro para abordagens baseadas em IR foi considerado médio pela análise a seguir.

- Tecnologia utilizada

O custo da tecnologia não é alto mais é possível que se precise de vários dispositivos para a implantação de um sistema.

- Alteração do ambiente

Geralmente precisa ser implantado IR no ambiente.

IR - desempenho.

O desempenho para abordagens baseadas em Bluetooth foi considerado médio pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Não, pois geralmente se usa técnica de proximidade.

- Volatilidade quanto a interferências magnéticas

Não possui.

- Existência de erro acumulado

Depende da abordagem.

IR – Escalabilidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em IR foi considerada baixa pela análise a seguir.

- Alcance da tecnologia utilizada

Geralmente baixa, tendo geralmente que se aproximar do dispositivo.

- Leituras simultâneas

Não permite, pois o dispositivo só consegue ler um por vez.

- Linha de visão
Sim, precisa.

IR – Complexidade.

A escalabilidade para abordagens baseadas em IR foi considerada baixa pela análise a seguir.

- Algoritmos complexos

Geralmente não, pois geralmente usam-se técnicas de proximidade.

4.3 A escolha da abordagem

A partir da comparação feita anteriormente foi escolhida para implementar no campus da UFC a abordagem baseada em Wi-Fi usando mapa de *fingerprint*, de acordo com a tabela 1 essa abordagem não é a que tem menor custo nem a que tem a melhor precisão, mas foi levado em consideração como principal requisito a escolha de uma abordagem que utilize uma tecnologia já existente no local. Esse requisito é um dos mais importantes, pois a partir dele mudanças significativas viram, por exemplo, o CI passará de M para B, o CT passará de A para B, o CF passará de M para B, a complexidade também diminuirá.

Ao escolher essa abordagem utilizando esse requisito, estará levando consigo algumas desvantagens como;

- Alto custo na manutenção; toda vez que APs são trocados de lugar uma nova calibragem deve ser feita, ou enfrentará uma grande probabilidade de perda de precisão no algoritmo de posicionamento.
- Problema do multi-caminhos; os sinais Wi-Fi viajam de forma inesperada em ambientes *indoor*, pois refletem em objetos e paredes causando uma imprevisibilidade na recepção do sinal.

5 DESCRIÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE DIVERSAS VARIAÇÕES DA ABORDAGEM ESCOLHIDA

Na fase inicial foi construído um aplicativo com o objetivo de fazer coletas das potências do sinal Wi-Fi (RSSI) de todos os APs encontrado no ambiente interno da UFC – Bloco 1 e também a potência do campo magnético referentes aos eixos x, y e z em relação ao dispositivo utilizado, esse aplicativo possibilitou gerar um arquivo de referência para ser usado na próxima fase da implementação. Esse arquivo foi montado da seguinte forma: para cada leitura feita com esse aplicativo, o mesmo adicionava uma linha no arquivo denominado listaDeMedidas.txt no padrão seguinte, Local | BSSID | RSSI | X | Y | Z, em que o local se refere ao nome do local onde a medida foi feita, BSSID é o endereço físico do roteador de onde foi emitido o sinal, RSSI é a intensidade do sinal recebido e X, Y e Z são as medidas referentes ao campo magnético.

5.1.1 Aplicação desenvolvida para coleta

Esse aplicativo foi desenvolvido para a plataforma android e como dito anteriormente, teve como objetivo auxiliar na coleta de dados, possibilitando assim o desenvolvimento da abordagem escolhida.

Na tela do aplicativo, foi adicionado um campo de texto que servia para que ao entrar em um ambiente o usuário informasse o ambiente onde estava. Também foi adicionado um botão que ao ser acionado coletava os RSSIs da rede Wi-Fi e as potências do campo magnético e salvava em um arquivo de texto como mostra os passos a seguir.

- **Coletar os dados do campo magnético**

Para essa coleta o android disponibiliza uma Interface que permite o uso do sensor de campo magnético do dispositivo, então os valores x, y e z do campo magnético são facilmente coletado ao implementar o método `onSensorChange()` dessa Interface.

- **Coletar os dados da rede WI-FI**

O android também disponibiliza classes para auxiliar no uso do Wi-Fi do dispositivo, neste caso foi usado um método que permite fazer a busca por redes Wi-Fi assim também como coletar seus dados como, RSSI e BSSID entre outros valores.

