

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE RFID PASSIVA COM FUSÃO SENSORIAL
PARA DETECÇÃO DE USUÁRIOS EM AMBIENTES PREDIAIS**

Por,

Raissa Almeida Alves

Renata Cristina Moura Chupel

Brasília, julho de 2015



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**UTILIZAÇÃO DE RFID PASSIVA COM FUSÃO SENSORIAL
PARA DETECÇÃO DE USUÁRIOS EM AMBIENTES PREDIAIS**

Por,
Raissa Almeida Alves
Renata Cristina Moura Chupel

*Relatório submetido como requisito parcial de obtenção
de grau de Engenheiro de Controle e Automação*

Banca Examinadora

Prof. Adolfo Bauchspiess, UnB/ENE
Orientador

Prof. Lélío Ribeiro S. Júnior, UnB/ENE
Examinador interno

Prof. José Edil G. de Medeiros, UnB/ENE
Examinador interno

Prof. Renato Alves Borges, UnB/ENE
Examinador interno

Brasília, julho de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, RAISSA ALMEIDA

CHUPEL, RENATA CRISTINA MOURA

Utilização de RFID passiva com fusão sensorial para detecção de usuários em ambientes prediais, [Distrito Federal] 2015.

viii, 75p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2015). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. RFID passivo

2. Rastreamento

3. Automação Predial

4. Programação em tempo real

I. Mecatrônica/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Alves, R. A., Chupel, R. C. M. (2015). Utilização de RFID passiva com fusão sensorial para detecção de usuários em ambientes prediais. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT. TG-nº08/2015, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Alves, R. A., Chupel, R. C. M.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Utilização de RFID passiva com fusão sensorial para detecção de usuários em ambientes prediais

GRAU: Engenheiro

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Raissa Almeida Alves e Renata Cristina Moura Chupel

Laboratório de Automação e Robótica (LARA), L3 Norte, SG-11 - UNB Área 1, DF.

70919-970 Brasília – DF – Brasil.

Dedicatórias

Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre apoiaram as minhas escolhas na vida.

Renata Cristina Moura Chupel

Dedico este trabalho aos meus pais, pela dedicação e compreensão em todos os momentos desta e de outras caminhadas..

Raissa Almeida Alves

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, meus pais e meu irmão pelo apoio e compreensão nesses anos de graduação. Sem vocês, essa conquista não seria possível. Sou o resultado da confiança e da força de cada um.

Agradeço também ao Tiago, que sempre me incentivou e acreditou no meu potencial como Engenheira. Obrigada pela ajuda nesse trabalho e por me fazer uma pessoa mais feliz com a sua presença em minha vida.

Agradeço aqui, em especial, a minha amiga e colega de curso Renata Cristina. Obrigada pelo apoio em todos os momentos e por sempre compartilhar todo seu conhecimento. Ser sua amiga a 10 anos e colega desse curso, estágio e monografia foi, é e sempre será uma honra.

Ao professor Adolfo por aceitar a nossa proposta e nos orientar em meio a tantas outras tarefas que possuía. Agradeço pela paciência, atenção e por tornar essa experiência grandiosa e marcante para meu crescimento profissional.

Ao meu grande amigo e chefe Júlio, por me mostrar o caminho ao grande ramo da automação residencial e predial. Agradeço por sempre se mostrar disponível para ajudar e por acreditar em mim. Obrigada pelas oportunidades.

Fica meu agradecimento também aos meus colegas de estágio, por tornarem a minha rotina diária prazerosa e pelo conhecimento compartilhado.

Ao amigo de curso e doutorando Vinícius Galvão, por ser tão sábio e humilde. Seu apoio foi imprescindível, não apenas para a construção desse trabalho, mas para a minha formação nessa graduação.

Obrigada também à funcionária Anna Carolina, pela sua eficiência inquestionável.

Aos meus amigos de curso, em especial a Turma 25 de Engenharia Mecatrônica, que sempre estiveram ao meu lado durante todos esses anos. Obrigada por construírem lembranças de momentos inesquecíveis de diversão e estudos, tornando essa graduação a melhor experiência que se poderia ter.

Destaco aqui também os colegas que contribuíam nessa etapa final de curso: Arthur e Mayara, pois pararam suas atividades para colaborar com a construção dessa monografia. Serei eternamente grata por ter estudado em uma universidade maravilhosa que mudou completamente o meu jeito de enxergar o mundo. Obrigada, Universidade de Brasília.

Raissa Almeida Alves

Gostaria de agradecer, acima de tudo, aos meus pais Nara e Celestino, que me ensinaram a enfrentar as dificuldades da vida sempre de cabeça erguida. Amo vocês elevado ao infinito fatorial.

Aos meus irmãos Alexandre, Felipe e Rafael pelo suporte e carinho nas horas em que mais precisei, amo vocês incondicionalmente.

À minha melhor amiga Barbara por sempre estar presente nos meus melhores momentos, e por sempre me ajudar a levantar nas horas em que mais precisei. Você é como uma irmã para mim. Obrigada também por ajudar a revisar o trabalho tão em cima da hora. Agradeço também à Jandira e à Brenda, que são pessoas especialíssimas na minha vida. Agradeço em particular por ter tido a oportunidade de fazer esse trabalho de graduação com uma amiga tão especial. Rah, a gente se desesperou bastante, mas todos os momentos valeram a pena. Espero que a nossa amizade nunca acabe! Foi um prazer fazer dupla com você! Vamos finalmente ser engenheiras!

Gostaria de agradecer ao Tiago, que nos ajudou em todos os momentos em que travamos na programação. Muito obrigada por ser tão paciente e prestativo.

À Carol, que nunca poupou esforços para me ajudar. Você é uma das pessoas mais eficientes que eu já conheci na vida. Sou muito feliz por ser sua amiga.

Ao Viníciu Galvão, que está cursando doutorado na UnB. Você sempre teve prazer em nos ajudar, mesmo quando estava super ocupado com seus projetos. Muito obrigada também pelas conversas de incentivo quando estávamos para baixo. Você foi uma pessoa importante nessa jornada!

Gostaria de agradecer ao Engenheiro Julio Seype, primeiramente, por ser meu amigo. Muito obrigada por sempre nos apoiar e nunca exigir nada em troca. Eu te admiro por você ser essa pessoa tão correta. Obrigada também por me ajudar a conseguir estágio no meu último semestre de engenharia!

Gostaria de agradecer também aos meus amigos da turma 25, em especial ao Pedro, à Luisa e ao Helton. Gente, vou sentir muitas saudades dessa época que passamos juntos. Vocês são simplesmente demais.

Aos meus companheiros de estágio, em especial ao Josué, por sempre ser compreensível e me ajudar nos momentos em que mais precisei.

Agradeço também a Fernanda por ser minha amiga. Adorei ter te conhecido melhor ano passado! Muito obrigada por sempre ouvir minhas lamentações.

À Yasmin, que é minha amiga desde o início da minha jornada da UnB. Muito obrigada pelas dicas, pelo suporte e principalmente pela amizade.

Gostaria de agradecer também ao professor Adolfo, que nos aceitou como alunas no TG2. Muito obrigada pela paciência, conselhos e dedicação.

Ao professor Renato, você sempre foi um ótimo professor e orientador. Foi um prazer fazer ADL, PIBIC e trabalho de graduação com você.

Gostaria de agradecer também à Mayara e ao Artur por estarem juntos comigo nessa reta final, compartilhamos muitos momentos e várias risadas. Obrigada por nos ajudar a testar as transições nos ambientes!

Ao Thiago Rocha, por sempre me ajudar a encontrar uma solução quando os sensores não estavam funcionando. A ideia do espelho parabólico foi sensacional.

Agradeço a todos que de certa forma fizeram parte da minha vida e contribuíram para o término dessa jornada.

RESUMO

Atualmente, diversas tecnologias são utilizadas para determinação da identidade e localização de pessoas em ambientes prediais. Esses sistemas de rastreamento podem se basear em dispositivos de radiofrequência como RFID, *Bluetooth*, *WiFi*, *ZigBee* ou em processamento de imagens e vídeo.

A identificação por radiofrequência, ou *Radio Frequency Identification* - RFID, é uma tecnologia emergente que tem muito potencial para varejistas, fornecedores e empresários, visto que possibilita a identificação de produtos de forma rápida e simples sem a utilização de um leitor ótico. Dessa forma, propõe-se nesse trabalho, uma arquitetura computacional que permite o rastreamento de usuário com a implementação de ambientes inteligentes em cenários dotados de automação predial utilizando a tecnologia RFID com etiquetas passivas.

O sistema de rastreamento foi implementado no Laboratório de Automação e Robótica, LARA, localizado na Universidade de Brasília. Ele foi dividido em quatro ambientes distintos, sendo que um quinto ambiente externo também foi considerado. Três leitoras e cinco antenas da marca Impinj foram instaladas. Parâmetros como posicionamento e potência das antenas foram estudados e testados para que o sistema fornecesse uma melhor leitura das etiquetas.

Também foram desenvolvidos sensores a laser para complementar a informação do RFID, caracterizando uma fusão sensorial. Para realização dos testes, cada usuário utilizou um crachá contendo duas etiquetas RFID passivas. O algoritmo foi implementado em linguagem de programação orientada a objeto, C#.

Seus parâmetros como posicionamento e potência foram estudados e testados para uma melhor obtenção da leitura das etiquetas passivas.

Resultados satisfatórios foram obtidos pelo sistema de rastreamento proposto com fusão sensorial, validando o uso da tecnologia de RFID passiva para o rastreamento de usuários utilizada em crachás.

Palavras Chave: RFID passiva, rastreamento, automação predial, programação em tempo real.

ABSTRACT

Several technologies are used to determine the identity and location of persons in building environments. These tracking systems can be based on radio frequency devices such as RFID, Bluetooth, WiFi, ZigBee or processing of images and video.

The radio frequency identification, or Radio Frequency Identification - RFID is an emerging technology that has great potential for retailers, suppliers and business, as it allows the product identification quickly and easily without the use of an optical reader . Thus, a computational architecture that enables the user to trace with the implementation of intelligent environments in settings equipped with building automation using RFID with passive tags is proposed in this work.

The tracking system was implemented in the Laboratory of Automation and Robotics, LARA, located at the Universidade de Brasilia. The Lab was divided into four separate areas, with a fifth external environment is also considered. Three readers and five antennas were installed Impinj brand. Parameters such as position and power of the antennas have been studied and tested for the system to provide a better reading of labels.

Laser sensors were developed to complement the RFID information, featuring a sensor fusion. To perform the test, each user has used a badge containing two passive RFID tags. The algorithm was implemented in oriented programming language, object C#.

Parameters as position and power were studied and tested to obtain a better reading of passive tags.

Satisfactory results were obtained by the proposed tracking system with sensor fusion, validating the use of passive RFID technology for tracking users used in badges.

Keywords: passive RFID, tracking, predial automation, real time programming.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	1
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3	TRABALHOS ANTERIORES	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	TECNOLOGIAS DE IDENTIFICAÇÃO POR RADIO FREQUÊNCIA - RFID	3
2.1.1	BREVE HISTÓRICO	3
2.1.2	COMPONENTES DE UM SISTEMA PADRÃO	4
2.1.3	APLICAÇÕES	14
2.2	FUSÃO SENSORIAL	17
2.3	PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS	18
2.3.1	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C#	19
2.3.2	FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO - VISUAL STUDIO 2013	19
3	DESENVOLVIMENTO DE PROJETO	21
3.1	METODOLOGIA	21
3.1.1	ESPECIFICAÇÃO E ALGORITMO	21
3.1.2	COMPONENTES DO SISTEMA RFID UTILIZADOS	23
3.1.3	DEFINIÇÃO DAS ETIQUETAS APROPRIADAS	28
3.1.4	SENSOR DE TRANSIÇÃO DE AMBIENTES	31
3.1.5	INSTALAÇÃO DO PROJETO	34
3.1.6	PROGRAMAÇÃO	35
4	CENÁRIOS DE TESTES	39
4.1	CONFIGURANDO A POTÊNCIA DAS ANTENAS	39
4.2	DETECÇÃO DE USUÁRIOS	41
4.2.1	CENÁRIO COM SOMENTE SISTEMA RFID - UM USUÁRIO	41
4.2.2	CENÁRIO COM FUSÃO SENSORIAL	47
4.2.3	DISCUSSÃO SOBRE O <i>Hardware</i> UTILIZADOS E DIFICULDADES ENCONTRADAS	49
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE FIGURAS

2.1	Componentes de um sistema padrão RFID, [1].	5
2.2	Arquitetura do sistema RFID, [2].	5
2.3	Parâmetros que influenciam no alcance da leitura, [2].	7
2.4	Etiquetas Ativas, [2].	7
2.5	Estrutura interna de uma etiqueta passiva, [3].	8
2.6	Faixa espectral das frequências mais utilizadas em RFID, [3].	9
2.7	Portas de conexão da leitora <i>Speedway Revolution R420</i> , [4].	12
2.8	Portas para conexão com antenas da leitora <i>Speedway Revolution R420</i> , [4].	12
2.9	Arquitetura para um produto <i>middleware</i> RFID, [3].	13
2.10	Exemplo de controle de acesso com RFID, [5].	14
2.11	Implante humano de RFID, [6].	15
2.12	Controle de tráfego utilizando RFID, [5].	16
2.13	Fusão direta dos dados do sensor, [7].	17
2.14	Exemplo de sensor passivo infravermelho.	18
3.1	Divisão do espaço para o projeto no LARA.	22
3.2	Transições possíveis entre ambientes.	22
3.3	Leitora RFID <i>Impinj Speedway R420</i> , [4].	24
3.4	Representação de como é realizada a conexão da leitora na rede, [4].	24
3.5	Parâmetros da leitora.	25
3.6	Visualização da leitura de <i>tags</i> .	25
3.7	Impinj Threshold - FS, [8].	26
3.8	Zona de leitura da antena, [4].	27
3.9	Dimensões da antena Impinj Threshold - FS, [4].	27
3.10	Diagramas de radiação da antena Impinj Threshold para os planos, X-Y, X-Z e Y-Z, [4].	28
3.11	Etiqueta RFID Passiva Frog 3D, [9].	29
3.12	Etiqueta RFID Passiva EOS500-R-W-001, [10].	29
3.13	Diagrama de radiação da etiqueta EOS-500, [10].	30
3.14	Etiqueta RFID Passiva NXP UCODE7.	30
3.15	Padrão de radiação da etiqueta NXP UCODE7.	31
3.16	Localização típica do crachá com as etiquetas em um usuário e imagem aproximada da montagem do crachá.	31
3.17	Resistor Dependente de Luz.	32

3.18	<i>Arduino Mega 2560</i> , [11]	32
3.19	Máquina de Estados do sistema LDR.	34
3.20	Localização da instalação dos componentes no LARA.	35
3.21	Programa Interface	36
3.22	Exemplo de relação entre as tabelas Etiquetas e Usuarios	36
3.23	Parâmetros da tabela Leitoras	37
3.24	Visualização do programa Principal	38
3.25	Visualização do menu do programa Principal	38
4.1	Instalação da antena na porta da sala de reuniões.	40
4.2	Erro de leitura no ambiente 3.	43
4.3	<i>Output</i> do Console do sistema de detecção de usuários para várias transições.....	44
4.4	Imagens do vídeo realizado para várias transições de um usuário.....	45
4.5	Resposta do sistema RFID em Console para vários usuários.	46
4.6	Imagem do vídeo do sistema RFID de detecção para vários usuários.	47
4.7	Resposta do sistema RFID em Console para utilização de sensores.	48
4.8	Duas pessoas entrando no ambiente ao mesmo tempo.	49
1	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:01.	54
2	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:09.	54
3	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:19.	55
4	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:21.	55
5	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:31.	56
6	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:36.	56
7	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:09.	57
8	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:11.	57
9	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:21.	58
10	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:24.	58
11	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:31.	59
12	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:35.	59
13	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:42.	60
14	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:47.	60
15	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:54.	61
16	Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:57.	61

LISTA DE TABELAS

2.1	Resumo das características das faixas de frequência de RFID	10
3.1	IPs fixos de leitora RFID	26
3.2	Especificações Elétricas da Antena <i>Impinj Threshold - FS</i>	26
4.1	Campo de leitura das etiquetas RFID passivas.	40
4.2	Transição de um usuário entre dois ambientes	42
4.3	Usuário realizando duas transições entre ambientes	42
4.4	Transição de um usuário entre vários ambientes.....	43
4.5	Usuários e EPCs correspondentes	45

ABREVIACOES E ACRONIMOS

Siglas

LARA	Laboratório de Automação e Robótica
UnB	Universidade de Brasília
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> - Identificação por Radiofrequência
EPC	<i>Electronic Product Code</i> - Código Eletrônico de Produto
WiFi	<i>Wireless local area network</i> - WLAN
SQL	<i>Structured Query Language</i> - Linguagem de Consulta Programada
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> - Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet
LF	<i>Low Frequency</i> - Baixa Frequência
HF	<i>High Frequency</i> - Alta Frequência
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> - Ultra Alta Frequência
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
PoE	<i>Power Over Ethernet</i>
SMP	Serviço Móvel Pessoal
LLRP	<i>Low Level Reader Protocol</i> - Protocolo de baixo nível do leitor
IR	Infravermelho
PIR	Sensor Infravermelho Passivo
LDR	Resistor Dependente de Luz
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
IFF	<i>Identification Friend-or-Foe</i>

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo aborda uma rápida contextualização do tema, objetivos de projeto e trabalhos anteriores.

