MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS SEM FIO PARA SUPORTE A PROJETOS DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS EM TEMPO REAL PARA GRANDES EMPREENDIMENTOS

Larissa Pereira Marques Cruz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Luiz Landau
Gerson Gomes Cunha

Rio de Janeiro
Dezembro de 2013

MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS SEM FIO PARA SUPORTE A PROJETOS DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS EM TEMPO REAL PARA GRANDES EMPREENDIMENTOS

Larissa Pereira Marques Cruz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

Prof. Gerson Gomes Cunha, D.Sc.

Prof. Antônio Carlos de Abreu Mol, D.Sc.

Maria Célia Santos Lopes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO – RJ, BRASIL
DEZEMBRO DE 2013

Cruz, Larissa Pereira Marques

Mapeamento de tecnologias sem fio para suporte a projetos de sistemas de localização de recursos em tempo real para grandes empreendimentos / Larissa Pereira Marques Cruz – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XII, 99p.: il.; 29,7 cm

Orientadores: Luiz Landau

Gerson Gomes Cunha

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2013.

Referencias Bibliográficas: p. 95-99.

1. Localização. 2. Rastreamento. 3. Tecnologia sem fio. 4. Grandes empreendimentos. 5. Tomada de decisão. I. Landau, Luiz *et al*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força.

Agradeço ao meu querido pai pelos incentivos e total apoio, á minha querida mãe pela fé, apoio emocional e companheirismo diário, mesmo que à distância e ao meu irmão pelo incentivo de vida e auxílio intelectual.

Agradeço ao Professor Luiz Landau pela oportunidade de ser aluna da COPPE e cursar mais essa importante etapa da minha formação.

Agradeço ao Professor Gerson Cunha pelas ideias e orientações. Á Maria Célia Lopes pela orientação, compreensão e paciência nos momentos críticos e a toda equipe do GRVA.

Em especial, um agradecimento aos amigos que me ajudaram no desenvolvimento desta dissertação: Francisco Pellon, Leandro Gazzoni, Paulo Gustavo Italiani, Karina Junqueira, Tiago Mota e Lívia Fernandes e Maíra Mazoto.

E para sempre agradecerei a todos meus queridos amigos e familiares que fazem tudo valer a pena.

Á Rita de Cássia e Joanilson, meus pais heróis.

Aos tios Zé e Líbia que fizeram parte da minha formação.

Ao Diogo, meu "irmaozão" companheiro e exemplo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

MAPEAMENTO DE TECNOLOGIAS SEM FIO PARA SUPORTE A PROJETOS DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE RECURSOS EM TEMPO REAL PARA GRANDES EMPREENDIMENTOS

Larissa Pereira Marques Cruz

Dezembro / 2013

Orientadores: Luiz Landau
Gerson Gomes Cunha

Programa: Engenharia Civil

O presente estudo visa apresentar uma metodologia que auxilia a escolha da tecnologia mais adequada para o rastreamento de recursos em grandes empreendimentos como: refinarias, plataformas, mineradoras, hidrelétricas, entre outros. O método utilizado é a correlação entre os parâmetros métricos de desempenho e as características técnicas dos sensores que baseiam os Sistemas de Localização em Tempo Real (RTLS) como: Infravermelho, Ultrassom, *Bluetooth, UWB, RFID, Zigbee e GPS*. Assim, obtém-se uma tabela com indicadores qualitativos que, posteriormente, são alinhados em ordem crescente de funcionamento, gerando um gráfico radar que permite visualizar de maneira clara esta classificação avaliativa. A elaboração deste método e sua aplicação pretende minimizar erros de planejamento e implementação, possibilitando o desenvolvimento de sistemas RTLS's com tecnologias mais adequadas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

MAPPING OF WIRELESS TECHNOLOGIES TO SUPPORT REAL TIME LOCATION SYSTEMS FOR TRACKING RESOURCES OF LARGE ENTERPRISES

Larissa Pereira Marques Cruz

December / 2013

Advisors: Luiz Landau
Gerson Gomes Cunha

Department: Civil Engineering

This study aims to present a methodology that helps to select the most appropriate technology for resource tracking in large projects such as refineries, offshore, mining, among others. The method used is the correlation between the metric performance parameters and technical characteristics of the sensors that Real Time Location System (RTLS) are based, such as: Infrared, Ultrasound, Bluetooth, UWB, RFID, Zigbee and GPS. Thus, is obtained a table with qualitative indicators that are subsequently aligned in ascending order of operation, generating a radar chart to view evaluative rating clearly. The development of this method and its application aims to minimize mistakes in planning and achievement, enabling the development of RTLS's systems with more appropriate technologies.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO ***1***

1.1 | Relevância e Justificativa 1

1.2 | Objetivo específico 2

1.3 | Estrutura dos capítulos 3

CAPÍTULO 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ***5***

2.1| Um levantamento de técnicas de localização e rastreamento de dispositivos móveis através de rede de sensores sem fio. 5

2.2| Levantamento de Sistemas de Posicionamento “indoor” para redes sem fio Pessoais 9

2.3| Levantamento de técnicas e Sistemas de posicionamento sem fio “indoor” 13

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ***15***

3.1| Apresentação 15

3.2| Conceito 17

3.3| Histórico 17

3.4| Características técnicas 18

3.4.1| Localização por “choke points” 18

3.4.2| Localização por relatividade de coordenadas 18

3.4.3| Precisão da localização 19

3.5| Técnicas de localização e rastreio. 20

3.5.1| Identificação direta 20

3.5.2| Diferença do tempo de emissão e percepção do sinal 21

a- Tempo de chegada - Time of Arrival (ToA): 21

b- Diferença de tempo de chegada - Times-Difference of Arrival (TDoA): 21

c- Tempo de vôo -Time-of-Flight (ToF): 22

d- Ângulo de chegada – AoA (Angle of arrival) 22

f- Localização por padrão - *Fingerprinting* 23

3.5.3| Algoritmos de Localização 23

3.5.2.1| Identificação por célula 24

3.5.2.2| Proximidade 25

3.5.2.3| Triangulação 25

1- Laterização (Lateration) 26
1a -Tempo de vôo (TOF - Time-of-flight) 26
1b - Atenuação (attenuation) 27
1d- Ângulo de chegada (AOA – Angle-of-arrival) 27
2- Trilaterização (trilateration) 27

CAPÍTULO 4. DEFINIÇÃO DE ATIVOS E AMBIENTES 29

4.1| Classificação do ambiente para grandes empreendimentos: Outdoor vs Indoor 30
4.2| Processos e métodos de definição dos ativos 31
4.2.1| Definição do objetivo e parâmetros indiretos: materiais, maquinário e pessoas 32
4.2.1.1| Materiais: Inventário e Controle de Qualidade 33
a - Composição dos materiais 33
4.2.1.2 | Maquinário 35
4.2.1.3 |Pessoas : monitoramento de áreas de segurança 35
a- Monitoramento de atividades 36
4.3| Definição da estratégia de projeto: tomando decisão enquanto a adoção do sistema em nível organizacional do empreendimento 37
4.4 | Análise do local: levantamento das restrições do ambiente de implantação RTLS (*Site Survey)* 38

CAPÍTULO 5. DEFINIÇÃO DE TECNOLOGIAS 42

5.1| Tomada de decisão: classificação por sensores 42
5.1.2| Sensores Eletromagnéticos 42
5.1.3| Análise de imagens (Video-Based Sensors) 43
5.1.4| Sensores Ativos 44
5.1.4.1| Sensores Infravermelhos 44
5.1.4.2| Sensores Ultrasom 47
5.1.4.3| Sensor baseado em transmissão à Radio: UWB – Ultra Wide Band 48
5.1.4.4| Sensor baseado em transmissão à Radio: Bluetooth 51
5.1.4.5| Sensor baseado em transmissão à Radio: RFID – Identificação por Radio Frequência 52
5.1.4.4| ZigBee 58
5.1.4.4.1| Aplicações RTLS Zigbee 62
5.1.5 |Sensores passivos: GPS – Sistema Global de Posicionamento 62
5.1.5.1| Aplicações RTLS GPS : Alternativas Indoor 63

5.1.6 | Outras tecnologias: WI-FI 64
5.1.7| Outras tecnologias: GSM E CDMA – Sistema de Telefonia celular 65
5.2| Parâmetros Métricos: valores de escolha da tecnologia mais adequada: parâmetros que devem influenciar na seleção da tecnologia 66
a- Segurança e privacidade 66
b- Custo 66
c- Precisão 67
d- Exatidão 67
e -Tempo de resposta (*delay*) 67
f- Escalabilidade 68
g- Complexidade 68
h- Responsividade 68
i- Robustez e tolerância à falta 68
j-Disponibilidade comercial (mercado) 69
l-Limitações 69
CAPÍTULO 6. APRESENTAÇÃO DO MÉTODO ***71***
6.1| Apresentação da Tabela de seleção RTLS 71
6.2 | Apresentação da estrutura de ordenação da Tabela de seleção RTLS 73
6.2 | Avaliação dos indicadores da Tabela de Seleção RTLS 74
6.3 | Aplicação do método: Tabela de Seleção RTLS + Gráfico 2/Radar 80
6.3 | Direcionamento de aplicação do método 81
CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO ***91***
CAPÍTULO 8. TRABALHOS FUTUROS ***94***
REFERÊNCIAS ***95***

LISTA DE FIGURAS

Figura 1**:** sensor sem-fio 16
Figura 2: Ilustração comparativa do conceito entre posicionamento absoluto e relativo 19
Figura 3: Esquema da estimativa de posicionamento através da diferença de tempo do sinal recebido . 21
Figura 4: Esquema da estimativa de posicionamento através do ângulo do sinal recebido. 22
Figura 5: Sistema com visualização dos dados capturados em campo. 29
Figura 6: Esquema representativo de monitoramento de operários 37
Figura 7: Esquema representativo de portal de captura de sinais de identificação. Parte do sistema de localização. 1 – Portal com antenas / 2 – Caminhão com etiquetas RTLS 39
Figura 8: Exemplo de etiqueta RFID passiva e ativa, respectivamente. 53
Figura 9**:** Esquema de inter-relação de frequência e tipo de acoplamento utilizado. 55
Figura 10: Rede Zigbee em mesh 59
Figura 11: Representação dos componentes da rede Zigbee . 59
Figura 13 – Ambiente de aplicação 1 – Pátio de um porto 83
Figura 14: Exemplo de ambiente da aplicação 2 - Trânsito interno da Refinaria Abreu e Lima 84
Figura 15: Exemplo de ambiente da aplicação 3 - Esteira de montagem 86
Figura 16: Exemplo de ambiente da aplicação 4 - áreas isoladas 87
Figura 17: Exemplo de ambiente da aplicação 4 - Plataforma Offshore 89
Figura 18: Exemplo de ambiente da aplicação 6 - grandes empreendimentos 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Adaptação da comparação entre as técnicas centralizadas e descentralizadas, com base em cinco fatores. 7
Tabela 2: Adaptação da comparação entre as técnicas de localização alcance – baseado e alcance livre. 8
Tabela 3: Adaptação da comparação entre as técnicas de rastreamento. 8
Tabela 4: Adaptação Resumo e comparação de Sistemas de Posicionamento Indoor com base na análise de desempenho de segurança, privacidade, custo, desempenho e robustez. 10

Tabela 5: Adaptação do resumo e comparação de Sistemas de Posicionamento Indoor com base na análise de desempenho de complexidade, preferência do usuário, disponibilidade e limitações. 11
Tabela 6: Soluções e sistemas de posicionamento sem fio 14
Tabela 7: Indicativo de funcionamento dos sensores relacionado à natureza dos materiais dos objetos rastreados. 34
Tabela 8: questionário de identificação de processos 1 39
Tabela 9: questionário de identificação de processos 2 40
Tabela 10: questionário de identificação de processos 3 40
Tabela 11: questionário de identificação dos materiais 1 40
Tabela 12: Tabela 11: questionário de identificação dos materiais 2 41
Tabela 13: questionário para visibilidade de pessoal 1 41
Tabela 14: questionário para visibilidade de pessoal 2 41
Tabela 15: Tabela de seleção RTLS 72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico adaptado sobre a visão geral da relação entre precisão obtida de sistemas de posicionamento e rastreio baseado em rede sem-fio com o ambiente de implementação. 70
Gráfico 2 / Radar: Avaliação dos indicativos da Tabela de seleção RTLS 75
Gráfico 3: Natureza do ativo x Limitações e Precisão 82
Gráfico 4: Custo do ativo X Precisão e Complexidade 83
Gráfico 5: Quantidade dos Ativos X Custo, Complexidade e Escalabilidade 85
Gráfico 6: Tipo do ambiente (outdoor ou indoor) X Alcance, Robustez e Tolerância a Falhas e Limitações 86
Gráfico 7: Fluxo predefinido no ambiente X Precisão, Alcance e Responsividade 88
Gráfico 8: Tamanho do ambiente X alcance, complexidade e escalabilidade 89

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O panorama atual brasileiro na área de construção civil apresenta grandes avanços tecnológicos. Podemos notar investimentos significativos despendidos nos últimos anos, principalmente nas indústrias de base como refinarias, estaleiros, mineradoras, hidrelétricas. Estes grandes empreendimentos têm por característica, na fase de construção ou mesmo operacional, compreenderem extensas áreas divididas por atividades. Podemos encontrar setores de alta produção, montagem, armazenagem, áreas de transição e de segurança, cada um com sua peculiaridade de rotina, envolvendo variáveis como maquinário, ferramentas, ativos em geral e pessoas em operação.

Todas estas atividades são de natureza dinâmica, englobam muitos processos os quais devem atender a protocolos e regras que geralmente são monitorados através de resultados. Porém, dependendo do tamanho do empreendimento, ter o conhecimento sobre todas as práticas e ainda mensurar a evolução das atividades contrapondo ao investimento aplicado e ao cronograma operacional pode ser uma difícil tarefa.

Portanto a possibilidade de identificar e rastrear pontos críticos e essenciais ao empreendimento através de processos automatizados pode ser uma poderosa ferramenta de gestão de recursos. Em especial, detectar falhas nas áreas de produção e nas áreas de risco poderá afetar diretamente o orçamento do empreendimento e o mais relevante, poderá representar uma diminuição significativa no número de acidentes de trabalho.

1.1 | Relevância e Justificativa

Segundo um estudo realizado por TEIZER (2010) sobre a dinâmica do uso das ferramentas no pátio de obras, 25% das fatalidades em uma construção acontecem por erro no isolamento das áreas de risco. Neste momento o amparo de um processo automatizado de controle pode ser imprescindível.

Com os avanços tecnológicos, a transmissão de dados sem fio vem se desdobrando em aplicações para diversos setores. O desenvolvimento de sensores remotos de baixo custo e da tecnologia de aquisição de dados tem se tornado a base de sistemas de rastreio e localização em tempo real (RTLS – Real Time Locating Systems). Desta forma, obter o posicionamento de ativos e da força de trabalho em áreas abertas e fechadas torna-se uma pratica cada vez mais viável.

Entretanto, entender ideologicamente como o rastreio dessas atividades pode apresentar ganhos no gerenciamento de estratégias é mais simples do que justificar o investimento que esta ferramenta exige. Uma barreira para a adoção tecnológica é o fato de que ao contrário dos custos de implantação, que são facilmente mensuráveis, o retorno sobre o investimento pode não ter seu valor precisamente calculado.

Isto posto, o levantamento das atividades e recursos deve ser minuciosamente detalhado e estudado, bem como os valores agregados dos ativos em vista da dimensão da cadeia de produção, deverão ser priorizados.

1.2 | Objetivo específico

Através desta dissertação, intenciona-se indicar uma base de classificação de ativos para facilitar a identificação de momentos críticos nos processos, como manuseio de ferramentas, transporte e armazenagem de materiais, controle de ferramentas de pequeno porte com múltiplos usuários, isolamento de áreas de segurança e acesso ao estoque de materiais de alto custo, entre outros. (capitulo4)

Ainda com foco nos ativos a serem rastreados, será indicado através de uma tabela o funcionamento dos sensores de rastreio em relação à natureza dos materiais dos objetos que deverão portar os dispositivos ou mesmo que podem agir como obstáculos nos ambientes de aplicação do sistema.

Mais adiante, tomando como linha principal os sensores ativos de captura e GPS - *Ground Position System*, dispositivo mais difundido e utilizado, será proposta uma tabela comparativa das técnicas utilizadas pelos diferentes sistemas de rastreio, indicando o que é possível atingir em termos de precisão, facilidade de implantação, custo e outras características. (capitulo 5)

Ambas as classificações serão baseadas em um levantamento teórico que reúne desenvolvimentos diversos de soluções RTLS. Dentre os diversos ambientes e tecnologias pesquisadas o foco desta pesquisa é apresentar sistemas alternativos e

tecnologias direcionadas para aplicação em ambientes “*outdoor*”, que compreendem áreas extensas, com ou sem cobertura, ação de equipamentos e atividades que podem gerar interferência no funcionamento dos sistemas.

Através da utilização da tabela com indicadores de capacidade de funcionamento dos sistemas de rastreio aliada à visualização da classificação de funcionamento generalizado dos sensores, deverá ser gerada uma malha de posicionamento em relação ao funcionamento dos sistema.

Portanto, o objetivo principal é obter o mapeamento da tecnologia mais adequada através da correlação e priorização de desempenho dos sensores. Com auxilio dos indicadores qualitativos elaborados para a Tabela de Seleção RTLS, intenciona-se que o usuário, independente do conhecimento técnico, consiga visualizar as necessidades que o sistema ideal deverá possuir para solucionar a efetiva demanda de seu projeto.

Desta forma, através da utilização deste método pretende-se minimizar erros de projeto e implantação, gerando escolhas mais seguras, adequadas e embasadas em um conhecimento palpável e acessível.

1.3 | Estrutura dos capítulos

Para construir um conhecimento teórico necessário e embasar a escolha da tecnologia, no capítulo 3 os conceitos principais que envolvem o funcionamento de um sistema de posicionamento serão apresentados. Na sequência são expostas as técnicas de localização e os algoritmos utilizados para calcular o posicionamento entre os componentes de uma rede, assim como a formação da mesma.

No capitulo 4, são apresentadas as três fases que compreendem a implantação desde o planejamento e estudo de caso para um sistema RTLS. A proposta elucida desde a fase de refino do objetivo até a efetiva aquisição de dados, passando por levantamento de característica e restrições do ambiente de aplicação.

Em seguida serão listadas as características técnicas dos seguintes sensores e seus respectivos sistemas: lasers Infravermelhos, radares Ultrasom, Bluetooth, RFID – Identificação por Radio Frequência, UWB – Ultra Wide band, , Zigbee e GPS. Cada tecnologia é exemplificada na apresentação de aplicações mais alternativas, ou seja, que foram desenvolvidas especificamente para áreas não convencionais, ou mesmo

não direcionadas para aplicação dos sistemas em suas melhores condições de funcionamento.

Por fim, apresenta-se uma análise de implantação e restrições para aplicação das referidas tecnologias direcionadas para o desenvolvimento e monitoramento de atividades em grandes empreendimentos.

CAPÍTULO 2 . REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados três estudos que tomaram linha de desenvolvimento e apresentação de resultados similares ao que embasa esta dissertação. Todos terminam por concluir suas propostas em tabelas comparativas ou mesmo classificatórias das tecnologias previamente analisadas.

2.1| Um levantamento de técnicas de localização e rastreamento de dispositivos móveis através de rede de sensores sem fio.

(*A survey localization and tracking mobile through wireless sensors network*)

Neste trabalho, ALHMIEDAT et. al. (2007) apresenta as técnicas mais utilizadas pelos sistemas de localização categorizando-as entre centralizadas e descentralizadas. Esta categorização diz respeito ao padrão adotado para comunicação entre os nós - sensores que coletam informações – e estão resumidas a seguir:

Técnica centralizada de localização: consiste na transmissão de dados para um "nó" central com a finalidade de localizar todos os outros "nós" interligados em rede que não possuem informações sobre suas coordenadas. Técnica segundo os autores, muito cara devido à baixa autonomia dos nós que formam a rede.

Técnica descentralizada de localização, também conhecida como técnica de localização distribuída: acontece quando cada sensor é capaz de determinar sua localização apenas com a comunicação limitada aos nós próximos. Não demanda um processamento de dados centralizado e divide-se em duas frentes, as baseadas no alcance e as de alcance livre.

De acordo com os autores deste estudo, a técnica de localização baseada no alcance envolve a determinação do posicionamento dos sensores utilizando estimativas de angulação de sinal e de distância absoluta (mais detalhes no capitulo 3 sessão 3.2), também conhecidas como ponto a ponto. Estes valores são calculados com base em indicadores de intensidade de sinal, diferença de tempo, angulação e no caso do GPS em sinais enviados por satélites.

Já a técnica de localização de alcance livre consiste em utilizar módulos de rádio frequência como base para determinar o posicionamento dos sensores. A mensagem embutida no sinal recebido pelos sensores carrega a informação necessária para o conhecimento da localização. Estas técnicas não demandam o acoplamento de hardwares adicionais e não consomem muita energia, tornando-se soluções mais efetivas em relação ao custo. Dentro desta linha classificatória, há ainda mais uma ramificação bilateral desta última técnica: técnica local e de "contador de saltos".

Esta primeira assume que cada dispositivo emissor envia sinais a partir de seus centros e se propagam esfericamente. Os sensores por sua vez, ligados em rede, são capazes de perceber estes estímulos e calculam o distanciamento entre si levando em consideração o centro de cada sensor.

Em "contagem de pulos", NICULESCU et.al. (2003) propositores da técnica, a descrevem como contagem de espaços (pulos) entre os sensores onde há pouca densidade dos mesmos. Um algoritmo toma como base essa contagem para calcular o posicionamento de cada "nó" da rede.

Na terceira seção, os autores fazem o levantamento das técnicas de rastreio que eles consideram estar divididas em três grupos: aquelas baseadas em predição, em sensoriamento e por processamento de sinais colaborativos. A primeira desempenha a predição dos movimentos futuros dos alvos móveis com a finalidade de diminuir o consumo de energia. Para resumir a essência desta técnica os autores basearam –se nas discrições e experimentos feitos por GUO *et al* (2005), YANG (2003), W, LEE (2003) e CAO, G. (2004).

O segundo grupo engloba as técnicas baseadas em sensoriamento acústico ou sísmico. Ultimamente estas técnicas tem sido aplicadas recursivamente pelo fato de obterem uma precisão muito apurada. Os autores do artigo que está sendo descrito, basearam-se nas pesquisas científicas desenvolvidas por KUSHWAHA *et al*.(2003), MECHITOV *et al*.(2003), GALSTYAN *et al* (2004), GUPTA R. & DAS S. (2003).

Por fim, o ultimo bloco de técnicas utiliza o princípio de compartilhamento de informações já processadas em cada sensor pertencente à rede. Desta maneira, os sensores com limitações no que se trata da capacidade de memória e consumo de energia, tem suas funções otimizadas uma vez que utiliza dados já processados.

Subsequentemente, os autores constroem tabelas comparativas das categorias denominadas anteriormente, relativizando-as de acordo com parâmetros de avaliação de desempenho como: custo, precisão, consumo de energia, dependência de hardwares especiais e dificuldade de implantação. A Tabela 1 demonstra a comparação entre as técnicas centralizadas e descentralizadas baseadas em cinco fatores que mensuram o desempenho dos sistemas.

Tabela 1: Adaptação da comparação entre as técnicas centralizadas e descentralizadas, com base em cinco fatores. (ALHMIEDAT 2007)

TABELA 1 | TÉCNICAS CENTRALIZADAS E DESCENTRALIZADAS		
FATORES	TÉCNICAS CENTRALIZADAS	TÉCNICAS DESCENTRALIZADAS
CUSTO	ALTO INVESTIMENTO	BAIXO INVESTIMENTO
CONSUMO DE ENERGIA	CONSOME ENERGIA	NÃO CONSOME ENERGIA
PRECISÃO	75%	75 - 90%
DEPENDÊNCIA DE HARDWARES ESPECIAIS	NÃO	SIM
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	DIFÍCIL	FACIL

A Tabela 2 se refere à comparação entre as duas técnicas de alcance que se diferem na maneira em que os sensores obtém o posicionamento dos objetos de rastreio.

Tabela 2: Adaptação da comparação entre as técnicas de localização alcance – baseado e alcance livre. (ALHMIEDAT 2007)

TABELA 2 | TÉCNICAS DE ALCANCE		
FATORES	ALCANCE CENTRALIZADO	ALCANCE LIVRE
CUSTO	ALTO INVESTIMENTO	BAIXO INVESTIMENTO
CONSUMO DE ENERGIA	CONSOME ENERGIA	NÃO CONSOME ENERGIA
PRECISÃO	90%	75%
DEPENDÊNCIA DE HARDWARES ESPECIAIS	SIM	NÃO
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	DIFÍCIL	FÁCIL

A Tabela 3 compara o desempenho dos sistemas com base nos resultado obtidos de alcance com as diferente natureza das técnicas, sendo elas: baseadas em sensores, técnicas CSP (*Collaborative Signal Processing)* e baseadas em estimativas.

Tabela 3: Adaptação da comparação entre as técnicas de rastreamento. (ALHMIEDAT 2007)

TABELA 3 | TÉCNICAS DE ALCANCE			
FATORES	TÉCNICAS BASEADAS EM SENSORES	TÉCNICAS CSP	TÉCNICAS BASEADAS EM ESTIMATIVAS
CUSTO	ALTO INVESTIMENTO	BAIXO INVESTIMENTO	BAIXO INVESTIMENTO
CONSUMO DE ENERGIA	CONSOME ENERGIA	NÃO CONSOME ENERGIA	NÃO CONSOME ENERGIA

PRECISÃO	90%	70 - 85%	90%
DEPENDÊNCIA DE HARDWARES ESPECIAIS	SIM	NÃO	NÃO
FACILIDADE DE INSTALAÇÃO	DIFÍCIL	FÁCIL	FÁCIL

Por fim os autores concluem sugerindo caminhos para implementação das técnicas classificadas na intenção de desenvolver sensores sem fio de incêndio menores, com baixo consumo de energia e mais baratos do que os já adotados usualmente.