5.2 Fase off-line (coleta)

Após a aplicação concluída foi feita várias medidas no ambiente utilizando o aplicativo instalado em um *smartphone* androide com Wi-Fi e sensor de campo magnético integrado, para cada local foram feitas 60 medidas sendo 10 em cada canto, 10 no centro e mais 10 medidas aleatórias no local, montando assim um mapa de medidas do ambiente que é composto por quatro salas de aulas, quatro laboratórios, dois banheiros masculinos e dois banheiros femininos, corredores, escada, salas dos professores, sala de reunião, secretaria, sala das coordenações e copa. Para esse experimento foi feito medidas apenas em alguns ambientes, como; corredores, todas as salas de aulas, banheiros masculinos, todos os laboratórios e escada, pois eram os locais de mais fácil acesso.

5.3 Descrição dos algoritmos utilizados

Para esse experimento, escolhemos o KNN por ser um algoritmo de fácil compreensão e ter obtido bons resultados em outros trabalhos como em (Mourão e Oliveira, 2013) e (Ni et al. 2004), também será utilizado o K-Means para uma possível comparação de desempenho.

- KNN

Nesse método é preciso de um conjunto de pontos previamente coletados e rotulados com um local, que podem ter sido armazenados em um banco de dados ou em um arquivo, e também de um ponto atual. Para cada ponto pré-coletado é calculado a distância euclidiana desse ponto para o ponto atual e então ela será adicionada a um vetor de distâncias, após terminar de calculá-las, será feita uma busca nesse vetor a fim de encontrar a menor distância entre elas, assim no final da execução do algoritmo, será retornado o rótulo do ponto mais próximo do ponto atual.

- K-Means

O K-Means também conhecido como K-médias é considerado um algoritmo de mineração de dados não supervisionado, pois ele fornece uma classificação automática sem nenhuma pré-classificação existente.

A ideia geral desse algoritmo é basicamente separar um conjunto de pontos de acordo com um numero de classes pré-estabelecido seguindo os passos a seguir.

- Inicialmente terá que ser definido o número k de classes, e cada classe terá um conjunto de pontos, também para cada k centroides e dado um valor inicial que pode ser aleatório e é importante associar inicialmente pontos a esses centroides.
- Neste passo calcula-se a distancia de cada ponto e os centroides sendo a parte mais pesada do algoritmo, geralmente é usada a distância euclidiana para o cálculo dessa distância mais pode ser usado qualquer outro tipo de cálculo.
- Os pontos são associados a um centroide que tiver a menor distancia para eles e após isso um novo valor para esse centroide que recebeu um novo ponto é gerado de acordo com a média da distância de todos os pontos que lhe pertencem.

O algoritmo para quando nenhum ponto mudar, ou seja, sair de uma classe para outra.

5.4 WEKA

O *Waikato Environment for Knowledge Analysis* (WEKA) é um software gratuito e de código aberto que pode ser usado para mineração de dados.

O WEKA aceita vários tipos de arquivo, mais para esse trabalho foi usado um arquivo nos formatos CSV, para isso o arquivo de referência foi modificado para ficar nos padrões de um arquivo CSV, com tudo, foi preciso criar um cabeçalho com os rótulos, por exemplo, local,bssid,rss,CMX,CMY,CMZ e logo após os dados permaneceram como estavam apenas com uma pequena diferença, pois no arquivo de referência cada dado era separado por barra e no arquivo CSV tinha que ser separados por virgula, então onde tinha barra foi trocado por virgula.

O WEKA foi usado para gerar os centroides de cada local, para isso foi usado um dos vários algoritmos que tem implementado no WEKA, o SimpleKMeans, o seguir segue os passos para usar o K-Means no WEKA.

- Abrir o WEKA e clicar em Explorer
- Clica na aba Preprocess.

- Clica no botão Open File e escolhe o arquivo CSV desejado com as entradas.
- Clica na guia Cluster e no botão Choose, escolha SimpleKMeans.
- Clica no campo de texto a direita do botão Choose e preenche o campo numCluster. (neste trabalho esse campo foi preenchido com a quantidade mínima de ambientes onde foi feito os testes).
- Marcar o campo Use training set.
- Clica em Start.

No fim, ao terminar a execução ele mostra na janela do lado direito um arquivo com os Cluster Centroids, que tem o valor do centro para cada medida.

5.5 Métodos utilizando campo magnético

Para cada checagem no sinal do campo magnético feito na fase off-line foram gravados no arquivo de referência os eixos x, y e z em relação ao campo magnético captado e um rótulo, nome dado ao local onde esse ponto foi coletado, ficando uma associação de ponto e rótulo, formando assim, um mapa de pontos do local. Esses pontos servirão como base para que o KNN possa usar e comparar com o ponto atual.

Para isso, foi construído um aplicativo em androide usando como base de dados o arquivo de referência obtido na fase de coleta, mas foram levadas em consideração apenas as propriedades relativas ao campo magnético que são os valores x, y e z e a suas descrições são feitas a seguir.