1.1 Contextualização do Tema

Ao longo das últimas décadas, houve uma significativa alteração no nível de conveniência fornecida por produtos de consumo. O progresso da tecnologia levou os consumidores a exigirem funções além de configurações básicas nos seus produtos e no cotidiano, aumentando a demanda por produtos automatizados, considerados "inteligentes".

Historicamente, os edifícios utilizavam sistemas separados para os controles de iluminação, segurança, climatização, áudio e vídeo. Cada um desses sistemas era projetado e instalado independentemente. Com o avanço das tecnologias, as empresas de segurança e alarme surgiram com a proposta de integração de todos esses sistemas em conjunto único. Novas ligações eletrônicas tiveram de ser estudadas e projetadas e, principalmente, um novo sistema de programação precisou ser elaborado, [12].

A automação predial consiste em um sistema de controle, distribuído ou centralizado, automatizando sistemas empregados em ambientes prediais, como sistemas de condicionamento, áudio e vídeo, iluminação, persianas e segurança. Esse sistema compreende diversos sensores e atuadores em rede agindo em conjunto para atingir determinados objetivos dentro de uma edificação, com pouca ou nenhuma interferência humana.

A automação tem por objetivo principal facilitar a vida do usuário e melhorar sua qualidade de vida, propiciando um aumento do conforto, da segurança e da praticidade; além de reduzir o consumo de energia, de custos operacionais e valorizar o imóvel.

Todavia, a automação predial ainda apresenta desafios a serem alcançados. O rastreamento de usuários em um edifício resultaria em uma automação mais eficiente e adequada para o ajuste de parâmetros em um ambiente.

Para isso, pode-se empregar uma tecnologia de uso crescente: o Sistema de Identificação por Radiofrequência (*Radio Frequency Identification* - RFID). O RFID é um método de identificação

único que utiliza ondas de rádio como meio de comunicação. Seu funcionamento é baseado em uma leitora se comunicando com uma etiqueta que possui informação digital em um microchip. Essa tecnologia já é utilizada por diversos setores da indústria varejista e sua aplicação em rastreamento de usuários proporciona um produto inovador e prático.

Nesse trabalho de graduação, utilizou-se a tecnologia RFID passiva para a automação predial com a adição de lasers e sensores de luminosidade compondo uma fusão sensorial. Esses sensores realizaram a ratificação dos dados e identificação de erros, auxiliando na implementação do projeto.

1.2 Objetivos do Trabalho

O objetivo específico do presente trabalho é realizar o rastreamento dos usuários do Laboratório de Automação e Robótica (LARA) com tecnologia RFID passiva, identificando suas mudanças de ambientes para futuras adaptações de parâmetros de climatização e iluminação, por exemplo, conforme o número de usuários em cada local.

Já o objetivo geral é criar espaços inteligentes que, futuramente, possam diminuir o consumo de energia em ambientes prediais.

1.3 Trabalhos anteriores

Alguns estudos sobre RFID passiva para rastreamento de usuários já foram realizados previamente no LARA, como, por exemplo, em [13]. Ambas as tecnologias, passiva e ativa, foram objetos de pesquisa em dissertações teóricas e práticas. Entretanto, resultados encontrados demonstraram a necessidade de se criar um melhor algoritmo e uma discussão mais profunda acerca de alguns conceitos.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, realiza-se uma discussão acerca do sistema de tecnologia RFID, da linguagem de programação orientada a objetos (C#) e dos sensores para uma fusão sensorial com o sistema RFID passivo.

2.1 Tecnologias de identificação por Radio Frequência - RFID

Apesar dos avanços já alcançados pela tecnologia de Sistema de Posicionamento Global - GPS, um espaço *indoor* está fora do alcance de satélites. Seus sinais não estão aptos a penetrar na maioria dos materiais das construções. Dessa forma, surgiram os projetos de sistemas de posicionamento, ou localização, para pessoas e objetos *indoors*.

Desde a invenção do microprocessador, uma variedade de tecnologias baseadas na transmissão via rádio para espaços pequenos tem sido empregada para localizar itens *indoors*, [14]. A identificação eletrônica por radiofrequência será o tema abordado para esse trabalho.

2.1.1 Breve Histórico

O RFID, ou identificação eletrônica por radiofrequência, tem origem antiga. Os primeiros usos dessa tecnologia foram nos anos 50 e eram limitados ao exército, aos laboratórios de pesquisa e às grandes empresas comerciais devido ao alto custo e às grandes dimensões de seus equipamentos. Um exemplo foi o sistema *Identification Friend-or-foe - IFF*, no Laboratório de Pesquisas Navais dos EUA, liderado por Robert Alexander Watson-Watt, inventor do radar. Tal invenção permitiu às unidades militares antigas distinguirem aeronaves aliadas de inimigas.

Já no final das décadas de 60 e 70, empresas como *Sensormatic* e *Checkpoint* começaram a investir na tecnologia RFID para aplicações menos complexas e mais usadas no cotidiano. O rastreamento de produtos de vestuário em lojas de departamento e de livros em bibliotecas, por exemplo, começou a ser desenvolvido. Dessa maneira, os primeiros sistemas comerciais de RFID eram baratos e de fácil implementação. A leitora localizava-se na saída da loja e etiquetas eram coladas nos produtos para evitar furtos. Nessa mesma época, o governo dos Estados Unidos da

América (EUA) estava trabalhando no desenvolvimento do RFID para rastreamento de material radioativo, para o Departamento de Energia, e rastreamento de gado, para o Departamento de Agricultura. Até aquele momento, as etiquetas eram desenvolvidas com baixa frequência de $125kHz$.

No começo dos anos 80, foram desenvolvidos sistemas *Ultra High Frequency* - UHF, possibilitando a leitura com distâncias superior a dez metros. Apenas no final dos anos 1990, as *tags*, ou etiquetas, conseguiram oferecer um alcance e uma velocidade satisfatórios por um preço baixo. Em virtude dessas conquistas, os sistemas de RFID em UHF tornaram-se os principais candidatos ao uso nas aplicações de cadeias de abastecimento, logística, controle de estoque e gerenciamento de armazéns.

Nesta época, as empresas *Uniform Code Council*, *EAN International*, *Procter and Gamble* e *Gillette* fundaram o *Auto-ID Center*, no MIT, *Massachusetts Institute of Technology*. Sua pesquisa era voltada para mudar o seu pequeno banco de dados para um número de série, com a intenção de reduzir os custos do RFID e transformar em uma tecnologia de rede. O *Auto-ID Center* cresceu e teve o apoio do governo dos EUA e de muitas outras empresas e o RFID começou a ser exigido por parte de seus fornecedores. Nessa mesma época, o órgão internacional *EPCglobal* foi criado e incorporado ao *Auto-ID*. Tal órgão gerencia atualmente os padrões dos códigos eletrônicos de produto que se tornou um padrão para identificação da origem da etiqueta. Essa convergência de padrões visou aumentar a competição entre diversas empresas do mercado para reduzir custos, consolidar a tecnologia e a facilitar a implementação do RFID, [3].

2.1.2 Componentes de um Sistema Padrão

Um sistema RFID, ou *Radio Frequency Identification*, funciona como um sistema de aquisição de dados em tempo real. É uma tecnologia que utiliza ondas de radiofrequência para transferir dados entre uma leitora e um item móvel, sendo utilizada para identificação, rastreamento, entre outras aplicações. É um sistema seguro e não necessita de contato entre o leitor e o objeto a ser lido. Os componentes básicos podem ser visualizados na Figura 2.1 e são os seguintes:

- Antena;
- Leitora;
- Etiqueta ou *Transponder - Tag*.

A leitora normalmente está conectada a um computador central ou a outro equipamento que possua a inteligência necessária para processar os dados das etiquetas. O sistema RFID funciona basicamente da seguinte maneira: o dispositivo de leitura, por meio de uma antena, é responsável pela emissão de um campo eletromagnético em busca de objetos a serem identificados. Os dados provenientes da etiqueta são recebidos pela leitora. Esta trata a informação recebida e a envia para o computador. O elemento que permite a comunicação entre a etiqueta e a leitora é a antena.

A *tag*, ou *transponder*, é um dispositivo que contém os dados. Ela faz uso de componentes eletrônicos, como memória, processador e indutores, para armazenar uma informação ou gerar um sinal. Atualmente, as *tags* estão disponíveis em diversos formatos, como cartões, crachás,



Figura 2.1: Componentes de um sistema padrão RFID, [1].

adesivos, brincos, partilhas, argolas, e em materiais, como plástico, vidro, papel, entre outros. São classificadas em categorias quanto à energia: ativas, quando fazem uso de uma fonte de alimentação própria; passivas, quando utilizam energia proveniente do dispositivo de leitura para funcionamento; e semipassivas, quando possuem características híbridas.

Outro elemento importante para o sistema RFID é a faixa de frequência de operação entre a etiqueta e a leitora. Essa seleção é realizada por meio das exigências e demandas da aplicação da tecnologia.

Há também a parte do sistema RFID que engloba a tecnologia da informação, à qual pertence o *Middleware*, o *software* que realiza a comunicação do meio físico com o gerenciamento do sistema.

A junção de todos esses componentes compõe um sistema padrão RFID. Existe também uma infraestrutura de comunicação e eventuais sensores que podem estar acoplados. Essa arquitetura pode ser observada na Figura 2.2.

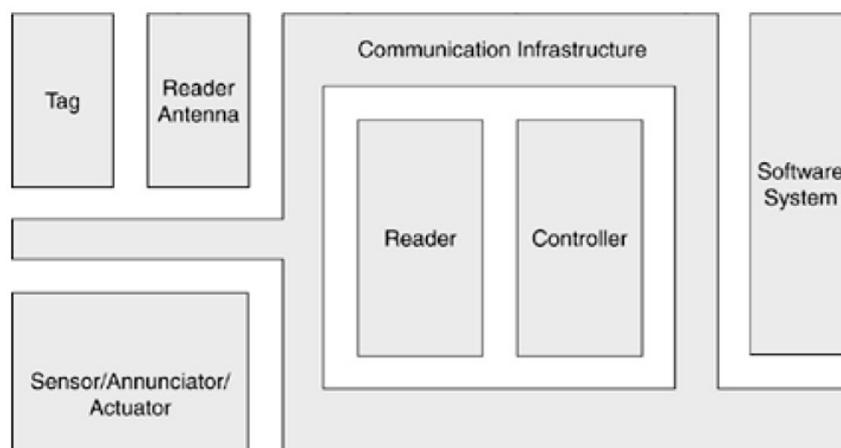


Figura 2.2: Arquitetura do sistema RFID, [2].

2.1.2.1 Antenas

As antenas são fundamentais para sistemas RFID, visto que realizam a comunicação entre as leitoras e as etiquetas. Elas podem ser definidas como uma estrutura metálica associada a uma região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre, ou vice-versa.

A antena ativa a *tag* através de um sinal de rádio para enviar e trocar informações no processo de leitura ou escrita. Elas são fabricadas em diversos tamanhos e formatos, possuindo configurações e características distintas, cada uma para um tipo de aplicação.

2.1.2.2 Parâmetros de uma antena

Para a escolha do melhor tipo de antena para um sistema RFID específico, alguns parâmetros devem ser analisados.

O Teorema da Reciprocidade diz que se a frequência for mantida constante as antenas se comportarão igualmente tanto na transmissão quanto na recepção. Os diagramas de radiação das antenas obedecem a esse teorema e permitem a visualização e a medição da densidade de potência irradiada em direções distintas. Apesar de serem gráficos de três dimensões, utilizam-se, na prática, diagramas de duas dimensões que representam os planos principais.

A largura de banda de uma antena é a faixa de frequência em que ela opera satisfatoriamente, sem alterar configurações importantes, como ganho e diretividade. Dessa forma, a largura de banda é escolhida dependendo da aplicação requerida.

A *VSWR* (*Voltage Standing Wave Ratio*) de uma antena é um indicador da quantidade de sinal que é refletida de volta ao transmissor do circuito. Esse valor é expresso por dois números que confrontam a relação entre um não casamento de impedância e uma outra situação em que há o casamento perfeito. Em uma linha de transmissão ideal, a *VSWR* seria 1 : 1, ou seja, toda a potência transmitida chegaria ao seu destino.

A polarização de uma antena é a polarização da onda radiada pela antena em uma dada direção descrevendo o movimento do vetor do campo elétrico em um ponto fixo no espaço em função do tempo.

Quando uma onda se encontra sempre no mesmo plano, se diz que sua polarização é linear. A combinação de duas ondas linearmente polarizadas (uma vertical e outra horizontalmente), de mesma amplitude e defasadas em 90° , resulta em uma onda com polarização circular. A vantagem de se utilizar antenas com essa polarização é uma maior robustez na recepção do sinal, independentemente da posição do dispositivo captador.

2.1.2.3 Etiquetas

A etiqueta, *tag* ou *transponder*, contém dados de um objeto ou ser vivo que são fornecidos à leitora quando requeridos por ela. Cada etiqueta possui um mecanismo para armazenar e transmitir esses dados especificamente.

Basicamente, uma *tag* apresenta quatro componentes básicos: a antena, o circuito integrado, o substrato e os conectores. Geralmente, o chip contém uma memória, na qual os dados podem ser gravados, lidos e, dependendo de algumas *tags*, escrito. As etiquetas podem ser utilizadas em cartões de plástico para pagamentos, em chaves de carro, em botões, em crachás, entre outros materiais, [3].

Dependendo da aplicação, o alcance de leitura é o determinante para a escolha da *tag*. De maneira similar, o encapsulamento difere para cada aplicação. Os componentes que diferenciam a alcançabilidade da leitura podem ser vistos na Figura 2.3.

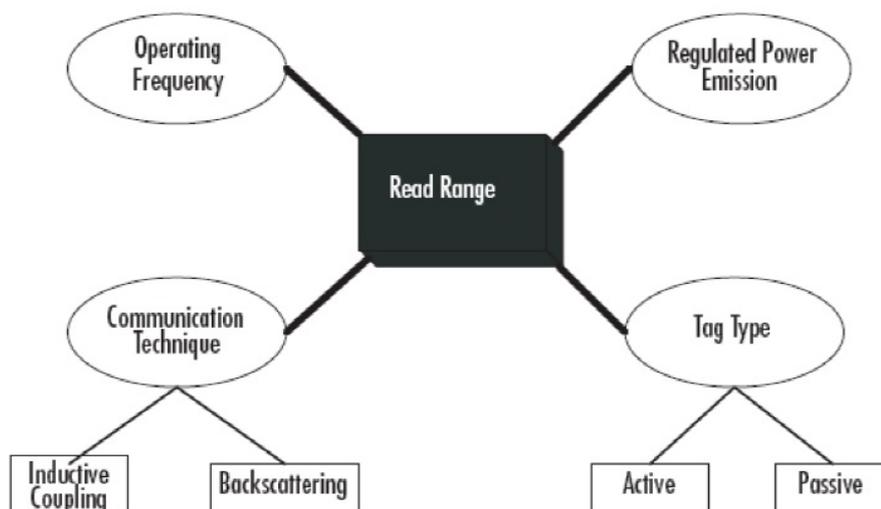


Figura 2.3: Parâmetros que influenciam no alcance da leitura, [2].

As etiquetas podem ser divididas em três tipos quanto à energia: passivas, semipassivas e ativas.

1. **Tags Ativas:** São etiquetas que podem iniciar uma comunicação através de uma fonte de energia, como uma bateria interna, Figura 2.4. Nesse caso, a vida útil varia conforme a quantidade de energia armazenada e o número de operações de leitura e escrita efetuados, podendo chegar a dez anos. Porém, tais baterias devem ser monitoradas e trocadas com uma determinada frequência, [14].



Figura 2.4: Etiquetas Ativas, [2].

Elas não necessitam da potência do leitor para excitar o circuito ou criar o sinal. Por esta razão, as etiquetas ativas podem significativamente melhorar o alcance da comunicação entre

a etiqueta e o leitor. Algumas *tags* ativas possuem a capacidade de enviar um sinal à distância de um quilômetro. Elas contêm seu próprio sinal de *broadcasting*, enviando-o continuamente ao leitor, [15].

As etiquetas ativas, normalmente, podem armazenar uma quantidade maior de memória do que a outras e, assim, são mais complexas em sua estrutura. Elas podem também ser integradas com um GPS para rastreamento. Desta maneira, são utilizadas para o monitoramento de objetos de alto valor ou nos quais as condições ambientais ou os requisitos da aplicação exijam uma comunicação mais robusta com a *tag*.

A grande maioria das *tags* ativas é utilizada em aplicações que operam na faixa de *UHF - Ultra High Frequency*.

2. **Tags Passivas:** São as etiquetas que não possuem alimentação interna ou transmissor incorporado. Precisam estar na presença do campo magnético da leitora recebendo energia para estabelecer a comunicação.

O sinal iniciado pela leitora faz com que apareça uma corrente elétrica na etiqueta, e o circuito integrado a utiliza para gerar a transmissão, a leitura e a escrita. Desta maneira, o alcance é reduzido em comparação à etiqueta ativa.

