

## Proposta de sistema de determinação da posição de cadeira de rodas em ambiente inteligente

P. J. Marques\* C. E. Pereira\*

\* *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, (e-mail: patricjmarques@gmail.com; cpereira@ece.ufrgs.br).*

---

**Abstract:** Os avanços das Tecnologias assistivas, ou seja, tecnologias que visam assistir as pessoas com deficiência em suas atividades, contribuem para a integração social dos seus beneficiários em todas as áreas de abrangência (motora, auditiva, visual etc.). Dentre as linhas de pesquisa acadêmicas, a integração entre cadeiras de rodas com sistemas de automação predial e residencial (ou ambiente inteligente) está entre as linhas de pesquisa de maior destaque. Neste contexto, a proposta deste trabalho é explorar a infraestrutura de um ambiente inteligente para o processo de localização de cadeira de rodas em ambientes internos. Partindo do pressuposto que a infraestrutura do ambiente inteligente é composta por uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), a proposta deste trabalho visa combinar a RSSF com a tecnologia RFID, utilizada como marco de referência, no processo de localização de cadeira de rodas. Este artigo tem como objetivo descrever as diferentes metodologias avaliadas utilizando a RSSF e a tecnologia RFID na calibração automática do sistema e na localização da cadeira de rodas. Como estudo de caso, o sistema de localização proposto é empregado numa aplicação de “Tecnologias assistivas”, na qual a posição de uma cadeira de rodas inserida em um ambiente inteligente é estimada, permitindo ao sistema de automação o controle do iluminamento do ambiente.

**Keywords:** Sistema de localização em interiores, RSSF, RFID, Cadeira de rodas, Ambiente inteligente, Tecnologia assistiva.

---

### 1. INTRODUÇÃO

O termo Tecnologia Assistiva foi criado em 1988 e é utilizado para identificar todo o arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independente e inclusão (Bersch, 2008). No contexto tecnológico, Cook & Hussey (1995) definem o termo como: “uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para reduzir os problemas encontrados pelos indivíduos com deficiências”.

Como as Tecnologias Assistivas visam assistir as pessoas com algum tipo de deficiência em suas atividades, criam-se diversas áreas de abrangência em pesquisa, como, por exemplo, relacionadas à deficiência motora, auditiva, visual entre outras. Dentre estas linhas de pesquisa, a integração entre cadeiras de rodas com sistemas de automação predial e residencial (ambiente inteligente) está entre as linhas de pesquisa de maior destaque, pois tem como objetivo tornar a vida do usuário de cadeira de rodas mais produtiva e cômoda, contribuindo para sua independência.

Partindo do pressuposto que a infraestrutura do ambiente inteligente é composta por uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF), é possível desenvolver um sistema de localização para uma cadeira de rodas explorando a infraestrutura do ambiente, permitindo que a posição de uma cadeira de rodas seja estimada, proporcionando ao sistema de automação o controle de variáveis como iluminamento do ambiente,

temperatura, atuadores mecânicos para abertura de portas etc., de forma a tornar mais fácil para os cadeirantes a realização de suas atividades.

Em geral, os sistemas de localização têm como propósito fornecer informações de localização de pessoas ou objetos. Com a evolução dos dispositivos móveis e redes sem fios de curto alcance, a aplicação desses sistemas em ambientes internos tornou-se muito popular nos últimos anos (Liu et al., 2007), sendo a utilização de RSSF um dos principais temas da atualidade em pesquisas de nível acadêmico como solução para sistemas de localização em interiores (Menegatti et al., 2009; Cherntanomwong & Suroso, 2011; Rodrigues, 2011; Motter et al., 2011).

No mesmo contexto, a tecnologia de Identificação por Radiofrequência, do inglês Radio-Frequency Identification (RFID), vem sendo explorada em pesquisas da área de sistemas de localização (Park & Hashimoto, 2009). A capacidade de armazenar informações (ID da etiqueta), o fato de não necessitar de linha visada para a leitura e o curto alcance de leitura de algumas etiquetas (poucos centímetros) proporcionam uma característica particular aos sistemas de localização baseados em RFID, a utilização de etiquetas RFID como marcos de referência, popularmente chamado de *landmark* (Li & Becerik-Gerber, 2011).