5.5.1 Campo magnético com KNN

Nessa abordagem foi criada uma classe Local e uma lista de locais. Para cada linha do arquivo os valores x, y, z e o rótulo correspondente, foram atribuídos a um local. Logo após, cada um foi atribuído à lista de locais tendo no final uma lista contendo todos os pontos pré-coletados e seus respectivos rótulos.

Após, ao clicar no botão “onde estou?”, uma nova medida do campo magnético será feita e seus valores x, y e z salvos em variáveis temporárias, com isso podemos aplicar a distância euclidiana em todos os locais da lista de locais em relação ao ponto atual e cada

distância é salva em uma lista de distâncias que por sua vez terá o mesmo tamanho da lista de locais.

Para finalizar é percorrida essa lista de distância a fim de encontrar a menor distância entre elas e então salvar o índice da mesma, logo após será retornado o local que tiver esse índice, já que o tamanho de ambas é igual. O índice do local e o índice da distância desse local para o ponto atual irão coincidir, e então o nome do rótulo gravado nesse local é mostrado na tela.

5.5.2 Campo magnético com média

Essa abordagem seguiu a mesma lógica da abordagem anterior com algumas pequenas mudanças no algoritmo, pois em vez de procurar qual a menor distância entre dois pontos foi usada a média das distâncias.

Ao clicar no botão “onde estou?” é coletada a potência do campo magnético que será o ponto atual e após será calculada a distância euclidiana entre esse meu ponto atual e um ponto por vez do meu arquivo de referência, a maior diferença entre esse método e o anterior é que as distâncias serão separadas por ambientes como mostra a descrição a seguir.

Foi calculada a distância euclidiana do ponto atual com cada ponto referente a um ambiente específico e feito o somatório de todas essas distâncias para depois ser calculada a média entre essas distâncias, por exemplo, foi calculado a distância entre o ponto atual e cada ponto da sala 1 (um) e depois guardado a média das distâncias dessa sala, esse processo foi repetido para todos os outros ambientes e depois foi feita uma busca para encontrar a menor média dessas distâncias e então na tela do aplicativo seria mostrado o nome do local de onde essa média pertencia, sabendo assim a sua localização.



Figura 3 - Resultado da abordagem Média com campo magnético

A figura 3 mostra o resultado dos testes feitos utilizando a abordagem com campo magnético com médias das distâncias. Nessa abordagem tivemos apenas 10% de acertos, ficando longe do percentual esperado, com isso não foi provador que essa técnica funciona, pois 10% não é um percentual relevante, mas sabe-se que esse índice de certos podem ser melhorados, por exemplo, revisando a implementação do algoritmo.

5.5.3 Campo magnético com K-Means

Nessa abordagem um novo arquivo de referência foi gerado usando os centroides de cada eixo do campo magnético gerados pelo K-Means no WEKA. Cada linha desse arquivo é formada por um rótulo, centroide X, centroide Y e centroide Z.

Foi criado um aplicativo em android para a implementação dessa abordagem e os passos para a sua execução é descrita a seguir.

Os valores dos eixos X, Y e Z são atualizados sempre em questão de segundos através do método *onSensorChange* fornecido pela Interface *SensorEventListener* que é padrão do android, a cada mudança esses valores são gravados em variáveis para que pudessem ser usadas como um ponto atual.

Ao iniciar, a aplicação carrega esse arquivo que se localiza na pasta asset do projeto android e para cada linha do arquivo salva esses dados em uma variável chamada de Local e após adicionada a uma lista de locais.

Ao clicar no botão “checar”, é calculada a distancia entre o ponto atual e cada ponto formado pelos centroides X, Y e Z salvos na lista de locais, essa distancia foi calculada usando a fórmula da distância euclidiana.

Depois, o local estimado será o rótulo do ponto que tiver a menor distância e esse rótulo é mostrado na tela.

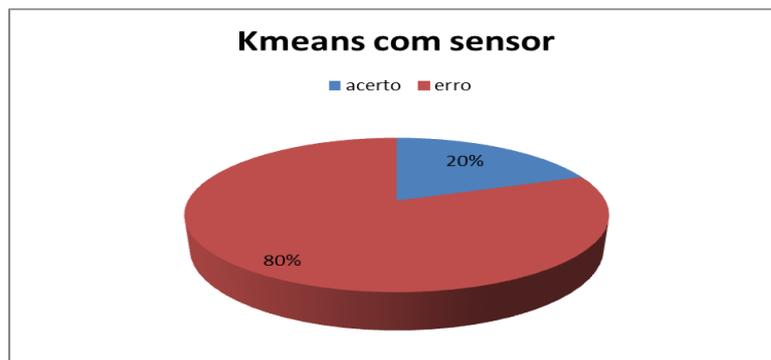


Figura 4 – Resultados K-Means com campo magnético

A figura 4 mostra o resultado dos testes feitos utilizando a abordagem com campo magnético e o algoritmo K-Means. Nessa abordagem tivemos apenas 20% de acertos, ficando longe do percentual esperado, pois para uma aplicação de localização esse percentual de erros não é aceitável, isso provou que temos muito o que melhorar nessa técnica, pois uma possível causa dessa técnica não ter dado certo pode ter sido erro na implementação.