2.2| Levantamento de Sistemas de Posicionamento "indoor" para redes sem fio Pessoais

(*A survey of indoor positioning systems for wireless Personal networks*)

O Levantamento de Sistemas de Posicionamento "*indoor*" (SPI) para redes pessoais sem fio desenvolvido por YANYING *et al.* (2009), tem como objetivo proporcionar um melhor entendimento sobre os diversos SPI`s disponíveis no mercado e soluções baseadas em pesquisas acadêmicas. Para isto, primeiro os autores fazem uma compilação da base do funcionamento tecnológico e depois constroem uma tabela avaliativa dos sistemas de acordo com parâmetros qualitativos que indicam o desempenho direcionada à aplicação dos mesmos em redes pessoais (PN - *Personal Network*)

Segundo I, NIEMEGEERS (2003) pode-se atribuir a definição de Rede pessoal (PN) à interconexão de dispositivos equipados com diferentes tecnologias e canais de comunicação que possuem a finalidade agrupar a necessidade de comunicação entre usuários posicionados em locais distintos.

Portanto, este levantamento tem por finalidade auxiliar usuários que deverão tomar decisões quanto à escolha do sistema mais apropriado especialmente utilizados

para PN's. As tabelas 4 e 5 são adaptações dos resultados obtidos da reunião de informação proposta no referido levantamento teórico

Tabela 4: Adaptação Resumo e comparação de Sistemas de Posicionamento Indoor com base na análise de desempenho de segurança, privacidade, custo, desempenho e robustez.

(YANYING et al. 2009)

Nome do Sistema	**Segurança e Privacidade**	**Custo**	**Desempenho**	**Robustez**
Active Badge	não	Preço razoável considerando *tags* e sensores baratos	NIvel de precisão obtida : 01 ambiente	Visada direta obrigatória e enterferência mediante fontes de luz
Firefly	não	Uma "*tag"* controladora e 32 "*tags"* tem um custo de $27,500	Faixa de erro abaixo de 3,0mm; Alta frequência de posicionamento ; Curto tempo de resposta	Interferência mediante fontes de luz
Optotrak	não	Caro	Precisão de 0,1mm até 0,5mm com 95% de exatidão	Visada direta obrigatória
Iris_Lps	não	Custo menor que os sistemas *Firefly* e *Optotrak*	Taxa de erro é de aproximadamente 16cm; Iris_Lps obtém resultados mais precisos que Firefly e Optotrak	Iris_Lps pode localizar um objeto estático com precisão aceitável. Para objetos em movimento, o sistema deve ser evoluído
Acttive Bat	não	Caro	Precisão de 3,0cm com 95% de exatidão	Depende da reflexão do sinal diante a obstáculos entre os *"tags"* e o receptor
Cricket	sim	Barato	Precisão de 10cm e acerto de orientação de 3º	Bom
Sonitor	não	Econômico	NIvel de precisão obtida : 01 ambiente	Alvos escondidos podem ser rastreados
WhereNet	não	Não é barato	Taxa de erro entre 2m e 3m; frequência de estimativa de posicionamento de 5 segundos a 01 hora	Ao invés de utilizar tecnologia RFID para obter a zona de localização, são utilizados sinais magnéticos
Radar	não	Solução para pesquisa orientada. Não constitui um produto.	Precisão de 4m com 50% de exatidão	Quando a precisão é baixa, a medida de posicionamento não é confiável
Ekahau	não	Econômico	Precisão de até 1m, podendo o sistema rastrear simultaneamente centenas de dispositivos	Com o auxílio de no mínimo 3 Pontos de Acesso, o sistema pode localizar alvos com uma precisão de até 1m

Compass	não	Econômico	Precisão em torno de 1,65m	O sistema considera o corpo humano como uma barreira para os sinais, utilizando bussulas digitais para melhorar o desempenho
Topaz	não	Alto custo	Taxa de erro entre 2m e 3m a nivel de 01 ambiente.	Para deixar o sistema mais robusto, utiliza bluetootj e Infravermelho simultaneamente
OPT	não	Barato	Taxa de erro entre 1,5m e 3,8m	Bom
Ubisense	não	Um pacote de componentes do sistema para pesquisa contém: 5 *"tags"* e 4 sensores / custo: $ 18,354	Precisão em torno de 15cm com curto tempo de resposta de estimativa de localização	O sistema precisa de ao menos 03 medidas fornecidas pelos sensores para gerar a localização do alvo
MotionStar	não	Rastreadores magnéticos caros	Precisão em torno de 1cm; posicionamento e orientação são estimados	Interferência com materiais metálicos
Easy Living	não	Utiliza câmeras estéreo econômicas	A precisão do sistema não pode ser garantida diante várias naturezas de interferência	O sistema não é confiável em um ambiente com condições ambientais instáveis
Beep	sim	Sensores econômico	Precisão de até 0,4cm com 90% de porbablidade de exatidão.	Fontes de som localizadas no mesmo ambiente causam interferências

Tabela 5: Adaptação do resumo e comparação de Sistemas de Posicionamento Indoor com base na análise de desempenho de complexidade, preferência do usuário, disponibilidade e limitações. (YANYING et al. 2009)

Nome do Sistema	**Complexidade**	**Preferência do usuário**	**Disponibilidade**	**Limitações**
Active Badge	baixa	Os transmissores de sinal são leves e com tamanhos aceitáveis . A vida útil da bateria é de aproximadamente 01 ano	não disponível	Informação de localização absoluta não disponível
Firefly	*baixa*	Controlador de"*Tag*" e outras *tags* não tem um formato confortável para ser "vestido"por pessoas.	Disponível comercialmente	Alcance limitado à 7m
Optotrak	baixa	Não possui bateria, os emissores são pequenos e conectados por fio à fonte de energia	Disponível comercialmente	Área de cobertura limitada
Iris_Lps	baixa	Não possui bateria; emissores pequenos	não disponível	Conflito de escolha entre precisão e cobertura

Acttive Bat	Muitos receptores são necessários para a montagem da infraestrutura do sistema	Vida útil da bateria em média 15 meses	não disponível	Implantar muitos sensores para cada ambiente é uma tarefa demorada
Cricket	baixa	Os receptores consomem muita energia, porque o calculo de posicionamento é feito pelos próprios	não disponível	Dispositivo móvel consome energia
Sonitor	Numerosos detectores fixos em cada local para rastreamento da área	"*Tags"* são pequenos e leves; vida útil da bateria de até 5 anos	Disponível comercialmente	Informação de localização absoluta não disponível
WhereNet	Complexo	"Tags" são pequenos e leves; vida útil da bateria de até 7 anos	Disponível comercialmente	A precisão fornecida pelo sistema não é boa o suficiente
Radar	O sistema usa computadores convencionais como ponto de acesso	Qualquer dispositivo WiFi pode ser usado como rastreador; os "tags"são pequenos e leves; vida útil da bateria de até 5 anos	não disponível	O sistema não possui vantagens em relação às infraestruturas WLAN existentes
Ekahau	O sistema aproveita a infraestrutura de WLAN's já instaladas; o sistema demanda muitas horas de atividade em campo	Qualquer dispositivo WiFi pode ser usado como rastreador; os "tags"são pequenos e leves; vida útil da bateria de até 5 anos	Disponível comercialmente	O sistema necessita uma calibragem em campo durante a fase de instalação
Compass	O sistema aproveita a infraestrutura de WLAN's já instaladas	Um dispositivo localizado no usuário final pode conter uma bússula digital	não disponível	O sistema não fornece informações em tempo real
Topaz	Existem muitos pontos de acesso baseados em Infravermelho , porém servidores deverão ser instalados	Os "tags" rastreados necessitam ser recarregados toda semana	Disponível comercialmente	O tempo de resposta para fornecer o posicionamento é longo (entre 10s - 30s)
OPT	baixa	"Tags" são pequenos e leves, porém a vida útil da bateria não é duradoura	não disponível	A medida de localização não é confiável
Ubisense	Baixo, somente sensores são utilizados como infraestrutura, sendo 4 sensores são capazes de cobrir uma área de 400m²	"Tags" são pequenos e leves,a vida útil da bateria é de 1 ano	Disponível comercialmente	A tecnologia UWB possui um custo elevado
MotionStar	Pequena área de cobertura com 3m de comprimento ; não escalável	Os sensores são conectados por fio à transmissores por Radio Frequência; Tranmissores RF são pesados para vestir e sua bateria dura em torno de 1 a 2 horas.	Disponível comercialmente	O sistema é projetado para rastreamento de alvos em um curto raio de alcance
Easy Living	Baixa, como exemplo, duas cameras estéreo podem abranger a áea de um ambiente (quarto)	Os usuários não necessitam carregar o dispositivo de posicionamento	Disponível comercialmente	O processamento da imagem é complexo e necessita um poderoso poder de processamento do computador
Beep	não complexo	Os usuários podem utilizar seus dispositivos pessoais como, PDA, telefone celular, etc. como dispositivos de posicionamento	não disponível	A tecnologia sonora sofre onterferência dos ruídos do ambiente

2.3| Levantamento de técnicas e Sistemas de posicionamento sem fio “indoor”

(*Survey of wireless Indoor Positioning Techniques and Systems*)

O estudo de H. Liu *et al*. (2007) tem como proposta delinear um panorama sob as técnicas e sistemas de posicionamento “indoor”. Para isto, os autores constroem um compilado de informações necessárias ao entendimento do funcionamento geral de um sistema de posicionamento. Começam pela descrição de técnicas e algoritmos de posicionamento com nomeações divididas entre triangulação, análise de cena e proximidade.

De acordo com PAHLAVAN *et al*. (2002) o princípio de triangulação utiliza a geometria para estimar a localização do alvo, com duas derivações: laterização e angulação. A técnica de análise de cena refere-se ao tipo de algoritmo que primeiro coleta informações sobre os recursos já relacionados aos componentes do cenário escolhido para, enfim, chegar a uma resposta aproximada sobre a localização do objeto desejado. Por último, proximidade é a técnica que utiliza algoritmos para gerar informações simbólicas relativas ao posicionamento. (mais informações sobre estas técnicas mencionadas adiante, no capitulo 3 – seção 3.5.2.2)

Na sequência, seis métricas de desempenho propostas por TEKINAY et al. (1998) são listadas, as quais serão posteriormente aplicadas na avaliação de sistemas baseados em sensores de posicionamento já existentes e disponíveis para utilização em ambientes fechados, restritos e controlados, como prédios.

A Tabela 6 resume a abordagem de análise comparativa construída pelos autores:

Tabela 6: Soluções e sistemas de posicionamento sem fio (H. LIU et al., 2007)

Sistema / Solução	Tecnologias sem fio	Algorítmo de posicionamento	Precisão	Exatidão	Complexidade	Escalabilidade / Dimensão espacial	Robustez	Custo
Microsoft Radar	*WLAN, RSS (Received Signal Strengh)*	*KNN,* Viterbi-like algorithm	3 - 5m	50% para 2,5m e 90% para 5,9m	moderado	Boa / 2D, 3D	Boa	baixo
Horus	*WLAN, RSS (Received Signal Strengh)*	Probalistic method	2m	90% para 2,1m	moderado	Boa / 2D	Boa	baixo
DIT	WLAN, RSS (Received Signal Strengh)	MLP, SVM, etc.	3m	90% para 5,12m para SVM; 90% para	moderado	Boa / 2D, 3D	Boa	baixo
Ekahau	WLAN, RSS (Received Signal Strengh)	Probalistic method (tracking	1m	50% para 2m	moderado	Boa / 2D	Boa	baixo
SnapTrack	Assisted GPS		5m - 50m	50% para 25m	alto	Boa / 2D, 3D	Fraca	médio
WhereNet	UHF TDOA	Least Square/ RWGH	2 - 3m	50% para 3m	moderado	Muito boa / 2D, 3D	Boa	baixo
Ubisense	unidirecionalUWB TDOA +AOA	Least Square	15 cm	99% para 0,3m	Tempor real de resposta (1Hz - 10Hz)	2-4 sensores por célula (100-1000m); 1UbiTag per object/ 2D, 3 D	Fraca	médio para alto
Sappire Dart	unidirecionalUWB TDOA	Least Square	<0,3m	50% para 0,3 m	Frequência da resposta (0,1Hz-1Hz)	Boa / 2D, 3D	Fraca	médio para alto
Smart LOCUS	WLAN, RSS (Received Signal Strengh) +Ultrasound (RTOF)	N/A	2-15cm	50% para 15cm	Médio	Boa / 2D	Boa	baixo
EIRIS	IR + UHF(RSS) + LF	Based on PD	<1m	50% para 1m	Médio para difícil	Boa / 2D	Fraca	baixo
SpotOn	Active RFID RSS	Ad- Hoc lateration	depends on cluster size	N/A	Médio	*Cluster* com no mínimo 2 *tags* /2D	Boa	médio
Landmarc	Active RFID RSS	Gaussian pocess (GP), KNN	< 2m	50% para 1m	Médio	Grande desnidade de nós distribuídos	Fraca	médio
Topaz	Bluetooth (RSS) + IR	Bayesian approach	2m	95% para2m	atraso de resposta de posicionamento de 15 -30s	Nós distribuídos a cada 2-15m	Fraca	médio
Mps	QDMA	SMP	10m	50% para 7,3m	1s	Excelente/ 2D, 3D	Boa	médio
GPPS	DECT cellular system	TIX	7,5m for GP; 7m for KNN	Mais que 50% para 1,5m	Médio	Boa / 2D	Boa	médio
Robot-based	*WLAN, RSS (Received Signal Strengh)*	Bayesian approach	1,5m	50% para 2,7m	Médio	Boa / 2D	Boa	médio
Multiloc	*WLAN, RSS (Received Signal Strengh)*	SMP	2,7m	50% para 5,4m	Baixo	Boa / 2D	Boa	médio
TIX	*WLAN, RSS (Received Signal Strengh)*	TIX	5,4m	50% para 5,4m	Baixo	Boa / 2D	Boa	médio
Pintpoint	*UHF (40MHz) (RTOF)*	Bayesian approach	1m	50% para 1m	5s	Boa / 2D, 3D	Boa	baixo
GSM Fingerprinting	GSM cellular network (RSSI)	Weighted KNN	5m	80% para 10m	Médio	Excelente/ 2D, 3D	Boa	médio

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com os avanços tecnológicos aplicados à da rede de sensores sem fio (Wireless Sensor Network - WSN) torna-se viável a possibilidade de automatização de atividades em diversos ambientes como, hospitais, fábricas ou mesmo domésticos. Esta rede de sensores empenha esforços na coleta de informações úteis para construir um ambiente inteligente.

Neste sentido, Sistemas de Localização em Tempo Real compõe uma das aplicações interessantes para WSN. Para calcular o posicionamento dos pontos de interesse, há uma relação bem determinada entre sensores, de vários tipos, responsáveis por coletar e calcular as informações com o auxílio de diferentes técnicas.

Neste capítulo iremos aprofundar na lógica de funcionamento dos dispositivos que compõem uma rede sem fio e técnicas de posicionamento. Intenciona-se construir uma base teórica com o apontamento das necessidades e requisitos tecnológicos, propiciando a adequação da essência do sistema para a finalidade pretendida.

3.1| Apresentação

As primeiras pesquisas em redes de sensores com tecnologia sem fio foram desenvolvidas na área militar, para rastreamento de soldados e bens de combate do exército, como tanques e armas de grande porte (RAPPAPORT, 1996).

Atualmente, na área civil, encontramos aplicações que possibilitam o monitoramento e rastreio de objetos em linha de produção em indústrias, reposição de estoque, controle de equipamentos na área de saúde, entre outros.

Segundo ALHMIEDAT (2008), uma rede de sensores é constituída por pequenos ”nós” distribuídos em uma área com a finalidade de monitorar eventos de interesse e/ou rastrear objetos ou pessoas em movimento. Sua principal vantagem é a possibilidade de processamento de múltiplas aplicações simultaneamente.

Estes “nós” representam individualmente os menores componentes da rede, são dispositivos eletrônicos minúsculos equipados com uma bateria que fornece energia. Os “nós” possuem um sensor para detectar características físicas externas,

um processador para executar performances computacionais e um transceptor equipado com duas vias de comunicação, para transmissão de dados.

Os “nós” possuem memória interna e apresentam as seguintes características:

1- tamanho físico reduzido.

2- baixo consumo de energia.

3- poder de processamento limitado.

4- comunicação de curto alcance.

5- memória com pequeno espaço de armazenamento.

Como representado na Figura 1, estes referidos nós são sensores que formam pequenos dispositivos eletrônicos com alimentação de baterias.

Figura 1: sensor sem-fio (ALHMIEDAT, 2008)

RTLS - Sistema de localização em tempo real *(Real- time locating systems)*

Denominação de um sistema que identifica e rastreia automaticamente objetos ou pessoas em tempo real, geralmente em locais fechados ou em uma área delimitada.

De acordo MALIK (2009) as etiquetas RTLS representam uma parte dos elementos que constituem o sistema. Possuem comunicação sem fio e são acopladas nos objetos variados, como crachás e/ou capacetes adornados por trabalhadores. Na maioria dos sistemas, estas etiquetas enviam suas identificações aos pontos de referência fixos.

Como exemplos mais comuns de aplicação RTLS, o rastreamento de automóveis que já saem de fábrica com sensores acoplados, o controle de estoque de varejo feito através de sensores aplicados em paletes e a identificação de equipamentos médicos para facilitar o uso compartilhado em ambientes hospitalares.

3.2| Conceito

A tecnologia RTLS compreende em sua camada física, geralmente, componentes que estabelecem comunicação por radio frequência ou através de tecnologias óticas para transmissão de sinais infravermelhos ou acústica, no caso do ultrasom, podendo agir em conjunto para soluções de situações específicas e customizadas.

Segundo MALIK (2009) os transmissores funcionam através de etiquetas e pontos fixos de referência podendo agir como transmissores, receptores ou ambos, gerando uma vasta gama de combinações tecnológicas.

Os sensores são partes da ferramenta de posicionamento em que se baseiam as soluções RTLS. Podem ser de diferentes tipos com princípios de funcionamento variado como geoposicionamento por GPS, rastreio de telefonia celular ou mesmo sistemas que utilizam rastreio através de etiquetas passivas de RFID. A informação sobre a localização, não costuma incluir velocidade, direção ou orientação espacial. Informações mais detalhadas adiante no capítulo 4, a partir da seção 4.5.

3.3| Histórico

O termo RTLS foi criado por volta de 1998, de acordo com RAPPAPORT (1996) para descrever uma tecnologia emergente que possui não somente a capacidade de fornecer identificação automática, como também a de gerar visualização dos dados capturados por meio de um sistema computacional.

Esta ferramenta foi utilizada a princípio por militares e agências governamentais, porém inicialmente, muito cara para ser adotada com fins comerciais. No começo dos anos 90, a primeira aplicação comercial do RTLS foi implantada em

três hospitais nos Estados Unidos, baseado em etiquetas ativas que emitiam sinais infravermelhos. (MALIK, 2009)

3.4| Características técnicas

RTLS são utilizados em sua maioria em áreas fechadas ou confinadas. As etiquetas RTLS são fixadas em itens que irão se movimentar, com finalidade de conhecer sua rotina de movimentação, traçar rota ou simplesmente contabilizá-los e monitorá-los. Pontos de referência RTLS, denominados pontos de acesso (AP- Access point), podem ser tanto transmissores quanto receptores distribuídos na área definida de alcance para coleta de dados. Na maioria dos casos, quanto mais pontos de referência são instalados, melhor será a precisão da localização até que o desempenho esbarre em restrições tecnológicas. (ANTHONY,2010)

Há alguns modelos de projetos de sistemas de localização em tempo real, porém são dois os modelos primários de rastreio:

3.4.1| Localização por “choke points”

A maneira mais simples de rastreio é a técnica de “*choke points*” constituída de leitores fixos ligados em rede que irão localizar sinais de identificação de curto alcance transmitidos por “etiquetas” em movimento. Para definir a localização, o posicionamento conhecido do leitor é comparado ao sinal emitido pela “etiqueta”.

A precisão, geralmente, é definida pelo tamanho do raio de alcance de troca de sinais entre os transmissores e receptores que compreendem a técnica do “*choke point*”. Para complementar esta técnica, o receptor pode enviar sinal à “etiqueta” em movimento, que retransmitirá o sinal por uma segunda rede sem fio, obtendo assim, sua localização.

O uso de antenas direcionais, ou tecnologias como infravermelho ou ultrasom que são bloqueadas por divisórias, podem funcionar neste caso como apoio ao sistema de “*choke point*” que tenham geometrias variadas.

3.4.2| Localização por relatividade de coordenadas

Sinais de localização de uma etiqueta são recebidos por múltiplos leitores ligados na mesma rede, estimando o posicionamento através do calculo de algoritmos de localização como trilateralização, multilateralização ou triangulação.

Uma outra maneira equivalente acontece quando vários pontos de referência RTLS são recebidos por uma etiqueta que retransmite estas informações para um processador local. Para que a localização das etiquetas seja precisa utilizando este tipo de calculo por múltiplos pontos de referência, é primordial obter o conhecimento de seus posicionamentos relativizados entre si.

Outra forma de calcular o posicionamento relativo acontece quando etiquetas móveis se comunicam entre si e então transmitem esta informação ao processador local. Na figura 2, nota-se uma representação ilustrativa das diferenças entre os conceitos absoluto e relativo. Na primeira situação o dispositivo possuirá sempre a mesma coordenada de posicionamento em relação ao leitor fixo, já na segunda situação, o fornecimento de um resultado de localização dependerá da localização de outros dispositivos que compõe o sistema.

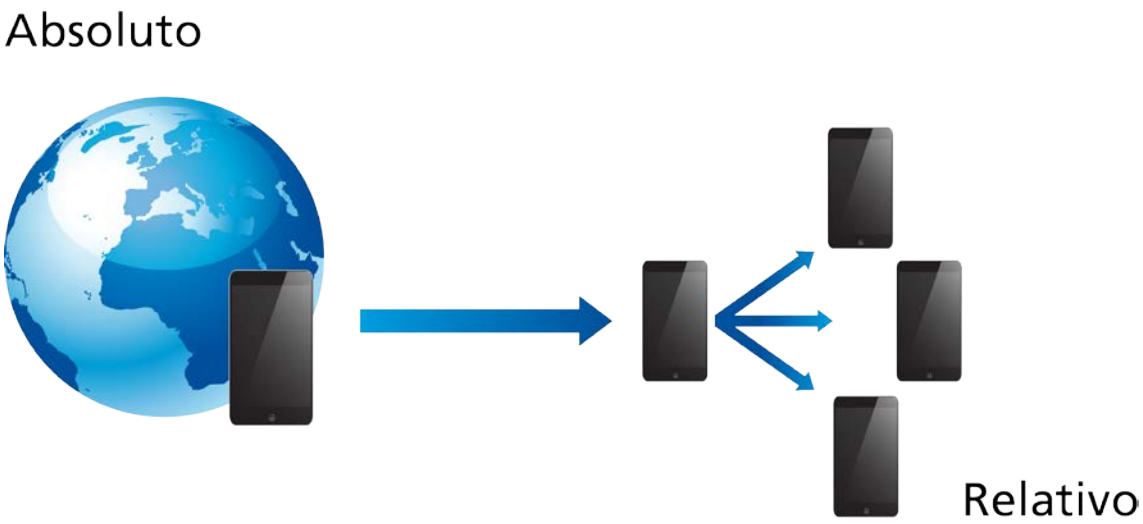


Figura 2: Ilustração comparativa do conceito entre posicionamento absoluto e relativo

3.4.3| Precisão da localização

Muitos obstáculos como uma parede, um andaime ou um móvel, podem distorcer a estimativa de posicionamento, fazendo com que a faixa de leitura tenha resultados variados.

Portanto, a precisão do posicionamento baseado em estimativas está diretamente relacionada ao alcance do sinal, com resultados em porcentagem. EX.: 90% de precisão para 10 metros de alcance.

Sistemas que usam tecnologias de localização que não ultrapassam paredes, como infravermelho e ultrasom, tendem a ser mais precisos para redes em locais

fechados, com obtenção de melhor desempenho para sistemas que utilizam etiquetas e receptores com LOS (line-of-sight) comunicação com linha direta de visão. As técnicas de localização serão apresentadas a seguir.

3.5| Técnicas de localização e rastreio.

Antes de apresentarmos os princípios das técnicas de localização, devemos fazer distinção entre os dois sistemas de rastreio, o de posicionamento e de localização. Nos sistemas de posicionamento como GPS, os dispositivos individuais, carregados por pessoas ou acoplados aos objetos, são responsáveis por enviar à central suas coordenadas. Caso contrário, outras entidades do sistema não reconhecerão seu posicionamento como descrito por BOHN (2010). Já os sistemas de rastreio por localização demandam uma infraestrutura externa para localizar os ativos que neste caso carregam dispositivos menores, mais baratos e com mais autonomia energética. Porém, o custo da infraestrutura pode ser proibitivo para certas aplicações , uma vez que o alcance da cobertura do sistema é bem limitado CHENG (2011).

Os sistemas de localização são categorizados de acordo com as técnicas utilizadas para estimar a localização dos dispositivos móveis.

Segundo TAPIA et al (2011) um sistema de localização é basicamente constituído por três entidades, sensores fixos, módulos móveis e um elemento que irá gerir a rede de dispositivos ou sensores, dependendo da tecnologia adotada. Os módulos móveis, são monitorados por unidades fixas que são posicionados em níveis superiores ao resto dos componentes do sistema. A própria rede, ou um terminal central ligado a esta, processam a informação capturada chegando a uma definição de posicionamento. A seguir apresenta-se um resumo das técnicas de localização e posteriormente o funcionamento dos algoritmos utilizados nos sistemas de localização.

3.5.1| Identificação direta

Trata-se dos dispositivos que são detectados somente quando aproximados ao leitor, que podem estar acoplados a antenas ou mesmo à portais. Como exemplos podemos observar os sistemas baseados em infravermelhos, nos quais a informação é transmitida quando emissor e receptor estabelecem contato visual. Outro exemplo é o caso dos sistemas baseados em “*radio-frequency identification”* (RFID) presentes, por exemplo, nos cartões de acesso à áreas restritas .