Diferente dos trabalhos que utilizam uma grande quantidade de etiquetas RFID no desenvolvimento de sistemas de localização por proximidade da fonte (Park & Hashimoto, 2009; Choi et al., 2011), este trabalho explora a característica

de marco de referência como uma nova solução para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários para a estimação de posição utilizando RSSF, que tradicionalmente é realizada através de uma tarefa demorada e exaustiva de coleta de dados em vários pontos do ambiente (Rodrigues, 2011; Motter et al., 2011).

O objetivo geral deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um sistema de localização para cadeira de rodas em ambiente inteligente utilizando RSSF e a tecnologia RFID, onde as etiquetas RFID são utilizadas como marcos de referência para a calibração automática dos parâmetros necessários no processo de localização utilizando RSSF. Para alcançar tal objetivo, diferentes metodologias foram avaliadas utilizando a RSSF e a tecnologia RFID na calibração automática do sistema e na localização da cadeira de rodas.

## 2. SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO BASEADO EM RSSF

A aplicação de RSSF em conjunto com sistemas de automação predial e residencial eleva o nível de um ambiente automatizado para um ambiente inteligente (Hussain, Schaffner & Moseychuck, 2009), tornando o nível de abstração maior, uma vez que o usuário necessita saber se o ambiente pode lhe oferecer um determinado serviço, sem lhe interessar qual dispositivo irá provê-lo (Perozzo & Pereira, 2008). Por este motivo, as RSSF são comumente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial.

Além das funções tradicionais de sensoriamento, processamento e comunicação de dados, a RSSF apresenta-se como uma alternativa no desenvolvimento de sistemas de localização em ambientes inteligentes, uma vez que sua infraestrutura é flexível, não depende de fios na interligação dos dispositivos, e a rede pode ser composta por dispositivos sensores multifuncionais, de baixo custo e de baixa potência (Hussain, Schaffner & Moseychuck, 2009). Por estes motivos, a maioria das tecnologias e técnicas de localização encontradas na literatura é baseada em sinais de radiofrequência (RF), principalmente utilizando RSSF.

As tecnologias baseadas em RF utilizadas em sistemas de localização são bastante diversificadas, como por exemplo: RFID (Li & Becerik-Gerber, 2011), WLAN (Xiang et al., 2004), RSSF (Menegatti et al., 2009; Cherntanomwong & Suroso, 2011; Rodrigues, 2011; Motter et al., 2011), UWB (Zhang et al., 2006), entre outras. As técnicas apresentadas neste artigo estão relacionadas à RSSF, uma vez que ela constitui a infraestrutura do ambiente do estudo de caso. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia baseada em RF, as técnicas apresentadas podem ser utilizadas com outras tecnologias baseadas em RF com nenhuma ou pouca modificação.

Os sistemas de localização em interiores baseado em RSSF utilizam diferentes técnicas para estimar a localização do alvo. Por se tratar de ambientes fechados, é difícil modelar a propagação dos sinais nestes ambientes, principalmente pelo efeito de múltiplos caminhos (*multipath*) gerado pela reflexão, difração e dispersão dos sinais nas estruturas internas, paredes e mobília. O estado da arte em sistemas de localização não possui nenhum modelo capaz de descrever de

forma ideal as características do efeito de múltiplos caminhos (Pahlavan, Li & Makela, 2002).

Uma técnica alternativa não baseada em modelos de propagação de sinal RF é a análise de cenário (também conhecida como *fingerprinting*). Esta técnica consiste na utilização de um mapa de coleta de várias amostras em posições predefinidas, chamadas de impressões digitais, para estimar a posição do alvo. Normalmente, as amostras são valores de *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), por isso ele recebe o nome de mapa de intensidade de sinal recebido (Rodrigues, 2011). Entretanto, essa técnica necessita de muito tempo para a fase de calibração e mudanças no cenário exigem novas calibrações.