Essas etiquetas são mais flexíveis, comuns e baratas devido a sua simplicidade. Costumam ser menores do que os outros tipos de *tag* por não possuírem uma fonte interna e têm uma longa vida útil, já que não há a necessidade de troca de baterias.

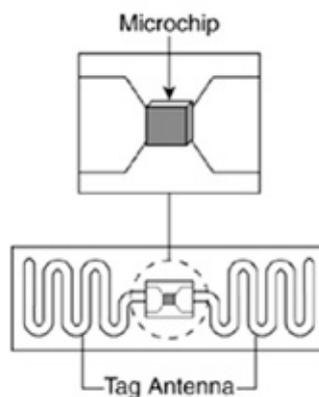


Figura 2.5: Estrutura interna de uma etiqueta passiva, [3].

Como devem estar dentro da zona de atuação da leitora, sua distância engloba poucos metros. Sua desvantagem é o curto alcance e a necessidade de uma leitora com alta potência. Porém, elas além de uma vida útil longa e são, geralmente, resistentes a condições adversas do ambiente, como temperaturas elevadas.

Como pode ser visto na Figura 2.5, a etiqueta consiste basicamente de um circuito integrado (CI) conectado a uma antena.

O CI contém um microprocessador que recebe a potência das ondas de radiofrequência capturada pela antena e as modula por dispersão refletida para comunicar-se com a leitora. É o responsável pelo armazenamento de informações e por alguns processamentos lógicos. Alguns fabricantes de CI utilizados nas etiquetas incluem: *Impinj*, *Alien* e *CEITEC*.

A antena da etiqueta é responsável por receber e transmitir as ondas de radiofrequência. É fisicamente ligada ao chip, e o tamanho da antena afeta diretamente o tamanho da etiqueta que, por sua vez, depende da frequência de operação.

3. **Tags Semipassivas:** São etiquetas híbridas das passivas e ativas. Essa *tag* contém sua própria fonte de energia, porém, não inicia a transmissão, apenas responde ao sinal enviado pela antena quando energizada por ela.

Uma bateria é utilizada para colocar o circuito em funcionamento, e sua potência evita a falha de potência do sinal do leitor. Ela também torna a etiqueta semipassiva mais resistente a interferências que a passiva. Os sinais de transmissão enviados são mais fortes, logo, o alcance é maior do que em uma tag passiva. Sua vida útil, porém, é menor devido à bateria utilizada. Esse tipo de etiqueta permite que as leitoras utilizem potências menores e armazenem mais informações, se comparadas às versões passivas, [3].

2.1.2.4 Faixa de frequência das etiquetas RFID

A faixa de frequência é uma característica fundamental quando se trabalha com a tecnologia RFID, visto que é necessário definir a banda em que todos os dispositivos funcionarão de acordo com a aplicação. A escolha da frequência influencia diretamente no desempenho da aplicação, precisão, alcance, velocidade da leitura, interferência, entre outros aspectos.

A faixa é limitada pela organização ISM - *Industrial Scientific Medial*, e suas regulamentações e suas limitações mais comuns são: Baixa Frequência (*Low Frequency* - LF); Alta Frequência (*High Frequency*) - HF; Ultra Alta Frequência (*Ultra High Frequency*) - UHF; e Micro-ondas (Microwave frequency).

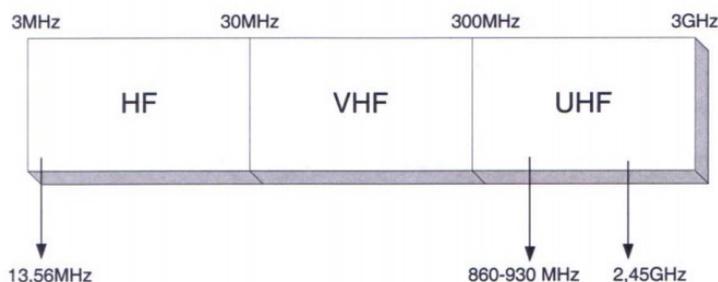


Figura 2.6: Faixa espectral das frequências mais utilizadas em RFID, [3].

Todas as faixas de frequência possuem vantagens e desvantagens em sua aplicação. A faixa *Low Frequency* e a *High Frequency* apresentam:

- Vantagem: Boa ou aceitável operação em ambientes com metal e umidade;
- Desvantagem: Baixa velocidade de transferência de dados e curto alcance. Necessita de uma potência elevada nas leitoras.

Já a faixa *Ultra High Frequency* e *High Frequency* apresentam:

- Vantagem: Baixo custo, etiquetas de tamanho reduzido e alta velocidade de transferência de dados;
- Desvantagem: Péssimo desempenho em ambientes com metais e umidade.

Tabela 2.1: Resumo das características das faixas de frequência de RFID

Faixa de Frequência	Banda	Alcance entre a antena e a etiqueta
<i>LF</i> : 30kHz – 300kHz	125 kHz ou 134,2kHz	Menos de 0,5 metros
<i>HF</i> : 3MHz – 30MHz	13,56 MHz	Menos de 1 metro
<i>UHF</i> : 300MHz – 1GHz	860 MHz 960 MHz	Até 7 metros
<i>Micro – ondas</i> :> 1GHz	2,45 GHz 5,8 GHz	Acima de 10 metros

Devido aos sistemas RFID produzirem e emitirem ondas eletromagnéticas, é necessária a determinação das faixas do espectro da frequência para que não haja interferência dos outros serviços de rádio no sistema RFID. Da mesma forma, ele não pode interferir nas transmissões de rádio. Assim, são utilizadas frequências reservadas especificamente para aplicações industriais, científicas e médicas, [16].

A regulamentação do espectro de frequência para o sistema RFID no Brasil determina que, para a faixa UHF, a variação é de 902-907,5 MHz e 915-928 MHz, diferentemente dos EUA, que é de 902-928 MHz. Há um vale que não pode ser utilizado para RFID, compreendendo a faixa de 907,5 a 915 MHz. As frequências deste vale são destinadas ao Serviço Móvel Pessoal (SMP), conforme Resolução nº 454 de 11 de dezembro de 2006 [16].

Assim, deve-se destacar que leitores RFID precisam ser homologados para um projeto específico, pois garantem que a organização está de acordo com as regras estabelecidas pela ANATEL.

Na seção XII, Art. 52, os sistemas de Identificação por Radiofrequência podem operar nas seguintes faixas: 119-135 kHz, 13,11-13,36 MHz, 13,41-14,01 MHz, 433,5-434,5 MHz, 860-869 MHz, 894-898,5 MHz, 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz e 5.725-5.850 MHz, e devem atender os limites de Intensidade de Campo Elétrico (microvolt por metro) citados pela resolução [16].

2.1.2.5 EPC - Código Eletrônico do Produto

O número EPC, *Electronic Product Code* ou Código Eletrônico do Produto, é um identificador global e único, utilizado para acessar os dados na rede. É um esquema de números que permite a atribuição de uma etiqueta exclusiva a qualquer objeto físico, fazendo com que cada item seja

identificado com exclusividade. O EPC agiliza os processos de identificação e permite dar maior visibilidade aos produtos por meio da disponibilização de informações. Foi desenvolvido pelo *Auto-ID Center* a partir de um projeto de pesquisa do MIT.

A *EPCglobal Network* trata-se de uma organização criada para controlar, desenvolver e promover padrões baseados no sistema EPC de identificação de RFID. Tem como objetivo orientar a adoção desse sistema como padrão mundial para a identificação imediata de produtos em qualquer lugar do mundo, [17].

O padrão EPC representa uma sequência numérica que é independente do hardware utilizado na aplicação. Da mesma maneira, a fabricação de *tags* e frequências de rádio também são independentes.

O código eletrônico do EPC possui regras para sua formatação. É composto dos seguintes itens:

- Cabeçalho;
- Número gerencial EPC;
- Classe do objeto;
- Número serial;
- GTIN - Número global de Item comercial;
- Outras chaves que podem ser usadas para construir números EPC exclusivos.

A Rede *EPCglobal* visa facilitar a cooperação na cadeia de abastecimento e torná-la mais eficiente. Além disso, ela também pode ser usada para suportar uma ampla gama de aplicações na área de computação. Um exemplo de aplicação é a "casa inteligente", em que armários "inteligentes" e frigoríficos são instalados com a tecnologia RFID. Ao digitalizar as etiquetas RFID em objetos e usar a Rede *EPCglobal* para recuperação de informações, tais dispositivos podem identificar o seu conteúdo atual e oferecer novos serviços, como aconselhamento alimentar ou reposição automática de mercadorias.

2.1.2.6 Leitora

A leitora tem como funções criar e amplificar sinais de radiofrequência e enviá-los de uma antena; receber a resposta da etiqueta, amplificar e demodular esse sinal; organizar os dados e armazená-los em um computador com rede.

Para que as informações de uma etiqueta sejam utilizadas, as leitoras podem ser ligadas aos computadores das seguintes maneiras: em série via comunicação RS-232 ou RS-485; por meio de rede com ou seu fio (*Internet, Ethernet*); USB; interfaces aéreas, como *WiFi* e saída 3G. A maioria das leitoras possui mais de uma porta de comunicação, deixando a critério do usuário a escolha de uma. Um exemplo de configuração de portas de conexão de uma leitora pode ser visualizado na 2.7:

As leitoras podem ser classificadas como portáteis, fixas ou módulos embarcáveis ou embutidos. As portáteis apresentam uma grande mobilidade de flexibilidade de uso. São menores, mais

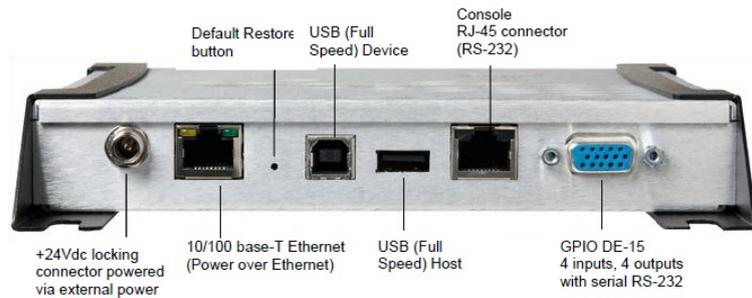


Figura 2.7: Portas de conexão da leitora *Speedway Revolution R420*, [4].

robustas e mais caras. Já as leitoras fixas são montadas em locais específicos, como esteiras automáticas ou portas de carregamento. Podem também ser fixadas na configuração de um portal para aumentar a precisão e o índice de leitura para o rastreamento do material a ser controlado em tempo real. As leitoras embutidas ou embarcadas são montadas em uma mesma placa de circuito impresso que equipamentos ou módulos acoplados fisicamente a outros equipamentos.

Para a escolha da leitora, as especificações do hardware e software devem ser consideradas. O tamanho da leitora e a sua funcionalidade determinam o custo do equipamento. As especificações são:

- Frequência de operação;
- Protocolos suportados;
- Potência de saída das antenas;
- Número de antenas que podem ser utilizadas;
- Configuração do software;
- Atualizações disponíveis.

Um dos aspectos mais importantes entre a etiqueta e a leitora é a frequência de operação em que ela opera. A faixa de frequência pode variar com base na aplicação, nas normas e no regulamento e, em geral, a frequência define a taxa de transferência de dados entre a etiqueta e a leitora.

As leitoras devem ser compatíveis com as *tags* que desejam ler, ou seja, os padrões e protocolos de leitura devem estar de acordo com as *tags*. Elas podem suportar de uma a quatro antenas com uma variedade de configurações, exemplo que pode ser visualizado na Figura 2.8 .

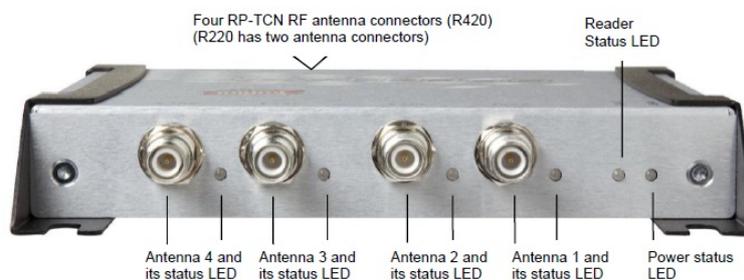


Figura 2.8: Portas para conexão com antenas da leitora *Speedway Revolution R420*, [4].

2.1.2.7 Middleware

Nos sistemas RFID, após a escolha das etiquetas e das antenas apropriadas para a aplicação, deve-se definir como os eventos gerados serão tratados. Os sistemas *Middleware* surgiram como um sistema intermediário, uma ponte entre os componentes da arquitetura do RFID e o *software* aplicativo do computador central, [3]. Eles devem executar as seguintes funções principais:

- Separar a aplicação da interface dos dispositivos;
- Promover um meio de obter as observações independentemente do leitor;
- Gerenciar a infraestrutura e o fluxo de dados específicos de RFID.

É importante ressaltar que os *middlewares* trabalham com as informações em tempo real. A maioria dos fornecedores de *middleware* de RFID fornecem o *software* gratuitamente.

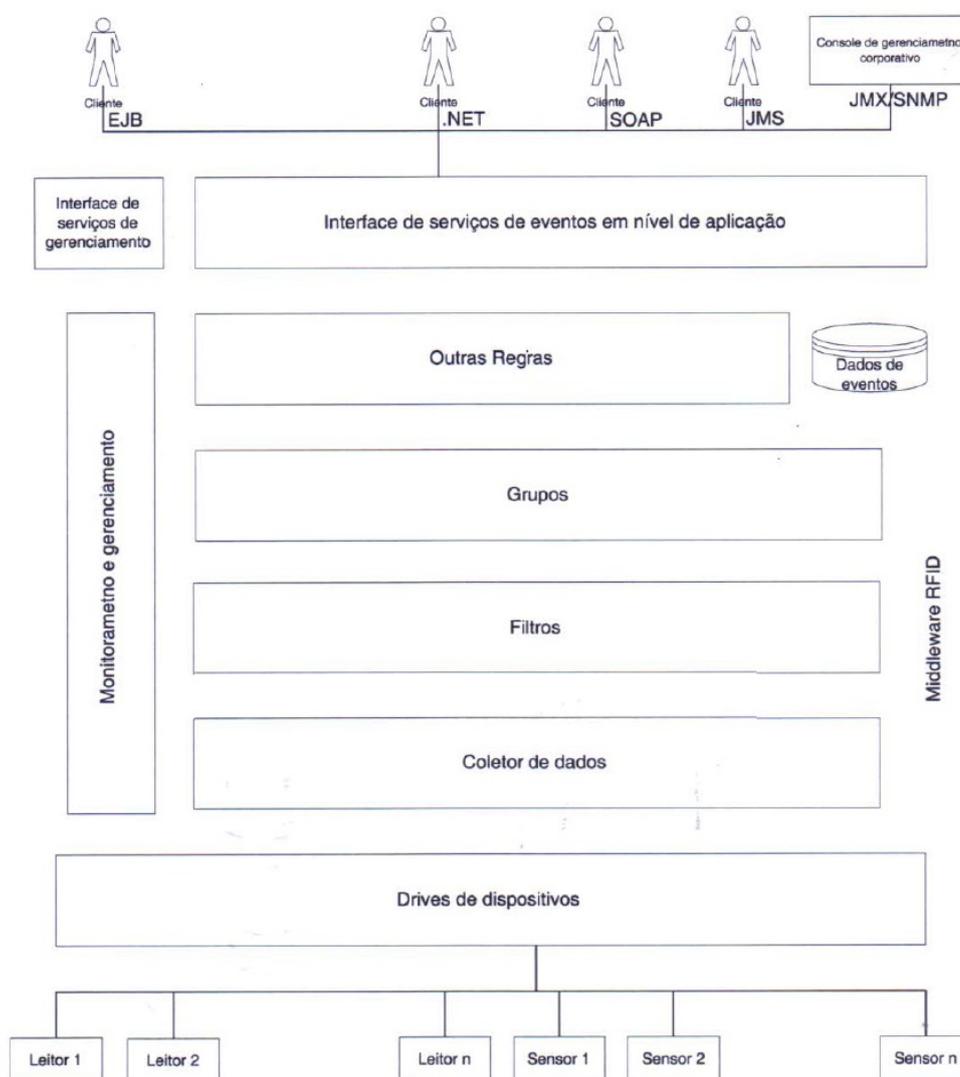


Figura 2.9: Arquitetura para um produto *middleware* RFID, [3].

Pode-se visualizar na Figura 2.9 que o *middleware* recebe dados brutos de uma ou mais fontes, seja de um sensor que coleta informações sobre o mundo físico, de um sensor de temperatura ou de presença, ou de uma leitora RFID. Após a coleta dos dados, o componente gerenciador os agrega, transforma e filtra para prepará-los para o consumo pelas aplicações. Assim, o sistema pode monitorar e gerenciar os leitores, além de interpretar e agrupar dados.

2.1.3 Aplicações

O sistema RFID possui uma grande variedade de aplicações por apresentar flexibilidade, confiabilidade, rapidez para identificação e rastreamento. A seguir, alguns exemplos:

Automação predial: Com uma etiqueta RFID associada ao usuário do ambiente, mudanças requeridas como aumento ou diminuição da temperatura, adaptação da luz ou fechamento de persianas, podem ocorrer com pouca intervenção humana.