3.5.2| Diferença do tempo de emissão e percepção do sinal

Esta técnica consiste na percepção da diferença do tempo entre a propagação do sinal, considerando a emissão e a chegada aos receptores componentes da rede. É necessário conhecer previamente a velocidade em que o sinal se propaga para que em conjunto com a medição do tempo, ocorra a estimativa da distância do dispositivo em relação à vários pontos referidos. Dentre as técnicas baseadas neste conceito, as mais utilizadas são: *Time-of-Arrival* (ToA), *Times-Difference of Arrival* (TDoA) e *Time-of-Flight* (ToF).

a- Tempo de chegada - Time of Arrival (ToA):

O receptor marca o tempo de chegada (ToA) e relativiza ao instante do início da transmissão .

Segundo Pags-Zamora (2006) um pequeno desvio de 1μs na medição do tempo poderá acarretar em um erro de centenas de metros. Para que este erro seja evitado é necessário que a rede esteja sincronizada.

b- Diferença de tempo de chegada - Times-Difference of Arrival (TDoA):

De acordo com HJELM, J. (2006) para mensurar o tempo de transmissão através do uso desta técnica, geralmente os sistemas empregam duas tecnologias com velocidades distintas de propagação. A diferença de chegada em relação ao início da transmissão dos sinais de ambas tecnologias são calculadas. À medida que se conhece o valor da diferença de tempo, pode-se estimar a relação distância-tempo. Na figura 3, observa-se a representação de calculo por estimativa TDoA.

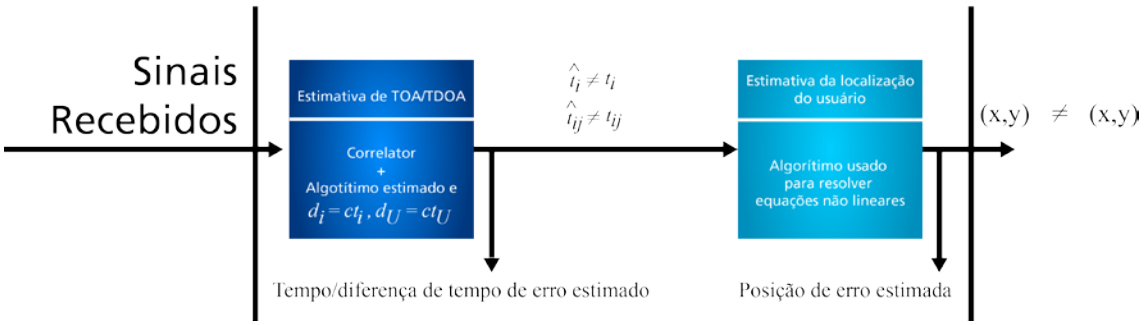


Figura 3: Esquema da estimativa de posicionamento através da diferença de tempo do sinal recebido . Adaptado de HJELM.J. (2006).

c- Tempo de vôo -Time-of-Flight (ToF):

Esta é uma técnica de fácil implementação que mensura o tempo em que dois pontos levam para se comunicar. A contagem do tempo inicia quando o sinal parte do emissor e termina no instante em que a resposta retorna. A compensação do tempo de processamento (tP) do receptor, conforme HJELM,J. (2006) é feita através da divisão do tempo pelos dois sentidos da comunicação, o emissor adota o tempo de transmissão (tT), aplicado para calcular as distâncias e determinar as posições relativas entre o emissor e receptor.

d- Ângulo de chegada – AoA (Angle of arrival)

Através do conhecimento prévio da distância entre os vários receptores e dos ângulos de chegada detectados em cada ponto de referência, é possível estimar a posição do objeto através de funções trigonométricas como detalhado na figura 4.

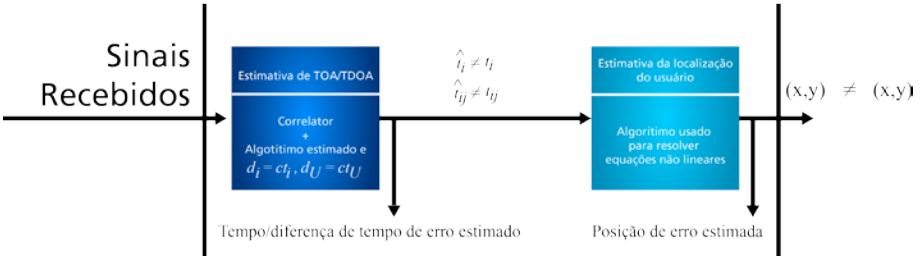


Figura 4: Esquema da estimativa de posicionamento através do ângulo do sinal recebido. Adaptado de HJELM.J. (2006).

e- Indicação da força do sinal recebido - *Received-Signal-Strength-Indication* (RSSI)

RSSI são valores que possibilitam um sensor determinar a localização de um dispositivo móvel, quando há aproximação entre eles, por intermédio da análise da intensidade do sinal recebido. A partir destes valores RSSI, há também a possibilidade de conhecimento da localização através da interpolação das esferas de alcance de três sensores calculados à partir de seus centros. A área que coincidir será a provável localização do dispositivo em questão. Este método é nomeado por Triangulação, (descrito mais adiante em **3.5.2 .3**)

f- Localização por padrão - *Fingerprinting*

Para a obtenção de uma maior precisão, existe a técnica de "*Fingerprinting"* ou localização por padrão, que calcula o posicionamento através da intensidade dos sinais recebidos e seu comportamento padrão, no que diz respeito principalmente sua localização formando assim uma base de dados.

Esta técnica divide-se entre a fase "*online"* e a "*off-line"*. Na fase "*off-line",* através de valores *RSSI* são mapeados os pontos numa área de interesse, durante a fase "*online"* este mapeamento é utilizado para criar os parâmetros do modelo de propagação. Segundo KAEMARUNGSI (2005), a localização da estação móvel é determinada através da identificação dos pontos mais próximos pertencentes à base de dados "*Fingerprinting*".

Quanto maior a densidade de pontos indicados para criar o modelo, melhor será a calibragem, porém mais alto será o investimento. Outra desvantagem desta técnica é que além de ser um processo que demanda esforço e tempo para a construção da base de dados, sempre que houver uma alteração da definição da área de interesse, o mapeamento terá que ser refeito.

Pode-se apontar como vantagem, o fato da estação móvel não precisar procurar por sinais em todos os pontos de referencia para obter o rastreamento dos dispositivos. Esta técnica utiliza apenas a base de dados previamente calculada.

3.5.3| Algoritmos de Localização

Para decodificar a propriedade dos sinais em medidas de distância ou ângulo, diferentes algoritmos são utilizados e é neste momento que princípios de trigonometria podem ser aplicados.

O algoritmo de posicionamento independente da rede utilizada, tem como finalidade derivar o posicionamento à partir da informação que o sensor gera e subsequentemente, relativizar ao posicionamento do ponto conhecido, mesmo para o posicionamento absoluto. Em ambientes externos ou internos os algoritmos aplicados são os mesmos.

Para determinar qual algoritmo será aplicado ou a combinação entre eles, no caso da maioria dos sistemas, diversas condições devem ser avaliadas como: recursos tecnológicos disponíveis, a frequência de atualização requerida e o tipo dos dados disponíveis.

De acordo com HJELM,J. (2006) existem quatro tipos de algoritmos que derivam a informação de posicionamento, diferenciando-se entre si de acordo com o processamento dos parâmetros métricos, são eles:

- Baseado em Identificação por célula (Cell ID)

- Proximidade

- Triangulação

- Trilaterização

Uma vez que a fase de treinamento é finalizada, dá-se inicio a fase de treinamento de dados que irá delinear um mapa das características da área onde o algoritmo será aplicado. A última fase é referente ao posicionamento, quando o usuário poderá comparar sua localização com a informação dos pontos de acesso mapeados.

De um modo geral, algoritmos funcionam melhor com diferentes densidades e alcance dos pontos de acesso (AP's). Dependendo da situação e obtendo a contabilização dessas variáveis, a escolha do algoritmo poderá ser automaticamente intercalada.

3.5.2.1| Identificação por célula

Esta solução é utilizada na maioria dos sistemas com base em rede, a localização é derivada de informações pré-existentes gerando a identificação do local e da sessão que a célula se encontra. O reconhecimento da estação base seleciona o local e a setorização acontece com a identificação da antena que está recebendo o sinal.

Este método funciona bem para redes como GSM - Sistema Global para comunicações móveis (*Global System for Mobile Communications*) e *Wi-Fi* [1]*.*

Os sistemas que utilizam esta técnica podem funcionar de duas maneiras descritas a seguir. Em um dos modos, o terminal recebe informação da célula através da rede e com o apoio de um banco de dados determina o posicionamento da célula. O outro modo, o terminal envia sinal à rede que determina qual célula o mesmo se

[1] *Marca de dispositivos que compõem uma rede com comunicação sem fio baseados no Padrão IEEE 802.11*

encontra. O primeiro modo obtém mais precisão devido ao apoio das informações previamente mapeadas.

Por fim, duas operações podem interferir no Protocolo do Sistema. Denominadas “*move*” (atualizações da localização) e “*find*” (método de atualização por interrogação). A primeira propaga as informações por algoritmos que seguem a ordem dos diretórios. A segunda, pode direcionar as informações à diferentes níveis de hierarquia, gerando padrões recursivos. Estas operações podem ser alternadas automaticamente para minimizar o tráfego de informações e consequentemente, quedas do sistema.

3.5.2.2| Proximidade

Este método deriva a localização através da estimativa de proximidade do objeto rastreado em relação a um componente do sistema com posicionamento conhecido, como exemplo um ponto de acesso que já possui sua identificação mapeada. Este é um caminho simples, que dispensa estimativa de parâmetros e algoritmos complexos. Uma vez que a informação do posicionamento dos pontos de acesso é facilmente disponibilizada pela rede sem fio, a precisão do sistema dependerá apenas do raio de alcance dos pontos de acesso. Porém este método não pode determinar estimativas relativas ou absolutas de posicionamento.

3.5.2.3| Triangulação

O sistema de gerenciamento da rede sem fio recebe em resposta a uma chamada um sinal com a definição da intensidade de cada ponto de acesso. O sistema determina para cada ponto de acesso que respondeu ao estimulo, círculos que representam o alcance máximo de cada sinal. Por triangulação, o algoritmo calcula a distância á partir do centro dos pontos de acesso até a intercessão de no mínimo três círculos, portanto, obtêm-se a localização do chamado dispositivo “desejado”. Os sinais emitidos em reposta à partir do ponto de acesso, carregam indicadores de intensidade que serão interpretados pelo gerenciador do sistema – RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). Tratando-se ainda do recebimento do sinal, podemos identificar outros parâmetros mensuráveis, como tempo (*TOA)* e ângulo (*AOA*) que serão tratados mais a frente. (CALDAS, 2007)

Para aplicação desta técnica, o sistema conta ainda, com um banco de dados que armazena valores de distorção que podem acarretar alterações na propagação dos sinais. Interferências como paredes e equipamentos com posicionamento

conhecido que irradiam sinais de mesma frequência podem ser modelados e classificados como barreiras. São os chamados filtros para minimizar obstruções em comunicações por visada direta LOS (*Line-of-sight*).

As vantagens serão listadas a seguir:

- Custo baixo

- Pequeno adicional de participação (overhead)

- Requer apenas a localização do ponto de acesso.

Desvantagens incluem:

- A existência de barreiras físicas pode reduzir a intensidade dos sinais, prejudicando resultados.

- A medição da força dos sinais para pontos localizados em um raio de até 5m pode ser quase idêntica.

1- Laterização (Lateration)

Triangulação é dividida em uma subcategoria de laterização, que por sua vez utiliza duas abordagens distintas “tempo de vôo”(Time-of-flight) ou atenuação (attenuation). Como dito anteriormente, valores primários como distância relacionados com tempo e angulação são parâmetros de analise para obtenção do posicionamento do dispositivo desejado.

Neste caso, segundo HJELM,J. (2006) para calcular uma distância em um plano de duas dimensões é necessário o conhecimento de três pontos não-colineares, para planos em três dimensões quatro pontos não-coplanares serão requisitados.

1a -Tempo de vôo (TOF - Time-of-flight)

Uma das abordagens, denominada “tempo de vôo” (TOF) se refere à diferença de tempo entre a emissão do sinal e chegada ao receptor.

Outra maneira de utilizar o tempo para mensurar a distância é conhecer o tempo de chegada (**TOA- time-of-arrival**). Este cálculo é possível quando se conhece a velocidade de chegada ao receptor que é igual a multiplicação do alcance pelo tempo. Ressalta-se o fato de que os sinais viajam através do ar na velocidade da luz, 3 x 108m/seg e irradia em todas as direções, formando uma esfera. (HJELM,J. 2006)

1b - Atenuação (attenuation)

Já a atenuação trata-se da diminuição relativa de intensidade à medida que o sinal se afasta do emissor.

Em ambientes com muitas obstruções, o resultado final poderá perder em precisão, pois o sinal pode sofrer reflexão, refração ou ainda dividir-se em múltiplos caminhos (*multipath*).

1c - Angulação

E por fim, angulação é um método similar a laterização, exceto pelo fator de medida, ao invés de distâncias, os ângulos de chegada do sinal ao receptor são parâmetros de mensuração de posicionamento.

1d- Ângulo de chegada (AOA – Angle-of-arrival)

Uma rede de antenas com espaçamento determinado entre elas calculam o tempo de chegada dos sinais (TOA). Com a informação da diferença entre os tempos de chegada e o conhecimento da geometria do posicionamento das antenas, é possível calcular o ângulo de chegada dos sinais.

2- Trilaterização (trilateration)

É o método de determinação do posicionamento de um dispositivo sem fio em função da medida entre o mesmo e cada ponto de acesso que formam uma rede. Neste caso, o calculo é desempenhado pelo próprio dispositivo através dos indicadores de intensidade do sinal recebidos – *(RSSI Received Signal Strengh Indicator)*

A organização das atividades e dos atores diferencia da técnica de triangulação, no sentido de que a trilaterização considera que uma rede de sensores irá detectar e difundir por radio frequência os sinais emitidos pelos dispositivos sem fio.

A distância de cada sensor é presumida com base no mapa de cobertura circular dos sinais emitidos pelo dispositivo. Com o posicionamento dos sensores estipulados, um conjunto de medidas de distâncias de cada sensor é listado. Portanto, a localização do dispositivo acontece quando a direção dos sinais e, por conseguinte, os pontos intercessores são identificados.

Uma das técnicas mais simples, no caso deste método que é a identificação do ângulo de chegada (AOA), requer ao menos dois sinais distintos de pontos de acesso já mapeados. Sobrepondo as áreas de transmissão de dois pontos de acesso, o receptor poderá ser localizado. Esta técnica não requer cálculos complexos, porém depende de um banco de dados com o posicionamento dos pontos de acesso.

Este algoritmo de localização também sofre perdas significativas de precisão diante de alguns fatores ambientais, acarretando em interferências já citadas como reflexão, oclusão, refração e atenuação.

CAPÍTULO 4. DEFINIÇÃO DE ATIVOS E AMBIENTES

A construção e operação de uma grande instalação compreende a fabricação de materiais, montagem e desenvolvimento de processos na área de construção, onde operários executam atividades com auxílio de ferramentas e dão prosseguimento às tarefas de acordo com as especificações apresentadas no projeto.

Rastrear e mapear as atividades dos recursos no pátio de construção como materiais equipamentos e colaboradores é uma operação necessária para automatização do desempenho a partir do projeto. Esta ação permite que a equipe de gerenciamento de projeto faça análises e planejamento de possíveis ações corretivas através da visualização e monitoramento em tempo real aumentando as chances de prevenção de falhas, perdas e acidentes.

Na Figura 5, vê-se um sistema com visualização dos dados capturados em campo. observa-se uma situação ilustrativa em que os dados capturados em campo são visualizados em tempo real, compondo uma ferramenta de monitoramento e gerenciamento de recursos.

Figura 5: Sistema com visualização dos dados capturados em campo.

Neste capitulo será apresentada uma sugestão de alinhamento de etapas e formulação de conceito para a construção de uma metodologia de apoio à tomada de decisão. As funcionalidades são definidas à medida que se conhece o ambiente em conjunto com as possíveis limitações e avanços tecnológicos. O ambiente selecionado para estudo será apresentado na seção 4.2 a seguir. Esta ambientação delimita o cenário de estudo, indicando o objeto de interesse, neste caso os ativos prioritários para o funcionamento de um empreendimento (seção 4.3).

Intenciona-se construir uma base consistente com o esclarecimento das atividades de escolha e decisão de processos que antecede a seleção do sistema ideal para as necessidades do empreendimento delimitado.

4.1| Classificação do ambiente para grandes empreendimentos: Outdoor vs Indoor

Entende-se por "*indoor*" ambientes em que há uma delimitação do espaço palpável, com obstáculos previamente conhecidos, ou mesmo previsíveis. Ambientes como prédios, subdivididos entre paredes ou entre andares e pontos fixos de entrada e saída, são exemplos característicos de "*indoor*".

Para este estudo podemos classificar ambientes "*outdoors"* como áreas não cobertas, porém, sem o pressuposto de estarem livres de obstáculos. No caso de grandes empreendimentos, nicho escolhido para aplicação deste estudo, trata-se de uma área sobretudo extensa, podendo apresentar subdivisões e principalmente interferências não controláveis e muitas vezes não mensuráveis. É importante ressaltar a coexistência de uma diversa gama de materiais, como metais, líquidos, plásticos e também ferramentas que podem gerar ondas eletromagnéticas, vibrações, entre outras.

Estes ambientes apresentam maior complexidade no que se refere ao controle da relação entre os dispositivos que formam a rede sem fio e os alvos de rastreio. A instalação de antenas em pontos estratégicos para monitoramento de certas atividades pode acarretar uma quebra no fluxo das atividades naturais do empreendimento. Portanto há que se fazer um estudo aprofundado do espaço físico e principalmente das rotinas de trabalho ali realizadas.

O fato do custo inicial da infraestrutura necessária aos sistemas RTLS ser alto e a deficiência de soluções completas que contornem as dificuldades já citadas, justifica e motiva a restrição deste estudo para grandes empreendimentos, como

hidrelétricas, mineradoras, refinarias, estaleiros e construção civil. Neste caso, o custo do investimento inicial de implementação pode ser diluído diante do montante total do orçamento do empreendimento. Conclui-se, portanto, que esforços para otimização de tarefas podem acarretar em ganho de tempo, mesmo que pequeno o que poderá gerar uma economia significativa para um empreendimento de grande porte.

4.2| Processos e métodos de definição dos ativos

Se por um lado, ambientes "*outdoors*" podem incorrer em mais dificuldades para o desenvolvimento da solução de RTLS, os resultados podem ser bem satisfatórios e justificáveis comercialmente. Os efeitos da obtenção do conhecimento de ativos como materiais, ferramentas, maquinário e pessoas são variáveis consistentes para basear o retorno sobre investimento.

A evolução de um projeto pode ser mensurada através da comparação do que foi desejado previamente e o estágio de evolução real apresentado. A dificuldade neste caso, esta na definição dos valores que avaliam os indicadores de desempenho. No caso de grandes empreendimentos, em fase de construção ou mesmo operacional, estes indicadores irão permear entre produtividade efetiva dos funcionários, material consumido ou desperdiçado, custo dos processos e por fim o calendário das atividades.

Definir um método de avaliação e hierarquização dos insumos de trabalho pode ser um passo imprescindível para que se torne possível a implantação de ferramentas de monitoramento e automatização de processos.

Uma vez que a natureza do ambiente de trabalho, dos materiais, ferramentas e a própria rotina de trabalho de cada empreendimento pode ser bem diversa e mesmo instável, propomos uma espécie de roteiro com diretrizes que irão auxiliar uma fase imprescindível para a implementação de um sistema de monitoramento: a coleta de dados. Uma vez que a revisão da literatura não apresenta um caminho automático para a definição das diretrizes e para tornar o escopo do projeto mais consistente definindo pontos críticos e identificando lacunas de produtividade, sugere-se uma abordagem que deverá transformar parâmetros indiretos em indicadores de necessidade. A avaliação deverá seguir pelo seguinte caminho:

I- Existem parâmetros indiretos [2]?

II- Caso existam, como podem ser mensurados?

III- Uma vez coletados e classificados, como podem ser convertidos em parâmetros diretos [3] para analise e futuramente desempenhar melhorias efetivas de processo?

Antes de tomar decisões enquanto aos ativos e atividades que serão monitoradas, é preciso compreender que a operacionalização de um RTLS depende de cinco camadas: objetos rastreáveis através de sensores ativos (classificados no capitulo anterior), objetos inteligentes, possíveis portais inteligentes, chão de fábrica inteligente e aplicativos de sistemas gerenciais.

Os portais são necessários ao emprego de tecnologias que para estabelecer comunicação, necessitam de visada direta. Neste caso a delimitação do espaço e conhecimento dos ativos interferem diretamente na adequação da tecnologia em relação ao alcance necessário.

4.2.1| Definição do objetivo e parâmetros indiretos: materiais, maquinário e pessoas

Informações bem apuradas em tempo real sobre materiais, maquinários e pessoas, tornam-se uma ferramenta importante de apoio aos gerentes de projeto. Segundo FLANAGAN (2008) o principal objetivo de formular um meio de coletar e mensurar insumos estratégicos é garantir que informações precisas estarão disponíveis sempre no tempo certo, com o formato certo, para as pessoas que irão ter suporte para a tomada de decisões.

Durante a fase de definição dos parâmetros indiretos é interessante a integração com os já existentes sistemas de gerenciamento de projeto (PM's - Project Management) que abordam critérios de desempenho de sucesso como custo, qualidade e tempo conhecido como a Pirâmide de Gerenciamento de Projeto.

---

[2] Entende-se parâmetros indiretos por ativos como materiais, equipamentos, ferramentas e pessoas que possam ter seus trajetos e atividades rastreadas e delimitadas.

[3] Parâmetros diretos são indicativos de resultado deste monitoramento em forma de dados que irão servir de base para automatização das rotinas e processos do empreendimento.

Neste momento, enumeram-se os ativos que serão rastreados de acordo com a ordem de prioridade dentro do contexto de funcionamento do empreendimento.

Abaixo iremos apresentar as características relevantes no que se trata dos diferentes tipos de ativos em relação à natureza dos materiais e restrições, para que futuramente haja a escolha adequada da tecnologia.

4.2.1.1| Materiais: Inventário e Controle de Qualidade

Sobre os elementos que compreendem a indústria de grandes empreendimentos, segundo CHENG et. al. (2011) materiais de construção, ferramentas para instalação e de base contabilizam de 50 a 60% do total do custo da construção. Durante a fase de projeto, estes materiais são classificados entre três categorias:

- *Off-the-shelf*: de prateleira (fácil reposição)

- *Long-lead Bulks*: itens a granel

- *Engineered items*: itens de engenharia (difícil reposição)

Estas diferentes categorias variam em custo, tempo de espera para fornecimento e reposição.

Geralmente, itens de engenharia possuem um alto custo e são em pequenas quantidades, com propriedades únicas, requerendo um longo tempo para fornecimento e maior planejamento para seu uso em campo.

a - Composição dos materiais

A natureza do material pode ser um impeditivo para certos sensores. Materiais metálicos, transparentes, líquidos causam interferências, prejudicando o funcionamento de algumas tecnologias. Iremos apresentar mais adiante uma tabela que classifica o desempenho das tecnologias em relação ao material.

O valor do ativo no contexto do processo e a facilidade de reposição dos mesmos são fatores que também irão direcionar a escolha dos sensores, pois muitas vezes o investimento na tecnologia poderá ser maior do que o retorno gerado.

Os requisitos de armazenagem, o manuseio e o transporte também irão definir o desenho da estrutura que será construída para o funcionamento dos RTLS. Como

exemplo, deve-se relacionar a maneira de armazenamento de acordo com os meios de empacotamento: paletes, caixas de metal, packs de papelão.

Os meios de transporte, no caso dos materiais que são deslocados, também podem definir a estrutura. Como exemplo, deve-se dimensionar o porte de caminhões e empilhadeiras para adequar a montagem de portais de monitoramento.

Baseado nas restrições técnicas dos sensores ativos e GPS, base dos sistemas de rastreio, construiu-se uma tabela que relaciona a natureza do material dos possíveis alvos rastreáveis com as limitações de funcionamento dos sensores apresentadas diante estes materiais. Na Tabela 7 - Indicativo de funcionamento dos sensores relacionado à natureza dos materiais dos objetos rastreados, entende-se **X** (cor vermelha) para situações em que não há um bom funcionamento, ou mesmo que ocorrem falhas impeditivas. No caso do sinal **V** (cor verde), há a possibilidade de aplicação e o funcionamento do sistema não estará atrelado às condições inter-relacionadas na tabela. Porém, há que se ressaltar o fato de que em algumas situações marcadas por **X**, pode-se contornar esta dificuldade de funcionamento com soluções híbridas de hardware, ou mesmo, aumentando a quantidade de antenas para ultrapassar os obstáculos.

Estas informações foram retiradas de testes apresentados em diversos estudos que construíram o embasamento teórico dessa dissertação.

Tabela 7: Indicativo de funcionamento dos sensores relacionado à natureza dos materiais dos objetos rastreados.

sensores / natureza dos materiais	IV	US	BT	UWB	RFID	ZIGBEE	GPS
Líquido	V	V	V	X	X	V	V
Vidro	V	V	V	V	X	V	V
Metal	X	X	X	X	X	V	V
Madeira	X	X	V	V	V	V	X
Plástico	X	V	V	V	V	V	V

4.2.1.2 | Maquinário

É possível acoplar sensores aos equipamentos, permitindo a localização de ferramentas de pequeno porte que permeiam entre diferentes equipes e são imprescindíveis às atividades.

Estes sensores podem armazenar informações de uso destas ferramentas, como hora, local e quem as manuseou. Estes dados podem indicar o desgaste dos equipamentos aos técnicos responsáveis definindo o momento correto de operar manutenção.

Os sensores podem conter informações sobre permissão de uso, relacionando a ferramenta ao operador que está habilitado.

4.2.1.3 |Pessoas : monitoramento de áreas de segurança

Segurança é uma das áreas que podem alcançar grandes melhorias através da aplicação do recurso de localização e rastreio em tempo real. A automatização do monitoramento de áreas de risco pode apresentar uma melhoria efetiva no desempenho dos funcionários e diminuição de acidentes, porém é importante ressaltar que este processo não significaria uma substituição do monitoramento feito por pessoas/funcionários, pois apresentam vantagens distintas.