### 2.1 Estimação da distância

As técnicas baseadas em modelos de propagação de sinal normalmente utilizam características do sinal que estão relacionadas com a distância entre o dispositivo emissor e o receptor para estimar a posição. As distâncias entre os dispositivos podem ser estimadas a partir do tempo de voo, fase ou intensidade do sinal, como segue:

1. *Time Of Arrival* (TOA) – Tempo de chegada: A técnica de tempo de chegada, como o nome sugere, baseia-se na medição do tempo em que o sinal de um dispositivo leva para chegar a outro;
2. *Time Difference Of Arrival* (TDOA) – Diferença do tempo de chegada: A TDOA baseia-se na diferença temporal existente na recepção de vários sinais gerados por diferentes fontes;
3. *Reflectron Time Of Arrival* (RTOF) – Tempo de voo de ida e volta: Essa técnica considera a duração do tempo de envio do sinal e da recepção da resposta do outro dispositivo para estimar a posição do alvo;
4. *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) – Indicador de intensidade do sinal recebido: O RSSI é uma forma de representar a atenuação do sinal durante o percurso de uma mensagem entre o transmissor e o receptor de um sistema RF, sendo que a atenuação respeita o modelo de propagação de ondas eletromagnéticas, estando diretamente relacionado com a distância entre os dispositivos;
5. *Received Signal Phase* (RSP) – Fase do sinal recebido: A técnica RSP, também conhecida como fase de chegada (*Phase Of Arrival* – POA), utiliza a fase da portadora (ou a diferença de fase) para estimar a distância do alvo;
6. *Chirp Spread Spectrum* (CSS): Essa técnica é baseada no tempo de voo do sinal RF, assim como a técnica TOA, mas com a vantagem de não necessitar de um sincronismo de relógio rápido e preciso. Na técnica CSS a distância entre os dispositivos (emissor e receptor) é estimada com base no aumento e na diminuição da frequência de comunicação em função do tempo.

Em sua grande maioria, sistemas de localização em interiores baseados em RSSF utilizam o RSSI como base no processo de localização. Os modelos de propagação do sinal de RF tentam representar a relação entre a potência do sinal recebido e a distância entre o transmissor e o receptor.

Neste trabalho são utilizados dois modelos de propagação de sinal utilizando RSSI. O primeiro modelo é descrito pela (1) (Rappaport, 2002).

$$d = 10^{\left(\frac{A-RSSI}{10n}\right)} \times d_0 \quad (1)$$

O termo em (1),  $A$ , representada o valor do RSSI obtido à distância de referência ( $d_0$ ) do emissor,  $n$  é o expoente de atenuação e  $d$  é a distância calculada. Na literatura é comum encontrar o termo  $A$  representando o valor do RSSI obtido a 1 m de distância (Motter et al., 2011).

O segundo modelo, apresentado em Farahani (2008), é baseado em vários experimentos que consideram ambientes internos reais, onde parte do sinal transmitido pode ser absorvido por diferentes materiais, ou refletido em vários objetos ou pode sofrer atrasos e ser adicionado atrasado no sinal original devido aos multicaminhos. Todos estes fenômenos podem alterar a potência do sinal recebido. O modelo é descrito pela (2) (Farahani, 2008).

$$d = 10^{\left(\left(\frac{-RSSI-29,63}{10n}\right)-0,3811\right)} \quad (2)$$

Os termos em (2),  $d$ ,  $RSSI$  e  $n$ , são os mesmos da (1). Vale observar que a equação original apresentada em Farahani (2008) foi adaptada para atender as necessidades do projeto, onde a frequência dos rádios é de 2405 MHz e potência de saída do sinal é de 2.81 dBm.

A vantagem do segundo modelo se dá pelo fato de possuir apenas um parâmetro experimental, o  $n$ , diferente dos três parâmetros do primeiro modelo,  $n$ ,  $A$  e  $d_0$ . Adicionalmente, como não necessita de nenhuma amostra de RSSI do ambiente (no primeiro modelo,  $A$  é o RSSI a uma distância de referência), com um único ponto é possível calibrar o parâmetro  $n$ .

## 2.2 Estimação da posição

As distâncias entre os dispositivos da RSSF e o alvo são parâmetros de entrada para a técnica de lateração. Comumente chamada de trilateração na literatura, esta técnica estima a posição do alvo através da sua distância em relação aos pontos de referência previamente conhecidos. Para coordenadas bidimensionais, é necessário conhecer a distância do alvo em relação a pelo menos três pontos de referência não colineares para determinar a localização.