Automação industrial: Uma etiqueta relacionada a um item ou lote de produção permite um melhor gerenciamento dos fabricantes. Pode-se verificar se todas as etapas da industrialização estão sendo cumpridas, por exemplo.

Sistemas de segurança e controle de acessos: O sistema RFID permite o acesso a prédios e áreas restritas, sendo a liberação feita através do uso de cartões sem contato, apenas por aproximação. Pode-se destrancar catracas, portas e cancelas, realizar a contagem exata dos funcionários, auxiliar a equipes de resgate em caso de acidentes, entre outros. Assim, alguns dos problemas enfrentados pela área de segurança podem ser reduzidos.

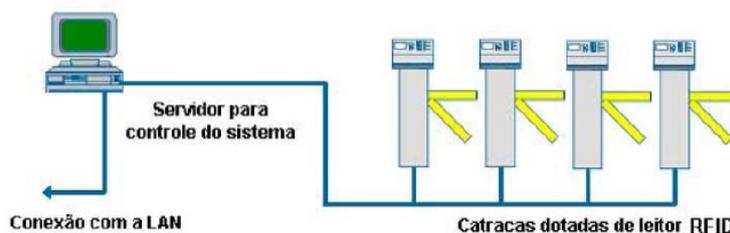


Figura 2.10: Exemplo de controle de acesso com RFID, [5].

Rastreamento animal: O sistema de identificação bovina por RFID vem crescendo no cenário mundial. Ele possibilita a aquisição de dados sobre a movimentação dos animais e sobre quando se deve aplicar medicamentos, além de fornecer outros benefícios para a indústria agropecuária.

Identificação de pacientes hospitalizados: A tecnologia RFID tem um grande potencial na área da saúde para reduzir significativamente o custo e melhorar a segurança do paciente e dos serviços médicos. Os pacientes hospitalizados são identificados por pulseiras que armazenam dados pessoais, diagnósticos e tratamentos. Um exemplo foi a integração RFID no mundo médico em um hospital de Taiwan. O projeto *Medicare*, com base em localização, foi parcialmente subsidiado pelo governo de Taiwan e visava tratar uma doença perigosa que atingiu o país em 2003. Estes resultados têm implicações importantes para o desenvolvimento de aplicações RFID nas organizações de

saúde, [18].

Uso em bibliotecas: As etiquetas inteligentes podem ser usadas para identificação de livros. Com isso, o controle de empréstimo e possíveis tentativas de furto são identificadas com mais rapidez. Além disso, pode ocorrer o autoatendimento, o controle de funcionários e usuários, a catalogação e a localização de exemplares em outras bibliotecas.

Uso em bagagens: A identificação de malas, via *tags* RFID, evita perdas e extravio, e reduz o tempo de carga e descarga. Elas são rastreadas durante sua colocação nas aeronaves, minimizando a ocorrência de malas perdidas.

Implantes humanos: Acredita-se que, futuramente, todos os seres humanos terão chips implantados. A área da saúde argumenta que, em caso de emergência, a etiqueta seria útil para salvar vidas, visto que forneceria informações importantes sobre a pessoa, como tipo sanguíneo, histórico médico, endereço, entre outras. A revista *IEEE Spectrum*, publicou, na edição de março de 2007, o uso do implante humano de RFID como forma de identificação, acesso a fechaduras e travas e *login* de computadores, [6]. A Figura abaixo mostra a radiografia de um RFID implantado em um humano.



Figura 2.11: Implante humano de RFID, [6].

Controle de tráfego de veículos: Ele é realizado pela leitura a distância ou por meio de cartão sem contato. Quando uma *tag* RFID é instalada no carro, as antenas obtêm os dados que, ao reconhecê-la, autoriza a passagem. Seu esquemático pode ser visto na Figura 2.12.

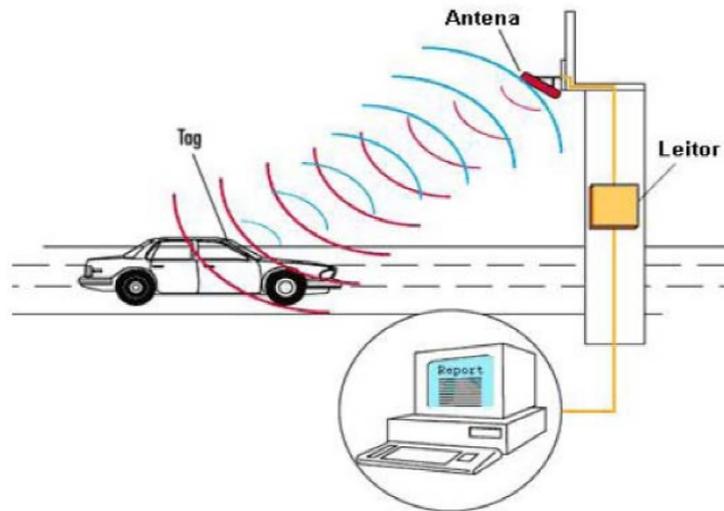


Figura 2.12: Controle de tráfego utilizando RFID, [5].

Controle de estoques: Na gerência de estoque e armazéns, a tecnologia de radiofrequência é usada quando há uma alta movimentação de produtos, controlando os itens com mais agilidade sem necessidade de interferência humana. Todos os itens são identificados, sendo possível reconhecer sua saída. Tem-se como vantagens a renovação automática de estoque e a otimização do espaço e custos, [5].

Uso em modalidades esportivas: As etiquetas RFID são embutidas nos tênis dos atletas para uma marcação precisa dos resultados.

Pode-se observar que a tecnologia RFID tem diversas aplicações e vantagens. A necessidade de captura das informações de produtos que estão em constante movimento incentivou a utilização da radiofrequência em processos produtivos. Juntou-se a isso a necessidade de utilização em ambientes insalubres e em processos que impediam o uso de código de barras. Os maiores benefícios para os usuários dessa tecnologia são:

- Identificar e rastrear ativos e pessoas;
- Melhorar a eficiência de processos e em controle de inventário;
- Reduzir perdas, roubos e falsificações;
- Obter maior confiabilidade na gestão de dados;
- Obter informações acuradas para tomada de decisões;
- Atender aos requerimentos de varejistas e distribuidores;
- Controlar pós-venda e garantia;
- Viabilizar a sincronização da cadeia de suprimentos;
- Diminuir os riscos operacionais;
- Aumentar a satisfação e fidelidade do cliente.

Entretanto, existem desvantagens. O custo da tecnologia RFID em relação aos sistemas de código de barras é uma das principais barreiras para o aumento de sua aplicação comercial. Atualmente, uma etiqueta inteligente custa, nos Estados Unidos, cerca de vinte e cinco centavos de

dólar cada, na compra de um milhão de chips. No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Automação, esse custo sobe para oitenta centavos até um dólar a unidade, [19].

Além disso, o preço final dos produtos é elevado, pois a tecnologia não se limita à etiqueta anexada ao produto. Por trás da estrutura, estão antenas, leitoras, ferramentas de filtragem das informações e sistemas de comunicação.

Outra questão que pode ser levantada como desvantagem é a invasão da privacidade dos consumidores devido à monitoração das etiquetas coladas nos produtos. Além disso, existem estudos relacionados à implantação interna em humanos, que já abordam questões medicinais e éticas.

2.2 Fusão sensorial

No campo da automação industrial, residencial e predial, os sensores tornam-se parte fundamental dos processos, devido à utilização de equipamentos integrados e controlados por computadores. Atualmente, a utilização de tais computadores foi amplamente difundida para o controle de equipamentos e processos, que atuam de forma precisa e mais rápida do que os operadores são capazes. Um computador não é capaz de sentir a vibração, ver ou escutar os processos, por exemplo. Desta maneira, eles utilizam sensores para substituir tais capacidades.

A finalidade de um sensor é responder a um estímulo e convertê-lo em um sinal elétrico compatível com os circuitos acoplados. O sinal de saída do sensor pode estar na forma de tensão, corrente ou carga e pode ser interpretado em termos de frequência, amplitude, fase ou código binário.

A fusão sensorial pode ser definida como sendo o processo que lida com a associação, correlação e combinação de dados e informações de uma ou mais fontes. Um tipo de arquitetura de processamento para sua realização é a fusão direta dos dados do sensor. A Figura 2.13 representa uma associação dessas informações obtidas, retirando uma característica relevante do ambiente.

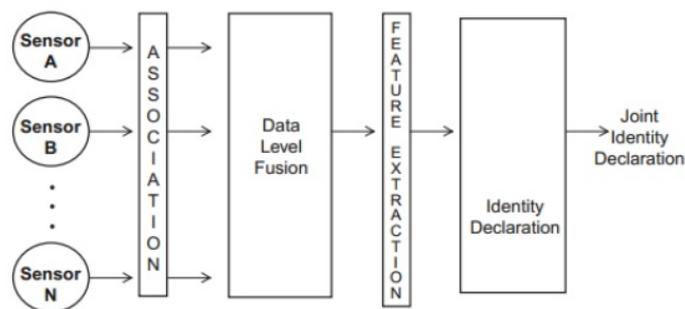


Figura 2.13: Fusão direta dos dados do sensor, [7].

Entre os sensores mais utilizados na automação predial e residencial, destacam-se os sensores de presença e de movimento. Sensores de presença detectam a presença de pessoas ou objetos em uma área ou região monitorada. Já detectores de movimento respondem somente ao movimento de objetos ou pessoas. A diferença entre os dois é que o sensor de presença produz como saída um sinal quando um objeto está em sua zona de detecção, sendo este estacionário ou não. Os

detectores de movimento são sensíveis a objetos em movimento, podendo ser aplicados a sistema de segurança, vigilância e gerenciamento de energia. Um detector pode ser sensível a calor, sons ou constante dielétrica de um corpo para ser acionado, por exemplo.

Para a automação, o uso de tais sensores torna-se conveniente. Os resultados podem ser usados como informações complementares a partir da fusão deles na lógica de programação para melhorar a confiabilidade do sistema e a eficiência do rastreamento.

Um tipo de sensor de movimento que se deve destacar neste trabalho pelo grande uso em automação predial é o detector de movimento por infravermelho. Ele é um sensor passivo, ou seja, não emite nenhum sinal, opera na faixa ótica de radiação térmica e responde ao calor irradiado pelo objeto em movimento. Todos os objetos emitem radiação térmica, e seu princípio de detecção de movimento por calor é baseado na teoria da emissão de radiação eletromagnética de qualquer objeto cuja temperatura seja superior ao zero absoluto ou zero Kelvin, [20].



Figura 2.14: Exemplo de sensor passivo infravermelho.

Um outro tipo de sensor que pode ser utilizado para fins de automação predial, similar aos princípios dos sensores de presença e detecção de movimentos, é o de luminosidade. Ele é capaz de regular o funcionamento de um dispositivo elétrico ou eletrônico qualquer, como uma lâmpada ou persiana, por exemplo, mediante a quantidade de luz irradiada no ambiente.

2.3 Programação orientada a objetos

Esse paradigma de programação orientada a objetos surgiu com a necessidade de desenvolver programas com mais qualidade, de ter reaproveitamento de código e de diminuir o tempo de desenvolvimento. Sua base é a programação estruturada.

A programação orientada a objetos foi desenvolvida para simular o mundo real dentro de uma máquina, sendo que o programador modela os objetos e faz a interação entre eles. Esse aumento da complexidade fez com que surgisse a necessidade de dividir as soluções em problemas menores, ou seja, a divisão em módulos que distribuíssem as responsabilidades em unidades independentes, com a ocultação de informação e a colaboração entre elas.

Os objetos são formados por dados e processos, combinando-os de forma que os processos os acessem ou modifiquem. As classes são os tipos de objetos declarados pelo usuário. Elas

agregam uma declaração de dados e uma declaração de processos (métodos) para processar os dados. As classes descrevem grupos de objetos com propriedades semelhantes, comportamento, relacionamentos e semântica comuns. Todos os objetos da mesma classe têm processos comuns, mas dados distintos. Cada objeto é criado a partir de uma classe, via uma especificação do valor para seus dados, [21].

2.3.1 Linguagem de programação C#

C#, lê-se *C Sharp*, é uma linguagem simples, moderna, orientada a objetos e que combina a alta produtividade de linguagens de desenvolvimento rápido com o poder bruto de C e C++. Foi desenvolvida pela Microsoft como parte da plataforma .NET. Inclui muitas influências de outras linguagens de programação, como *Object Pascal* e *Java*.

Ela é fortemente tipada, ou seja, a declaração do tipo é obrigatória, o que contribui para evitar erros originados de uma manipulação imprópria de tipo ou atribuições. Os softwares escritos em C# rodam sob um ambiente gerenciável, no qual todo o controle de memória é realizado pelo *.NET Framework*, e não diretamente pelo desenvolvedor, o que reduz falhas na programação quando há alocação e liberação de um objeto na memória.

Uma das grandes vantagens dessa linguagem de programação em relação às demais é o fato de que é possível encontrar a documentação desta tecnologia com facilidade no site da Microsoft, o que é de grande auxílio ao desenvolvedor. O tratamento de erros encontra-se de forma mais simplificada e, conseqüentemente, possui uma maior interatividade com os usuários.

2.3.2 Ferramenta de desenvolvimento - Visual Studio 2013

O *software* Visual Studio, desenvolvido pela Microsoft no ano de 1997, tem como a sua principal característica um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE ? *Integrated Development Environment*) que atende diversas linguagens. Especialmente dedicado ao *.NET Framework* e às linguagens Visual Basic (VB), C, C++, C# (*C Sharp*) e J# (*J Sharp*), ele também é um grande produto de desenvolvimento na área *web*, usando a plataforma do ASP.NET.

O Microsoft Visual Studio possibilita que os desenvolvedores criem aplicativos que proporcionem experiências de usuário. O *software* contém ferramentas que ocasionam uma maior facilidade para se obter e analisar informações, além de auxiliar na construção de interfaces gráficas.

O uso de bibliotecas em C# facilita a lógica de programação do usuário e a usabilidade de um projeto. O kit de desenvolvimento Octane SDK, disponibilizado pela marca Impinj, simplifica o processo de criação e desenvolvimento de algoritmo para sistemas RFID. Com essa biblioteca, pode-se configurar a leitora, realizar a leitura das etiquetas e manipular as funcionalidades existentes, [13].

2.3.2.1 Microsoft SQL Server 2014 - Banco de Dados

O *SQL Server 2014* é um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) desenvolvido pela Microsoft com o intuito de oferecer um desempenho inovador para armazenar e recuperar dados solicitados por aplicações exteriores.

O *software* impressionou por sua simplicidade, ajudando as grandes empresas e diminuindo o tempo para a criação da *database*. O programa permite ao desenvolvedor usar uma linguagem de programação gerenciada, como C# ou VB.NET, para endereçar as consultas, em vez de usar declarações SQL. Outra vantagem são as consultas transparentes e orientadas ao conjunto, escritas em .NET.

Apesar de o *SQL Server* ser um dos melhores SGBD do mercado, ele está perdendo seu espaço para o MySQL, visto que este tem código livre e sem custo. Um dos obstáculos do *SQL Server* é a dificuldade encontrada, em algumas versões, de suporte para programas de outras empresas, além da dificuldade de instalar o programa em outros sistemas operacionais fora o *Windows*.

2.3.2.2 LightSwitch

A maioria dos aplicativos de empresas e negócios utiliza um formulário de dados sobre aplicativos. Eles fornecem uma interface para o usuário com o objetivo de permitir a exibição, a adição e a modificação de dados. Grande parte do seu tempo é gasto em tarefas repetitivas, pois o usuário escreve códigos para interagir com o banco de dados, com a interface e com a lógica de negócio.

O *LightSwitch* é um ambiente de desenvolvimento integrado ao Visual Studio e utilizado para que o usuário crie o aplicativo para preenchimento do banco de dados com alguns recursos, como busca, classificação, reorganização, exportação de dados, entre outros. O aplicativo pode ser executado tanto em *web* quanto em *desktop*, [22].

Capítulo 3

Desenvolvimento de Projeto

Este capítulo apresenta uma discussão detalhada sobre a metodologia, construção e implementação do sistema de rastreamento de usuários em ambientes utilizando fusão sensorial.

3.1 Metodologia

Primeiramente, ocorreu a identificação do problema de nosso projeto. A detecção de usuários em ambientes prediais facilitaria a implementação da automação predial como mudanças climáticas do ambiente, controle de acesso e de iluminação, entre outros. Realizar esse rastreamento *indoor* utilizando tecnologia RFID passiva apresenta dificuldades como a escolha do material correto, correta instalação e características do ambiente.

Dessa forma, optou-se por utilizar a seguinte metodologia para encontrar a solução:

- Especificação do problema;
- Definição do algoritmo;
- Aquisição e adequação dos materiais;
- Desenvolvimento;
- Testes;
- Validação;
- Análise dos resultados.

A análise dos resultados foi realizada e ela comprovou a eficiência do algoritmo proposto. Os cenários de testes e análise são apresentados no Capítulo 4.

3.1.1 Especificação e Algoritmo

O objetivo é conseguir rastrear usuários em ambientes no Laboratório de Robótica e Automação da Universidade de Brasília. Notou-se primeiramente, que o chão do local possui características metálicas que podem causar informações errôneas de leitura utilizando tecnologia RFID. Além disso, diversos equipamentos eletrônicos e bancadas didáticas encontram-se espalhadas. Dessa

maneira, a utilização de uma tecnologia para complementar a informação do RFID foi essencial para o desenvolvimento do projeto, no caso, sensores de transição.