Para dar início ao planejamento, é necessário fazer um levantamento geral do comportamento dos operários. As medidas de segurança e as possíveis restrições da área de trabalho são informações que devem ser inter-relacionadas para que os riscos sejam mapeados e avaliados corretamente. A ocorrência de riscos aumenta quando os trabalhadores operam longe dos fiscais de segurança, fora das zonas de controle ou perto de locais limítrofes das áreas de trabalho.

A medida primordial para evitar riscos é o esclarecimento da possibilidade de riscos e o treinamento com medidas preventivas que deve ser passado àqueles que ficaram responsáveis pelo controle das atividades nos locais de atividades efetivas. Da mesma forma, os trabalhadores devem receber treinamento prévio, antes que as atividades sejam iniciadas. É importante ressaltar que a previsão das atividades, com suas rotinas e prevenção de riscos deve ser planejada durante a fase de projeto (*PTD - Prevention through Design*). Para isto, é imprescindível que se tenha o dimensionamento da área e da trajetória dos recursos. O monitoramento e análise da rotina dos trabalhadores, o manejo de ferramentas e ativos devem ser delineados para

que se possa corrigir o projeto alcançando melhorias na segurança e execução das atividades.

Como exemplo, é possível permitir ou negar o acesso de pessoas da equipe à áreas restritas. O que evitaria a exposição de pessoas à áreas de risco ou mesmo evitaria o contato de pessoas indevidas à locais em que são armazenados objetos de alto valor ou até com teor de contaminação.

a- Monitoramento de atividades

No caso de pessoas, os sensores são acoplados em objetos que farão parte do uniforme dos funcionários, como crachás ou etiquetas acopladas aos capacetes.

Estes acessórios poderão gravar informações de horário, por exemplo, permitindo que suas jornadas de trabalho sejam automaticamente monitoradas. Podem também funcionar como chaves de acesso a áreas que os gerentes irão determinar como apropriadas ou não para cada funcionário. Esta automatização aumentaria o controle em relação a objetos extraviados, evitando ainda o constrangimento daqueles funcionários que podem não possuir relação alguma com o ocorrido.

Os crachás podem servir como chave de acesso a determinadas ferramentas, restringindo a utilização somente aos funcionários que possuem treinamento.

Outra funcionalidade deste rastreamento é gerar informações como tempo de execução de tarefas e locais pelo quais os funcionários estão transitando. Estes são fatores que servirão de ferramentas para análise de desempenho da equipe.

Na figura 6, nota-se uma representação da implementação em campo do sistema de monitoramento dos funcionários, onde o número 1 indica um portal fixo de leitura de sinal (receptor) e o número 2 representa as etiquetas transmissoras de sinal com informação carregadas pelos funcionários.

Figura 6: Esquema representativo de monitoramento de operários

4.3| Definição da estratégia de projeto: tomando decisão enquanto a adoção do sistema em nível organizacional do empreendimento

Em um nível empresarial há que se entender o ciclo dos ativos que motivam a implantação do sistema, para que se possa traçar uma estratégia assertiva. Podem permear entre os seguintes ciclos: Aberto e Fechado. Abaixo serão enumeradas características que o sistema deverá apresentar adequando-se a cada ciclo.

a- Soluções para Ciclos Abertos

As Soluções para Ciclos Abertos abrangem várias organizações e/ou locais e tendem a beneficiar múltiplos setores da indústria como controle de itens no varejo e rastreamento de matéria-prima.

O "*Business Case*" para ciclos abertos é mais complexo de desenvolver, pois torna-se necessário identificar problemas dentro de toda a cadeia de suprimentos. Deve-se quantificar o valor da informação em vários pontos e por várias partes interessadas, avaliando-se os benefícios de naturezas diversas.

Determinar um mecanismo adequado para a partilha de custos de implantação, identificando as diferentes aplicações que poderão usufruir da mesma infraestrutura. Desta forma, o investimento inicial para uma aplicação pode oferecer benefícios adicionais, pois os custos do suporte será compartilhado e diluído. Como exemplo de compartilhamento, a mesma solução implantada para identificar a entrada e saída de ativos pode servir para melhorar o controle da manutenção destes.

b- Soluções para Ciclos Fechados

As soluções para Ciclos Fechados resolvem problemas específicos como, ativos perdidos, roubados, extraviados, falhas de fabricação, armazenagem que gera desperdícios e tempo perdido devido à falta de conhecimento na execução de atividades.

Este “business case” apresenta menos dificuldades do que anterior, pois os problemas serão identificados dentro de uma organização somente. Portanto, a quantificação de perdas que se relacionem aos ativos se torna mais direta e controlável. Em termos de investimento, a mesma organização que paga pela implantação experimenta os benefícios.

4.4 | Análise do local: levantamento das restrições do ambiente de implantação RTLS (*Site Survey)*

Uma atividade determinante para a boa aplicação do sistema de rastreio é a análise do local no qual o campo de monitoramento irá funcionar. Através da observação das rotinas de execução de tarefas, devem-se delimitar as condições favoráveis e mesmo limitações que o espaço oferece. Desta forma, a instalação do meio de captura de dados deverá ser indicada, para que na fase seguinte em conjunto com as informações técnicas dos sensores obtenha-se a escolha final do sistema. As informações coletadas irão ajudar, por exemplo, na escolha entre estruturas de captura como portais ou leitores de mão.

Esta fase influencia diretamente na possibilidade de acerto, uma vez que a boa adaptação da equipe em relação ao sistema está diretamente ligada a pouca mudança de hábitos operacionais. Na figura 7 observa-se uma ilustração do funcionamento de um portal em áreas em que há fluxo de caminhões e outros transportes

Figura 7: Esquema representativo de portal de captura de sinais de identificação. Parte do sistema de localização. 1 – Portal com antenas / 2 – Caminhão com etiquetas RTLS

A seguir sugestões de formulários (tabela 8 a tabela 14) para auxiliar na definição de atividades e levantamento de informações que deverão conter na formulação de um *"site survey"* , através da analise do local.

a- Levantamento da delimitação da área física:

Foram listadas abaixo algumas situações, atividades e ativos que poderiam ser finalidade ou ambiente para aplicações RTLS. O conhecimento e levantamento de especificações das rotinas destas atividades e particularidades dos ativos irá ajudar a construir o conceito do projeto de monitoramento.

Identificação dos processos envolvidos:

Tabela 8: questionário de identificação de processos 1

Qual a rotina dos ativos dentro do empreendimento?	○ TROCAM DE SETORES ○ MANUSEADOS POR DIFERENTES USUÁRIOS ○ MATÉRIA PRIMA PARA OUTRAS ETAPAS ○ SAEM E VOLTAM PARA O ALMOXARIFADO ○ SAEM E NÃO VOLTAM PARA O ALMOXARIFADO

Tabela 9: questionário de identificação de processos 2

Qual destes ambiente os ativos irão transitar?	○ FECHADO ○ ABERTO ○ ABERTO E FECHADO	○ FORA DAS IMEDIAÇÕES ○ DENTRO DAS IMEDIAÇÕES ○ SUBTERRÂNEOS ○ AQUÁTICOS

Tabela 10: questionário de identificação de processos 3

Como são transportados?	MEIO DE TRANSPORTE (caminhões / empilhadeiras)	○ PEQUENOS /INTERNOS ○ GRANDES /INTERNOS ○ GRANDES /EXTERNOS
	DENTRO DE CAIXAS/ EMBALAGEM	○ PAPELÃO ○ PLÁSTICO ○ METAL ○ OUTRA _____

b- Identificação dos materiais e maquinários que serão :

Tabela 11: questionário de identificação dos materiais 1

Qual a classe dos ativos?	fácil reposição ○ difícil reposição ○	○ grandes quantidades ○ médias quantidades ○ pequenas quantidades
	ÍTENS A GRANEL	PRATELEIRA / ENGENHARIA

Tabela 12: Tabela 11: questionário de identificação dos materiais 2

Qual a natureza desses ativos?	○ ÁGUA ○ VIDRO ○ METAL ○ MADEIRA ○ PLÁSTICO

c- Visibilidade de pessoal :

Tabela 13: questionário para visibilidade de pessoal 1

Qual destes ambiente as pessoas irão transitar?	○ FECHADO ○ ABERTO ○ ABERTO E FECHADO	○ FORA DAS IMEDIAÇÕES ○ DENTRO DAS IMEDIAÇÕES ○ SUBTERRÂNEOS ○ AQUÁTICOS

Tabela 14: questionário para visibilidade de pessoal 2

Qual a rotina de atividades das pessoas dentro do empreendimento?	○ TROCAM DE SETORES ○ POSSUEM ACESSO À AREAS DE SEGURANÇA ○ POSSUEM ACESSO AO ALMOXARIFADO ○ MANUSEIAM FERRAMENTAS

CAPÍTULO 5. DEFINIÇÃO DE TECNOLOGIAS

Dando sequência as fases de construção do escopo, apresentam-se os sensores e outras tecnologias nas quais os sistemas de rastreio baseiam o seu funcionamento e aplicações. Parâmetros de avaliação de desempenho concluem a métrica que irá auxiliar na escolha do sistema na seção 5.2

5.1| Tomada de decisão: classificação por sensores

Os sistemas podem ser classificados de acordo com o tipo de sensor utilizado. Em sistemas ativos o sinal emitido pelo sensor determina a distância entre os dispositivos móveis, que no caso do rastreio de pessoas é um acessório e o sensor que geralmente é fixo. A partir do momento em que o posicionamento de um dos sensores é conhecido, sua localização pode ser computada. Este estudo tem o propósito de reunir informações e avaliar a aplicação de RTLS's baseados em sensores ativos, que apresentarem muitas soluções desenvolvidas para área de grandes empreendimentos, além da possibilidade de associação entre os sensores, formando soluções hibridas para um melhor alcance em situações de severidade de condições. O GPS, um sensor passivo, está incluso na seleção de avaliações, pois possui soluções robustas, de longo alcance e bem difundidas comercialmente. Para cada sensor será feita uma descrição das técnicas utilizadas para localização em associação às particularidades de cada um. Para exemplificar, ao final das descrições serão relacionadas aplicações não convencionais de RTLS, ou seja, para ambientes com condições críticas e adversas ao funcionamento ótimo de cada sistema.

Abaixo serão ainda descritos dois tipos de sensores, eletromagnético e imagens, muito utilizados também para sistemas de análise de rotina rastreio e posicionamento.

5.1.2| Sensores Eletromagnéticos

Sensores eletromagnéticos são capazes de obter a amplitude em faixas de frequência muito baixa. São compostos por um transmissor, uma antena com duas bobinas ortogonais e um grande número de antenas receptoras. Estas antenas

possuem um pequeno circuito acoplado e o processamento dos dados capturados é feito dentro do transmissor.

O alcance para a transmissão de dados depende do tamanho da antena, mas geralmente atinge até 15m com uma precisão de 5 a 7 cm (HJELM,J. ,2006). A antena transmissora fica em um ponto fixo e possui bobinas que induzem corrente as bobinas dos receptores. A intensidade das correntes é utilizada como variável para calcular o posicionamento e orientação dos receptores.

Outros exemplos de sistemas de posicionamento que derivam deste princípio eletromagnético são:

- Cartões com chip para controle de acesso e registro de jornada de trabalho.
- Administração eletrônica de reservas de quartos de hotel, aluguel de carros e acesso a determinados transportes.
- Marcação de agendas eletrônicas e cronogramas contendo os compromissos e locais onde ocorrerão os compromissos.
- Prover índices do posicionamento de maquinários e outros equipamentos, incluindo o planejamento de utilização, mapa de trânsito e serviços de armazenagem por diretórios.

Devido ao fato deste sistema concentrar todo o processamento de dados capturados no transmissor, o compartilhamento de atividades e mesmo de hardware com outros sistemas se torna complexo. Assim, caso haja a necessidade de cobertura de áreas operacionais extensas, a aplicação deste sistema se torna bem menos atrativa.

Seu hardware especial pode tornar o custo proibitivo, além de seu alcance ser restrito e obter uma baixa taxa de atualização de 30 a 50 dados por segundo. Objetos metálicos geram interferências na captura de dados de sensores eletromagnéticos. (HJELM,J. , 2006)

5.1.3| Análise de imagens (Video-Based Sensors)

Este sistema compõe-se por câmeras configuradas e posicionadas de maneira a capturar imagens com distinção de cores e planos de profundidade em um

determinado espaço. As imagens capturadas são capazes de mostrar o posicionamento de pessoas e objetos.

Porém, o sistema funciona impreterivelmente quando há visada direta (LOS Line–of-sight) podendo ser escalável de acordo com a finalidade. Não necessita de dispositivos especiais no local e nem acoplado às pessoas e objetos, porém o processamento das imagens exige um computador de alto desempenho e com boa capacidade de armazenamento.

O sistema torna-se frágil, uma vez que há a possibilidade de oclusão visual dos ativos rastreados, seja total ou mesmo parcial, como exemplo o caso de um grande número de pessoas se movimentando.

Existem muitas aplicações para este tipo de sistema baseado em análise visual, dentre eles, aplicações que dão suporte a sistemas de realidade virtual e na captura de movimento para animação.

No caso de grandes empreendimentos, as interferências visuais, como grandes equipamentos e ferramentas, além da grande variação entre áreas abertas e fechadas pode dificultar bastante à implantação de um sistema baseado em analise de imagens.

5.1.4| Sensores Ativos

Sensores ativos podem ser de diversos tipos: baseados em comunicação por redes como 802.11-especificação do tipo da rede ou em sensores dedicados que usam outros espectros das faixas eletromagnéticas.

5.1.4.1| Sensores Infravermelhos

Como uso mais comum da radiação infravermelha, podemos citar controles remotos de TV e de outros produtos eletrônicos. No caso dos sistemas de posicionamento baseados nesse sensor utiliza-se a luz infravermelha para transmissão de curto alcance da identificação de um dispositivo móvel para um receptor fixo com localização determinada.

Normalmente, os receptores são fixados nas imediações em que os dispositivos móveis se encontram. Geralmente, estes sistemas são utilizados em locais fechados, como prédios e casas. Após os dispositivos móveis emitirem luz infravermelha, se o receptor estiver no mesmo recinto, seu posicionamento será reconhecido.

Segundo HJELM,J. (2006) para prevenir erros de precisão (*motion sickness*) é necessário mais de um update com mais de 60Hz e uma latência de menos de 10 milisegundos.

Pelo fato da transmissão por infravermelho ter um alcance limitado a poucos metros e a propagação ótica ter necessidade de visada direta (LOS – line of sight), para que a proximidade do dispositivo móvel seja reconhecida, basta que a base fixa receba a mensagem ativada pelo dispositivo móvel.

A granularidade dos sistemas de posicionamento baseados em sensores infravermelhos é baixa. Não é possível determinar a localização dos dispositivos com alta resolução se a localização das estações base não for reconhecida.

Geralmente os sistemas são compostos por transmissores, receptores e um número de computadores móveis com comunicação por infravermelho. O custo dos componentes é relativamente barato, porém o desenvolvimento dos transceptores é alto. Além disto, a taxa de interferência é alta em locais nos quais ocorram o funcionamento de maquinários e equipamentos em geral que emitam luz infravermelha. Outro fator de interferência são os raios solares, que bloqueiam a comunicação dos raios infravermelhos. Existem sistemas comerciais baseados nesta tecnologia, mas há muito não se nota investimentos em desenvolvimento nestes sistemas e componentes.

A produtividade deste sistema não está relacionada ao investimento, uma vez que um microcontrolador e alguns componentes suportes possuem baterias com duração de pelo menos um ano. Com o uso de uma taxa de repetição de sinal de 10 segundos de diferença. A ponta final da infraestrutura representada pelos dispositivos móveis também não é cara, mas considerando que os sinais por eles emitidos chegam a um alcance de 30 metros com visada direta, dependendo da extensão da área, é necessário que replicadores sejam instalados. Estas características acabam por encarecer o custo total de implantação e manutenção, observando ainda o fato de que estes sistemas são geralmente de uso interno, paredes e janelas que permitem incidência de luz solar podem ser obstáculos determinantes para aumentar ainda mais o investimento.

Vantagens:

- Precisão do posicionamento em curto alcance e visada direta com o sensor base.

- É a tecnologia mais antiga e mais utilizada para posicionamento, portanto há muitos vendedores com soluções disponíveis.

- Não necessita de processadores nos objetos rastreados.

Desvantagens:

- Sinal infravermelho com alcance limitado.

- Incorre em grandes investimentos para instalação, reconfiguração e manutenção.

- Receptores precisam estar presentes em cada ambiente, no caso de locais fechados.

- Bloqueio do sinal e enfraquecimento de desempenho na presença de luz do sol.

a- IrDa - Infrared Data association

Sistema de comunicação baseado em sinais Infravermelhos utilizado geralmente em dispositivos móveis com comunicação ponto a ponto, possivelmente o link sem fio mais comum (mais de 100 milhões de portas instaladas. Fonte: HJELM,J., 2006)**.** Telefones móveis, câmeras fotográficas e laptops, utilizam-se desta comunicação sem fio.

Similar ao Bluetooth, IrDA compartilha a informação de posicionamento com outros dispositivos. Este padrão de comunicação cria redes dinâmicas com a determinação de pontos mestres e pontos escravos. Alguns dispositivos não podem ser nomeados mestres por possuírem arquitetura simplificada. Esta comunicação fornece o serviço de rastreamento de novos dispositivos automaticamente.

O sistema trabalha com ângulo de visada direta quando opera no espectro da radio frequência. IrDA divide seus produtos em duas linhas: IrDA Dados e IrDA controle. O padrão IrDA dados é utilizado para aplicações de curto alcance e alta velocidade , já o padrão IrDA controle é recomendado para aplicações de baixa velocidade, como teclados, manetes de controle, *mouses.* Ambos padrões compreendem uma única convenção que padroniza seu protocolo de comunicação, cobrindo todas as camadas de transferência de dados e alguns protocolos de comunicação ótica para determinação do gerenciamento da rede.

IrDA trabalha com uma taxa de alcance de 1 a 2 metros e suporta comunicação bidirecional com transferência de dados de 9600bps a 4Mbps.

É considerado o sistema de comunicação com maior capacidade de configuração baseado no alcance, velocidade e serviços.

b- Aplicações RTLS Infravermelho: sistema de posicionamento a laser

Aplicação de GPS em conjunto com sinais infravermelhos para a construção de um sistema de posicionamento alternativo que supera a falta de sinal em ambientes fechados.

GPS Indoor é um sistema de posicionamento para locais fechados que pode ser comparado à matriz de satélites que constroem o sistema de posicionamento global. No lugar de satélites, o GPS Indoor utiliza pequenos lasers infravermelhos que emitem pulsos para mensurar o ambiente à sua volta.

Detectores de imagens capturam os sinais e calculam o posicionamento baseado no tempo de chegada (TOA) dos pulsos luminosos.

Esta abordagem é capaz de solucionar muitos problemas inerentes a falhas de planejamento de montagem de equipamentos em escala industrial. O sistema GPS Indoor, que não está ligado ao sistema global de posicionamento obtém um nível de precisão submilimétrica para medições estáticas e milimétricas para medições dinâmicas. O sistema pode ser usado em grandes salas de produção e de montagem.

5.1.4.2| Sensores Ultrasom

Um Sistema de posicionamento baseado em tecnologia Ultrasom tem como principal vantagem a precisão de calculo do posicionamento obtido. O Ultrasom promove através da aplicação da técnica que calcula o tempo de chegada dos sinais aos sensores **(TOS- time of sight)** um refino granular gerando medidas com as menores unidades que mensuram a precisão. O calculo do posicionamento gera informações em três dimensões e é obtido através da distância entre os emissores e receptores que alternam entre si a posição fixa. Na fase de mapeamento da área que será coberta é feita a definição dos pontos de acesso (AP-access point) e do posicionamento das antenas que deverão ter suas coordenadas configuradas ou enviadas à base de dados manualmente. Este conhecimento do posicionamento prévio é imprescindível ao sistema.

Para minimizar interferências, muitas antenas devem ser distribuídas em espaços não longínquos, o que pode acabar se tornando um grande entrave à aplicação deste sistema.

Portanto, apesar dos sensores proverem uma precisão de cálculo extremamente apurada, a utilização deste sistema pode ser descartada ante à previsão de investimento em infraestrutura e ajustes manuais. O sistema também apresenta a desvantagem de falhar mediante interferências banais, facilmente encontradas em diversos ambientes como barulhos estridentes, intermitência de luzes fluorescentes ou mesmo barulho de pessoas falando. Por esta razão, o sistema aplica algoritmos sofisticados para filtrar estes erros, encarecendo ainda mais o investimento.

Um exemplo mais consolidado do uso destes sensores é o sistema *MIT Cricket,* que compreende uma infraestrutura fixa de nós que emitem sinais e através da técnica de trilaterização obtém a determinação do posicionamento dos "nós" móveis com autonomia não-centralizada.

a- Aplicações RTLS Ultrasom: posicionamento por Radar/Sonar

Através do tratamento de sinais capturados por métodos baseados em simulação pode-se substituir o sistema de radar convencional de GPS em navios.

Esta tecnologia desenvolvida na Suíça, não requer infraestrutura externa e não é suscetível a interferências. O radar usual do navio é utilizado para capturar a distância das costas vizinhas enquanto navega. Esta informação é comparada com um mapa digital do mar. No caso de submarinos, a informação é comparada com o mapeamento digital da profundidade. Em combinação com os dados que revelam sobre a movimentação do navio, a posição precisa poderá ser calculada.

Testes preliminares demonstraram que o método tem o funcionamento bem similar ao GPS durante navegação em um arquipélago.

5.1.4.3| Sensor baseado em transmissão à Radio: UWB – Ultra Wide Band

Ultra Wide Band – Banda larga é baseada no envio de pulsos ultra curtos (menor que 1 ns) em um ciclo baixo (1:1000). A banda de frequência que o sistema UWB utiliza é maior que 500Mhz. Ao contrário dos sistemas RFID convencionais que operam em faixas individuais no espectro radioelétrico, UWB transmite um sinal ao longo de várias bandas de frequências simultaneamente, entre 3,1-10,6 GHz. Sinais UWB são transmitidos mais rapidamente que os sinais de RFID. Etiquetas UWB

consomem menos energia que as etiquetas RF e funcionam em áreas bem mais amplas, com um alcance de sinal bem maior.

UWB não sofrem ou causam interferência se utilizadas próximas a outros sinais de radio frequência, devido ao diferente tipo de espectros utilizados.

Pulsos UWB de curta duração são facilmente filtrados com a finalidade de determinar corretamente os sinais que são gerados a partir de múltiplas plataformas. O sinal é capaz de passar facilmente através de paredes, móveis e roupas. Já objetos metálicos e líquidos causam interferência, bastando que mais leitores UWB sejam posicionados, esta desvantagem pode ser contornada.

O curto pulso das ondas permite determinar com precisão o tempo de chegada (TOA- Time-of-arrival) e ainda possibilita direcionar, através do tempo de vôo (TOF-*time-of-flight)* os receptores correspondentes que irão receber uma rajada de pulsos. (GEZICI, 2005 e FONTANA, 2004). Portanto, para o rastreio de objetos em ambientes fechados com precisão de 15 cm, o sistema UWB explora as características de sincronização de tempo. Isto posto, a localização em tempo real em planos de duas e três dimensões pode ser mensurada através de duas técnicas:

TDOA, o qual mede a diferença de tempo entre a chegada do pulso UWB aos diversos sensores e o ângulo de chegada AOA (Angle of arrival).

A vantagem de usar os dois métodos em conjunto é que a localização poderá ser determinada por apenas dois sensores, diminuindo a quantidade de sensores que deverão cobrir o sistema.

Atualmente, alguns sistemas foram desdobrados utilizando UWB. O sistema Ubisense por exemplo, é um sistema que utiliza uma plataforma unidirecional com controle por canal bidirecional TDMA – "*time division multiple access"*. As etiquetas transmitem sinal aos receptores da rede e são localizadas com a aplicação das técnicas de detecção do ângulo e tempo de chegada do sinal AOA e TDOA . A rede Ubisense funciona criando células, que requerem pelo menos quatro sensores ou leitores. Através dos prédios ou mesmo um conjunto de prédios, um ilimitado número de leitores pode ser interligado em rede, se assemelhando ao funcionamento de uma rede de celulares. Os leitores recebem os dados emitidos das etiquetas, vindos de até 45 metros de distância e os repassam a plataforma "*Ubisense Smart Space*".

As microondas de frequência UWB, são utilizadas por radares de posicionamento Siemens (Gulden, 2003). Este radar utiliza a técnica de RTOF, que mede o tempo de reflexão via frequência contínua de ondas moduladas (FMCW – frequency modulated continuous wave) entre unidades de "*transponderes"* e as estações base. Este sistema foi aplicado em equipamentos industriais para monitorar atividades, como o posicionamento de uma empilhadeira ou mesmo uma grua. Porém este sistema é aplicável apenas em ambientes que permitem visada direta- LOS (Line-of-sight).

a- Aplicações RTLS UWB (Ultra Wide Band)

Primeiramente temos que distinguir UWB das redes sem fio caseiras utilizadas para transferência de dados com alta velocidade, a qual adota o padrão de protocolo IEE802.15.3a e UWB para transferência de dados com baixa velocidade, estabelecida por padrão no canal IEEE 802.15.4a.

O objetivo é permitir que sistemas de posicionamentos para locais fechados sejam muito precisos com baixo consumo de energia. Isto se torna possível, porque UWB possui uma boa resolução multidirecional e alta capacidade para transpassar obstáculos como paredes, se comparado à outras mídias.

O sistema de rastreio baseado em UWB é capaz de localizar objetos dentro de um prédio com precisão de 10 a 15 cm representadas em um ambiente 3D.

Multispectral Solutions, Inc. (MSSI) pioneira e líder na indústria de desenvolvimento de sistemas com tecnologia de UWB para aplicações para comunicação, rastreamento e posicionamento.

O sistema de localização de ativos da companhia PAL650 é o primeiro no mundo à unir tecnologias UWB e RFID ativo para rastreamento de pessoas e ativos com alto valor. *Ubisense* é o primeiro sistema de rastreio de fora dos EUA a obter a certificação FCC (Federal Communication Commission) em 2004 para um dispositivo UWB destinado à ambientes fechados. O sistema de localização e rastreio *Ubisense*, tem seu provedor base instalado na Inglaterra e gera cobertura para dez países espalhados pelo mundo .