Na prática, as estimativas de distância têm uma incerteza associada e o conjunto de equações para determinar as coordenadas do alvo deve ser adaptado para considerar o erro  $e_i$ , e a formulação do sistema é representada pelo o conjunto de equações de (3).

$$\begin{aligned} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 - d_1^2 &= e_1 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 - d_2^2 &= e_2 \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 - d_3^2 &= e_3 \end{aligned} \quad (3)$$

Onde  $x_0$  e  $y_0$  representam o par de coordenadas do alvo, e  $x_i$  e  $y_i$  representam o par de coordenadas dos  $i$  nós fixos da rede (neste exemplo, são 3). As distâncias estimadas dos nós fixos em relação ao alvo são representadas por  $d_i$ .

A solução para esse problema de otimização consiste em encontrar  $x_0$  e  $y_0$  que minimiza a soma dos erros. Neste caso foi aplicado o método de otimização por Mínimos Quadrados, onde o número de equações em (3) é o mesmo que o número de nós fixos da RSSF (Farahani, 2008). Maiores detalhes sobre a modelagem do método mínimos quadrados e a aplicação no sistema de localização utilizando RSSF pode ser encontrado em Sugano (2006).

## 3. SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO BASEADO EM RFID

A tecnologia RFID normalmente é utilizada com a técnica de proximidade da fonte em sistemas de localização. Esta técnica depende de uma grande quantidade de etiquetas RFID, com suas posições conhecidas (dispositivos de referência). Quando um alvo é detectado por uma única etiqueta, é considerado que o alvo encontra-se na zona de cobertura da respectiva etiqueta que o detectou (Park, 2009; Choi, 2011).

O papel de marco de referência desempenhado pelas etiquetas RFID exige algumas características das mesmas. Neste trabalho, as etiquetas utilizadas são passivas (não possui fonte própria de energia) e de baixa frequência, do inglês *Low Frequency* (LF). Essas etiquetas possuem um curto alcance de leitura, em torno de 15 cm, tornando-as próprias para o uso como referência geométrica.

Diferente dos trabalhos que utilizam uma grande quantidade de etiquetas RFID no desenvolvimento de sistemas de localização por proximidade da fonte (Park, 2009; Choi, 2011), este trabalho explora a característica de marco de referência como uma nova solução para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários para a estimação de posição utilizando RSSF.

## 4. METODOLOGIA PROPOSTA

A RSSF possui um nó móvel instalado junto à cadeira de rodas, três nós fixos em posições conhecidas e um nó *gateway*, também com posição conhecida, para realizar a interface entre a RSSF e o computador responsável pelo cálculo de estimação da posição da cadeira de rodas.

A rede troca informações somente a pedido do nó *gateway*, que continuamente solicita que o nó móvel lhe responda. A resposta do nó móvel é tipo *broadcast*, ou seja, todos os nós da rede recebem essa mensagem. A mensagem pode conter a informação de leitura de uma etiqueta RFID ou pode estar vazia. O importante neste processo é que todos os nós fixos possam obter o RSSI da mensagem transmitida pelo nó móvel, inclusive o *gateway*.

Assim que cada nó fixo receber a mensagem do nó móvel e obtém o RSSI desta mensagem, o nó *gateway* solicita a cada nó fixo o RSSI que obteve. Após reunir todos os RSSI obtidos pelos nós fixos, o *gateway* adiciona ao pacote o RSSI que ele obteve e envia essas informações para o computador, para posteriormente estimar a posição da cadeira de rodas.

A parte lógica e de desenvolvimento de algoritmos pode ser dividida em duas partes: estimação da posição e calibração automática dos parâmetros. A estimação da posição é executada continuamente na medida em que a RSSF obtém pelo menos 3 valores de RSSI dos nós fixos, incluindo o do nó *gateway*. Já a calibração dos parâmetros ocorre sempre que a cadeira de rodas tenha uma etiqueta RFID dentro do campo de leitura do leitor instalado na mesma. Os algoritmos são executados em função da capacidade da rede de trocar informações, ou seja, depende do tempo de processamento do *hardware* e do tempo de comunicação sem fio.

No processo de estimação da posição, primeiramente, o nó *gateway* reuni todos os valores de RSSI e transfere essa informação para o computador através de uma conexão *Universal Serial Bus* (USB). A entrada de dados pela USB gera uma chamada no algoritmo de estimação da posição para a leitura e organização desses dados. O pacote recebido contém os valores de RSSI obtido por cada nó fixo da rede e, no caso, a informação de que algum nó não conseguiu obter o RSSI. Também, é informado se foi lida alguma etiqueta.