Considerando somente o sistema RFID, utiliza-se o princípio de que se o usuário foi lido em um novo ambiente, então foi realizada uma transição de entrada nesse local e uma de saída no anterior. Além disso, para se obter uma informação mais precisa, considera-se o fato de que devido a topologia dos ambientes no laboratório, o usuário sempre deve ser lido no ambiente 3 antes de ser lido no ambiente 1 ou no 2.

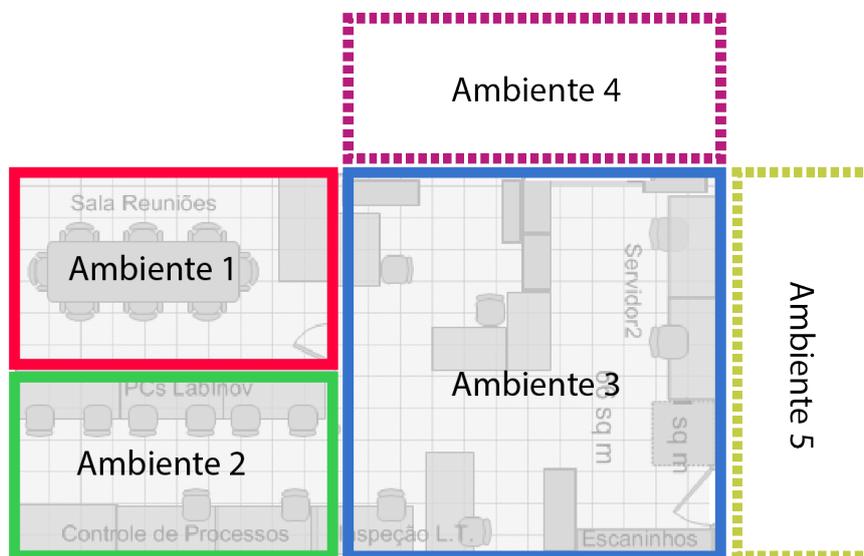


Figura 3.1: Divisão do espaço para o projeto no LARA.

Para ficar mais claro, foi criado um autômato que representa as transições possíveis entre os ambientes, ilustrados pelos números dentro dos lugares (círculos coloridos), Figura 3.2.

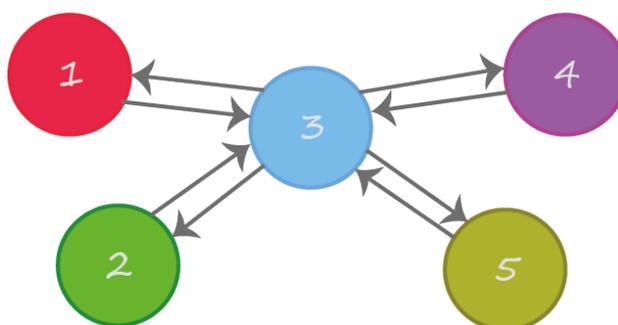


Figura 3.2: Transições possíveis entre ambientes.

Assim, se o usuário estiver no ambiente 1 e a antena relativa ao ambiente 2 realizar uma leitura das *tags*, essa informação será tratada como uma informação de erro, pois é necessário que ocorra a transição do ambiente 1 para o 3 para depois ocorrer uma transição do 3 para o 2.

Os sensores adicionados apresentam dois lasers, os quais indicam o sentido da transição do usuário (entrada ou saída). Assim, o usuário somente realiza uma transição de um ambiente para outro quando o sensor a laser disponibilizar essa informação. Observe que alguém pode parar no

meio do sinal dos lasers do sensor, interrompendo a liberação de dados, ou mesmo promovendo a transmissão de dados errôneos. Se isso acontecer, o sensor deve enviar uma mensagem ao programa principal avisando que o sinal está interrompido e que, portanto, o sistema deve operar somente com o RFID até que o sensor seja desobstruído.

Parte-se do princípio de que a posição inicial do usuário é conhecida. Com esse dado, é possível verificar quais transições entre ambientes são factíveis. Se o usuário estiver no ambiente 3, ele pode realizar um trajeto para o ambiente 1, 2, 4 ou 5. O ambiente 4 é relativo à parte do laboratório não considerada na divisão, e o ambiente 5 é a parte de fora do LARA. Observe que somente é essencial saber se a transição do 3 para o 4 ou do 3 para o 5 ocorreu, já que é necessário ter conhecimento se o usuário saiu do ambiente 3. Entretanto, ter uma informação exata sobre a quantidade e identidade de usuários que se encontram nesses locais não é relevante, visto que o objetivo do trabalho é detectar usuários nos ambientes 1, 2, 3.

Se o usuário estiver no ambiente 1 ou 2, ele precisa realizar uma transição para o ambiente 3 para poder ir para os demais ambientes. Dessa forma, observa-se que o ambiente 3 é o ambiente mais importante do algoritmo. Sendo assim, três antenas foram utilizadas nesse local para reduzir ao máximo possíveis erros.

Adicionando as informações complementares dos sensores de transição, adquire-se uma maior certeza de que o usuário realizou uma transição de um ambiente para o outro. Assim, uma mudança de ambiente só ocorreria se o sensor a indicasse como verdadeira, reduzindo os erros de leitura das antenas.

3.1.2 Componentes do sistema RFID utilizados

Os componentes de um sistema RFID se resumem basicamente a leitoras, antenas e etiquetas. A escolha do *Hardware* pode afetar consideravelmente os resultados finais do projeto.

Dessa forma, é imprescindível conhecer bem as propriedades e comportamento do sistema, principalmente a faixa de frequência de operação, que nesse caso particular é a UHF, frequência ultra alta, proporcionando uma combinação de melhor alcance e velocidade de transmissão e recepção de dados.

3.1.2.1 Leitora

O sistema RFID implementado consiste em três leitoras *Speedway Revolution R420* da marca Impinj e homologadas pela ANATEL. Sua frequência de operação é de 902,5 a 907 *MHz*, de acordo com as normas brasileiras.

Disponível nas configurações de duas ou quatro portas, a leitora pode operar com uma potência máxima de 30dBm e uma sensibilidade de -82dBm no Brasil, o que possibilita leituras de *tags* distantes em relação à leitora e um bom armazenamento de dados. Neste projeto, utilizou-se leitoras de quatro portas, como a representada na Figura 3.3.



Figura 3.3: Leitora RFID *Impinj Speedway R420*, [4].

Com uma configuração de baixa potência, a leitora *Revolution Speedway* é capaz de usar a tecnologia PoE, *Power over Ethernet*, que permite a transmissão de energia elétrica juntamente com dados para um dispositivo remoto, através de uma rede *Ethernet*. Utilizar PoE simplifica a implantação e reduz significativamente os custos, além de não diminuir a performance da leitura da *tag*. A leitora também possui o recurso *AutoPilot* que monitora continuamente o ambiente de radiofrequência, ajustando os parâmetros de operação para que ocorra máximo desempenho. Além disso, ela contém suporte ao protocolo EPC Global LLRP - *Low Level Reader Protocol*. Fato importante, visto que a leitura de etiquetas é um elemento trivial no algoritmo desse projeto.

As leitoras foram ligadas na rede como mostrado na Figura 3.4, utilizando um cabo padrão *Ethernet* com conectores RJ-45 conectados a um *switch*.

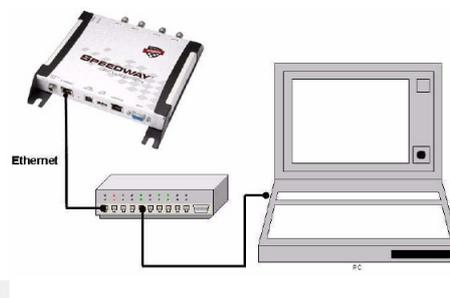


Figura 3.4: Representação de como é realizada a conexão da leitora na rede, [4].

Por meio do software *Multi Reader* da Impinj, alguns parâmetros da leitora podem ser setados. Observando a Figura 3.5, notam-se as seguintes especificações:

- Modelo selecionado: *Speedway R420*;
- *Operation Region*: Brasil (*Firmware* com a homologação da ANATEL);
- Potência de saída das antenas;
- IP Adress: IP da leitora;

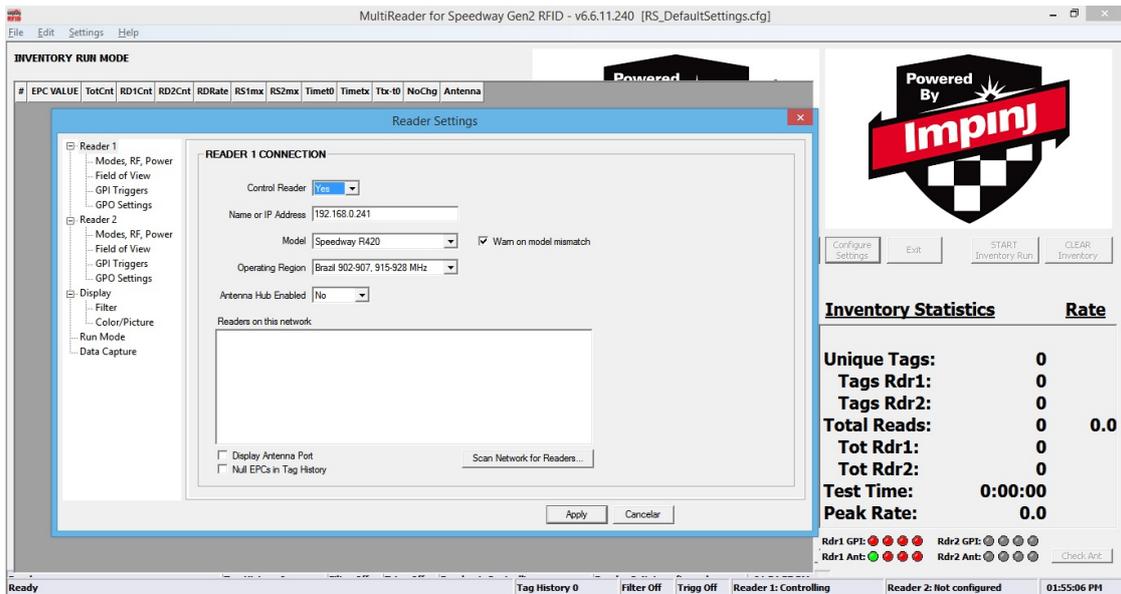


Figura 3.5: Parâmetros da leitora.

Esse *software* permite a visualização da leitura das etiquetas que se encontram na faixa de frequência adequada, apresentando seus EPC's e a taxa de leitura no tempo. Ele também permite a configuração de filtros para leituras específicas de determinadas etiquetas, entre outras funções. Se uma *tag* lida anteriormente sair fora do alcance da antena, um alerta visual é mostrado na interface do programa. Na Figura 3.6, pode-se observar que a etiqueta que possui o EPC: 0000 – 0000 – 0000 – 00AB – CDEF – 7000 encontra-se dentro da zona abrangente da antena, enquanto que a etiqueta com o EPC: E280 – 1160 – 6000 – 0205 – 22AC – E52D não.

A utilização do *Multi-Reader* foi muito importante nos momentos iniciais do projeto para uma melhor compreensão do comportamento e das características de um sistema RFID passivo.

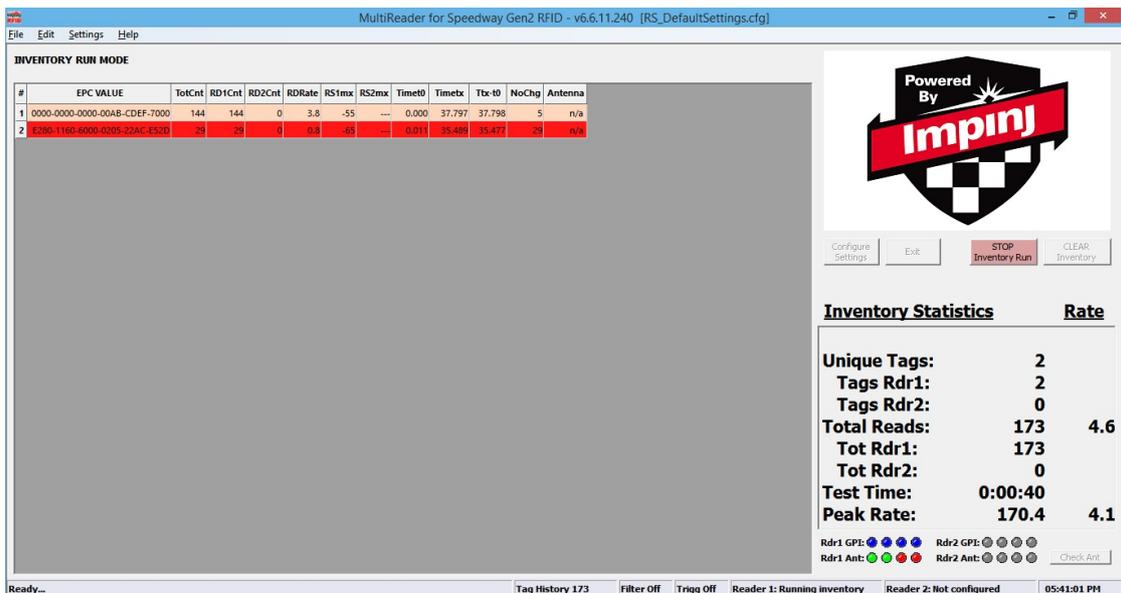


Figura 3.6: Visualização da leitura de *tags*.

Os IP's das leitoras foram configurados como estáticos para facilitar o acesso aos dados das leitoras. Utilizou-se o software *Putty* para setar os IP's escolhidos. Eles foram fixados como mostrado Tabela 3.1:

Tabela 3.1: IPs fixos de leitora RFID

Leitora RFID	IP
Leitora 1	192.168.0.240
Leitora 2	192.168.0.241
Leitora 3	192.168.0.242

3.1.2.2 Antenas

A antena utilizada para realização desse projeto foi o modelo *Impinj Threshold - FS*, representada na Figura, 3.7:



Figura 3.7: Impinj Threshold - FS, [8].

Algumas das suas configurações podem ser visualizadas na Tabela 3.2:

Tabela 3.2: Especificações Elétricas da Antena *Impinj Threshold - FS*.

Parâmetro	Valor típico
Faixa de Frequência	902 a 928MHz
Ganho	5.0dBi
Polarização	Linear
VSWR	2 : 1

Analisando a antena, nota-se que, como esperado, a sua faixa de frequência é a mesma das leitoras. Observa-se também que o *VSWR* é 2 : 1, logo não há um casamento de impedância perfeito e não existe a garantia de que não haverá sinal refletido de volta para o transmissor.

Porém, o valor do primeiro número está próximo de um, não afetando consideravelmente o sistema.

Algumas precauções foram tomadas durante a realização do projeto para evitar possíveis efeitos negativos do *VSWR* sobre os resultados:

- Conexões apertadas entre os cabos e os conectores;
- Utilização de cabos e conectores com impedâncias próximas;
- Cuidados com dobras nos fios.

Observando o *DataSheet* da *Impinj Threshold*, a zona de leitura, representada na Figura 3.8, demonstra o alcance das antenas em um ambiente sem interferências do meio.

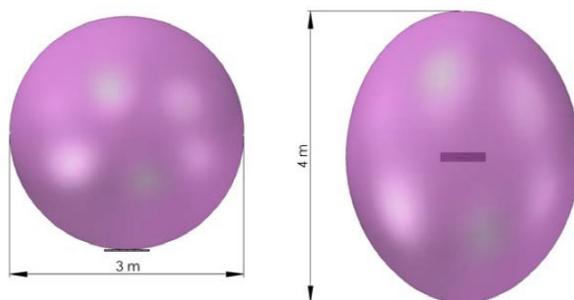


Figura 3.8: Zona de leitura da antena, [4].

Seu dimensionamento e considerações mecânicas são representados pela Figura 3.9, destacando os eixos X-Y, Z-X.

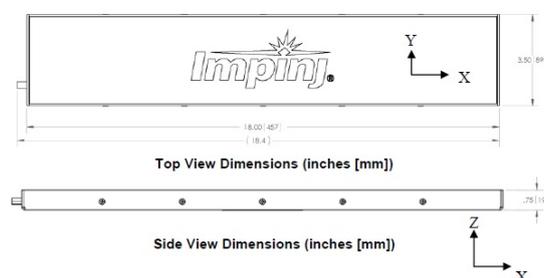
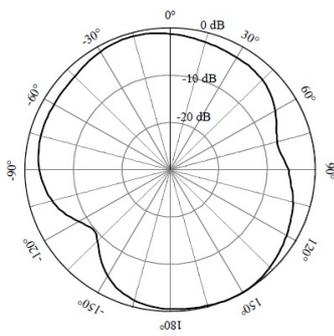
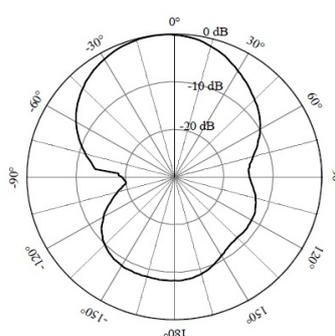


Figura 3.9: Dimensões da antena Impinj Threshold - FS, [4].