A corporação *Mitsubishi Electric* desenvolveu um sistema de rastreio e localização baseado na tecnologia sem fio de curto alcance. O sistema é capaz de determinar a localização de um objeto com a precisão de até 15 centímetros à uma

distância de mais de 30 metros. Este sistema utiliza o protocolo IEEE802.15.4ª, podendo ser aplicado em hospitais, por exemplo, onde haja o monitoramento constante de pacientes, alertando os médicos mediante qualquer problema.

5.1.4.4| Sensor baseado em transmissão à Radio: Bluetooth

Bluetooth utiliza um protocolo de comunicação por radio frequência de curto alcance que possibilita estabelecer comunicação com vários dispositivos móveis caso sejam compatíveis. Com capacidade de se comunicar múltiplos pontos (point-to-multipoint) o bluetooth opera livremente em faixas de frequência industriais, científicas e médicas (*Industrial Scientific Medical -ISM band*) à 2.4GHz . Possuem espectro de difusão em frequência variável (Frequency- hopping) com oscilação entre uma gama de até 1600 canais por segundo.

Um dispositivo Bluetooth com variação entre uma gama de até 1600 canais por segundo. Com um padrão de comunicação “half-duplex” onde há a conexão em ambas as direções no caso de dois pontos, porém não simultânea, transmite-se 800 canais e recebe-se 800 canais.

A tecnologia Bluetooth já é bem popular e barata e está presente em quase todos os dispositivos móveis. Como sua produção já foi massificada, os circuitos embutidos nos dispositivos chegam a custar menos de U$5.

Pelo fato de utilizar o protocolo de curto alcance, os dispositivos Bluetooth ligados em rede podem estimar seu posicionamento através da medição da variação de intensidade do sinal (RSS- Received Signal Streng) entre dispositivos que possuem sua informação de localização determinada. Desta forma, cada dispositivo adota uma posição de mestre ou escravo, sendo intercambiável. As últimas versões de Bluetooth possuem um espectro de difusão em frequência variável adaptável (AFH - *Adapt Frequency-hopping*) que permite que haja a coexistência com outras tecnologias de diferentes frequências da mesma banda. Para que isto ocorra, o dispositivo é configurado para evitar as frequências que estão ocupadas e continuar tentando até que haja sucesso na conexão. As informações de sucesso são armazenadas para futuras tentativas de conexão.

Tanto os dispositivos “*mestres”* quanto os “*escravos”* podem detectar conexões falhas. Utilizando AFH, é possível realocar os dispositivos quando a conexão já anteriormente estabelecida fica congestionada pelo uso constante de outros dispositivos. Uma realocação é bem sucedida quando há ao menos 20MHz de

espectro disponível, porém isto só ocorre quando há uma conexão estabelecida. Este fator indica que a AFH não possui influência sob o requisito de procedimento de “consulta e paginação”, quando há transmissão de um pacote de dados de identificação. Uma vez que a conexão entre os terminais é habilitada, diante habilitação por senha, não há mais necessidade de que se repita esta operação em futuras tentativas.

Logo após ser liberado o acesso ao terminal, o dispositivo poderá passar por um processo de qualificação, caso seja necessário e então através de uma extensa análise de suas configurações será determinado uma qualificação especifica de acordo com uma lista oficial do protocolo. Este processo poderá ser bem custoso e demorado.

O curto alcance e o tempo que um dispositivo Bluetooth leva pra detectar outro similar não é rápido o suficiente para rastrear um objeto/pessoa em movimento.

5.1.4.5| Sensor baseado em transmissão à Radio: RFID – Identificação por Radio Frequência

RFID é um circuito integrado que armazena e recupera dados por transmissão eletromagnética compatível à frequência de rádio (RF). Esta tecnologia vem alcançando melhorias na manipulação e processamento de dados. Um sistema RFID é composto por alguns elementos, dentre eles, leitores RFID, etiquetas e o meio de comunicação entre eles.

O leitor RFID é habilitado à ler os dados emitidos à partir das etiquetas que utilizam um protocolo para estabelecer comunicação.

Entre leitores e etiquetas é utilizado um protocolo para transmissão e recebimento de dados. As etiquetas RFID são classificadas entre passivas e ativas.

Etiquetas RFID passivas operam sem bateria e são usadas basicamente para substituir o código de barras e se comparadas às etiquetas ativas são bem menores e mais baratas.

Um leitor transmite o sinal por radio frequência, chegando às etiquetas, este sinal é refletido por modulação com as informações adicionadas. No entanto, é preciso considerar que o investimento em leitores é relativamente alto em relação às etiquetas e apresentam uma faixa de leitura bem limitada, que costuma variar entre 1 e 2

metros. Sistemas de RFID Passivos geralmente fazem uso de quatro bandas de frequência.

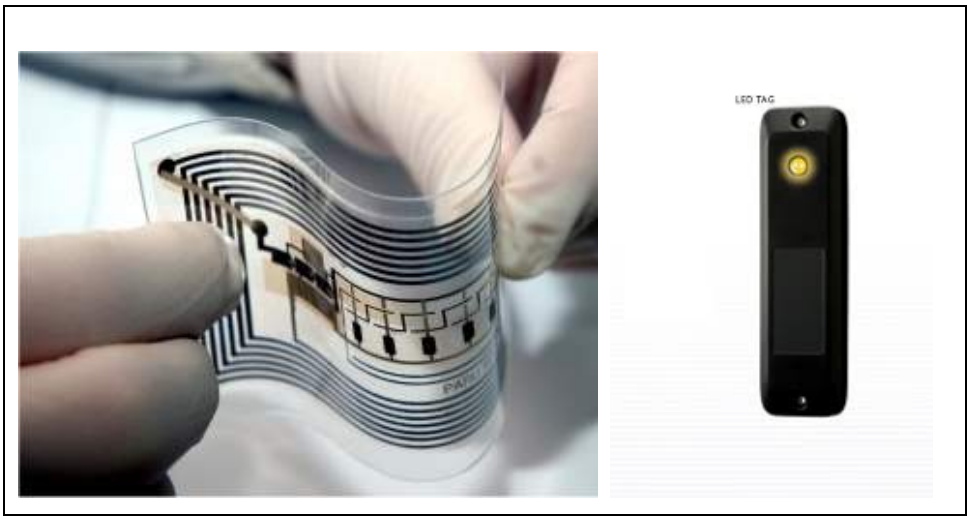


Figura 8: Exemplo de etiqueta RFID passiva e ativa, respectivamente.

Etiquetas RFID Ativas são pequenos transceptores que podem transmitir ativamente suas respectivas identificações – ID (*Identification*) ou outros dados adicionais em resposta a uma interrogação que fora transmitida. Na figura 8 estão representados um exemplo de etiqueta passiva e ativa respectivamente.

As bandas de frequências utilizadas são similares às utilizadas para as etiquetas passivas, exceto as baixas frequências e altas frequências. A vantagem do uso do sistema ativo é o alcance, que através do uso de antenas, pode-se estender por metros de distância. As etiquetas ativas são idealmente adequadas para rastrear objetos com alto valor agregado que se movimentem em processos de montagem em ambientes severos.

a- Camada Física - Hardware

Camada Física = antenas+ tags* + leitores**

*Tag= CI + Antenas + Conectores (inlay -> parte plástica com adesivo que se forma a etiqueta)

**Interrogadores /Leitores (mínimo 1 antena) ** = grava o conteúdo da etiqueta

b- Camada da tecnologia da informação (TI) um ou mais computadores conectados aos interrogadores (diretamente ao através de uma rede).

Estabelecer Regras de negócios para comparar leituras e informar as medições.

Filtros + middleware + banco de dados + aplicativos do usuário

c- Integração e Física

No momento em que uma das etiquetas é atingida pela radiação, ocorre um acoplamento entre ela e a antena do interrogador, o que possibilita que os dados armazenados no circuito integrado da etiqueta sejam recebidos pelo interrogador. O acoplamento pode ser difuso por retorno (*backscatter*) ou indutivo.

A infraestrutura física de implantação engloba portais constituídos por estrutura metálica, antenas e leitores ou leitores de mão (handheld)

As etiquetas passivas UHF possuem transmissão por frequência entre 860MHz a 960MHz, as etiquetas passivas UHF não precisam de baterias para sua alimentação de energia. Porém, possuem transmissor ativo e utilizam o acoplamento difuso de retorno, ou seja, backscatter.

Os meios de transmissão se dão por Modulação que é o processo pelo qual uma onda portadora transporta o sinal de informação, variando as seguintes características da portadora: amplitude, frequência e fase.

d- Espectro de frequência para o sistema RFID

- LF – Baixa Frequência (Low Frequency) - 125 kHz
- HF- Alta Frequência (High Frequency) -13.56 MHz
- UHF – Ultra Alta Frequência (Ultra High Frequency) – 433, 868–915 MHz
- Microondas (Microwave Frequency) - 2.45 GHz, 5.8 GHz

Na figura 9 está indicado o esquema representativo das faixas de frequência utilizadas de acordo com o comprimento das ondas e o tipo de acoplamento utilizado.

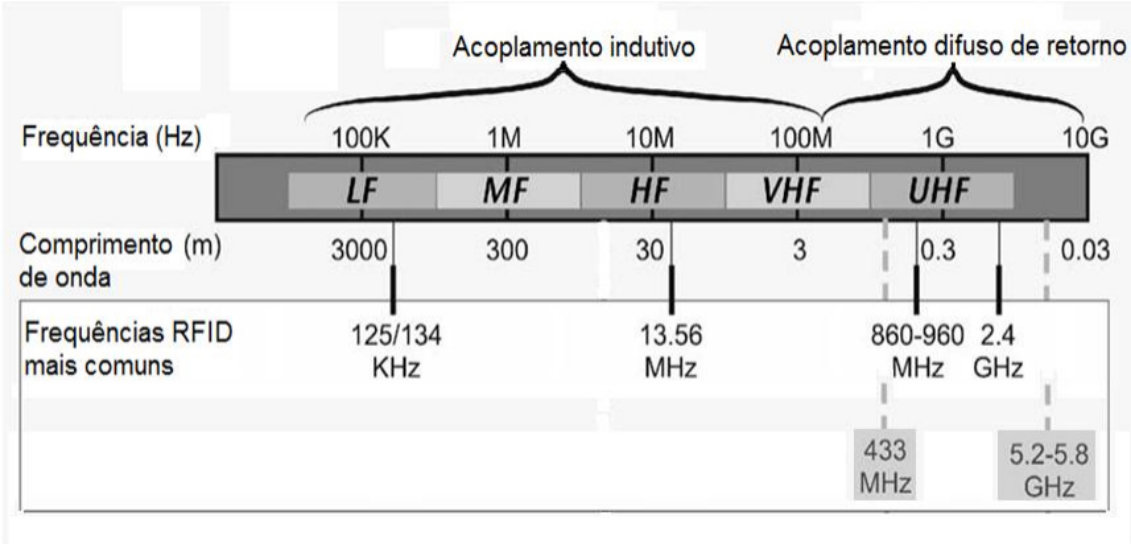


Figura 9: Esquema de inter-relação de frequência e tipo de acoplamento utilizado.
BALADEI et al. (2012)

e- Protocolo de anticolisão

O protocolo de anticolisão é utilizado quando existem várias etiquetas RFID na zona de interrogação.

1e- Espalhamento espectral:

Tecnologia na qual a energia média do sinal transmitido é espalhada sobre uma largura de faixa muito maior do que a largura de faixa que contém a informação. Os sistemas compensam o uso de uma maior largura de faixa de transmissão com uma menor densidade espectral de potência e uma melhora na rejeição ao sinais interferentes de outros sistemas operando na mesma faixa de frequências.

2e- Espalhamento espectral saltos em frequência:

Técnica na qual a energia é espalhada mudando a Radio frequência central de transmissão várias vezes por segundo, de acordo com uma sequência de canais gerada de forma pseudo aleatória.

Essa mesma sequência é usada repetidamente, de forma que o transmissor recicle continuamente a mesma série de mudanças de canais.

f- Acoplamento difuso de retorno para etiquetas UHF e micro-ondas: backscatter

Nesse tipo de acoplamento as etiquetas refletem a mesma frequência emitida pelo leitor, mas alteram diversas qualidades dessa reflexão para enviar informações para o leitor.

Nesse processo, um leitor envia um sinal para uma etiqueta e ela responde, por reflexão, a uma parte dessa energia de volta para o leitor. Um dispositivo de carga contido na etiqueta, tal como um capacitor, possibilita essa reflexão.

O capacitor se carrega quando ele armazena a energia recebida do leitor. Quando a etiqueta responde de volta, ela usa essa energia para retornar o sinal ao leitor. O capacitor se descarrega nesse processo.

g- Acoplamento indutivo: utilizado para etiquetas LF e HF

É mais vantajoso quando se utilizam frequências abaixo dos 100MHz, utilizando antenas de tamanho reduzido formadas apenas por uma pequena bobina.

O acoplamento indutivo é um tipo comum de acoplamento remoto. Um leitor fornece energia para as etiquetas acopladas indutivamente, usando uma antena espiral para gerar um campo magnético.

O campo dirige a corrente por uma espiral na etiqueta por indução de forma muito semelhante a de um transformador transferindo energia entre duas bobinas.

O campo fornece bastante energia para o chip, o qual pode então se comunicar com o leitor pela modulação de carga quase que da mesma forma que o acoplamento *backscatter*.

Um resistor da etiqueta, liga e desliga, gerando flutuações no campo magnético, o que cria alterações de voltagem na antena do leitor.

5.1.4.5.1| **Aplicações RTLS RFID**

A tecnologia RFID tem tido significantes avanços em aplicações em áreas de produção, fabricação, varejo, transporte e distribuição, porém aplicações em na área de construção civil tem apenas começado a surgir. JASELSKIS et al. (2003) apresenta o conceito de sistema projetado para rastrear veículos responsáveis por entrega de materiais, equipamentos de pequeno porte manuseados por mais de uma pessoa em um ambiente industrial, ativos em geral e em especial, o rastreio do veículo que transporta concreto. PEYRET (2002) aplicaram este conceito de rastreio de veículos

responsáveis pelo transporte de materiais utilizando a tecnologia RFID, para fins de controle de qualidade dos asfaltos misturados na planta dos empreendimentos.

Dados referentes à produção de um lote de asfalto foram coletados automaticamente por etiquetas RFID instaladas no caminhão responsável pelo transporte do asfalto. No momento que o carregamento foi deixado no local destinado à pavimentação dentro do empreendimento, receptores GPS, captaram as identificações embutidas nas etiquetas RFID, gerando à partir daí informações sobre o posicionamento de determinado lote.

EL-MISALAMI (2003) descreve testes-piloto que exploraram o funcionamento das etiquetas RFID passivas para monitorar o processo de recebimento de *palets* e suportes de tubos nos almoxarifados reservados para armazenagem de materiais. Os resultados dos testes preliminares indicam que o uso da tecnologia RFID é um facilitador no processo de recebimento de materiais específicos, uma vez que automatiza o processo. Porém foram encontradas dificuldades técnicas uma vez que as etiquetas RFID passivas propiciam um alcance bem limitado, criando a necessidade de aproximação em centímetros para os leitores portáteis RFID captarem a informação.

SCHELL (2001) reporta um teste implantado em uma refinaria de petróleo que propôs demonstrar a eficiência da tecnologia RFID no monitoramento do processo de manutenção realizado periodicamente nas válvulas de alívio de pressão. A atividade consistia em gravar nas etiquetas RFID a frequência das manutenções realizadas.

Para a identificação e rastreio de ativos de um empreendimento em construção, FURLANI (2000) desenvolveram o protótipo do sistema *Comp-TRACK*, que rastreia componentes metálicos com diferentes tecnologias, entre elas, código de barras, rfid, juntamente com sistemas de ventilação a laser 3D.

A maioria dos casos de uso da tecnologia RFID está concentrada no rastreio de componentes ativos para controle da cadeia de suprimentos. AKINCI et al. (2002) e ERGEN et al. (2003) propõe o uso da tecnologia RFID para controle de concreto pré-moldado e armazenagem do histórico desse material associado às informações da cadeia de suprimento de determinadas obras.

5.1.4.4| ZigBee

Zigbee segue o padrão baixo custo, pouco gasto de energia com comunicação por rede sem fio que podem se organizar, entre diferentes topologias proporcionando maior alcance de sinal. O baixo custo permite que a tecnologia seja difundida no uso em aplicações de monitoramento com controle sem fio. A baixa demanda de energia faz com que a vida útil das pequenas baterias se prolonguem por no mínimo 2 anos estimados.

Zigbee, sensor com um padrão de comunicação wireless com baixo custo, baixo consumo de energia e baixa taxa de transmissão. O propósito da rede Zigbee é oferecer o mínimo de custo para conectar dispositivos, os quais terão bateria com vida útil com duração de meses e até anos.

A vantagem mais importante da utilização da rede zigbee para obter localização é a facilidade de implantação com o protocolo fornecido. Portanto, a baixa complexidade, faz do Zigbee, uma tecnologia ideal para o funcionamento em rede sem fio.

A rede Zigbee é composta por três tipos de dispositivos diferentes como ilustrado na figura 10: coordenador (ZC), roteador (ZR), e dispositivo final (ZED). O coordenador forma a base da rede em árvore e é habilitado a armazenar informações. Os roteadores, não somente rodam a aplicação, como também são capazes de agir como intermediários conduzindo os dados de outros dispositivos. O roteador é um componente opcional que pode estar associado ao coordenador e participar de uma conexão de múltiplos pontos (*multi-hop routing*) e distribuição de mensagens.

Por fim, os dispositivos finais contém apenas a função de comunicar-se aos seus dispositivos semelhantes, não sendo capazes de retransmitir dados de outros dispositivos. O funcionamento de um dispositivo final é otimizado para operar com baixo consumo de energia conectando à apenas um coordenador ou roteador por vez. Na Figura 11 é possível observar a ilustração da conexão funcional dos dispositivos *Zigbee.*

As redes de Zigbee podem ser configuradas entre as seguintes topologias: estrela, ônibus, árvore, malha e anel. Encontra-se geralmente, redes Zigbee configuradas em malha, pois ao contrário das outras topologias esta oferece alternativas para substituir roteadores que por algum motivo apresentam falhas. Desta forma, em milésimos de segundos novos “nós” serão reconhecidos e associados à

rede. As atividades de aliar e de troca de roteadores é operada pelos gerentes da rede, os pontos de acesso (AP's). A flexibilidade proporcionada por esta maneira de organização de rede possibilita uma escalabilidade de até 65.536 "nós".

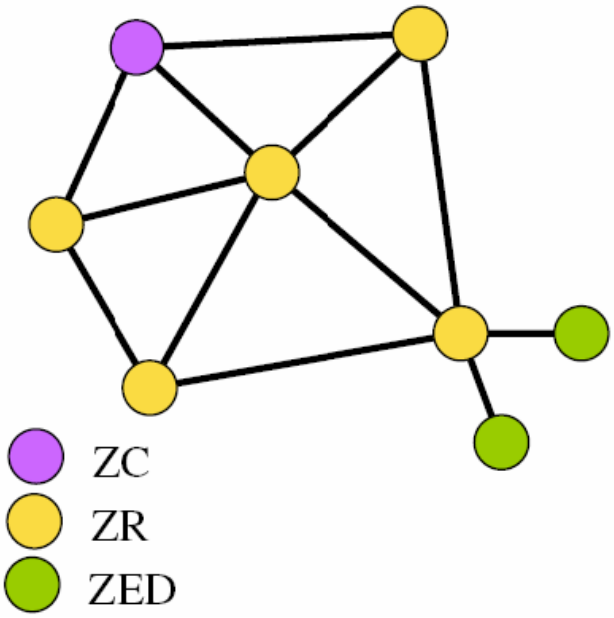


Figura 10: Rede Zigbee em mesh Shuang-Hua (2008).

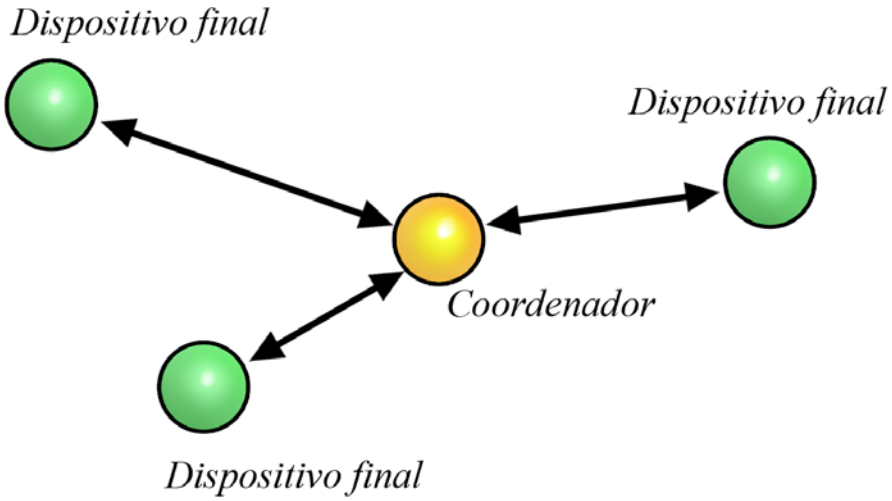


Figura 11: Representação dos componentes da rede Zigbee .

A comunicação da rede é armazenada na camada física que é composta por: camada com controle de acesso à mídia, camada de rede, camada do aplicativo e camada de segurança. Programas do usuário são escritos na camada de aplicativos, chamada de “pilha” da rede, responsáveis por executar funções relacionadas à rede.

Com finalidade de atingir baixo consumo de energia e estender a vida útil da bateria, os “nós” Zigbee são programados para obter rapidamente os dados e logo após entrarem no modo de hibernação. Em vista dessa função, a rede Zigbee é programada para funcionar melhor quando o ciclo de trabalho está a menos de 1%. A quantidade de energia radiada de um dispositivo Zigbee é de aproximadamente 1mW com um alcance de até 75 metros.

Zigbee Alliance, a corporação responsável pela marca *Zigbee*, permite que múltiplos representantes e desenvolvedores criem produtos inter-operantes.

As aplicações abrangem usos na área de controle industrial, captação de dados médicos, alerta de fumaça e arrombamento, automação de prédios e casas, entre outras

Abaixo algumas áreas de desenvolvimento e aplicações para a tecnologia Zigbee:

- Entretenimento em casa e controle- sistema inteligente de luzes, controle avançado de temperatura dos ambientes, segurança, filmes e música.
- Casa inteligente- aplicações inteligentes com sensores para água, para energia, detectores de fumaça e fogo e sensores de acesso.
- Serviços móveis- pagamentos, monitoramento e controle, segurança e controle de acesso e “*tele – assist*”
- Prédios comerciais- monitoramento de energia, luz, controle de acesso.
- Plantas industriais- Controle de processos, gerenciamento de ativos, gerenciamento ambiental e de energia, dispositivos para controle industrial.
- Sistema de Rastreamento e posicionamento – Localização dentro de prédios, sistemas de rastreio baseados em células como telefones celulares.

A relação entre IEE802.15.4 e ZigBee é similar à relação entre IEE 802.11 e Wi-fi Alliance. A especificação ZigBee 1.0 foi ratificada em 4 de Dezembro 2004 e disponibilizada para os membros do Zigbeee Alliance. Posteriormente, a especificação de ZigBee 2007 foi publicada em 30 de Outubro de 2007. A primeira aplicação ZigBee no âmbito da automatização de casa “Smart Home” foi anunciada em 2007.

Sem propósitos comerciais, a especificação da tecnologia Zigbee é grátis e esta disponível para o público em geral. Para os membros da Zigbee Alliance, o custo é de US$ 3500 anuais e o direito de acesso prioritário às especificações não publicadas e permissão para criar produtos para o mercado usando estas especificações.

a- Faixas de transmissão Zigbee

A comunicação zigbee é estabelecida através de frequências de rádio em ambientes industriais, científicos e médicos. 868MHz na Europa, 915Mhz em países como Estados Unidos e Austrália e 2.4GHz nas demais jurisdições pelo mundo.

Em conjunto com os chips Zigbees, formam um kit com microcontroladores e processadores com memória (flash) entre 60k e 128k. Estes componentes também podem ser intercambiáveis.

b- Sistema de localização e posicionamento baseado em Zigbee: Método de implantação

Para a implementação de um sistema de rastreio em tempo real baseado em Zigbee, há que se configurar um coordenador entre os “nós” Zigbee e então conectar e gravar o posicionamento da rede em malha, dos roteadores estáticos e dispositivos finais. Estes roteadores e dispositivos finais serão mapeados e associados a pontos externos com informação de localização conhecida. Outro roteador Zigbee programado com o software de rastreio será então conectado à rede sem fio Zigbee e enviará transmissões a cada segundo. Um algoritmo irá determinar o posicionamento baseado na variação de radio frequência.

Portanto, o sistema de rastreamento utilizando sensores Zigbee é baseado na solução descentralizada de comunicação que utilizando da técnica de obtenção de posicionamento de “nós” móveis através da leitura da intensidade do sinal recebido (*RSS-Received Sinal Strengh*). Esta configuração permite que a rede opere ao ar livre

sem requisitos de hardwares adicionais e dependendo da função, a rede pode ser construída com poucos sensores Zigbee.

5.1.4.4.1| Aplicações RTLS Zigbee

Sistemas de rastreio em tempo real podem atuar como uma ferramenta importante melhorando a eficiência de determinados modos operacionais.

Uma proeminente solução de sistema baseado em Zigbee que funciona como um complemento à já existentes redes sem fio e está disponível no mercado é o chamado "*Netvox*". Este sistema é utilizado em áreas cobertas para rastreamento de ativos, funciona com pelo menos três roteadores e fornece uma precisão de 2 metros.