Após a organização dos dados, o valor de RSSI de cada nó passa por um tratamento simples para verificar a perda de dados. O objetivo dessa fase é diminuir a variação que o RSSI sofre em função das interferências e reflexos do sinal RF no ambiente interno.

A próxima etapa consiste em estimar as distâncias formadas entre o nó móvel (cadeira de rodas) e os nós fixos. Nesta etapa são aplicados os modelos de propagação de sinal RF descritos na seção 2.1. As posições dos nós fixos são conhecidas pelo sistema, pois são informadas no início da execução do programa através da interface com o usuário.

O algoritmo necessita de pelo menos 3 distâncias conhecidas da cadeira de rodas em relação aos nós fixos da rede para prosseguir para a próxima etapa, na qual a posição da cadeira de rodas é obtida por lateração, como descrito na seção 2.2.

O algoritmo de calibração automática dos parâmetros é executado sempre que a cadeira de rodas passa e para sobre uma etiqueta RFID próxima o suficiente para o leitor realizar a leitura. A posição da etiqueta lida pelo leitor é de conhecimento do sistema, pois no início da execução do programa os IDs das etiquetas e as suas respectivas coordenadas no ambiente são informados pelo usuário.

Quando o ID da etiqueta é obtido e chega até o computador, o programa verifica se o ID corresponde a um ID registrado. Se o ID está registrado no programa, com a coordenada no ambiente que este ID representa é possível determinar a distância entre a cadeira de rodas e os nós fixos da rede.

Com intuito de analisar as possíveis combinações com os modelos de propagação de sinal RF da RSSF e a tecnologia

RFID, diferentes metodologias foram avaliadas na calibração automática do sistema e na localização da cadeira de rodas.

Vale lembrar que em (1) necessita de três parâmetros experimentais,  $n$ ,  $A$  e  $d_0$ , e em (2) somente de um parâmetro,  $n$ . Sendo assim, o primeiro modelo não pode ser aplicado na primeira etiqueta lida, pois neste momento não se tem conhecimento dos valores de  $A$  e  $d_0$ , visto que somente na primeira leitura é que esses parâmetros são armazenados no sistema. Por isso, sempre na primeira etiqueta lida é aplicada o segundo modelo para calcular o  $n$ . Sendo assim, as possíveis combinações avaliadas (métodos) neste trabalho estão resumidas na Tabela 1.

**Tabela 1. Métodos avaliados**

Método	Etiqueta lida (exceto a primeira)		Calcular distância
	Ajustar $n$	Atualizar $n$ e $d_0$	
1	Modelo 1	Não atualizado	Modelo 1
2	Modelo 2	Não atualizado	Modelo 2
3	Modelo 2	Atualizado	Modelo 1 ou 2
4	Modelo 1	Atualizado	Modelo 1

Para cada método proposto foram realizados 5 testes variando o número de etiquetas RFID e o espaçamento entre elas. No teste inicial, as etiquetas estão espaçadas em 30 cm, ou seja, todos os pontos de coleta possuem uma etiqueta RFID, totalizando 18 etiquetas. A Fig. 1 apresenta a segunda distribuição das etiquetas utilizada nos testes.

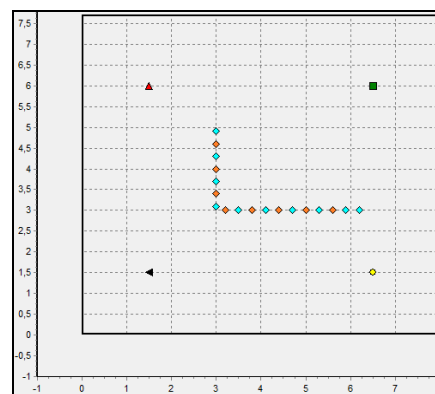


Fig. 1. Segunda distribuição de etiquetas (DE2).