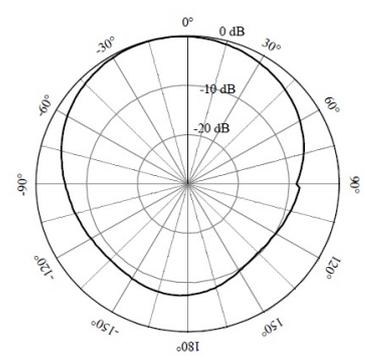
Os diagramas de radiação são visualizados na Figura 3.10 com corte nas três dimensões. Todos os padrões de radiação são normalizados e pode-se relacioná-los com as dimensões mecânicas para correlacionar o padrões de radiação para os eixos da antena.



Radiation Pattern at 915 MHz (x-y plane)



Radiation Pattern at 915 MHz (x-z plane)



Radiation Pattern at 915 MHz (y-z plane)

Figura 3.10: Diagramas de radiação da antena *Impinj Threshold* para os planos, X-Y, X-Z e Y-Z, [4].

Nota-se também pela Tabela 3.2 que a polarização da antena é linear, não sendo, portanto, a melhor alternativa para a aplicação desenvolvida. Para o projeto de detecção de usuários em ambientes seria adequado utilizar uma antena com polarização circular, pois, dessa forma, a posição da *tag* em relação à antena seria bem mais flexível e o sistema RFID em si apresentaria menos erros.

Entretanto, foi necessário utilizar as antenas disponíveis no LARA. A antena *Impinj Threshold - FS* foi desenvolvida para aplicações de passagem, ou seja, sua instalação deveria ser no chão. Não foi possível instalar nenhuma antena dessa maneira no laboratório, cujo chão é de metal, o que causa interferência no campo eletromagnético da antena e diminuição significativa no seu alcance.

3.1.3 Definição das etiquetas apropriadas

A seleção da *tag* é muito importante na eficiência de um projeto que contenha a tecnologia RFID. Um estudo sobre as melhores etiquetas para o sistema deve ser realizado para que a escolha seja suficientemente robusta para a aplicação.

É importante ressaltar que etiquetas RFID passivas operantes na faixa de frequência UHF possuem baixo desempenho em ambientes metálicos e úmidos. Elas usam mais energia e são menos propensas a serem lidas através de materiais. Entretanto, o padrão UHF tornou-se o mais utilizado no mercado de RFID. Com isso, os fabricantes tem desenvolvido *tags*, antenas e leitoras para tirar o máximo proveito e a melhor leitura, mesmo em condições adversas. Algumas empresas, por exemplo, conseguem melhorar a resistência da etiqueta para garantir uma maior durabilidade, alguns modelos podendo ser aplicados diretamente em superfícies metálicas, [16]. Como o LARA é o ambiente utilizado no projeto, houve uma certa preocupação com as características do meio, uma vez que o chão do laboratório é feito de metal, conforme descrito anteriormente.

Optou-se por utilizar duas etiquetas RFID passivas em crachás de plástico, visto que as antenas foram instaladas em uma altura média de 1,5m do chão, possibilitando uma identificação mais precisa do usuário. Além disso, como a polarização da antena é linear, a posição das *tags* do crachá

é menos flexível, fazendo com que o sistema seja mais sujeito a erros.

Uma etiqueta que possui uma maior flexibilidade de posição em relação à antena é a *Frog 3D* da SMARTRAC, representada na Figura 3.11. Ela foi desenvolvida utilizando a tecnologia *True3D* com orientação completa, proporcionando um desempenho consistente, mesmo em materiais considerados difíceis para transmissão em radiofrequência.

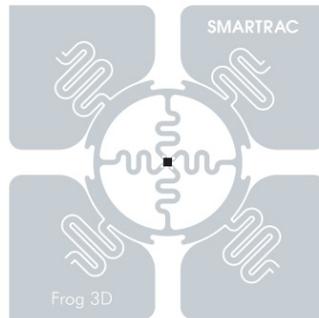


Figura 3.11: Etiqueta RFID Passiva Frog 3D, [9].

Contudo, a quantidade de etiquetas *Frog 3D* adquiridas foi insuficiente por todos os usuários do laboratório e não foi possível realizar uma compra em pequenos lotes. Dessa forma, optou-se por escolher etiquetas com propriedades similares como bom alcance e resistência a condições adversas.

Uma das etiquetas escolhidas para compor o sistema foi a EOS-500, representada na Figura 3.12. Essa *tag* é adequada para paletes, caixas de marcação, bagagens, entre outros. Ela é certificada pela EECC (*EPC Europeia Competence Center*) e indicada para aplicações logísticas. Pode atuar sobre uma faixa de frequência de 860 a 960MHz, é feita de alumínio e opera em temperaturas de $-50^{\circ}C$ a $85^{\circ}C$. Também é compatível com sistemas Impinj, [10]. O seu diagrama de radiação pode ser visualizado na Figura 3.13.



Figura 3.12: Etiqueta RFID Passiva EOS500-R-W-001, [10].

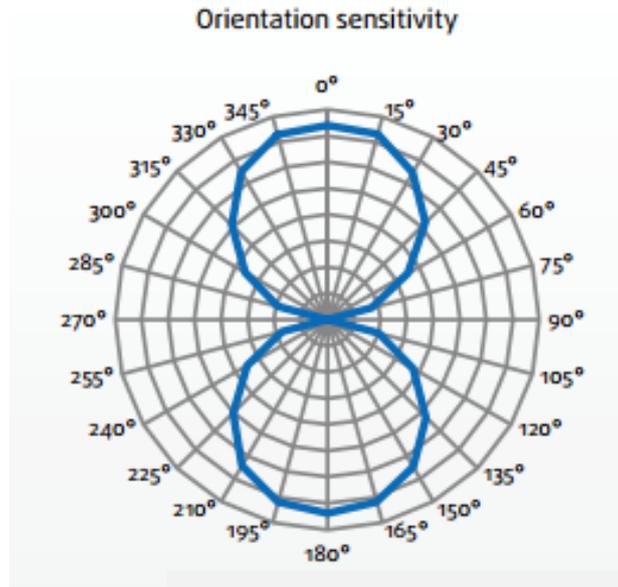


Figura 3.13: Diagrama de radiação da etiqueta EOS-500, [10].

A outra etiqueta pertencente ao crachá foi a *Tag* RFID UHF NXP UCODE7. Essa *tag* oferece uma alta taxa de anti-colisão e alta sensibilidade de leitura. Possui um alcance similar a EOS-500, uma memória EPC de 128 bits e faixa de frequência de 860–960Mhz. Ela opera em temperaturas de $-40^{\circ}C$ a $85^{\circ}C$ e também é compatível com sistemas Impinj. O seu diagrama de radiação pode ser visualizado na Figura 3.15. Nota-se que ele é bem similar ao da EOS-500.

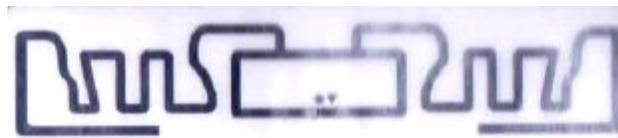


Figura 3.14: Etiqueta RFID Passiva NXP UCODE7.

O crachá com as etiquetas escolhidas e o uso típico em um usuário, podem ser visualizados na Figura 3.16.

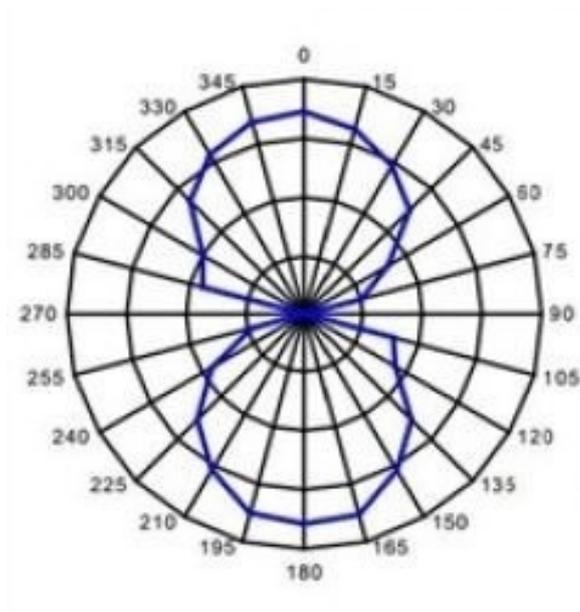


Figura 3.15: Padrão de radiação da etiqueta NXP UCODE7.



Figura 3.16: Localização típica do crachá com as etiquetas em um usuário e imagem aproximada da montagem do crachá.

3.1.4 Sensor de Transição de Ambientes

Para uma melhor identificação e detecção de usuários, decidiu-se por realizar uma fusão sensorial. Um dos desafios foi escolher um sensor adequado para integração com a tecnologia RFID. O sistema deveria detectar a passagem de um usuário e informar o sentido da sua transição, entrada ou saída.

Depois de analisar diversas possibilidades, conclui-se que a utilização de dois feixes luminosos para indicar mudança de ambiente seria a melhor solução. Assim, caso o sinal de um feixe fosse interrompido antes do outro, haveria uma indicação de entrada ou saída. Em um primeiro momento, decidiu-se utilizar o sensor PIR, visto que é um detector de movimento passivo infravermelho. Um circuito e uma lógica de programação chegaram a ser implementados, porém, ele foi descartado pelos resultados apresentados. No seu caso, o usuário deveria esperar em média por três segundos

para entrar em um ambiente depois que outro usuário entrou, caracterizando uma situação não prática.

Outro sensor estudado para compor a fusão sensorial foi o sensor de luminosidade LDR, *Light Dependent Resistor* ou Resistor Dependente de Luz, representado na Figura 3.17. Ele é um componente eletrônico passivo do tipo resistor variável, cuja resistência varia conforme a intensidade da luz que incide sobre o mesmo.



Figura 3.17: Resistor Dependente de Luz.

O LDR é um sensor de baixo custo e está presente em muitos circuitos eletrônicos que necessitam monitorar a luz ambiente. Normalmente é empregado em circuitos divisores de tensão, onde a variação da sua resistência é utilizada para controle. Quanto maior a intensidade luminosa, menor a resistência e quanto menor a intensidade, maior a resistência.

Como fonte de luz, optou-se por utilizar lasers, por apresentarem feixes de alta intensidade luminosa. Para testar o alcance e funcionamento do sensor LDR, utilizou-se o *Arduino Mega 2560*.

3.1.4.1 Arduino

Arduino é uma plataforma eletrônica *open-source* de prototipagem baseada em *hardware* e *software* flexível e de fácil manipulação.

Com o *Arduino* é possível enviar e receber informações de praticamente qualquer outro sistema eletrônico. Desta forma, é possível processar dados e controlar dispositivos ou o ambiente.

O *Arduino* é um compilador *gcc* com linguagem próxima a C e C++, baseado em *Wiring* possuindo uma interface gráfica construída em Java.

O *Arduino Mega 2560* pode ser visualizado na Figura 3.18:

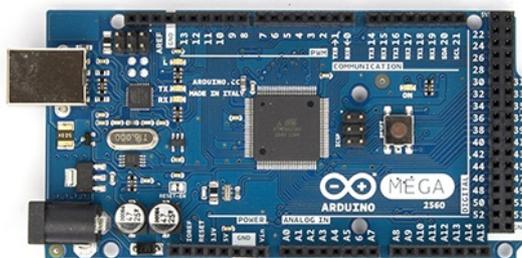


Figura 3.18: *Arduino Mega 2560*, [11]

Para utilizá-lo, basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC-CC ou bateria. [11].

3.1.4.2 Montagem do Circuito e Programação - Sensor LDR

Optou-se por desenvolver um circuito para o de transição utilizando dois LDR's e um arduino. A parte elétrica do circuito é bem simples, apenas dois divisores de tensão com um LDR e um resistor de $10k\Omega$ cada. A saída de cada LDR foi conectada em uma entrada analógica do arduino, que trata e processa esse sinal através de programação.

De acordo com a divisão do laboratório, visualizado na Figura 3.1, seriam necessários quatro sensores, pois existem quatro zonas de transições entre ambientes.

O material utilizado para a montagem de cada sensor foi:

- Dois Módulos de sensor de luz- LDR;
- Uma *protoboard* e fios variados para montagem;
- Dois Lasers da luz cor verde e potência de $5mW$;
- Dois Espelhos parabólicos;
- *Arduino Mega 2560*.

O módulo sensor de luz contempla um LDR, três LEDs e um resistor de $10K\Omega$.

O *Arduino*, por meio de suas portas analógicas, consegue ler a variação de luminosidade do LDR. Dessa forma, é possível utilizar esses dados para construir uma lógica de programação que representa o comportamento do sensor de transição de ambientes.

A lógica foi construída por meio de uma máquina de estados, representada na Figura 3.19. Inicialmente, os dois sensores LDR estão recebendo alta intensidade luminosa dos lasers, estado "111". Se o primeiro LDR receber uma tensão menor do que 4V, indicando interrupção do sinal por passagem de usuário, o novo estado será "001". Se em seguida, o sinal do segundo laser for interrompido, o novo estado será setado em "010" e a transição identificada como entrada no ambiente. Caso a sequência aconteça ao contrário, representada pelos estados "111" \rightarrow "101" \rightarrow "110", a transição será identificada como saída do ambiente. Porém, existe um caso de erro que deve ser tratado. Se um usuário interromper os dois feixes de laser, como por exemplo, ficar parado na porta, uma notificação de erro de "Sinal Interrompido" tem que ser enviada para o sistema de rastreamento.

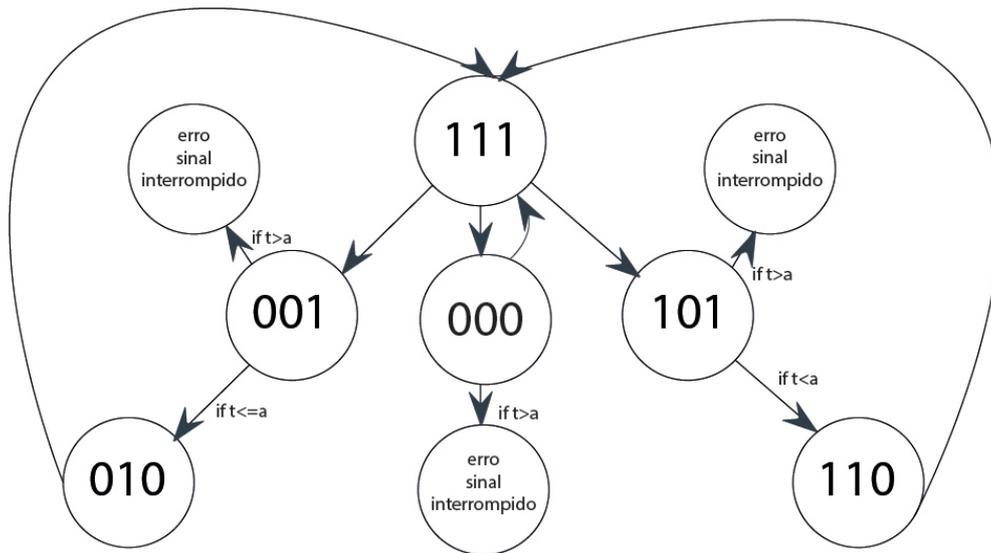


Figura 3.19: Máquina de Estados do sistema LDR.

O sensor LDR e os lasers mostraram-se eficientes para a aplicação, demonstrando resultados satisfatórios nas indicações das transições, apesar de apresentarem algumas dificuldades que serão discutidas no Capítulo 4.

3.1.5 Instalação do projeto

O ambiente de instalação foi o Laboratório de Automação e Robótica - LARA. As antenas não puderam ser instaladas no chão, já que ele causava uma forte interferência nos seus campos eletromagnéticos, prejudicando consideravelmente o alcance de leitura.

A altura de instalação das antenas variou de $0,75m$ a $1,26m$ usando o chão como referência.

O local disponibilizado para o projeto no LARA foi dividido em três ambientes distintos, sendo um quarto ambiente considerado fora do sistema de rastreamento e um quinto como externo ao laboratório. Eles podem ser visualizados na 3.20 junto com a configuração da instalação das antenas e leitoras.