RAJ 2013 sugeririu e testou um sistema de rastreio baseado em zigbee explorando a viabilidade e precisão à que cada pessoa pode ser localizada dentro de um ambiente de construção civil. A investigação foi dividida em três fases. Na primeira o sistema baseado em Zigbee foi configurado em laboratório estabilizando a precisão do posicionamento de cada dispositivo. Na fase seguinte, o sistema foi montado "*in loco*" e os testes foram conduzidos dentro de ambientes fechados. Na fase final, um dispositivo pertencente ao sistema foi configurado e acoplado a um crachá, o qual um técnico carregou como parte do uniforme e caminhou por toda área aberta do pátio de construção. Foram avaliadas, considerando os fatores que porventura apresentaram interferência, sete posições. A posição dos pontos capturados pelos dispositivos Zigbee foram sobrepostas ao "grid" com informações previamente capturadas (*fingerpriniting*). Foi possível observar que a taxa de precisão relacionada variou entre 74,3% e 93,3%. Notou-se que as variações estão diretamente ligadas ao posicionamento dos dispositivos, quanto mais perto dos limites do "grid" ou em contato com "grids" adjacentes. Diante destes testes que avaliaram a tecnologia e através de uma comparação de custo à outros sistemas, a viabilidade do sistema de rastreio para pessoas (trabalhadores) baseado em zigbee foi comprovada. O autor propositor desta aplicação indicou que a um décimo do custo de uma rede WLAN e outras tecnologias, o sistema Zigbee pode ser implantado.

5.1.5 |Sensores passivos: GPS – Sistema Global de Posicionamento

O Sistema de Posicionamento Global (GPS- *Global Positioning System*) é o sistema outdoor de posicionamento mais difundido, fornecendo a localização geográfica de dispositivos móveis em qualquer lugar do mundo. Para determinar o posicionamento preciso de um dispositivo, tradicionalmente tecnologias de rastreio

baseada em GPS, necessitam de um contato visual com os satélites que circundam a Terra a uma distância aproximada de 20000 quilômetros. Com o auxílio de 24 satélites e redundância de três backups, transmitem a informação com grande precisão.

Para obter posicionamento, os dispositivos locais recebem sinais de ao menos 3 satélites e então estes dados são processados localmente.

GPS possui um funcionamento já bastante consolidado em áreas abertas e extensas, porém para ambientes fechados é primariamente ineficiente, pois sem a visada direta (LOS) com os satélites, os sinais ficam fracos, falhos e mesmo inexistentes. A maioria dos sinais refletidos em ambientes fechados são significantemente menores do que a distância necessária para estabelecer comunicação.

a- Custo:

Um GPS geralmente não é implantado em dispositivos de uma rede de sensores sem fio porque o custo de conectar um receptor GPS com centenas de sensores pode ser inviável.

b- Limitação da bateria:

Cada sensor possui uma vida útil para as baterias e um receptor GPS , demandando um alto índice de gasto de energia.

c- Inacessibilidade:

Receptores GPS não funcionam indoor, este é um dos maiores inconvenientes

d- Característica física:

O tamanho do receptor é grande se comparado ao sensor. Consequentemente, GPS não pode ser considerado como uma alternativa ideal para localizar e rastrear em uma estrutura de rede de sensores sem fio.

5.1.5.1| Aplicações RTLS GPS : Alternativas Indoor

Global positioning System (GPS) ou seu complementar DGPS (*Differential Global Positioning System)* que possui o auxilio de estações terrestres que fornece posicionamentos complementares as informações dos satélites é um dos sistemas de posicionamento mais bem sucedidos para ambientes abertos. Porém, em ambientes

internos, os sinais dos satélites ficam bem mais fracos, diminuindo consideravelmente sua precisão, tornando proibitivo o seu uso em sistemas de rastreio “indoor”.

A técnica de GPS Assistido (A-GPS) foi projetada para superar as limitações do GPS convencional e prover resultados de posicionamento com uma média de precisão entre 5 e 50 metros, na maioria dos ambientes fechados (HIU LIU, 2007). A Tecnologia da SnapTrack/Qualcomm Company[4]. A-GPS utiliza um servidor local com um GPS- receptor referencial detecta os satélites como estações móveis simultaneamente ao GPS-receptor parcial, que também faz parte do sistema. Através dos dispositivos da rede sem fio local, as estações móveis reúnem medidas fornecidas por satélites.

Por fim, se tratando ainda em aplicações indoor existe um GPS que possui uma tecnologia capaz de fornecer o posicionamento mesmo com sinal fraco, chamado *Super Sense (Atmel* e *U-Blox)* [5]. Com este novo software, a navegação por GPS torna-se possível no interior de prédios e local subterrâneo.

5.1.6 | Outras tecnologias: WI-FI

A determinação de localização por WI-FI é parte de um sistema que vem sendo desenvolvido nos últimos anos para obter coordenadas de posicionamento de objetos através de dispositivos disponíveis. A transmissão de dados é feita através da modulação sem fio de sinais que detectam a existência dos dispositivos na rede em questão. O sistema é habilitado a realizar a triangulação do posicionamento baseado em RSSI (técnica descrita no capitulo 3, seção 3.5.1.2- j) capturado de outros pontos de acesso (*AP’s).* Como um dos primeiros exemplos de utilização de WI-FI para identificação de localização pode-se citar Radar (BAHL, 2000; KRZYSZTOF et al., 2006) desenvolvido pela Microsoft, também responsável pelo desenvolvimento de *RightSPOT*, o qual utiliza essencialmente um sistema de modulação de frequências de bandas de radio para apurar a localização dos dispositivos em detrimento da técnica de medir a intensidade de sinais (RSSI). Através do uso de oito estações de radio, o sistema se capacita e garante uma taxa de precisão de aproximadamente 8% (Krumm et al., 2003). Os sistemas WI-FI são muito encontrados em hospitais, universidades e prédios comerciais.

a| RTLS WIFI: subterrâneo

[4] SnapTrack. http://www.snaptrack. com/
[5] Atmel Corporation. http://www.atmel. com/
U-blox AG. http://www.u-blox. com

AeroScout [6], empresa referência em sistemas de posicionamento sem fio, em conjunto com *NL Technologies* (NLT)**,** empresa de desenvolvimento de tecnologias para mineração desenvolveram uma solução avançada de localização em tempo real (RTLS) para a indústria de mineração em túneis. Utilizando a tecnologia padrão de rede sem fio e um sistema já renomado de RFID ativo, a solução oferece com precisão, as informações imediatas do rastreio de operários, equipamentos e outros ativos com a finalidade de tornar as atividades mais eficientes e seguras. NLT integrou o sistema AeroScout de RTLS sem fio a sua solução de rede *Northern Light Digital*, onde etiquetas RFID ativas de longo alcance foram instaladas em lanternas, possibilitando a visualização e monitoramento de equipamentos com alto valor agregado e as atividades desempenhadas por pessoas da equipe de trabalho. (HJELM,J., 2013) Desta forma é possível estudar e otimizar atividades em campo, além de garantir a segurança da equipe e resguardar o investimento em equipamentos valiosos.

5.1.7| Outras tecnologias: GSM E CDMA – Sistema de Telefonia celular

Global System of Mobile (GSM) e *code division multiple access* (CDMA) são sistemas que empresas de rede de telefonia celular utilizam para obter posicionamento de seus usuários, em áreas abertas e fechadas. No entanto, a precisão obtida através do método de identificação de células (cell-ID) e da observação da diferença de tempo (E-OTD - enhanced observed time difference) é baixa, entre 50 e 200m dependendo do tamanho da célula. De um modo geral, a precisão é maior em áreas com densidade alta de cobertura por células, como em grandes centros urbanos e bem menor em áreas rurais.

Para medir o posicionamento dos telefones celulares em áreas fechadas, o prédio deverá ser coberto por um grande número de estações base ou por uma estação com forte sistema de leitura de sinal por intensidade (*RSS- received-signal-strengh*). LAMARCA et al (2005), apresenta o sistema de posicionamento baseado na tecnologia GSM em que a ideia chave é o uso da técnica de "*wide signal-strength fingerprints".* Esta técnica compreende 6 células GSM mais potentes e leitores com mais de 29 canais GSM, sendo a maioria destes, fortes o bastante para serem detectados, porém fracos o suficiente para serem usados como um canal de comunicação. Quanto maior a dimensão do canal adicional maior a precisão do posicionamento obtido.

[6] Aeroscout: http://www.aeroscout.com

Segundo LAMARCA (2005) a técnica de "*signal-strength fingerprints"* foi aplicada em um prédio de três andares e os resultados mostraram que este sistema gera a informação do posicionamento do objeto indicando o andar em que se encontra com a precisão de 2,5 ou menos. O mesmo método pode ser aplicado para CDMA e rede 3G.

5.2| Parâmetros Métricos: valores de escolha da tecnologia mais adequada: parâmetros que devem influenciar na seleção da tecnologia

Um dos propósitos deste trabalho é a concepção de um método que classifica as tecnologias utilizadas para rastreamento e localização, baseadas em rede sem fio. Para isto, pretende-se avaliar as tecnologias apresentadas pelo viés de parâmetros conceituais que mensuram o desempenho tecnológico dos sensores.

Os conceitos dos parâmetros selecionados para este estudo serão listados a seguir:

a- Segurança e privacidade

Estes são parâmetros focados exclusivamente nas necessidades que o usuário demanda em relação à privacidade e controle das informações capturadas. Fatores que medem a privacidade do sistema estão relacionados ao controle do acesso aos dados que informam o histórico de localização de determinado ativo e sua distribuição. Investimentos na arquitetura do software aplicado podem apresentar ganhos efetivos para a segurança e privacidade. Como exemplo, softwares que utilizam a arquitetura de "auto-posicionamento" são mais seguros por terem sua localização calculada no dispositivo alvo, ou móvel. Enquanto estes dispositivos móveis não transmitirem estas informações para a central de processamento, ninguém poderá acessá-las.

b- Custo

O custo de um sistema de posicionamento engloba algumas variáveis, como: o custo dos componentes que formam a infraestrutura, os dispositivos de posicionamento utilizados por cada usuário e o custo de instalação e manutenção do sistema.

Alguns sistemas necessitam uma grande e complexa infraestrutura para prover a medida do posicionamento, o que demanda mais investimento e tempo. Já outros sistemas reutilizam a infraestrutura que porventura já esta instalada no local, eliminando custos investidos em hardware. O calculo do custo para o usuário deve considerar além do investimento com componentes físicos, também a manutenção o

que representa uma fatia considerável do valor final. Deve-se considerar ainda a vida útil da bateria e a sua demanda de consumo, o que irá resultar em menos trocas diminuindo consequentemente o custo de manutenção. Um dispositivo que possui a capacidade de calcular seu próprio posicionamento, pode ter um investimento inicial maior devido a maior complexidade do hardware, porém os benefícios com o aumento de vida útil e ganho de segurança na hora de transferência de dados pode compensar o capital investido.

O custo também pode ser mensurado baseado em duas variáveis: tempo e espaço. O tempo está relacionado ao período gasto para concluir uma instalação e a duração da manutenção em casos de falhas.

O espaço se relaciona as restrições físicas que o dispositivo apresenta relacionado as demandas. Exemplo: um dispositivo muito grande não pode ser usado por funcionários que irão carregar o equipamento em suas rotinas diárias.

c- Precisão

Pode-se considerar um dos critérios de seleção mais importantes. A precisão se refere a média do erro de distanciamento e pode apresentar uma variação no alcance de milímetros à quilômetros dependendo da tecnologia utilizada. À medida que a precisão é apurada, o sistema de posicionamento adquire melhoria de desempenho em seu funcionamento. Este pode ser o parâmetro principal para basear a escolha.

d- Exatidão

O que revela a exatidão do sistema de posicionamento é a capacidade de reprodução de um mesmo resultado mediante diversos testes. A precisão indica a média do erro de distanciamento e a exatidão a probabilidade de sucesso na estimativa feita a partir da média de posicionamento calculado previamente.

e -Tempo de resposta (*delay*)

O "*delay*" – tempo de resposta do sistema - é um outro parâmetro de avaliação do desempenho. Entende-se por *"delay"* o tempo o sistema leva para calcular o posicionamento e devolver a informação para a base até a formalização do posicionamento. A demora na duração deste tempo de resposta pode acontecer por duas razões: o alvo/etiqueta rastreada se move muito rapidamente ou existem interferências externas e o ambiente apresenta mudanças dinâmicas.

f- Escalabilidade

A escalabilidade é definida pelo numero de objetos que o sistema pode localizar em relação à infraestrutura dos dispositivos (rede) dentro de um período de tempo determinado.

g- Complexidade

A complexidade se refere à estrutura dos componentes do hardware, software e dos fatores operacionais que envolvem a implantação de um sistema em particular**.** Um aspecto que influencia o nível de complexidade é a intervenção que o usuário deve fazer para colocar o sistema em funcionamento. O nível de dificuldade da interface do sistema, o número de configurações que o usuário deverá operar e a quantidade de hardwares que serão instalados influenciam na complexidade do sistema. Estas atividades são avaliadas durante a instalação e a manutenção.

Outro aspecto de avaliação da complexidade é indicado pela demora que o sistema leva para processar e determinar o posicionamento. Considerando a limitação da capacidade da unidade central de processamento (CPU) e a energia que uma bateria é capaz de armazenar, um sistema que usa baixa complexidade para calcular deve ser melhor avaliado.

h- Responsividade

A responsividade do sistema é indicada pela taxa de localização. A diferença de tempo da movimentação do objeto rastreado entre dois pontos e o tempo em que o sistema leva pra reconhecer o novo posicionamento fornece a taxa de localização do sistema.

Em condições de uso para grandes espaços, será solicitado ao sistema que se reescale incorporando o aumento do alcance da área coberta. Ou seja, a taxa de sensibilidade dos dispositivos que compõe o sistema deve ser suficiente para absorver a rápida mudança em cenários complexos, que é o ambiente aplicado ao tema desta dissertação.

i- Robustez e tolerância à falta

A robustez está ligada à capacidade do sistema de se manter em funcionamento mesmo diante à algumas faltas, como roubo/ falha de algum dos sensores da rede ou obstrução do canal de comunicação.

j-Disponibilidade comercial (mercado)

Dentre os sistema de posicionamento existentes, alguns estão disponíveis no mercado outros são desenvolvidos através de pesquisas acadêmicas. A maioria das companhias desenvolvedoras mantém as características essenciais para o funcionamento dos sistemas em sigilo. Já os sistemas desenvolvidos e testados em pesquisa, expõe claramente seus detalhes de projeto, o que pode ser uma vantagem para implementação de futuras melhorias.

l-Limitações

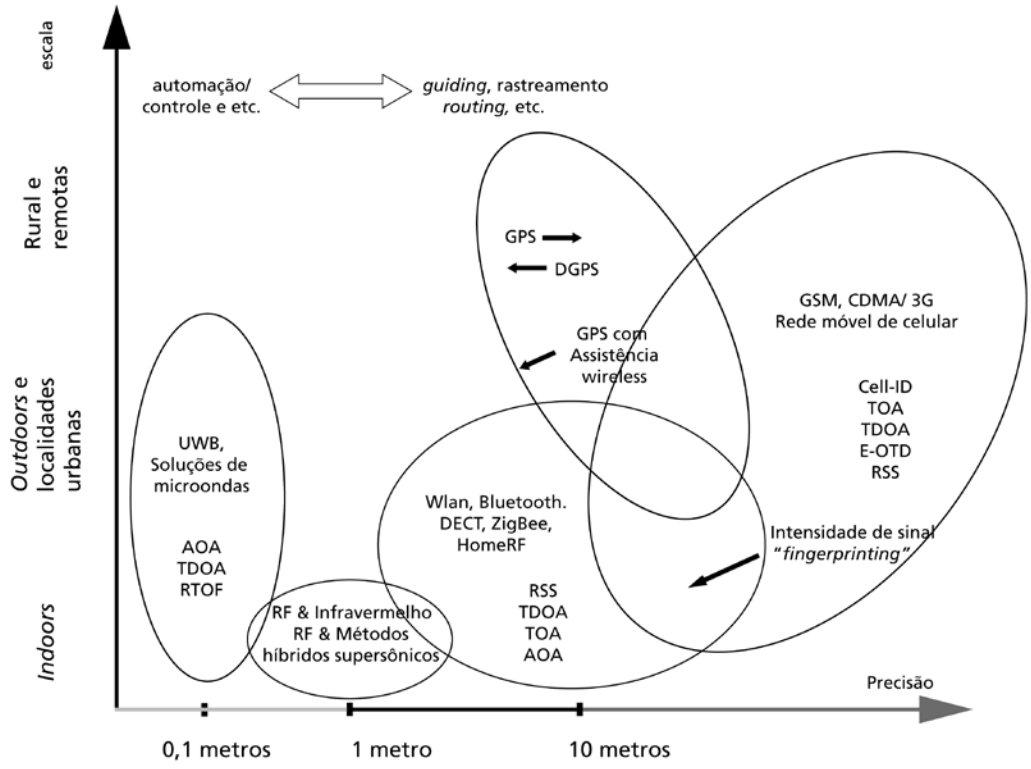
Mesmo diante das efetivas evoluções de desempenho, os sistemas de posicionamento ainda apresentam limitações. Algumas tecnologias que podem apresentar vantagens como baixo custo de implementação oferecem um baixo alcance de cobertura. Outras podem desencadear interferências se utilizadas em conjunto com outros sistemas de comunicação sem fio. Portanto estas limitações devem ser ponderadas na hora da escolha do sistema.

Para avaliação do desempenho do sistema deve-se levar em consideração quais parâmetros necessários à obtenção do posicionamento são oferecidos para que as aplicações se baseiem. Porém esta avaliação deve estar atrelada ao objetivo e necessidade da resposta do rastreamento.

Tendo identificado os princípios essenciais de métrica de localização, os algoritmos de posicionamento e os parâmetros métricos mais relevantes de sistemas de rastreio, tornam-se mais concretos os meios de decisão e discussão para a adoção do sistema mais adequado, que no caso deste trabalho está voltado para grandes empreendimentos com grandes extensões de áreas abertas. Existem dois caminhos no que tange ao funcionamento de sistemas de localização. A primeira abordagem representa o desenvolvimento de um sistema que emite sinais através de uma infraestrutura de rede sem fio com a finalidade de gerar medidas em unidades métricas do posicionamento de determinados objetos. O segundo caminho compreende a utilização e aproveitamento de uma infraestrutura já existente para então, através desta rede sem fio, localizar um alvo. A vantagem do primeiro caso é a possibilidade de controlar as especificações e limitações físicas do sistema com esforços voltados para a precisão dos resultados de posicionamento. Já a vantagem da segunda abordagem é a otimização de gastos de investimento e tempo de desenvolvimento. Entretanto, estes sistemas devem utilizar algoritmos mais complexos para compensar a baixa taxa de precisão dos parâmetros métricos obtidos.

O Gráfico 1 segundo HIU LIU (2010), fornece uma comparação entre os sistemas já descritos. Este gráfico relaciona a precisão obtida de acordo com o ambiente de aplicação, sendo urbanos abertos (outdoor), fechados (indoor) e por fim, ambientes afastados e rústicos.

Gráfico 1: Gráfico adaptado sobre a visão geral da relação entre precisão obtida de sistemas de posicionamento e rastreio baseado em rede sem-fio com o ambiente de implementação. HIU LIU (2010)



CAPÍTULO 6. APRESENTAÇÃO DO MÉTODO

Concluída a apresentação do levantamento das características mais relevantes de funcionamento dos sensores ativos e GPS e estabelecido os principais parâmetros métricos de desempenho dos mesmos, propõem-se a construção de uma malha qualitativa estabelecendo uma correlação entre estes, com aplicações voltadas a uma situação que engloba necessidades e exigências peculiares a um ambiente de grandes empreendimentos, anteriormente classificado.

Através da Tabela 15 – Tabela de seleção RTLS obtém-se um mapeamento de indicativos extraídos da realização de levantamento teórico que teve como objetivo revisar as principais utilizações RTLS existentes hoje no mercado e em pesquisas acadêmicas, que de alguma forma apresentaram resultados e situações decorrentes de testes em campo.

Portanto, através da reunião destas informações e com o conceito de avaliação estabelecido, pretende-se oferecer uma base consistente para auxiliar a tomada de decisão quanto à tecnologia mais adequada para a construção do sistema de rastreio. Objetiva-se menos perdas durante a implantação com resultados mais precisos, além da possibilidade da elaboração de cálculos de retorno sobre investimento, mais concretos.

6.1| Apresentação da Tabela de seleção RTLS

Tabela 8: Tabela de seleção RTLS

SENSORES ATIVOS E GPS / PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO	INFRAVERMELHO	ULTRASOM	BLUETOOTH	UWB	RFID	ZIGBEE	GPS
CUSTO	**MÉDIO**	**ALTO**	**BAIXO**	**MÉDIO PARA ALTO**	**BAIXO PARA MÉDIO**	**BAIXO**	**MÉDIO**
PRECISÃO - ACCURACY	**10 cm**	**16 cm**	**2 m**	**15 cm**	**2-3m**	**5M**	**5M - 50M / 10cm**
EXATIDÃO - PRECISÃO		**95% - 9 cm**	**95% - 2 m**	**50% - 0,3 m**	**50% - 1m**		**50% - 25 m**
ALCANCE	**30 m (LOS)**	**nivel "quarto" - curto alcance**	**10 a 20 m (100m em casos raros)**	**até 200 m (LOS)**	**até 30 m (RFID ativo)**	**10 a 200M**	**global**
LIMITAÇÕES	O receptor precisa estar no mesmo ambiente que o emissor. **Os sinais IV são bloqueados na presença de luz solar e não penetram materiais opacos.**	**Barulhos/ Luzes / Irradiações / Metais** podem ser interferências	Demora na atualização de rede.	Utiliza a mesma faixa de frequencia de outros sistemas licensiados. Em alguns países o uso de UWB é proibido.	Falha para utilização de etiquetas em **materiais líquidos e metálicos**. Distância limitada de leitura tanto para etiquetas ativas quanto para passivas. **Necessário uso de portais ou leitores de mão.**	O dispositivo final, componente da rede que está ligado ao roteador ou gateway possui **baixo alcance** devido à limitação de consumo de energia	**Visada direta.** O sinal do satélite em áreas cobertas fica muito fraco.
ROBUSTEZ E TOLERÂNCIA A FALHA	Frequente **repetições** do conjunto da infraestrutura do sistema para contornar as interferências.	O sistema aplica **algoritmos sofisticados para filtrar as interferência.** Esta solução aumenta bastante o nvestimento.	**Tecnologia AFH-adaptive frequency hopping ,** Uma vez que um canal de comunicação perde sinal por congestionamento, os dispositivos iniciam uma busca de outros canais para intercambiar.	**Imunidade MULTIPATH** Ultrapassa paredes. Não sofrem interferência de outros sinais de RF.	Utiliza técnicas de **espalhamento espectral** para obter uma melhorana rejeição ao sinais interferentes de **outros sistemas operando na mesma faixa de frequências**	Devido a rede em forma de **"mesh"** o sistema se **recupera facilmente** diante o mal funcionamento de um dos pontos	**A- GPS**, técnica que utiliza um link adicional com comunicação à radio para gerar mais informações de posicionamento em ambientes que apresentam falha de recepção de sinais de satélite.
ESCALABILIDADE	Alcance nas limitações de um quarto/ ambiente delimitado.	Não escalável	Cada sensor é capaz de reconhecer outros **200 dispositivos**	UWB transmite sinal ao longo de várias bandas de frequência simultâneamente. Aumentado a faixa de abrangência para transmissão de dados.	**Não há um número limitado** de etiquetas por rede.	. Possui uma escalabilidade de até **65.536 dispositivos.**	Os satélites possuem cobertura em uma **escala mundial**
RESPONSIVIDADE	Update com mais de 60Hz e uma latência de **menos de 10 milisegundos**.	Para rastrear os objetos, os dados capturados por sensor devem ser processados na base central. A transmissão de dados é feita em **intervalos regulares e espaçados.**	Mecanismo lento que gera um menor número de amostras por tempo determinado.	**Muito rápida.** Capacidade de transmissão de até **100 Mbits/seg**. Tempo de resposta - **50 mseg** **Banda larga.** Capacidade de tranmistir muitos dados ao mesmo tempo, gastando pouca energia.	As etiquetas podem ser interrogadas pelos leitores 1500 por segundo. Tempo de resposta - **menos de 100mseg**.	Para economizar energia o dispositivo entra em modo de hibernação. Desta forma o sistema responde melhor quando o cilco de funcionamento está a 1%.	Possuem pós processamento, ou seja, não informam o posicionamenti instantaneamente (exceto os modelos RTK).
COMPLEXIDADE	Alto custo de infraestrutura, reconfiguração e manutenção	O posicionamento dos AP's devem ser informados manualmente	**Toda vez** que um novo link de comunicação é criado, **o dispositivo deve ser reiniciado**	Utiliza **infraestruturas pré-existentes**	Etiquetas programadas manualmente. Para alterações de posicionamento é necessário reprogramar	**Baixa complexidadede** configuração. **Protocolo aberto.** **Sem necessidade de hardwares adicionais e** faixa de frequência sem necessidade de licença	Para obter posicionamento de um dispositivo passam pelo processo de aquisição de dados de no mínimo três satélites

6.2 | Apresentação da estrutura de ordenação da Tabela de seleção RTLS

As colunas estão com a mesma ordem de apresentação que os sensores foram organizados no capitulo 4. Iniciando por Infravermelho e Ultrasom, dando sequência aos três sensores que utilizam comunicação por Radio Frequência e fechando a apresentação dos sensores ativos, está o mais recente, *Zigbee*. Por fim, apresenta-se o GPS, sensor passivo com aplicações em localização mais difundidas do que todos os anteriores.

Nas linhas estão os parâmetros métricos que irão indicar o desempenho dos sensores relacionados. A primeira linha trata de custo, significando o investimento necessário para a composição de uma infraestrutura básica ao funcionamento de um RTLS. Com classificações não diretas, sem um padrão de valor tangível, mas com uma informação comparativa de investimento entre os sensores, as classificações variam entre baixo, baixo para médio, médio, médio para alto e alto não estão correlacionadas ao ambiente que serão implantados.

As três linhas subsequentes, possuem indicativos numéricos para cada intercepção. Estão em cores diferentes aos demais por possuírem informações diretas que podem resumir a escolha da tecnologia final.

Os valores de precisão indicados são as menores medidas obtidas para cada sensor.

A terceira linha que lista o parâmetro exatidão possui valores em porcentagem, pois condiz à estimativa do resultado específico de precisão obtida para diversas tentativas.

Os valores para alcance indicam a distância máxima obtida entre sensores, leitores e antenas.

Os cinco parâmetros seguintes, estão agrupados por conterem informações que condizem à configuração e detalhes do hardware, como padrões ou técnicas adotadas por cada um para contornar limitações. Não possuem uma unidade específica para as classificações lineares, apenas indicações particulares. Porém é possível perceber qual dos sensores poderá fornecer melhores resultados direcionados ao ambiente de implantação.