A segunda distribuição das etiquetas, apresentada na Fig. 1, foi escolhida para evidenciar a diferença entre ponto de coleta e etiqueta RFID, e, também, para apresentar a legenda adotada, sendo que: o losango azul claro representa um ponto de coleta com etiqueta RFID e o losango laranja um ponto de coleta sem etiqueta RFID; e o *gateway* e os nós fixos 1, 2 e 3, são representados respectivamente por um triângulo vermelho, um quadrado verde, um círculo amarelo e um triângulo preto. Na Fig. 1 e Fig. 3, os eixos estão em metros.

Os demais testes seguem o mesmo formato de distribuição das etiquetas. Entretanto, o espaçamento entre etiquetas aumenta e, conseqüentemente, o número de etiquetas diminui. Sendo assim, os testes seguem a seguinte ordem: espaçamento entre etiquetas de 0.3 m, 0.6 m, 0.9 m, 1.2 m e 1.5 m, com o respectivo número de etiquetas: 18, 10, 8, 6 e 6. Vale observar que os dois últimos testes possuem o mesmo

número de etiquetas, mas um espaçamento diferente. Isso ocorre em função do padrão adotado, onde sempre haverá pelo menos duas etiquetas no início do percurso (e no caso do primeiro, terceiro e quinto testes, serão três etiquetas), e uma etiqueta no final do percurso.

Com intuito de facilitar a compreensão, a primeira distribuição das etiquetas é chamada de DE1 no decorrer deste artigo, assim como as sucessivas distribuições.

### 5. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

Para tornar mais clara a comparação entre os métodos avaliados é apresentada no mesmo gráfico (Fig. 2) a média do erro médio (obtido a partir de (4)) dos 18 pontos para cada um dos 4 métodos e para cada uma das 5 distribuições das etiquetas (DE).

$$e_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

Em suma, a primeira barra do gráfico apresenta a média do erro médio dos 18 pontos aplicando o primeiro método na distribuição das etiquetas 1 (DE1); a segunda barra a média aplicando o segundo método na mesma distribuição, assim sucessivamente até chegar ao quarto método, passar para a próxima distribuição e retornar para o primeiro método.

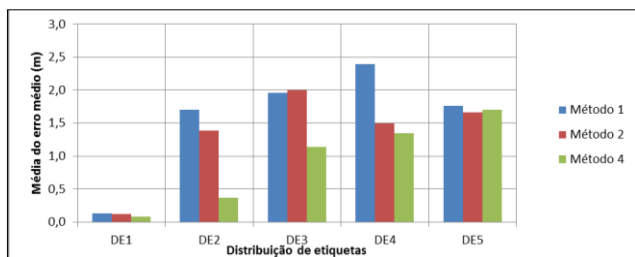


Fig. 2. Média de todos os métodos para todas as DE.

O método 3 não é apresentado, pois produz os mesmos resultados que o método 2. Isso ocorre porque  $A$  e  $d_0$  são armazenados a cada etiqueta lida no método 3, logo, tanto faz utilizar a (1) ou (2) para calcular a distância, pois os resultados são praticamente os mesmos. No método 2 e 3, o  $n$  é ajustado pelo modelo 2, e como independe da equação que for usada para calcular a distância, esses métodos geram os mesmos resultados. Vale observar que não está sendo afirmado que o primeiro modelo é igual ao segundo modelo; o fato é que da maneira como as equações são manipuladas para fazer os cálculos de distância e dos ajustes de parâmetros, acaba-se por produzir os mesmos resultados.

Conforme pode ser observado na Fig. 2, o quarto método avaliado apresenta os melhores resultados em comparação com os demais. Somente na DE5 o quarto método não obtém o menor erro na comparação, mas nessa distribuição todos os métodos possuem uma média muito próxima uma da outra.

### 6. ESTUDO DE CASO

A aplicação desenvolvida para o estudo de caso é bem simples, mas importante para validar o sistema proposto neste artigo numa aplicação de “Tecnologias Assistivas”. Ela

consiste em acionar um conjunto de lâmpadas de uma sala de aula automatizada em função da posição informada pelo sistema de localização.

As informações da posição da cadeira de rodas foram enviadas para a central do sistema de automação para que dois conjuntos de lâmpadas fossem acionados. A posição enviada para a central é a média quadrática das 150 estimativas realizadas para cada ponto pelo sistema de localização. A Fig. 3 apresenta os quadrantes 1, 2 e 3, representados respectivamente pela sombra em azul, laranja e verde, que delimitam a zona correspondente para acionar o conjunto de lâmpadas do fundo, da frente e ambas, conforme mostra a Tabela 2. Na Fig. 3, são apresentadas as posições dos nós da RSSF e dos pontos de coleta com e sem etiqueta.