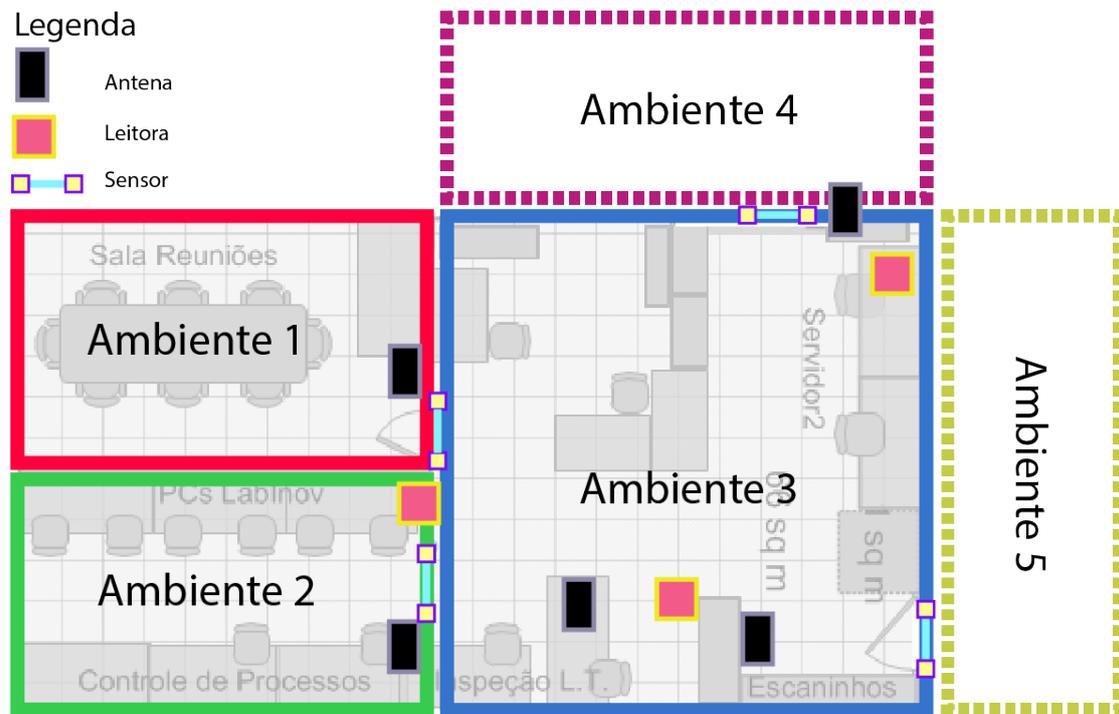


Figura 3.20: Localização da instalação dos componentes no LARA.

Percebe-se pela Figura 3.20 que as antenas localizadas nas zonas de transição dos ambientes 2 e 1 foram ligadas a uma mesma leitora (Leitora 1). Uma outra leitora (Leitora 2) foi responsável por ler os dados da região de transição do ambiente 3 e 4. Já para o ambiente 3, uma outra leitora (Leitora 3) foi ligada a outras duas antenas, localizadas dentro do ambiente correspondente.

3.1.6 Programação

Utilizou-se o *software* Visual Studio 2013 para implementar a programação do algoritmo, visto que a linguagem escolhida foi o C#, uma linguagem de alto nível e orientada a objetos utilizada pelos programas exemplos da Impinj.

Foram desenvolvidos dois programas principais: o programa Interface, que realiza a interação com o usuário e com o banco de dados, e o programa Principal, que implementa a lógica em si.

O programa Interface permite o cadastramento de usuários, leitoras, ambientes e *tags* RFID. Esses dados são armazenados em um banco de dados baseado em SQL. Além disso, nele também é possível visualizar o histórico de usuários em ambientes. Dessa forma, consegue-se visualizar a quantidade de usuários em cada ambiente como também identificar cada usuário em questão. Esse programa foi desenvolvido utilizando-se a ferramenta *LightSwitch* do Visual Studio 2013, que permite a criação de aplicações de forma mais simples.

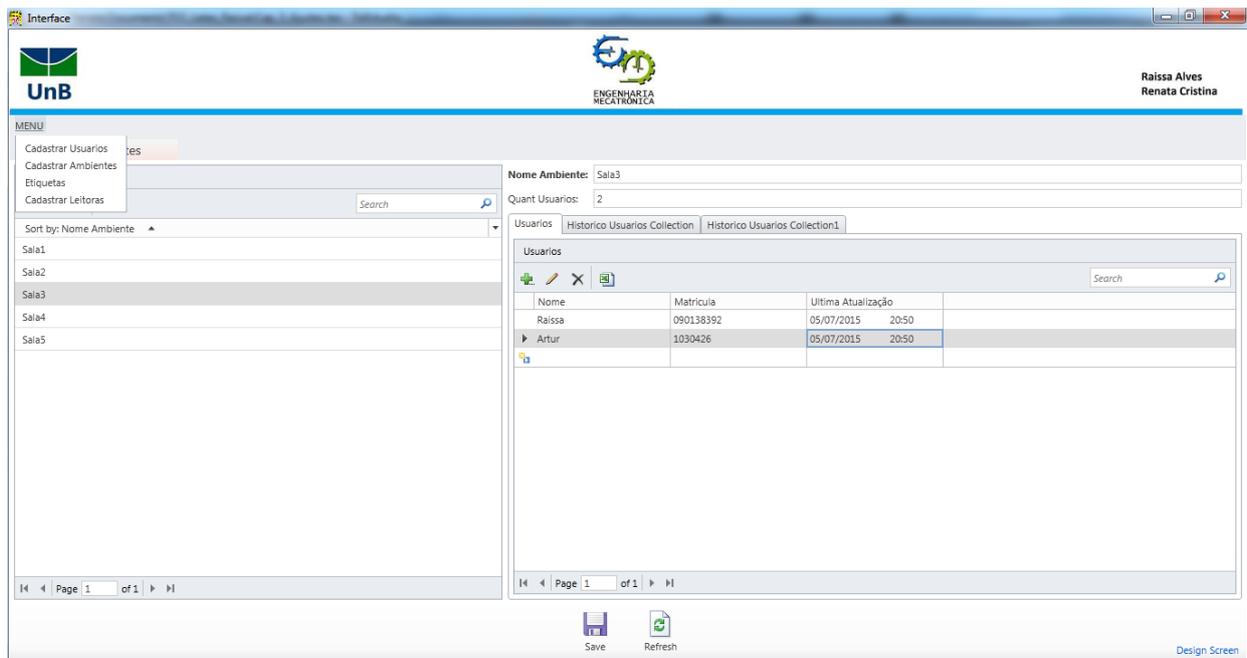


Figura 3.21: Programa Interface

O Banco de dados também foi desenvolvido utilizando a ferramenta *LightSwitch* do Visual Studio. Ele consiste basicamente de seis tabelas (Ambientes, Antenas, Usuarios, HistoricoUsuariosSet, Leituras e Usuarios) que possuem relacionamentos entre si. Isso significa que um parâmetro de uma tabela se relaciona com um ou mais parâmetros de outra tabela. Por exemplo, uma etiqueta RFID precisa estar associada a um usuário, contudo, um usuário pode possuir mais de uma etiqueta. 3

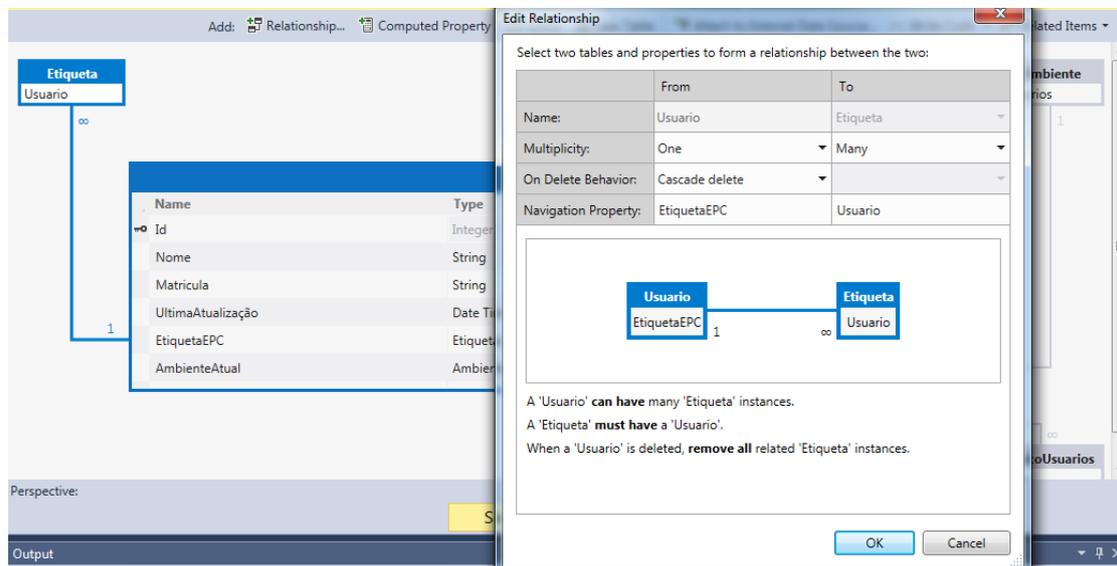


Figura 3.22: Exemplo de relação entre as tabelas Etiquetas e Usuarios

Os campos da tabela devem ser escolhidos de acordo com a aplicação. Na tabela de Leituras, por exemplo, tem-se os parâmetros NomeLeitora, StringConexao e Antenas. A variável NomeLeitora é do tipo *string*, assim como StringConexao. Já Antenas é do tipo Antena Collection por se tratar de um relacionamento, ou seja, uma antena precisa ter uma leitura, mas uma leitura pode ter mais de uma antena.

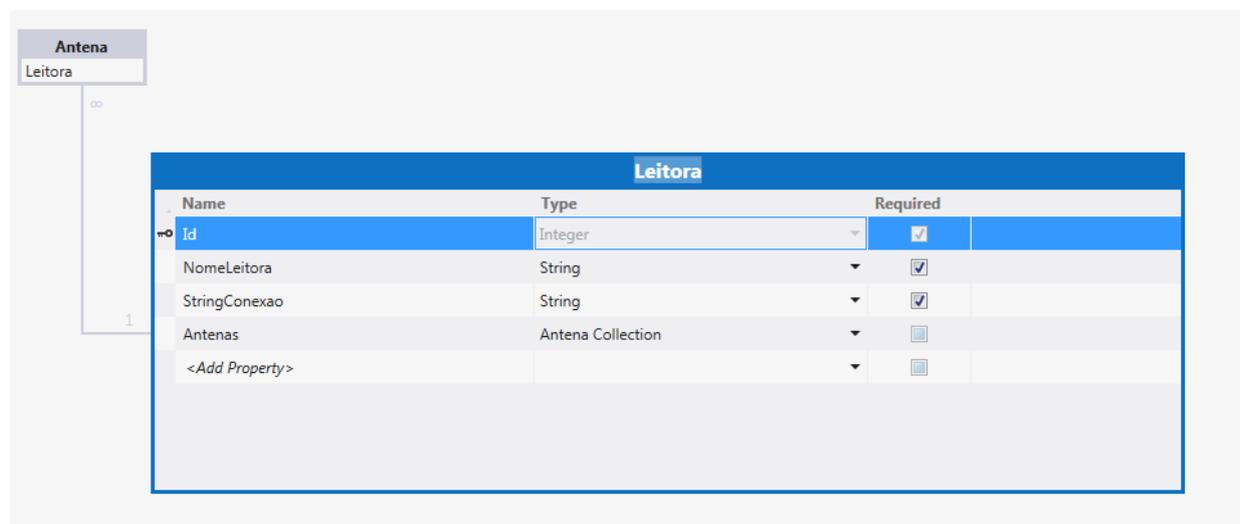


Figura 3.23: Parâmetros da tabela Leituras

Desse modo, construindo as tabelas e os relacionamentos entre elas, foi possível desenvolver o banco de dados utilizado para memorizar informações importantes no rastreamento de usuários em ambientes, controlado pelo programa Principal. Como o banco de dados foi criado e armazenado em um computador pessoal, a conexão entre ele e o programa Principal se deu de forma local.

Já o programa Principal possui toda a lógica de detecção de usuários em ambientes. Ele é subdividido em várias classes que descrevem as diferentes partes que formam o sistema, entretanto, o algoritmo é representado principalmente nas classes AcessoArduino e AcessoLeitoras.

A classe AcessoArduino é onde o programa recebe e trata as informações obtidas dos sensores a laser por meio das portas seriais do computador. Nessa classe, existe o método de *Read* (), que lê e realiza tratamento de dados da respectiva porta COM. Esse método é executado como uma *thread* (tarefas dentro de um mesmo programa executadas concorrentemente), porque a leitura da porta deve estar sempre sendo realizada para atualizar os dados dos sensores.

A classe AcessoLeitoras também recebe e trata as informações adquiridas pelas leituras. Além disso, é nessa classe em que ocorre as configurações de parâmetros como potência de antenas e modo de leitura dos *tags*. Cada leitura de um *tag* resulta na execução de um evento em tempo real que chama um método chamado *Etiqueta_Encontrada* (). A lógica de rastreamento de usuários em ambientes e a chamada de acesso ao banco de dados, leitura e escrita, foram desenvolvidas dentro desse método. O acesso em si ao banco de dados ocorre na classe AcessoBD. Nessa classe foram implementados métodos que leem e modificam o banco de dados.

É interessante observar que para realmente ocorrer uma fusão sensorial, é necessário que as

informações enviadas dos sensores a laser para a COM do computador sejam lidas dentro da classe AcessoLeitoras, mais especificamente no método Etiqueta_Encontrada. Esses dados dos sensores são enviados ao método por meio da implementação de uma comunicação entre *threads*, utilizando uma lista do tipo *BlockingCollection<string>*.

O programa Principal também possui uma interface com o usuário, permitindo que o operador inicie ou interrompa o sistema de rastreamento, ou mesmo encerre a aplicação. Essa interface também contém informações sobre as antenas e leitoras que fazem parte do sistema.

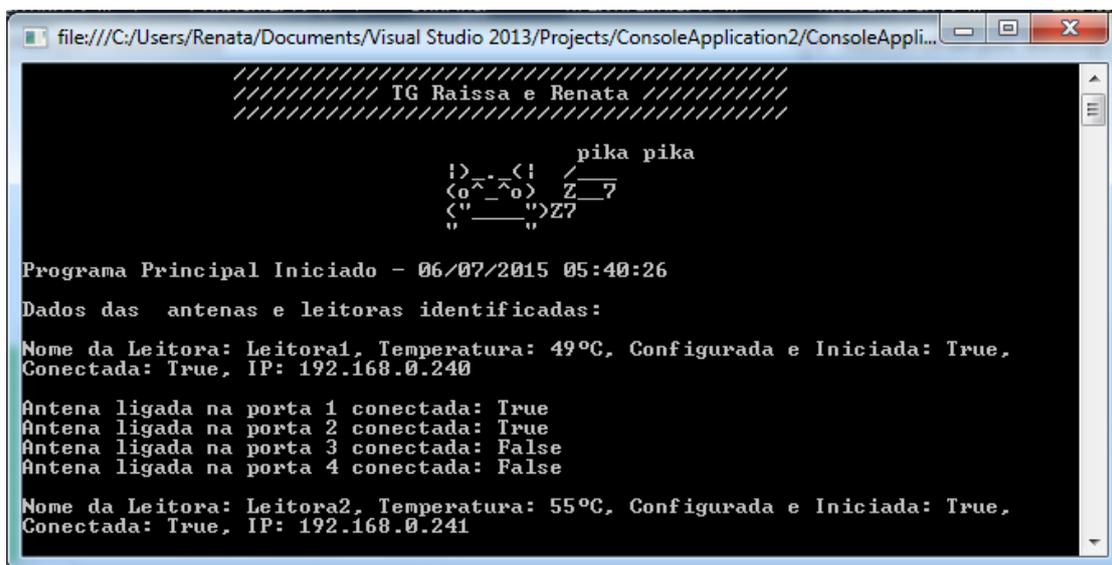


Figura 3.24: Visualização do programa Principal

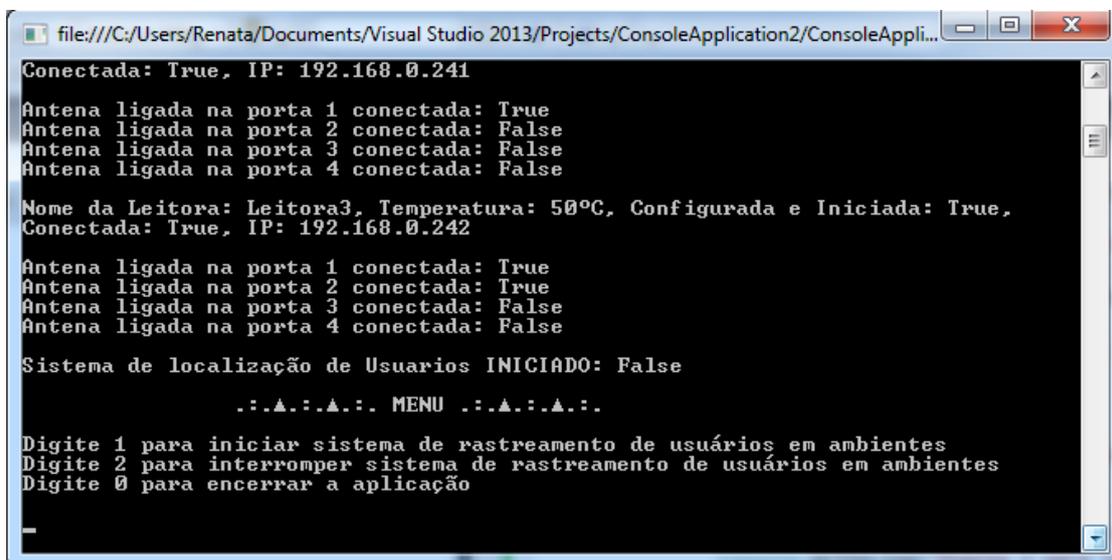


Figura 3.25: Visualização do menu do programa Principal

Capítulo 4

Cenários de Testes

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para o teste de configuração de potência das antenas e para os testes do algoritmo somente com RFID e com a fusão sensorial. Uma análise mais detalhada sobre o sistema de detecção de usuários desenvolvido também é realizada.