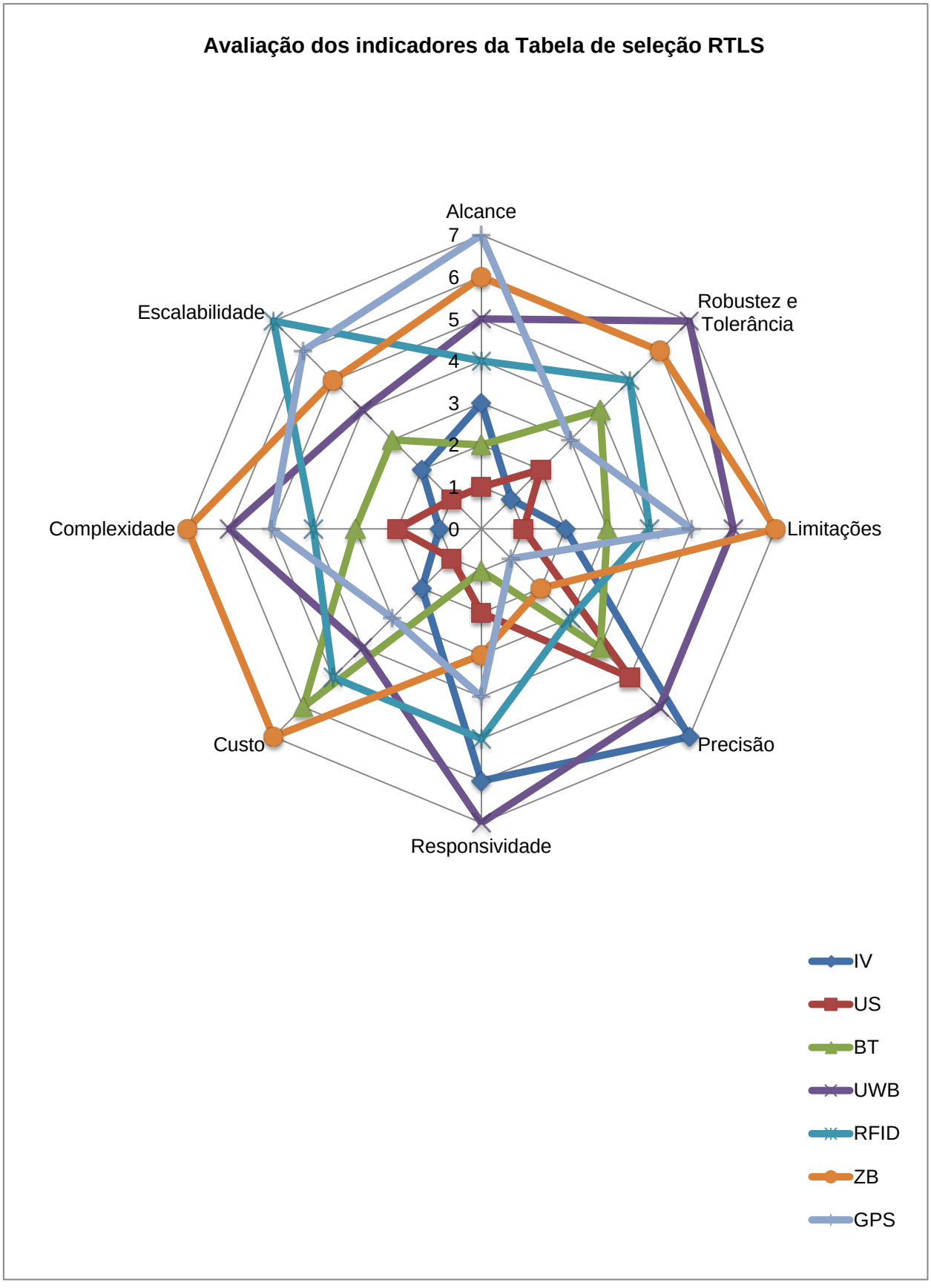
6.2 | Avaliação dos indicadores da Tabela de Seleção RTLS

Para gerar uma relação de comparação entre o desempenho dos sensores, as avaliações entre indicações referentes a cada parâmetro foram ranqueadas com avaliações entre 1 e 7 (número total de sensores avaliados), com ordem crescente, sendo 1 o pior desempenho. Esta classificação foi representada através de um gráfico em radar para que fosse possível visualizar mais claramente o desempenho dos sensores, aplicados a uma situação que se aproximasse ao máximo do ambiente com condições severas e extremas, geralmente o caso de grandes empreendimentos.

Observa-se, no Gráfico 2 abaixo, a avaliação dos indicativos da Tabela de Seleção RTLS e em sequência a descrição da lógica de avaliação de parâmetro por

parâmetro, começando do último da primeira coluna da tabela de Seleção RTLS seguindo até o primeiro parâmetro.

Gráfico 2 / Radar: Avaliação dos indicativos da Tabela de seleção RTLS



- **Custo:** Apesar de existir uma ordenação correlata entre os sensores com classificações que variam de baixo a alto, passando por médio e dois posicionamentos intermediários, o investimento não deve ser comparado e nem priorizado, uma vez que não será um fator determinante da adequação do sistema à demanda de projeto. Todavia o custo final poderá se tornar proibitivo em relação ao cálculo final de retorno sobre o investimento. Neste caso, deverá haver uma adequação de priorização de resultados.

- **Precisão:** Os valores da Tabela de Seleção RTLS indicam o melhor resultado obtido por cada sistema. Geralmente estes casos ocorrem sob condições favoráveis e controláveis. Sem fazer qualquer ligação à avaliação das outros desempenhos a ordem do resultado mais fraco até o melhor é a seguinte: **GPS, Zigbee, Rfid, Bluetooth, Ultrasom, UWB E Infravermelho.**

Os sistemas baseados em UWB obtém menor precisão à medida que atingem maior alcance. No caso de aplicações auxiliares ao GPS, como é o caso do D-GPS que através da obtenção da diferença de posicionamento baseado em estações terrestres chega a fornecer um posicionamento com uma precisão de 10 cm.

- **Exatidão:** Não será apresentada uma ordenação de desempenho, uma vez que os valores são porcentagens relativas a cada posicionamento mínimo obtido.

- **Alcance:** os valores indicados na Tabela de Seleção RTLS são os mais apurados já obtidos por cada sensor. Relacionado diretamente a este parâmetro está a organização da infraestrutura do sistema. Por exemplo, um sistema RFID pode aumentar seu alcance posicionando as antenas na diagonal entre si. Desta forma, o sinal se propaga mais longe, aumentando o valor de alcance de comunicação.

Se a configuração de uma rede **Zigbee** não adotar como prioridade a obtenção de uma maior autonomia de energia, o dispositivo final que está ligado ao roteador ou gateway, poderá obter um maior alcance, chegando até mais de 200m.

Em relação ao **Bluetooth**, o melhor resultado de alcance é atribuído àqueles da classe 1 em condições de energização máxima. Porém a maior quantidade encontrada nos dispositivos no mercado são aqueles de classe 2 que possuem um alcance máximo de 10 metros. Bluetooth possui três classes e 4 versões e em todos os casos o alcance depende das condições de propagação, material do invólucro do sensor, configuração das antenas e condições das baterias.

As etiquetas RFID ativas possuem bateria interna com duração de 1 a 3 anos e chegam ao alcance de 30 metros. Já as etiquetas passivas possuem uma boa interação e qualidade de transmissão, porém com um alcance de menos de 1 metro ou até 10 metros para as semipassivas. As passivas não funcionam bem com metais e líquidos e as semipassivas demandam alta potência dos leitores de mão.

Para que seja possível a implantação destes sistemas, portanto, o layout do ambiente deve ser estudado, uma vez que o posicionamento da infraestrutura do sistema não deverá interferir na movimentação local. Este parâmetro está diretamente ligado às especificações de limitações uma vez que as possíveis interferências deverão ser contornadas principalmente com arranjos de posicionamento da infraestrutura do sistema.

- **Limitações:** Muitas das interferências que atingem o funcionamento do **Ultrasom** estão presentes no ambiente, desta forma as limitações deste sistema podem ser muitas, como barulhos, luzes, irradiações de outros equipamentos e metais.

Sensores **Infravermelho** podem ser bem falhos uma vez que apresentam falha nos sinais emitidos na presença de luz solar. Considerando esta limitação, a aplicação de um RTLS baseado em Infravermelho para ambientes *outdoors* pode se tornar inviável.

Bluetooth apresenta uma demora na atualização da rede, a informação de posicionamento só é enviada quando requisitada pelo sistema e não automaticamente, desta forma a comunicação em tempo real é prejudicada.

Sensores **RFID** apresentam interferências com metais e líquidos, porém alguns modelos de etiqueta ativa já utilizam técnicas que neutralizam estes efeitos.

Apesar de possuir ótimas soluções para longo alcance, as delimitações de um ambiente fechado formam uma barreira pra os sinais de **GPS**. Porém esta limitação já foi contornada conforme será apresentada na avaliação referente à robustez e tolerância à falta a seguir.

UWB utiliza a mesma faixa de frequência que outros sistemas licenciados, portanto para que não causem interferência em alguns países sua utilização é proibida ou como alternativa acabam adotando transmissões com curto alcance.

As limitações do **Zigbee** não estão ligadas a condições apresentadas no ambiente, mas à configuração da infraestrutura que acaba por limitar o alcance para obter uma maior autonomia de energia.

- **Robustez e tolerância à falha:** a avaliação no que tange este parâmetro mede a capacidade técnica que o sistema possui para contornar as dificuldades e continuar operando.

Infravermelho não possui nenhuma técnica específica, apenas a réplica de componentes da infraestrutura para contornar as interferências. Neste caso, aumentam a chance de incompatibilidade com o ambiente, visto que fisicamente o sistema ocupará mais espaço. Para continuar operando diante as muitas interferências que atingem o funcionamento do **Ultrassom**, o sistema aplica algoritmos sofisticados, que acrescem bastante o investimento total. Aplicações **GPS** para ambientes abertos são bem consistentes e resistentes a interferências, porém, ambientes fechados, com paredes e teto, deixam a recepção do sinal gerado pelos satélites bem fraca. Para contornar esta situação, existe a técnica conhecida como A-GPS (*Assisted-GPS*) que utiliza links adicionais com comunicação à radio para gerar mais informações do posicionamento local.

Através da tecnologia AFH (*Adaptive Frequency Hopping*) **Bluetooth** aumenta sua gama de atuação por possuir compatibilidade com vários canais, até que encontre uma faixa livre.

Para que possa operar na mesma faixa de frequência que outros dispositivos contornando interferências que possam surgir, o **RFID** aplica a técnica de espalhamento espectral.

Caso haja o mau funcionamento de um dos sensores ***Zigbee*****,** sua rede com a topologia em forma de malha permite que os sensores continuem operando.

UWB possui imunidade *multipath,* gerando mais resistência a interferências e maior capacidade de penetrar materiais opacos.

- **Escalabilidade:** Sistemas baseados em **Ultrasom** são considerados não escaláveis, ou seja, concentram a informação de posicionamento toda em um componente com finalidade de localizar todos os outros. Portanto nesta avaliação estão com o pior resultado. Seguido por sensores **Infravermelho**, que possuem configuração semelhante ao Ultrasom, apresentam pouca taxa de escalabilidade

devido ao alcance limitado, principalmente por apresentar muitas falhas diante das barreiras físicas.

O próximo na lista crescente, é o **Bluetooth**, sua rede é composta por 7 dispositivos ativos “escravos” e até 200 dispositivos inativos quando a rede está em modo “parked” (estacionado) . Portanto, dentro da faixa de alcance que *bluetooth* permite, cada sensor é capaz de detectar outros 200 dispositivos.

UWB atua em várias faixas simultaneamente e permite que muitos dispositivos fiquem interligados em rede. Seguido por **Zigbee c**om capacidade de expansão de até 65.536 dispositivos, **GPS** com escala global e por fim, **RFID** que não possui um número limitado de etiquetas por rede.

Portanto, para aplicações em ambientes extensos com critério de escolha a capacidade expansão quanto ao número de dispositivos ligados em rede, RFID pode ser o mais indicado.

- **Responsividade:** Dependendo do tempo exigido para a finalidade do rastreio **Bluetooth** pode ser considerado lento demais para aplicações RTLS.

Ultrasom centraliza o processamento dos dados em uma base, portanto também possui uma velocidade de atualização mais lenta e com intervalos regulares.

Para que o **Zigbee** tenha o consumo de energia otimizado os sensores funcionam com capacidade reduzida de transmissão e velocidade.

Para o **GPS** chegar a um resultado de posicionamento, há a necessidade de pós- processamento, ou seja, a responsividade não é instantânea. Os modelos RTK , depois de serem calibrados, possuem resposta de posicionamento instantânea, porém não são considerados aplicáveis a sistemas RTLS devido à limitação física de tamanho e peso. São demasiado robustos para acompanhar a mobilidade necessária a atividade de rastreio, além de muito mais custosos em relação ao GPS.

Por fim, os três sensores que possuem uma mensuração de responsividade: **RFID** com um tempo de reposta de 100mseg, seguido por 50mseg atingidos por **UWB** e **Infravermelho** com 10mseg.

Para aplicação RTLS com uma abordagem de monitoramento de áreas de segurança, ou fiscalização de isolamento de áreas de risco, a responsividade pode se

tornar prioridade, pois quão mais rápido for de conhecimento dos setores responsáveis os casos de irregularidades, riscos mais graves poderão ser evitados.

- **Complexidade:**

Infravermelho possui necessidade de manutenção constante. Os pontos de acesso do sistema baseado em **Ultrasom** deverão ser configurados manualmente cada vez que o posicionamento apresentar mudança.

Cada vez que um novo link de comunicação **Bluetooth** for criado, o dispositivo deverá ser reiniciado.

Dentro do mesmo nível de complexidade dos anteriores, porém com um nível de procedimentos de configuração mais simples, todas as etiquetas **RFID** pertencentes ao sistema devem ser reprogramadas caso haja mudança de posicionamento referenciado. Estes quatro casos demandam tempo e investimento em treinamento de equipe.

O processo de detecção da localização de um dispositivo **GPS** passa por detecção de sinais de satélite, leitura, aquisição de dados para então ocorrer o processamento de um resultado.

UWB utiliza infraestruturas já existentes, que por ventura já estão instaladas para outras finalidades.

Zigbee possui baixa complexidade, com procedimentos de configurações simples, sem necessidade de hardwares adicionais à rede já implantada, além do uso de faixa de frequência sem necessidade de licença e possuir protocolo aberto.

6.3 | Aplicação do método: Tabela de Seleção RTLS + Gráfico 2/Radar

Avaliando a apresentação do gráfico 2/Radar, percebe-se através da visualização do ranqueamento a seguinte relação: quanto mais externa a tecnologia se posicionar, melhor será seu desempenho. Desta forma, a busca pela identificação da tecnologia mais adequada pode ser associada à visualização do gráfico. Porém, há que se ressaltar que nem sempre o melhor desempenho da tecnologia pode ser considerado o mais indicado para a ocasião de aplicação do sistema.

Entretanto, a consulta à tabela é parte essencial para obtenção da indicação da tecnologia, pois os indicadores apresentam as características físicas e capacidade real e isolada dos componentes que formam os sistemas de localização.

Portanto, em conjunto com a consulta à tabela, o método consiste na utilização do gráfico para visualizar a classificação de desempenho, uma vez que as diretrizes de aplicação do sistema estejam bem definidas o usuário poderá perceber visualmente a relação comparativa entre as tecnologias.

6.3 | Direcionamento de aplicação do método

Como já frisado anteriormente, algumas características do que será rastreado (ativos) interferem diretamente na priorização de parâmetros métricos de desempenho da tecnologia RTLS. Variáveis relativas aos ativos como a natureza do material pode interferir no desempenho da tecnologia. O custo dos materiais pode justificar o retorno sobre o investimento em automatização e melhorias de gerenciamento e a quantidade pode determinar o custo final de implantação do sistema, tornando-o viável ou não em relação ao orçamento do empreendimento.

Já as condições do ambiente poderão viabilizar ou não a instalação dos sistemas que possuem particularidades de implantação, como:

- Fluxo dos ativos no ambiente - o conhecimento do fluxo pré-definido do ambiente determinará a área útil em que a infraestrutura necessária ao sistema poderá ser posicionada sem que haja bloqueio de passagem. O fluxo está ligado ainda às condições físicas do layout do local, como a identificação de portas de entrada/saída de equipamentos e pessoas, neste caso poderá ocorrer o aproveitamento destes afunilamentos para a montagem de portais de controle de acesso e inventário, facilitando a implantação de alguns sistemas que possuam um alcance mais limitado.

- Tipo (outdoor / indoor) e tamanho do ambiente - a partir da classificação do ambiente enquanto a cobertura e o tamanho do empreendimento que o sistema deverá cobrir chegar-se-á a indicações de interferências existentes que podem causar o mau funcionamento ou insuficiência do sistema.

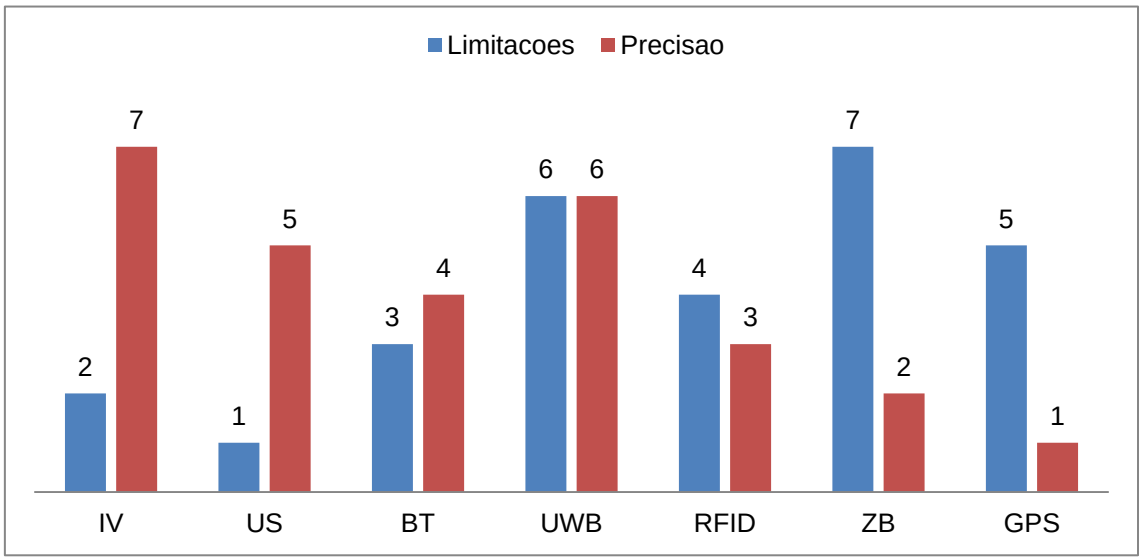
Portanto a priorização das necessidades para atender o objetivo que o usuário definiu deve estar bem delimitada para que se possa chegar à indicação mais adequada da tecnologia.

6.3.1| Priorização dos índices de avaliação de desempenho conforme a natureza dos ativos e o ambiente.

A seguir serão apresentados os gráficos de 2 ao 7, com a indicação da relação direta entre as variáveis referentes aos ativos e ao ambiente, já assinaladas anteriormente, com a definição dos quesitos de avaliação que influenciam diretamente no desempenho dos RTLS's para tais situações. Os sensores analisados estão listados na coluna da esquerda e para cada parâmetro métrico, os sensores recebem uma avaliação com variação de 1 a 7, sendo 1 o pior desempenho e 7 o melhor desempenho apresentado na situação determinada genericamente. O critério de avaliação dos sensores está baseado nos indicativos qualitativos determinados na tabela de Seleção RTLS.

A) Natureza do ativo X Limitações e Precisão

Gráfico 3: Natureza do ativo x Limitações e Precisão



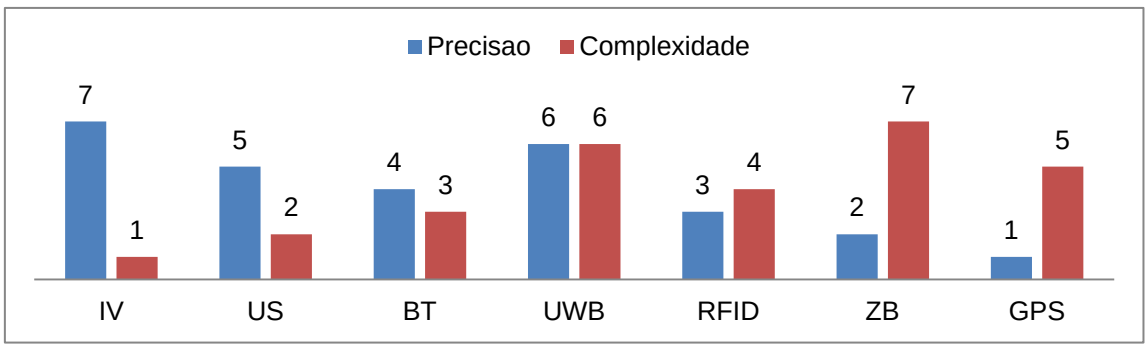
As limitações dos sensores em que se baseiam os RTLS's compreendem entre outros fatores, falhas de funcionamentos mediante alguns materiais em sua essência, como líquidos e metais. Portanto, a elucidação da composição ou natureza do ativo pode ser decisiva para exclusão da adoção de alguns sistemas. Considerando natureza do ativo também como uma definição em sua forma mais basal, pode-se determinar a precisão como um ponto direto de escolha dos sensores. Ativos fluídos, embalados e muito pequenos podem exigir uma precisão mais granular.

Exemplo de aplicação para ativos peculiares
Processo: Gerenciamento de pátio
Atividade: Operações de pátio
No momento em que irá acontecer a descarga dos navios cargueiros que chegam aos portos, obter controle da localização exata de cada container marítimo e seu conteúdo, poderá garantir a movimentação dos materiais e as operações de pátio mais rápidas e precisas.

Figura 12 – Ambiente de aplicação 1 – Pátio de um porto

B) Custo do ativo X precisão e complexidade

Gráfico 4: Custo do ativo X Precisão e Complexidade



Maior complexidade, maior custo de implantação do sistema. Se o custo do ativo for alto e representativo dentro do orçamento do empreendimento, o investimento justifica a finalidade: obter maior controle e monitorar mais assertivamente tais ativos. Sua perda, extravio ou quebra significam um prejuízo considerável. Da mesma forma o alto custo do ativo poderá exigir uma precisão mais refinada de rastreio, sendo igualmente justificado como no caso anterior. Entende se por alto custo, não só o investimento em espécie que envolve o ativo, mas também o valor agregado que pode ser a sua imprescindibilidade para o funcionamento das atividades do empreendimento.

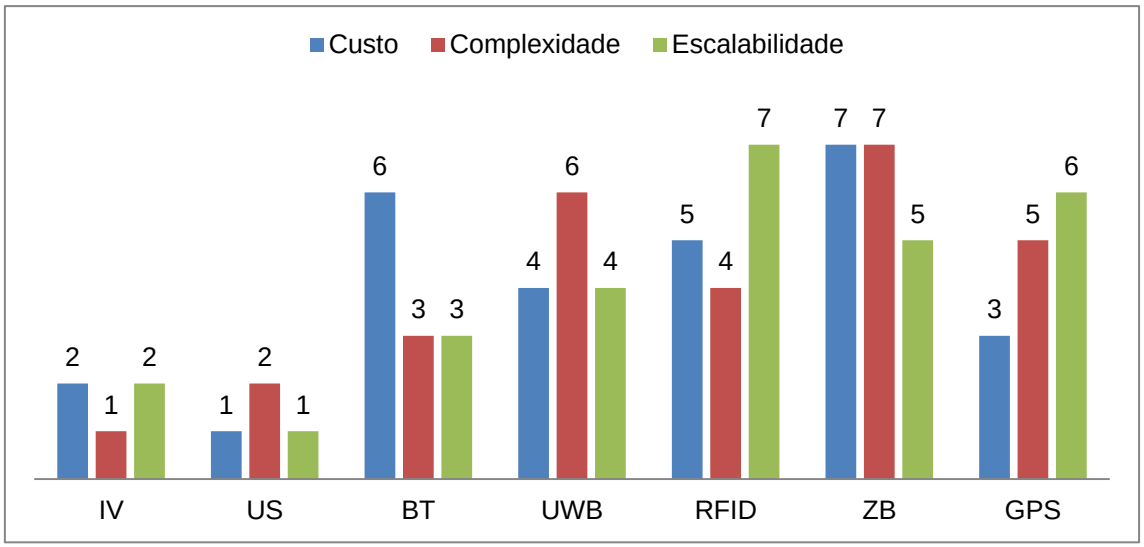
P.s: Porque o alcance não afeta neste caso – o custo da ferramenta não irá determinar que ela seja necessariamente rastreada por áreas extensas. Se tratando **de grandes empreendimentos** o alcance maior pode ser definitivo para diversas situações.

Exemplo de aplicação para ativos com alto valor
Processo: Gerenciamento de pátio
Atividade: Inspeção de reboques
Utilizar equipamentos em boas condições é vital para a segurança dos funcionários e para garantir o fluxo contínuo das rotinas de atividades e equipamentos. Um reboque dentro de um pátio de obras é um maquinário de grande porte de alto valor, não só de investimento, como também a sua falha poderá ocasionar um encadeamento de perdas.

Figura 13: Exemplo de ambiente da aplicação 2 - Trânsito interno da Refinaria Abreu e Lima

C) Quantidade dos Ativos X Custo, Complexidade e Escalabilidade

Gráfico 5: Quantidade dos Ativos X Custo, Complexidade e Escalabilidade



A quantidade do ativo influencia diretamente o custo final de implantação RTLS, considera-se basicamente que a quantidade de etiquetas/ dispositivos que compõem a solução irá aumentar.

Alguns sistemas tem o quesito complexidade diretamente proporcional ao nível de dificuldade de configuração da infraestrutura da solução. Determinadas configurações são operadas ponto a ponto, manualmente. Tanto os dispositivos, a rede, os pontos de acesso e as centrais podem requerer reconfigurações e manutenções constantes. Desta forma se o sistema compreender um número maior de componentes, a demanda de trabalho poderá ser maior.