Tabela 2. Limite dos quadrantes

Posição está entre	Quadrante 1	Quadrante 2	Quadrante 3
X máximo	6,80 m	3,40 m	5,50 m
X mínimo	3,40 m	0,00 m	0,00 m
Y máximo	2,50 m	2,50 m	6,00 m
Y mínimo	0,00 m	0,00 m	2,50 m
Acionar lâmpadas	Fundo	Frente	Fundo/Frente

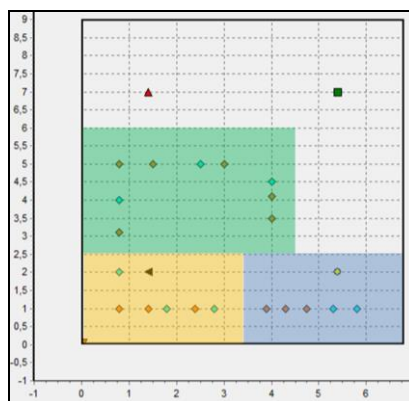


Fig. 3. Quadrantes do cenário criado para o estudo de caso.

A Tabela 3 apresentada a posição da cadeira de rodas informada para a central em cada ponto de coleta e o conjunto de lâmpadas (fundo, frente e ambas) acionado pela central.

Tabela 3. Posição da cadeira de rodas e conjunto de lâmpadas acionado.

<b>Pontos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
PosX	6,343 m	5,300 m	5,251 m	5,268 m	5,418 m
PosY	2,320 m	1,005 m	0,567 m	0,809 m	0,910 m
A. lâm	Fundo	Fundo	Fundo	Fundo	Fundo
<b>Pontos</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
PosX	2,837 m	2,756 m	2,048 m	1,732 m	0,015 m
PosY	1,269 m	3,111 m	1,141 m	0,100 m	0,000 m
A. lâm	Frente	Falha	Frente	Frente	Frente
<b>Pontos</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
PosX	0,762 m	2,851 m	1,825 m	0,000 m	0,723 m
PosY	2,025 m	2,939 m	3,228 m	3,488 m	3,682 m
A. lâm	Frente	Ambas	Ambas	Ambas	Ambas
<b>Pontos</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
PosX	3,355 m	3,644 m	4,316 m	3,666 m	5,455 m
PosY	3,763 m	4,266 m	4,733 m	4,670 m	5,901 m
A. lâm	Ambas	Ambas	Ambas	Ambas	Ambas

A abreviatura “PosX” representa a posição estimada da cadeira de rodas no eixo x, a “PosY” representa a posição estimada no eixo y, a “A. lâm” representa “Acionar lâmpadas do”, a “Fundo” representada as lâmpadas do fundo (quadrante 1), a “Frente” representada as lâmpadas da frente (quadrante 2) e a “Ambas” representada as lâmpadas da frente e do fundo (quadrante 3).

No ponto 7 ocorreu uma falha no sistema, representada por “Falha” na Tabela 3. Isso se deu pela estimativa errada no eixo y, que se apresentou como acima de 2,5 m, o limite máximo de y para o quadrante 2.

## 7. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe a combinação de Redes de Sensores Sem Fio, comumente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial, e da tecnologia RFID para sistemas de localização em interiores. O sistema de localização proposto utiliza o modelo de propagação do sinal de RF e o RSSI para estimar a distância da cadeira de rodas em relação aos nós fixos da RSSF e a técnica de lateração para calcular a posição estimada. As etiquetas RFID são utilizadas como marco de referência para a calibração automática dos parâmetros experimentais necessários no processo de localização a partir de uma RSSF, que em sistemas tradicionais são obtidos de forma experimental em uma fase *offline*.

Em busca do método que geraria os melhores resultados para o sistema de localização baseado em RSSF e a tecnologia RFID, foram propostos e avaliados 4 métodos, combinando diferentes modelos de propagação de sinal e diferentes formas de calibrar os parâmetros experimentais.