5.6 Métodos utilizando WI-FI

Em cada checagem feita na fase off-line, foram gravados no arquivo de referência o RSSI, o endereço físico do roteador (BSSI) e um rótulo que é o nome do local onde esse ponto foi coletado de cada um dos roteadores encontrados no local usando a rede Wi-Fi.

Para isso, também foi construído um aplicativo em android usando como base de dados o arquivo de referência obtido na fase de coletas, aqui foram levadas em consideração apenas as propriedades relativas à rede Wi-Fi.

5.6.1 WI-FI com KNN

Essa abordagem seguiu a mesma lógica da abordagem anterior assim como todas as outras que serão descritas a seguir, pois todas foram baseadas na técnica explicada na seção 2.2.1.

Assim como na abordagem com campo magnético, nesse método foi calculada a distância euclidiana entre um ponto atual e todos os outros pontos salvo no instante de coleta no arquivo de referência, com tudo, os pontos aqui não são coordenadas x, y e z como em campo magnéticos e sim em vez disso é usado como ponto o RSSI de cada roteador

encontrado no local, para isso o arquivo de referência foi modificado para melhor se adaptar a esse método, pois agora mais coisas foram levadas em consideração, um RSSI coletado não podia ser comparado com qualquer um RSSI do arquivo de referência, mas com apenas com os RSSI dos mesmos roteadores, isso podia ser feito, pois cada roteador possui um BSSID diferente. Então foi construído primeiramente um algoritmo que percorreu o arquivo e encontrava todas as redes Wi-Fi disponíveis no local, após isso se notou que em todo o ambiente de teste encontravam-se vinte e cinco redes diferentes, então um novo arquivo de referência foi montado seguindo o padrão seguinte; Local | BSSI1 | RSSI1 | BSSI2 | RSSI2 | BSSI3 | RSSI3 | BSSI4 | RSSI4 | BSSI5 | RSSI5| BSSI6 | RSSI6| BSSI7 | RSSI7| BSSI8 | RSSI8| BSSI9 | RSSI9| BSSI10 | RSSI10| BSSI11 | RSSI11| BSSI12 | RSSI12| BSSI13 | RSSI13| BSSI14 | RSSI14| BSSI15 | RSSI15| BSSI16 | RSSI16| BSSI17 | RSSI17| BSSI18 | RSSI18| BSSI19 | RSSI19| BSSI20 | RSSI20| BSSI21 | RSSI21| BSSI22 | RSSI22| BSSI23 | RSSI23| BSSI24 | RSSI24| BSSI25 | RSSI25 | X | Y | Z, onde o local era o nome do ambiente atual, os BSSID eram os endereços físicos de todos os roteadores encontrados e os RSSI eram todas as potências de sinais de cada roteador encontrado, os valores x, y e z permanecem, pois esse mesmo arquivo pode ser usado na abordagem de campo magnético.

O aplicativo de teste foi desenvolvido seguindo o seguinte raciocínio, inicialmente foi adicionado um mapa de chave e valor que tinham como chaves os 25 BSSID já conhecidos e seus valores eram os seus respectivos RSSI que inicialmente foram iniciados com zero.

Quando o botão “onde estou?” é acionado, é feito uma busca a fim de encontrar todas as redes Wi-Fi em alcance usando o mesmo método da fase de coletas e então os RSSI de cada rede encontrada era adicionado ao mapa em seus respectivos BSSID tendo no final um mapa preenchido com as potencias de todas as redes em alcance e as demais fora do alcance no local de checagem permaneciam com potencia zero.

Após, já tendo o arquivo de referencia com todas as potencias de todas as redes Wi-Fi descobertas no local e os RSSI atual coletado no instante de uso, foi calculado a distância euclidiana de cada RSSI atual com seu respectivo RSSI no arquivo de referencia e então a localização atual seria o local onde o RSSI tivesse a menor distancia euclidiana em relação ao RSSI atual.