Por fim, a capacidade de escalabilidade que representa a definição do número de objetos que o sistema pode localizar, é um fator direto relevante.

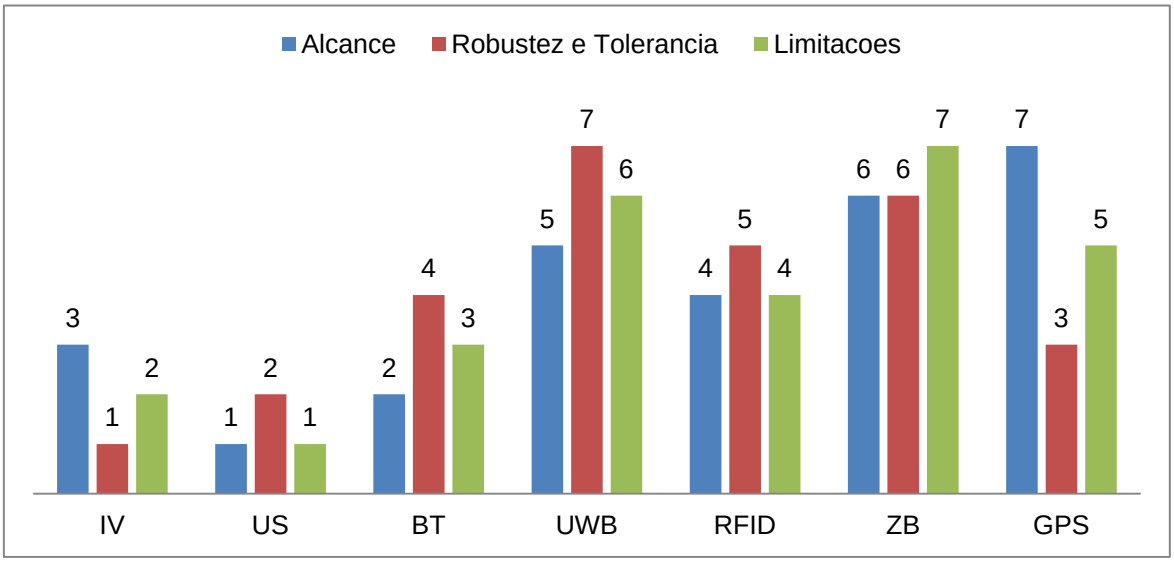
Exemplo de aplicação para ativos em grande quantidade
Processo: Reposição de materiais
Atividade: Rastreamento de moldes
Gerenciamento de centenas de moldes que dependem do posicionamento exato para que o funcionamento das prensas não cesse. O conhecimento da frequência de uso e de características individuais impacta no correto armazenamento, acarretando maior eficiência do cumprimento da atividade e principalmente, diminuindo a probabilidade

de erro em um processo que envolve muitos elementos.

Figura 14: Exemplo de ambiente da aplicação 3 - Esteira de montagem

D) Tipo do ambiente (outdoor ou indoor) X Alcance, Robustez e Tolerância a Falhas e Limitações

Gráfico 6: Tipo do ambiente (outdoor ou indoor) X Alcance, Robustez e Tolerância a Falhas e Limitações



Ambientes outdoors costumam apresentar mais fatores de interferência, considerando que há o funcionamento de muitos equipamentos, além de incidência

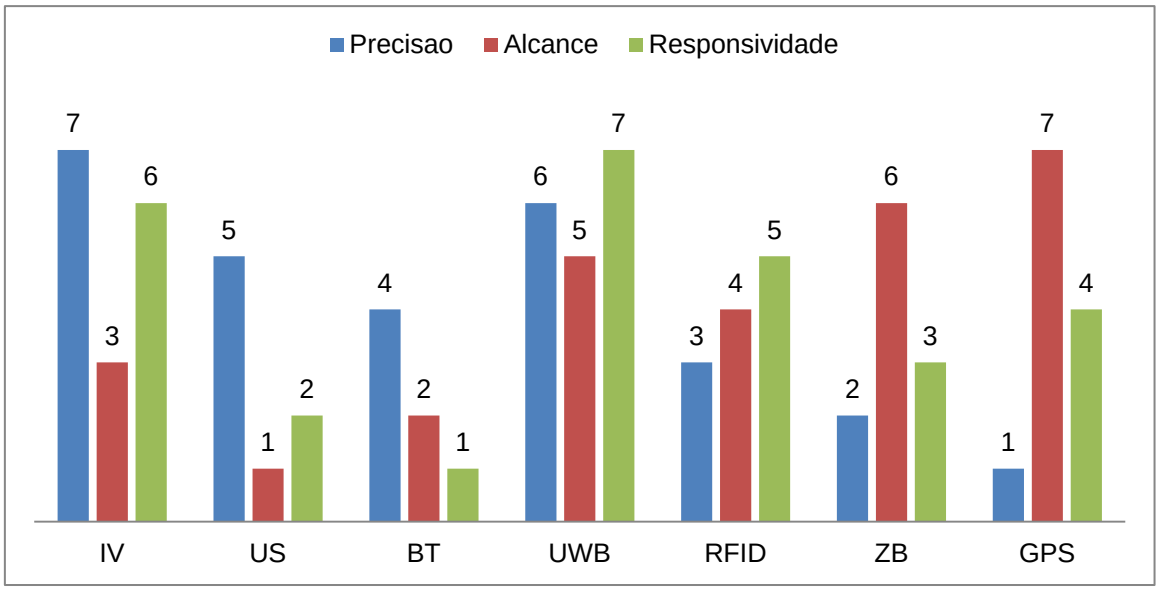
direta de luz solar, trepidação, barulhos e ação de intempéries. Entende-se por robustez e tolerância a falhas o caminho adotado pelo sistema para contornar esses obstáculos e retomar o funcionamento no caso de falhas. Se houver alguma limitação dos sensores em relação a interferências externas, estarão indicadas na classificação de limitações. Portanto, a capacidade de resistência às condições adversas citadas acima induzem a seleção dos sistemas. Por fim, o ambiente poderá exigir uma montagem de estrutura física específica de tal maneira que não seja compreendida em ambientes fechados e também ao contrário.

Exemplo de aplicação para rastreamento de ativos em ambientes *outdoors* em condições adversas
Processo: Visibilidade de pessoas e ativos
Atividade: Trabalhador isolado
Para garantir a segurança de trabalhadores que desempenham atividades em ambientes isolados e de difícil acesso, o sistema pode auxiliar no processo de apoio e monitoramento de execução das tarefas. É possível definir padrões de disparo de alarme e em intervalos de tempo regulares, a central de monitoramento pode requerer contato com o operário para verificar se as condições estão dentro da normalidade.

Figura 15: Exemplo de ambiente da aplicação 4 - áreas isoladas

E) Fluxo predefinido no ambiente X Precisão, Alcance e Responsividade

Gráfico 7: Fluxo predefinido no ambiente X Precisão, Alcance e Responsividade



O fluxo predefinido de pessoas, materiais e maquinários define o layout que o sistema poderá montar a sua estrutura, desta forma o alcance está direcionado ao espaço de cobertura que o sistema deve apresentar para que possa captar toda a rotina de movimentação necessária. A precisão definirá se os ativos estão ou não em determinados espaços como salas, corredores. Caso este seja um requisito relevante, a precisão deverá ter resultados bem apurados. A responsividade determina a capacidade de rastreio em tempo real. Caso a interrogação sobre a identificação do posicionamento do ativo seja de caráter imediato, os sistemas que possuem uma taxa de responsividade baixa serão eliminados da seleção

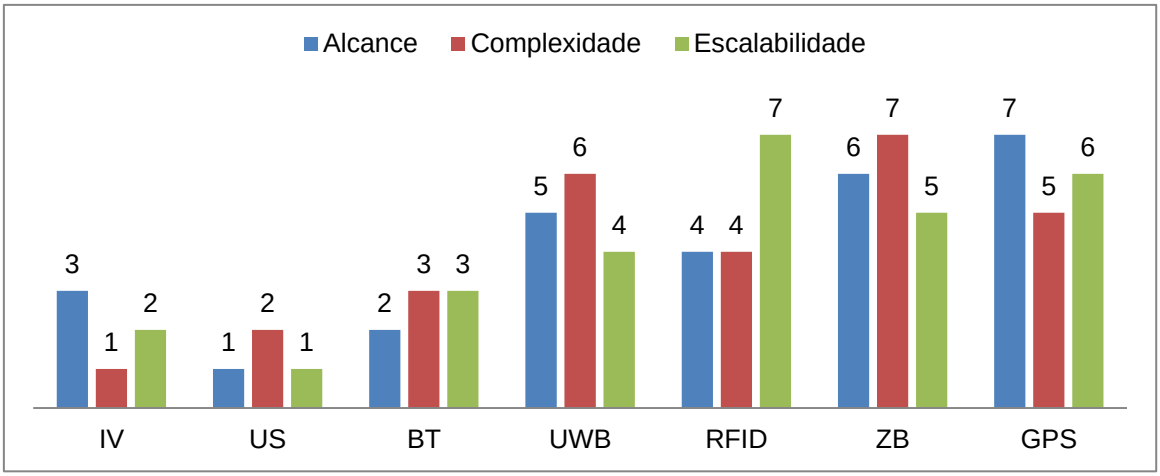
Exemplo de aplicação para ambientes com fluxo predefinido
Processo: Visibilidade de pessoal e materiais e equipamentos
Atividade: Pessoal a bordo e permissão de trabalho
Controle de acesso automatizado com registro de entrada, saída e rastreio em tempo real, garante mais segurança para momentos como evacuação de emergência ou mesmo permissão de acesso a áreas de alta segurança. Este mecanismo pode ser bem aproveitado em plataformas *Off-shore*, minas e outros locais de alto risco. O sistema oferece ainda a possibilidade de inserção de regras de permissão de trabalho. Desta forma a localização dos trabalhadores pode ser feita por filtros de

atividades com monitoramento de adequação dos locais das atividades, além de avaliação de desempenho através do controle de horas trabalhadas.

Figura 16: Exemplo de ambiente da aplicação 4 - Plataforma Offshore

F) Tamanho do ambiente X Alcance, Complexidade e Escalabilidade

Gráfico 8: Tamanho do ambiente X alcance, complexidade e escalabilidade



O tamanho do ambiente se assemelha à variável de quantidade do ativo, porém neste caso ao invés do custo ser um fator determinante, o alcance toma este lugar. Por mais que o sistema possua alguma maneira de contornar o curto alcance, como aumentar a quantidade de antenas, esta alternativa pode acabar se tornando complexa demasiada e inviabilizar ou interferir nas atividades do local. Quanto maior o numero de componentes do sistema, uma maior complexidade será exigida também no caso de sistemas que possuam arranjo de configuração individual. A capacidade máxima da escalabilidade deverá atender a exigência de cobertura do ambiente.

Exemplo de aplicação para ambientes com grandes áreas
Processo: Trabalho em andamento
Atividade: Rastreamento de ferramentas industriais
Em grandes empreendimentos, com áreas divididas por atividade a ocorrência de perdas do controle de localização de ferramentas aumenta. A possibilidade de gerenciar a utilização e localização de ferramentas em tempo real poderá garantir a não interrupção da linha de montagem, além do controle do desgaste, o que deverá acarretar em uma redução de custos e prevenção de perdas.

Figura 17: Exemplo de ambiente da aplicação 6 - grandes empreendimentos

CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO

Atualmente há a indicação latente de investimentos em tecnologia e sistemas de localização em tempo real. Lista-se como algumas das principais diretrizes que guiam este aumento de investimentos a possibilidade de automatização de processos e rastreio de recursos com fácil implantação em ambientes complexos, ganho de eficiência na operação das organizações e cálculos promissores de retorno sobre investimento. Ambas as partes, desenvolvedores e usuários finais, associam facilmente a ideia de implantação RTLS ao aproveitamento direto de avanços tecnológicos e também a liberdade de escolha de padrões de implantação, ou seja, regulamentações não tão rígidas quanto à atividade de rastreio.

Deste modo, nota-se que é cada vez mais fácil comprovar o conceito de que o domínio automatizado de recursos pode pontuar uma tomada de decisões mais assertiva gerando resultados precisos e mensuráveis.

Em se tratando da particularização dos sistemas de localização e rastreio, pode-se afirmar que todos possuem muitas vantagens e desvantagens se comparados entre si e principalmente com relação ao ambiente e finalidade de aplicação. Questões como as técnicas abordadas, especificações da rede, do protocolo de comunicação, se foram projetadas para operar “indoor” ou “outdoor”, influenciam diretamente no custo, em sua susceptibilidade a interferências e precisão obtida, por conseguinte, formam as diretrizes da escolha da tecnologia mais adequada.

Neste estudo apresentam-se a princípio o conceito geral e a base teórica necessária ao entendimento de um sistema RTLS, suas possíveis aplicações e alcance de desempenho. Como condução à escolha da tecnologia e ainda como parte de uma construção de embasamento direcionado, as fases de pré-implantação de projeto foram sugeridas. Definiu-se como ambientes “outdoors” o foco de implantação do sistema, que pode apresentar situações complexas com possibilidade de interferências severas.

Outro fator importante e decisivo para a obtenção de sucesso na implantação de sistemas de identificação e rastreio é o conhecimento absoluto das características físicas e processos que envolvem os ativos que serão rastreados, assim como sua

rotina dentro do ambiente estabelecido. As atividades, o manuseio e a natureza do material podem inferir diretamente no desempenho final dos sensores, acarretando melhorias de desempenho ou ao contrário, a falha permanente do sistema, com insucesso de operação.

No momento que é decidido adoção da automatização de dados e controle de processos por parte representante do empreendimento, dá-se inicio a concepção do projeto do sistema. Muitas vezes, ocorre que os consultores RTLS requisitados para sugerir o sistema mais adequado, são representantes de determinadas tecnologias. Portanto a solução acaba sendo direcionada aos interesses comercias e não efetivamente ao melhor aproveitamento da aplicação através do estudo sistemático de adequação e implantação. Para minimizar consequências destas situações e auxiliar futuros avanços em pesquisa e desenvolvimento, sugere-se a utilização da Tabela de seleção RTLS, apresentada neste estudo.

A intenção da elaboração da tabela de Seleção RTLS, foi a reunião dos principais indicativos que qualificassem cada sensor de acordo com os parâmetros de avaliação de desempenho que mais influíssem na escolha final. Obtendo assim, uma malha que possibilite o embasamento para a análise de viabilidade e restrições em aplicação da tecnologia RTLS para grandes empreendimentos.

Para visualizar mais claramente a comparação de desempenho dos sensores sem que fosse delimitada uma ambientação fixa de aplicação dos sistemas, foi construído um gráfico radar com o resultado obtido por cada sensor ordenando em sequencia de melhor aproveitamento individual. Em outras palavras, foi apresentada uma avaliação linear de cada parâmetro relacionada aos sensores através da indicação qualitativa de desempenho obtido por cada tecnologia.

Para obter a classificação destas tecnologias, foi estabelecida uma ordenação crescente para aquelas tecnologias que apresentam melhores resultados, considerando cada parâmetro métrico de desempenho. Porém, a delimitação das condições de aplicação para este estudo foram conduzidas para abranger uma maior gama de emprego. Desta forma, foram estabelecidas notas para as tecnologias através de uma comparação de desempenho sob premissas genéricas de ambientação, levando em consideração situações já conhecidas para ambientes *outdoors*.

Por conseguinte, as ordenações por nota definem o posicionamento da tecnologia no *ranking*. Porém, observa-se que as notas são por vezes absolutas

demais em se tratando das inúmeras variáveis de aplicação. Os intervalos regulares para a ordenação, ou seja, as notas de 01 à 07 com espaçamentos uniformes em algumas situações não mensura a real diferença de desempenho entre as tecnologias.

Porém, estas particularidades de intensidade da classificação devem ser compensadas com os indicadores da tabela. Ou seja, cada item descrito na tabela foi preenchido com características técnicas inerentes as tecnologias, com suas restrições e vantagens que as limitações físicas dos dispositivos do sistema podem causar, independente da conjuntura da aplicação.

Portanto, no momento de escolha direcionada, o uso destas informações deverá auxiliar o processo de tomada de decisão, com escolhas mais seguras, adequadas e embasadas em um conhecimento mais palpável e acessível inclusive a usuários não especializados.

CAPÍTULO 8. TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros pode-se indicar a continuação do desenvolvimento deste estudo através da enumeração de direcionamentos mais específicos para cada situação. Ou seja, através da definição mais refinada das condições e objetivo de implantação real do sistema, poderá ser gerada uma solução de mapeamento mais específica, com ponderações mais assertivas das nuances de cada situação de aplicação da tabela. Portanto, como evolução deste estudo, é necessário definir o objeto de aplicação, para que antes que a tabela junto ao gráfico avaliativo das tecnologias sejam aplicados efetivamente em campo, este ranqueamento classificatório possa ser direcionado sob a perspectiva de uma aplicação efetiva bem delimitada.

Outra continuidade poderá ser a aplicação da tabela de Seleção RTLS em campo. Testes com os sensores em situações com diversidade de condições e interferências no que mais se assemelhe à ambientação dos grandes empreendimentos.

Através de um dispositivo móvel de visualização o usuário consultaria a tabela para adequar suas escolhas de acordo com o levantamento de características do local. Desta forma os indicativos de desempenho poderão ser validados praticamente.

Outra vertente decorrente deste levantamento seria a automatização de coleta de dados e restrições na fase de pré-implantação de RTLS's. A possibilidade de desenvolver um sistema para a elaboração e efetiva aplicação de coleta de dados em campo (*Site Survey)* minimizaria falhas e aperfeiçoaria o processo de escolha e implantação do sistema de localização gerando soluções mais customizadas direcionadas às necessidades do usuário.

Para obter um refinamento de indicações, os processos de cada empreendimento podem ser delimitados e associados a resultados em campo. Como exemplo, condições inerentes ao ambiente de uma refinaria devem gerar restrições que irão limitar ainda mais a escolha do sistema. Esta atividade deve servir de base para criação de regras de negócio e definição de processos.

REFERÊNCIAS

OTSASON, V. et al “Accurate GSM indoor localization,” UbiComp 2005, Lecture Notes Computer Science, Springer-Varlag, vol. 3660, pp. 141–158, 2005.

PEYRET,F. ; TASKY, R., “Asphalt quality parameters traceability using electronic tags and GPS”, Proc. ISARC ’02, IAARC, Washington, DC, 2002, pp. 155– 160.

FAGERLAND, T. W. *Assessment of Indoor Positioning System (IPS) technology.* Dissertação de mestrado, University of Oslo, Department of Informatics. Maio/2010. 101p.

FURLANI K.M. ; PFEFFER, L.E., “Automated tracking of structural steel members at the construction site”, *Proc. ISARC ’00*, IAARC, Taipei, 2000, pp. 1201– 1206.

CARBONARI, A., GIRETTI, A.; NATICCHIA, B., “A proactive system for real-time safety management in construction sites”, Automation in Construction 20. In: Elsevier, 2011, doi:10.1016/j.autcon.2011.04.019.

YANG,H. ; SIKDAR,B., "A protocol for tracking mobile targets using sensor networks," *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (Cat. no. 03EX698),* pp. 81, 2003.

SONG, J., HAAS, C.T. ; CALDAS, C.H., “A proximity-based method for locating RFID tagged objects”, Journal of Advanced Engineering Informatics (21) (2007) 367–376 Elsevier.

ALHMIEDAT, T. A. ; YANG, S., A Survey: Localization and Tracking Mobile Targets through Wireless Sensors Network, Research School of Informatics, Department of Computer Science, Loughborough University, UK, 2007.

GU, Y. ; LO, A. ; NIEMEGEERS, I. , A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, 2009.

ALHMIEDAT, T.A. ; YANG, S-H, ‘A ZigBee-based mobile tracking system through wireless sensor networks’, *Int. J. Advanced Mechatronic Systems*, Vol. 1, No. 1, pp.63–70, 2008.

BOHN, J.S., TEIZER, J., “Benefits & barriers of construction project monitoring using hi-resolution automated cameras”, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 136 (6) (2010) 632–640.

MECHITOV , K. ET AL, "Cooperative tracking with binary-detection sensor networks," *SenSys'03: Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems,* pp. 332-333, 2003.

ZHANG, W. ; CAO, G., "DCTC: Dynamic convoy tree-based collaboration for target tracking in sensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications,* vol. 3, pp. 1689-1701, 2004.

A. GALSTYAN ET AL, "Distributed Online Localization in Sensor Networks Using a Moving Target," *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS,* vol. 3, pp. 61-70, 2004.

URRUELA, A.; PAGS-ZAMORA, A. ; RIBA, J., *“Divide-and-Conquer based closed form Position Estimating for AOA and TDOA Measurements”*, ICASSP 2006, IEEE Proceedings on; Volume IV, May 2006, pp.: 921-924.

NICULESCU, D.; NATH, B., "DV Based Positioning in Ad Hoc Networks," Telecommunication Systems, vol. 22, pp. 267-4, 2003.

KAEMARUNGSI, K. "Efficient design of indoor positioning systems based on location fingerprinting," *Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, 2005 International Conference on* , vol.1, pp. 181- 186 and vol.1, 13-16, 2005.

HESSESL, F.; VILLAR, R.; DIAS, R.; BALADEI, S. Implementando RFID na cadeia de negócios. 2ª Edição. Porto Alegre: Editora PUCRS, 2012. 344 p.

TAPIA, D. et al, “Implementing a Real-Time Locating System Based on Wireless Sensor Networks & Artificial Neural Networks to Mitigate the Multipath Effect”. In: 14th *International Conference on Information Fusion*, Chicago, Illinois, USA, July 5-8, 2011.

JASELSKIS, E.J. ; EL-MISALAMI, T., “Implementing radio frequency identification in the construction process”, J. Constr. Eng. Manag., ASCE 129 (6) (2003) 680– 688.

K., PAHLAVAN,; LI, X. ; MAKELA, J., “Indoor geolocation science and technology,” IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 2, pp. 112–118, Feb. 2002.

HJELM, J., KOLODZIEJ, K. W., *Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*, Boca Raton, FL: CRC Press , 2006. 463p.

GEZICI, S. et al , “Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks,” *IEEE Signal Process*. Mag., vol. 22, no. 4, pp. 70–84, Jul. 2005.

LIU, C-H.; YU, G-J, “Location Tracking by ZigBee”, Computer Science and Information Engineering Department, Cheng Shiu University, Taiwan, 2010

FLANAGAN, R., LU, W., “Making Informed Decisions in Product-service Systems “, *Proc.IMechE Conference*, Knowledge and Information Management Through-Life, Institute of Mechanical Engineers, 24 June 2008, London, 2008.

D. SCHELL, “*Oil refinery uses RFID to eliminate rework and reduce data entry by 70%*” (Business Solutions, 2001) http://www.businesssolutionsmag.com.

XU, Y. ; LEE, W., "On localized prediction for power efficient object tracking in sensor networks," *Proceedings 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops,* pp. 9, 2003.

GUO, Z., ZHOU, M. ; ZAKREVSKI, L., "Optimal tracking interval for predictive tracking in wireless sensor network," *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS,* vol. 9, pp. 805-807, 2005.

RAJ, M.; VARGHESE, K., “Positioning of human resources in a construction environment using Zigbee” *Department of Civil Engineering, IIT Madras, Tamil Nadu, India*, 2011.

TEKINAY, S.; CHAO, E.; RICHTON, R., “Performance benchmarking for wireless location systems,” IEEE Commun. Mag., vol. 36, no. 4, pp. 72– 76, Apr. 1998.

CHENG, T., VENUGOPAL, M. ; TEIZER, J., et al, “Performance evaluation of ultra wideband technology for construction resource location tracking in harsh environments.” Automation in Construction 20, Elsevier, 2011, doi:10.1016/j.autcon.2011.05.001

JASELSKIS, E.J. et al., “Radio-frequency identification applications in construction industry”, J. Constr. Eng. Manag., ASCE 121 (2) (1995) 189– 196.

PEREIRA, Paulo. *Real Time Locating System based on RFID*. Dissertação de mestrado - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Julho/2011. 111p.

FONTANA, R. J., “Recent system applications of short-pulse ultra-wideband (UWB) technology,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 9, pp. 2087–2104, Sep. 2004.

AHSON, S.; MOHAMMAD, I.; RFID Handbook: Application, Technology, security and privacy. New York: CRC Press, 2008. 714 p.

NIEMEGEERS, I ; HEEMSTRA DE GROOT, S. M., ”Research issues in adhoc distributed personal networking”, *Wireless Personal Commun.*, vol. 26, no. 2-3, August 2003, pp. 149-167.

MALIK, A., (2009). RTLS For Dummies. Wiley. p. 384. ISBN 978-0-470-39868-5.

S., CAPKUN ; L., BUTTYAN ; J., HUBAUX , "SECTOR: Secure tracking of node encounters in multi-hop wireless networks," *Proceedings of the 1st ACM Workshop on Security of Ad Hoc and Security of Ad Hoc and Sensor Networks (in Association with 10th ACM Conference on Computer and Communications Security),* pp. 21-32, 2003.

LU, W., HUANG, G.Q. ; LI, H., “Scenarios for applying RFID technology in construction project management”, Automation in Construction 20, Elsevier, 2011, doi:10.1016/j.autcon.2010.09.007.

LIU, H. et al, Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems , IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews, vol. 37, no. 6, 2007.

GUPTA, R. ; DAS, S. R., "Tracking Moving Targets in a Smart Sensor Network," *IEEE Veh. Technol. Conf.,* vol. 5, pp. 3035-3039, 2003.

RAZAVI, S. N. ; HAAS, C. T., “Using reference RFID tags for calibrating the estimated locations of construction materials”, Automation in Construction 20. In: Elsevier, 2011, doi:10.1016/j.autcon.2010.12.009.

AKINCI, B.; PATTON, M. ; ERGEN, E., “Utilizing radio frequency identification on precast concrete components—supplier’s perspective”, *Proc. ISARC ’02*, IAARC, Washington, DC, 2002, pp. 381–386.

RAPPAPORT, T. S., ‘Wireless communications: principles & practice’, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1996.

VOSSIEK, M. et al., “Wireless local positioning—Concepts, solutions, applications,” in Proc. *IEEE Wireless Commun*. Netw. Conf., Aug. 2003, pp. 219–224.