Por fim, conclui-se que o sistema de localização proposto pode atender as necessidades de uma aplicação de “Tecnologias Assistivas”, a partir do estudo de caso apresentado, onde serviços são oferecidos ao cadeirante de forma pervasiva através da informação de sua posição, contribuindo para independência e produtividade do usuário de cadeira de rodas.

## AGRADECIMENTOS

À FINEP pelo financiamento do projeto de pesquisa intitulado arquitetura para uma Cadeira de Rodas Integrada em um Ambiente Inteligente (CRIA) - Convênio: 01.11.0154.00.

## REFERÊNCIAS

- BERSCH, R. (2008) Introdução à tecnologia assistiva. *Assistiva - Tecnologia E Educação* [Online]. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br>. [Acessado em: 12 de maio de 2014].
- CHERTANOMWONG, P. & SUROSO, D. J. (2011) Indoor localization system using wireless sensor networks for stationary and moving target. In *Information, Communications and Signal Processing*. Singapura, 13 a 16 de Dezembro de 2011. IEEE. p. 1-5.
- CHOI, B. S., LEE, J. W., LEE, J. J., & PARK, K. T (2011) A hierarchical algorithm for indoor mobile robot localization using RFID sensor fusion. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 58 (6). p. 2226-2235.
- COOK, A. M. & HUSSEY, S. M. (1995) *Assistive technologies: Principles and practice*. Saint Louis: Mosby.
- FARAHANI, S. (2008) *ZigBee wireless networks and transceivers*. Oxford: Newnes.
- HUSSAIN, S., SCHAFFNER, S. & MOSEYCHUCK, D. (2009) Applications of wireless sensor networks and RFID in a smart home environment. In *Communication Networks and Services Research Conference*. Moncton, 11 a 13 de Maio de 2009. New York: IEEE. p. 153-157.
- LI, N. & BECERIK-GERBER, B. (2011) Performance-based evaluation of RFID-based indoor location sensing solutions for the built environment. *Advanced Engineering Informatics*. 25 (3). p. 535-546.
- MENEGATTI, E., ZANELLA, A., ZILLI, S., ZORZI, F., & PAGELLO, E. (2009) Range-only slam with a mobile robot and a wireless sensor networks. In *Robotics and Automation*. Kōbe, 12 a 17 de Maio de 2009. New York: IEEE. p. 8-14.
- MOTTER, P., ALLGAYER, R. S., MULLER, I., PEREIRA, C. E., & PIGNATON DE FREITAS, E. (2011) Practical issues in wireless sensor network localization systems using received signal strength indication. In *Sensors Applications Symposium*. San Antonio, 22 a 24 Fevereiro de 2011. New York: IEEE. p. 227-232.
- PAHLAVAN, K.; LI, X. & MAKELA, J. (2002) Indoor geolocation science and technology. *IEEE Communications Magazine*. 40 (2). p. 112-118.
- PARK, S. & HASHIMOTO, S. Autonomous mobile robot navigation using passive RFID in indoor environment. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 56 (7). p. 2366-2373.
- PEROZZO, R. F. & PEREIRA, C. E. (2008) Management of services in intelligent environments for mobile devices. In *Intelligent Environments*. Seattle, 21 a 22 de Julho de 2008. New York: IEEE. p. 1-6.
- RAPPAPORT, T. S. (2002) *Wireless communications: principles and practice*. New Jersey: Prentice Hall.
- RODRIGUES, M. L (2011) *Localização em ambientes internos utilizando múltiplas tecnologias sem fio*. Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.
- SUGANO, M., KAWAZOE, T., OHTA, Y., & MURATA, M. (2006) Indoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network based on ZigBee standard. *Wireless and Optical Communications*. 538. p. 1-6.
- XIANG, Z., SONG, S., CHEN, J., WANG, H., HUANG, J., & GAO, X. (2004) A wireless LAN-based indoor positioning technology. *IBM Journal of Research and Development*. 48 (5.6). p. 617-626.
- ZHANG, C., KUHN, M., MERKL, B., FATHY, A. E., & MAHFOUZ, M. (2006) Accurate UWB indoor localization system utilizing time difference of arrival approach. In *Radio and Wireless Symposium*. San Diego, 17 a 19 de Outubro. New York: IEEE. p. 515-518.