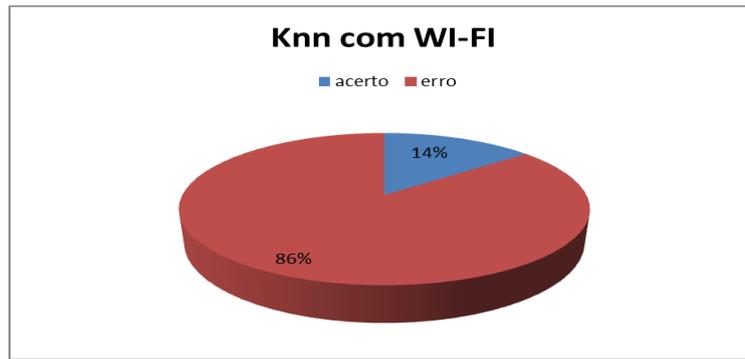


Figura 5 - Resultado KNN com WI-FI

A figura 5 mostra o resultado dos testes feitos utilizando essa abordagem. Aqui tivemos 14% de acertos, essa abordagem com certeza tem muito que melhorar, pois essa porcentagem ficou muito abaixo do esperado, mesmo com problemas como o multi-caminho essa abordagem mostrou-se funcionar bem em outros trabalhos.

5.6.2 WI-FI com média das distâncias

Nesse método se seguiu basicamente a mesma técnica anterior, a grande diferença é que foi feita a distancia euclidiana de todos os RSSI de um local e em seguida armazenada a media de todas essas potencias assim como na abordagem usando campo magnético, fazendo isso para todos os locais. Após, foi encontrado a menor média entre elas e a localização seria o rotulo associado a essa média.

5.6.3 WI-FI com K-Means

Nessa abordagem também foi criado um novo arquivo de referência, dessa vez foram usados os centroides de cada classe que foram gerados pelo K-Means no WEKA usando como dados de entrada os RSSI de cada local. Cada linha desse arquivo é formada por um rótulo, seguido pelos centroides dos 25 APs encontrados.

Também foi criado um aplicativo em androide para a implementação dessa abordagem e os passos para a sua execução é descrita a seguir.

Foi criado um método chamado `medirWifi` que tinha a função de fazer a procura de todos os APs ao alcance e coletar os RSSIs desses APs e em seguida salvar em variáveis para que pudesse ser usadas como um ponto atual.

Ao iniciar, a aplicação carrega o arquivo de referência que se localiza na pasta `asset` do projeto `android` e para cada linha do arquivo salva esses dados em uma variável chamada de `Local` e depois adicionados a uma lista de locais.

Ao clicar no botão “`checar`”, é acionado o método `medirWifi` para atualizar as variáveis temporárias e depois calculada a distância entre os RSSIs atuais e cada centroide salvo na lista de locais, essa distância foi calculada usando a fórmula da distância euclidiana.

No fim, o local estimado será o rótulo do “`Local`” que tiver a menor distância e esse rótulo é mostrado na tela.

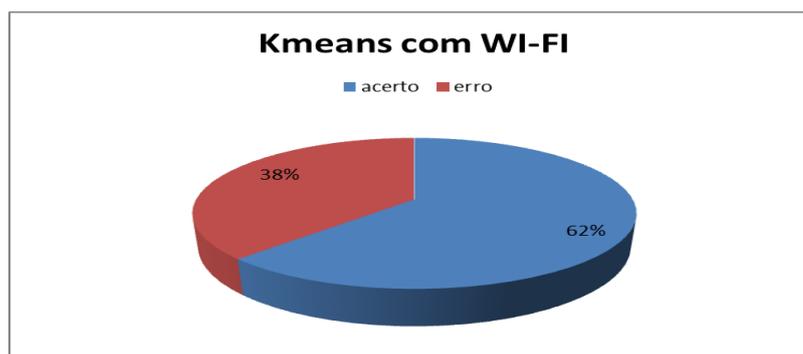


Figura 6 - K-Means com WI-FI

A figura 6 mostra o resultado dos testes feitos utilizando essa abordagem. Aqui tivemos 62% de acertos, essa abordagem foi a que obteve melhores resultados, esse ainda não foi um resultado perfeito mais já teve resultados significativos, com poucos ajustes no algoritmo ou na coleta de dados (RSSIs) talvez possa chegar em um resultado bom, por exemplo, 90% de acerto.

5.7 Métodos utilizando WI-FI e sensor

A fim de se obter melhores resultados foi desenvolvido um aplicativo mixando as abordagens de Wi-Fi e campo magnético, pois com isso teríamos mais características para o KNN e o K-Means analisar.

5.7.1 WI-FI e campo magnético usando KNN

Para esse experimento basicamente foi mesclado as abordagens de Wi-Fi e sensor usando apenas a distancia euclidiana, o cálculo desta distância foi feito usando os vinte e cinco RSSI e mais os eixos x, y e z do campo magnético, o resto do algoritmo segue-se igual.

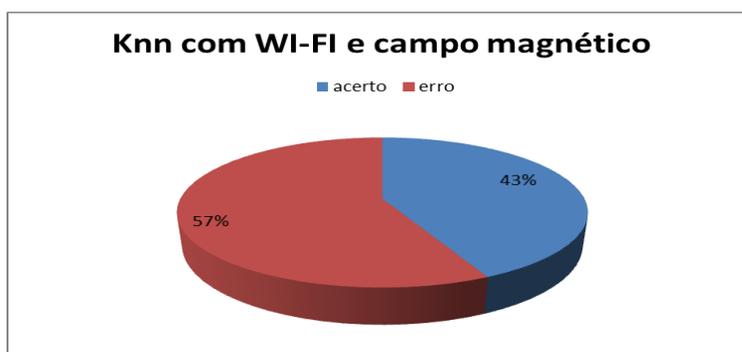


Figura 7 - Resultado WI-FI e campo magnético usando KNN

A figura 7 mostra o resultado dos testes feitos utilizando a abordagem com Wi-Fi e campo magnético com o algoritmo KNN. Nessa abordagem tivemos apenas 43% de acertos, ficando longe do percentual esperado, mas das abordagens com KNN essa foi a que se saiu melhor.

5.7.2 WI-FI e sensor usando média das distâncias

Assim como na abordagem anterior, esse método foi desenvolvido usando uma mistura das técnicas de Wi-Fi e sensores que usavam a média das distâncias, da mesma forma o cálculo da distância foi feito usando RSSI e sensores, mas dessa vez foi feita a média das distâncias de cada um dos locais mapeados como narrado nas técnicas que usam média das distancia descritas anteriormente.

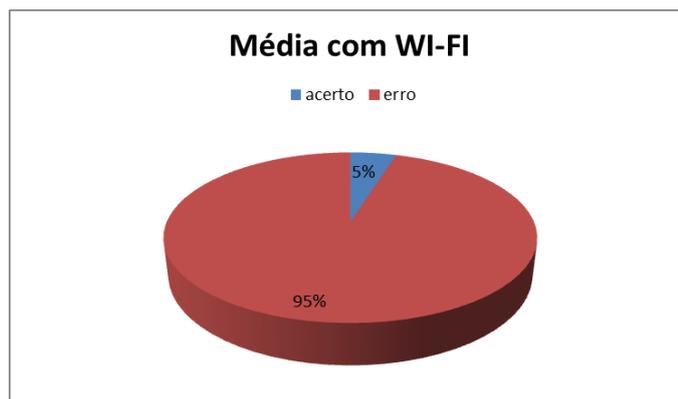


Figura 8 - Resultado da abordagem usando Média das potências da rede WI-Fi

A figura 8 mostra o resultado dos testes feitos utilizando a abordagem com média das distâncias das potências Wi-Fi. Nessa abordagem tivemos apenas 5% de acertos, ficando com o pior índice de acerto entre todas as outras abordagens, percebeu-se que esse algoritmo não obteve um resultado satisfatório nem com Wi-Fi nem com campo magnético, mostrando que possivelmente tenha erro de implementação.

5.7.3 WI-Fi e campo magnético usando K-Means

Nessa abordagem foi feito uma combinação do arquivo usado como base para a abordagem Wi-Fi com K-means e campo magnético com K-means gerando assim um novo arquivo de referência.

Também foi criado um aplicativo em android para a implementação dessa abordagem e os passos para a sua execução é descrita a seguir.

Nesse método basicamente foram usadas as técnicas das duas abordagens, Wi-Fi com K-means e campo magnético com K-means juntas.

Ao clicar no botão “checar”, é acionado o método *medirWifi* e também atualizados as variáveis X, Y e Z através do método *onSensorChance*, depois calculada a distância entre os RSSIs atuais e cada centroide salvo na lista de locais, assim também como a distancia entre os eixos X, Y e Z atuais do campo magnético e os centroides X, Y e Z contidos na variável “Local”. Essa distância também foi calculada usando a fórmula da distância euclidiana.

No fim, o local estimado será o rótulo do “Local” que tiver a menor distância e esse rótulo é mostrado na tela.

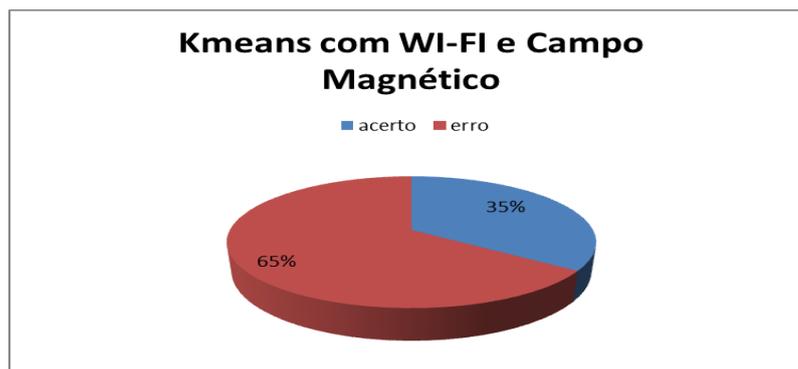


Figura 9 - Resultado K-Means com WI-FI e Campo Magnético

A figura 9 mostra o resultado dos testes feitos utilizando a abordagem com campo magnético e Wi-Fi com o algoritmo K-Means. Nessa abordagem tivemos apenas 35% de acertos, sendo um pouco melhor de que a K-means com campo magnético e tendo praticamente o dobro de erros da abordagem apenas com Wi-Fi e isso mostrou que essa abordagem foi implementada com algum erro, pois aqui mais dados foram passado como parâmetro para que o K-Means fizesse uma classificação e o natural seria que esse abordagem tivesse um percentual melhor do que a que utiliza apenas Wi-Fi, por tanto essa abordagem também pode ser melhorada.

6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O teste das abordagens foi realizado desta forma, ao entrar em um ambiente foi informado para a aplicação o local atual, depois ao clicar no botão na tela da aplicação esse local indicado inicialmente era comparado com o local estimado pelo algoritmo, se esses locais coincidisse, então era adicionado em um arquivo a palavra “certo” e caso contrário a palavra “errou”.

Para isso foram adicionadas para cada aplicativo algumas funções para facilitar na comparação, por exemplo, foi adicionado na aplicação um Spinner que continha todos os locais onde foram feito os testes, assim ao entrar em um local bastaria selecionar o local na lista do Spinner, também foi adicionado um método em todas as aplicações que comparava o local selecionado do Spinner com o local estimado do algoritmo e salvava o resultado em um arquivo.

Esse procedimento foi repetido 30 vezes em cada local para cada abordagem e o resultado da análise dos documentos gerados por cada aplicação são mostrados a seguir.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado um estudo bibliográfico a fim de apontar quais as principais técnicas de localização indoor existentes, identificando requisitos que pudessem ser utilizados como critério em uma possível escolha para a implementação no campus de Quixadá, com isso alguns critérios de avaliação foram definidos como, custo, complexidade, desempenho e escalabilidade. Esse critérios foram precisos para que pudéssemos decidir qual abordagem implementar, pois não queríamos implementar uma abordagem que tivesse por exemplo, um custo financeiro alto, assim optamos por usar uma abordagem que não utilizada nenhuma infraestrutura extra.

Assim, foi decidido usar a abordagem que utiliza mapa de *fingerpinte* tendo como base os dados da potência da rede Wi-Fi e os eixos X, Y e Z do campo magnético e com isso desenvolvido aplicativos para testes em androide utilizando algumas variações dessa abordagem e com isso cumprido o objetivo principal desse trabalho. Com tudo, os resultados da análise realizada não saiu como o esperado, pois a abordagem que se saiu melhor atingiu 60% de acertos e outras com 5%, 10% de acertos.

Com base nesses resultados, levantou-se varias possibilidade de por que essa abordagem não de certo, para as baseadas em Wi-Fi, primeiramente uma das causa de erro pode ter sido na falha da implementação do algoritmo e outra possibilidade pode ter sido na forma como foram coletadas as potências da rede Wi-Fi, pois diferentemente de outros trabalhos estudados, neste trabalho eram coletadas as potências de sinal de todos os APs

encontrados, inclusive APs que não pertenciam a UFC, foram encontrados em todas as medidas 25 APs e no local onde não fosse possível “visualizar” todos esses APs, esses eram tachados com potência zero. Em outros trabalhos similares estudados esses APs eram fixos, então todas as checagens encontravam os mesmo APs, assim a estimativa seria mais precisa.

Algumas coisas ainda podem ser feitas para melhorar essa técnica como buscar na literatura trabalhos que trataram erros desse tipo para tentar corrigi-los, como por exemplo, em (MOURA, 2007) que descarta os APs que tem queda de sinal deixando apenas os APs mais estável. Já para as abordagens que usaram os eixos do campo magnético uma possível solução para aperfeiçoar esse desempenho seria, buscar novas formas de coletar os eixos X, Y e Z já que notou-se durante a implementação a constante variação dessas medidas e também outra solução seria reavaliar o algoritmo implementado.

7.1 Trabalhos futuros

Durante a execução do trabalho proposto foram identificadas algumas possibilidades de trabalhos futuros, são eles:

- Aperfeiçoar o processo de coleta de dados em termo de tempo ou qualidade dos dados observados para gerar o arquivo de referência
- Criar um Web Service para o processamento de dados, tirando assim o peso da execução dos algoritmos do dispositivo móvel.
- Aperfeiçoar os algoritmos de forma a se obter pelo menos 90% de acertos.
- Desenvolver uma aplicação para uso dos alunos e discentes no campus da UFC que utilize uma das abordagens aqui executadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. I. B.S. **Uma Solução para Navegação Indoor**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Minho, 2012.

BRÁS, L. P. M. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo.** Dissertação (Mestrado), Universidade de Aveiro, 2009.

BORRIELLO, C; HIGHTOWER, J. A **survey and taxonomy of location systems for Ubiquitous Computing.** 2001

BEKKELIEN, A. **Bluetooth Indoor Positioning.** Tese (Mestrado), University of Geneva. 2012

FONSECA, H. C. **Avaliação do Uso de Diferentes Protocolos para Localização com Abordagem de Sistema Multiagente e Rede Neural.** Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FAGUNDES, L. P. **Técnicas de Localização de Dispositivos Móveis em Redes WIFI – TDOA.** Trabalho de conclusão de curso. Especialização em Tecnologias, Gerência e Segurança de Redes de Computadores, UFRGS, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/15975>> Acesso em: 2013

GOSSWEILER, R. ; MCDONOUGH, C. ; LIN, J. ; WANT, R. **Argos: Building a Web-Centric Application Platform on Top of Android.** In: Pervasive Computing, IEEE, 2011

GU, Y.; LO, A. ; NIEMEGEREERS, I. **A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks.** In: Communications Surveys & Tutorials, IEEE (Volume:11 , Issue: 1), 2009.

HARDER, A.; SONG, L.; WANG, Y. **Towards an Indoor Location System Using RF Signal Strength in IEEE 802.11 Networks.** In: Information Technology: Coding and Computing, 2005. ITCC 2005. International Conference

KRUMM, J., WANT, R., BARDRAM, J., FRIDAY, A., LANGHEINRICH, M., BRUSH, A. J. B., TAYLOR, A. S., QUIGLEY, A., VARSHAVSKY, A., PATEL, S., DEY, A. K.. **Ubiquitous Computing Fundamentals.** Chapman & Hall/CRC, 2010. 410p.

LIU, H.; DARABI, H.; BARNERGEER, P.; LIU, J. **Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems** in: Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, 2007

LI, D.; LEE, D.L. **A topology-based semantic location model for indoor applications,** in Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL **international conference on Advances in geographic information systems.** New York, NY, USA: ACM, 2008, Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1463434.1463443>> Acesso em: 2013.

MOURA, A. L. **WBLs: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi.** Tese (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007

MOURÃO, H. A. S.; OLIVEIRA, H. A. B. F. **Localização de Dispositivos Móveis em Redes WiFi usando Variação da Potência de Transmissão e KNN.** In: XXXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), 2013

NEIVA, J. P. B. **Localização e Orientação “Indoor” com recurso à Tecnologia RFID.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

NI, L. M.; LIU, Y.; LAU, C. Y.; PATIL, A.P. **LANDMARC: indoor location sensing using active RFID** In; Pervasive Computing and Communications. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on. 2003

PAUL, A. S.; WAN, E. A. **Wi-Fi based indoor localization and tracking using sigma-point Kalman filtering methods.** In: Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION. 2008.

PEDRO, L; BRÁS, M. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo.** Dissertação (mestrado), Universidade de Aveiro, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10773/7462>> Acesso em: 2013.

RETSCHER, G. **Location Determination in Indoor Environments for Pedestrian Navigation.** in: Position, Location, And Navigation Symposium, 2006 IEEE/ION, 2006.

ROBERTO, F. M.; BEZZERRA, J.M.; CAMPUS, G. A. L.; FERNANDES, M. P.; JR, J. C.; PAULA, A. L. B. **Um Agente Racional para a Localização de Usuários em Ambientes de Redes Sem Fio,** XXIV simpósio brasileiro de redes de computadores. 2006.

STORMS, W.; SHOCKLEY, J.; RAQUET, J. **Magnetic Field Navigation in an Indoor Environment.** in: Ubiquitous positioning indoor navigation and location based service (UPINLBS), 2010.

TEIXEIRA, V. M. M. **Sistema de localização híbrido para apoio à navegação de cegos no Campus da UTAD.** Dissertação (mestrado), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2010.