4.1 Configurando a Potência das Antenas

Para testar o alcance das antenas, representado nas Figuras 3.8 e 3.10, utilizaram-se as etiquetas escolhidas para o projeto e o *software Multi Reader* da Impinj, comentado no capítulo 3 . A Sala de reuniões, ou Ambiente 1, foi escolhida como cenário de teste por apresentar menos obstáculos físicos para a realização de medidas, como por exemplo, móveis bloqueando a passagem.

A antena foi instalada de modo que sua parte frontal ficasse voltada para o interior da sala, visto que, a partir de dados experimentais, observou-se que o alcance de leitura é maior desse lado. A instalação pode ser visualizada na Figura 4.1,



Figura 4.1: Instalação da antena na porta da sala de reuniões.

Para a execução do teste, o usuário utilizou um crachá com duas *tags* e realizou várias transições de entrada e saída no ambiente 1 para diferentes valores de potência da antena. Assim, foi possível medir a distância mínima de leitura para cada um desses valores. A Tabela 4.1 ilustra os resultados dos testes de distância.

Tabela 4.1: Campo de leitura das etiquetas RFID passivas.

Potência da Antena	DMUE	DMUS
10 dBm	0 cm	72 cm
15 dBm	0 cm	110 cm
17 dBm	0 cm	235 cm
18 dBm	0 cm	322 cm
19 dBm	Linha da antena	432 cm
20 dBm	10 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
21 dBm	19 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
22 dBm	40 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
23 dBm	107 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
24 dBm	110 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
25 dBm	276 cm	Todo o ambiente (cerca de 4m)
26 dBm	Todo o ambiente (cerca de 4m)	Todo o ambiente (cerca de 4m)

Onde DMUE e DMUS significam distância mínima de detecção para um usuário entrando no

ambiente e distância mínima de detecção para um usuário saindo do ambiente, respectivamente.

Analisando a Tabela 4.1, para uma potência de $10dBm$, percebe-se que os resultados do teste para o usuário entrando no ambiente foram inconclusivos. As *tags* foram lidas a uma distância praticamente nula, somente quando estavam de frente para a antena. O mesmo aconteceu para as potências $15dBm$, $17dBm$ e $18dBm$.

O primeiro resultado conclusivo foi para $19dBm$, porém as leituras ocorreram com uma elevada taxa de erros. O primeiro resultado relevante foi em $21dBm$.

Para potências maiores que $26dBm$, a antena conseguia localizar a *tag* RFID quando o usuário se encontrava em outro ambiente. Dessa maneira, utilização de altas potências causaria vários problemas de interferência, visto que antenas de outros ambientes poderiam detectar a etiqueta e identificar uma transição incorreta.

Para a antena do ambiente 1, utilizou-se $22dBm$ de potência como configuração padrão, já que para esse valor não houve muita interferência com os outros ambientes e o alcance da leitura foi satisfatório. Entende-se por satisfatório os resultados em que foram possíveis observar uma boa leitura das etiquetas a uma determinada distância sem detectar etiquetas presentes em outros locais.

Posteriormente, realizaram-se novos testes para os ambientes 2 e 3, e a partir dos resultados obtidos foi possível determinar a potência mais adequada para a aplicação de detecção de usuários em ambientes. Utilizou-se $23dBm$ de potência como configuração padrão para o ambiente 2, e $22dBm$ para as três antenas do ambiente 3.

4.2 Detecção de Usuários

Para a validação do sistema de detecção de usuários, realizaram-se os seguintes cenários de testes: somente sistema RFID para um usuário; somente sistema RFID para vários usuários; com fusão sensorial para um usuário; com fusão sensorial para vários usuários; e casos especiais. Os testes foram filmados com data e horário para comprovar a veracidade dos resultados.

4.2.1 Cenário com somente sistema RFID - Um usuário

Primeiramente, realizaram-se testes apenas com um usuário, que é considerado o caso mais simples. Os sensores de transição foram simulados como interrompidos para que fosse possível analisar somente o sistema RFID e os resultados visualizados em Console, vídeo e no programa "Interface".

4.2.1.1 Uma Transição entre ambientes

O algoritmo foi testado para uma transição entre dois ambientes. O usuário em questão chamava-se "Raissa" e seu crachá continha os EPC's: " $E280-1160-6000-0205-22AC-E43C$ " e

"E280 – 6810 – 0000 – 0039 – 1E8F – BB66".

Seis cenários distintos foram realizados e, para cada um deles, 15 testes foram executados para determinar uma taxa de erros. A Tabela 4.2 apresenta os resultados obtidos:

Tabela 4.2: Transição de um usuário entre dois ambientes

Usuário	Taxa de acertos
3 → 1	100%
1 → 3	100%
3 → 2	86%
2 → 3	100%
3 → 4	100%
3 → 5	100%

Percebe-se pela Tabela 4.2, que ocorreram dois erros na transição entre os ambientes 3 → 2. Isso aconteceu porque a antena do ambiente 2 foi posicionada em um local repleto de bancadas didáticas e de equipamentos eletrônicos. Além disso, existe uma haste de ferro na entrada desse ambiente, o que, possivelmente, causou interferência no campo eletromagnético da antena, prejudicando a sua leitura.

O local de instalação da antena afetou a sua zona de leitura. Entretanto, o posicionamento escolhido foi o melhor encontrado para a aplicação no laboratório. Em projetos futuros, talvez a inclusão de mais uma antena no ambiente 2 resolva o problema.

4.2.1.2 Duas Transições entre ambientes

Novamente, quinze testes foram realizados para cada cenário com um usuário.

Tabela 4.3: Usuário realizando duas transições entre ambientes

Usuário	Taxa de acertos
3 → 1 → 3	100%
1 → 3 → 1	100%
3 → 2 → 3	93%
2 → 3 → 2	93%
3 → 4 → 3	100%
3 → 5 → 3	100%

Percebe-se através da tabela 4.3 que situações de erro foram identificadas nos ambientes 2 e 3, novamente devido a interferência causada pelos equipamentos e pela topologia do ambiente 2. Contudo, observa-se que, para duas transições entre ambientes, o sistema continua eficaz.

4.2.1.3 Várias Transições entre ambientes - Um usuário

Até o momento, poucas mudanças de ambiente foram consideradas. Para esses casos, o sistema RFID sozinho não precisou de nenhuma informação complementar. Dessa forma, uma situação interessante de se analisar seria a ocorrência de várias transições entre diferentes ambientes pelo mesmo usuário.

Cenários utilizando os percursos da Tabela 4.4 foram realizados.

Tabela 4.4: Transição de um usuário entre vários ambientes

Usuário	Execução sem erros	Execução com um erro	Execução com dois erros
3 → 1 → 3 → 1 → 3	93%	7%	0%
3 → 2 → 3 → 2 → 3	80%	20%	0%
3 → 2 → 3 → 1	60%	33%	7%
3 → 1 → 3 → 1	100%	0%	0%
3 → 4 → 3 → 1	100%	0%	0%
3 → 4 → 3 → 2	100%	0%	0%

Percebe-se que a taxa de erro para várias transições de um usuário, aumentou consideravelmente, principalmente no percurso 3 → 2 → 3 → 1. Isso acontece porque, ao sair do ambiente 2 para o 1, o usuário muitas vezes passa de costas para a antena localizada no meio do ambiente 3. Assim, a *tag* não é identificada e ocorre um erro de leitura, ressaltando a importância de se ter uma informação complementar ao RFID para tornar a detecção de usuários mais confiável.

Realizou-se um teste para ilustrar o erro descrito acima, Figura 4.2. O percurso realizado foi 2 → 3 → 1 → 3. Observe que o usuário "Raissa" não foi lido no ambiente 3 por ter passado de costas para a antena desse ambiente.

```
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Nome da Leitora: Leitora3, Temperatura: 55°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.242
Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Sistema de localização de Usuarios INICIADO: True
  .:.▲:~▲:~. MENU .:.▲:~▲:~.
Digite 1 para iniciar sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 2 para interromper sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 0 para encerrar a aplicação
05/07/2015 21:08:01
Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 2.
05/07/2015 21:08:10
Erro. Usuário Raissa não foi lido na Sala 3.
05/07/2015 21:08:17
Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
```

Figura 4.2: Erro de leitura no ambiente 3.

Um outro teste realizado foi o percurso $3 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$. Ele serviu basicamente para exemplificar uma situação ideal do sistema RFID operando sozinho. Veja que, como o usuário "Raissa" manteve uma boa posição em relação às antenas, não houve erros, como pode ser visualizado na Figura 4.3. Note que os horários representados no console são os mesmos que aparecem nas imagens do vídeo do trajeto representadas na Figura 4.4.

Uma boa posição de uma etiqueta em relação a uma antena significa em algum momento durante a transição a *tag* ficou com a angulação e posição suficientes para que a antena a lesse. Basicamente significa que o usuário realiza a passagem de modo que a frente do crachá se encontre no raio de leitura em algum instante.

```

Programa Principal Iniciado - 08/07/2015 23:17:02
Dados das antenas e leitoras identificadas:
Nome da Leitora: Leitora1, Temperatura: 51°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.240
Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Nome da Leitora: Leitora2, Temperatura: 55°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.241
Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: False
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Nome da Leitora: Leitora3, Temperatura: 54°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.242
Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Sistema de localização de Usuarios INICIADO: True
..▲..▲.. MENU ..▲..▲..
Digite 1 para iniciar sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 2 para interromper sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 0 para encerrar a aplicação
08/07/2015 23:17:09
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:17:11
Usuario: Raissa, EPC: E280 6810 0000 0039 1E8F BB66 entrando na Sala2.
08/07/2015 23:17:21
Usuario: Raissa, EPC: E280 6810 0000 0039 1E8F BB66 entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:17:24
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala1.
08/07/2015 23:17:31
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:17:35
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala2.
08/07/2015 23:17:42
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:17:47
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala1.
08/07/2015 23:17:54
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:17:57
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala2.

```

Figura 4.3: *Output* do Console do sistema de detecção de usuários para várias transições.

Os vídeos realizados dos percursos, como o representado na Figura 4.4, serviram de confirmação para demonstrar que o algoritmo estava funcionando e detectando todas as transições corretas.



Figura 4.4: Imagens do vídeo realizado para várias transições de um usuário.

4.2.1.4 Cenário para vários usuários

O propósito desses testes era fazer com que no mínimo três usuários circulassem pelo LARA ao mesmo tempo. Somente o sistema RFID foi testado nos testes desse seção. O nome de cada usuário e seus dois EPC's correspondentes podem ser visualizados na Tabela 4.5 :

Tabela 4.5: Usuários e EPCs correspondentes

Usuário	EPC1	EPC2
Raissa	E280-1160-6000-0205-22AC-E43C	E280-6810-0000-0039-1E8F-BB66
Mayara	E280-1160-6000-0205-22AC-EC28	E280-6810-0000-0039-1E90-1B74
Arthur	E280-1160-6000-0205-22AC-E43D	E280-6810-0000-0039-1E90-1BD7

Em um dos testes, Figuras 4.5 e 4.6, os três usuários andaram aleatoriamente pelo laboratório começando no ambiente 3. Esse teste foi realizado mais para visualização do sistema RFID atuando sozinho para vários usuários.

```

Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora2, Temperatura: 55°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.241

Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: False
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False

Nome da Leitora: Leitora3, Temperatura: 54°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.242

Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False

Sistema de localização de Usuarios INICIADO: True

      .:.▲:~▲:~. MENU .:.▲:~▲:~.

Digite 1 para iniciar sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 2 para interromper sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 0 para encerrar a aplicação

08/07/2015 23:11:53
Usuario: Artur, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43D entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:11:59
Usuario: Mayara, EPC: E280 6810 0000 0039 1E90 1B74 entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:00
Usuario: Artur, EPC: E280 6810 0000 0039 1E90 1BD7 entrando na Sala2.
08/07/2015 23:12:08
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:09
Usuario: Mayara, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC EC28 entrando na Sala1.
08/07/2015 23:12:12
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala1.
08/07/2015 23:12:19
Usuario: Mayara, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC EC28 entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:19
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:20
Usuario: Raissa, EPC: E280 6810 0000 0039 1E8F BB66 entrando na Sala1.
08/07/2015 23:12:20
Usuario: Artur, EPC: E280 6810 0000 0039 1E90 1BD7 entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:25
Usuario: Raissa, EPC: E280 6810 0000 0039 1E8F BB66 entrando na Sala 3.
08/07/2015 23:12:30
Usuario: Mayara, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC EC28 entrando na Sala2.
08/07/2015 23:12:36
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala1.

```

Figura 4.5: Resposta do sistema RFID em Console para vários usuários.

Algumas imagens das transições realizadas entre os ambientes podem ser visualizadas na Figura 4.6. A sequência completa se encontra na seção de anexos.

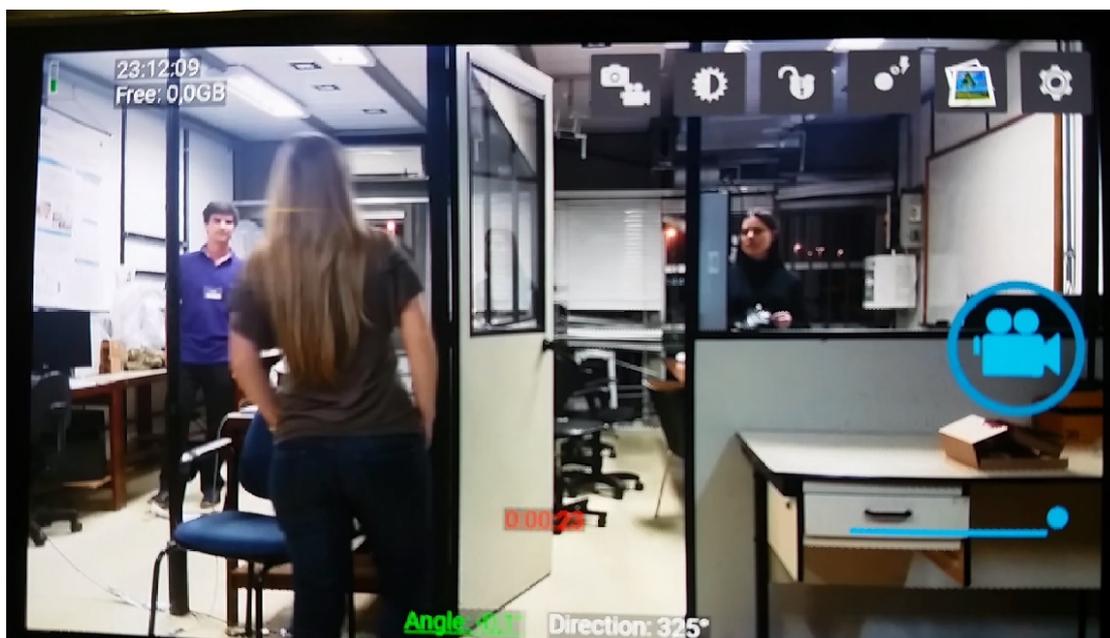


Figura 4.6: Imagem do vídeo do sistema RFID de detecção para vários usuários.

Não ocorreram erros nesse teste. Entretanto, os usuários foram orientados a manter uma boa posição em relação às antenas, ou seja, a não passarem de costas. Essa situação muitas vezes não é real, porque nem sempre o usuário vai seguir essas orientações. Contudo, o sistema consegue corrigir esse tipo de erro, como comentado anteriormente para o caso $2 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 3$ com um usuário.

Porém, mesmo com essa correção, a taxa de erros aumenta consideravelmente a ponto de tornar esse sistema não-confiável, já que a correção só acontece quando o usuário realiza outra transição de ambiente, o que pode acontecer em seguida ou horas depois. Esse fato reforça a necessidade de uma informação complementar para sistema de detecção RFID.

4.2.2 Cenário com fusão sensorial

Os testes para o sistema com fusão sensorial, foram os mesmo realizados para o sistema RFID. Quase não houve falhas na detecção de usuários em ambientes, já que a informação do sensor adicionado otimizava significativamente o sistema, mesmo nas situações mais críticas, como por exemplo, vários usuários andando aleatoriamente no laboratório.

O sensor adicionado, chamado no trabalho de sensor de transição, indicava que alguém estava realizando uma mudança de ambientes e se essa mudança era de entrada ou saída em relação ao ambiente do sensor.

Para uma melhor visualização do comportamento do sensor, observe na Figura 4.7 as mudanças de ambientes $2 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 3$.

```
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False

Sistema de localização de Usuarios INICIADO: True

  .:.▲.:.▲.:. MENU .:.▲.:.▲.:.

Digite 1 para iniciar sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 2 para interromper sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 0 para encerrar a aplicação

09/07/2015 00:36:08
Valor Infravermelho 2 = 1
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 2.
09/07/2015 00:36:16
Valor Infravermelho 2 = 0
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
09/07/2015 00:36:23
Valor Infravermelho 2 = 1
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 2.
09/07/2015 00:36:31
Valor Infravermelho 2 = 0
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C entrando na Sala 3.
```

Figura 4.7: Resposta do sistema RFID em Console para utilização de sensores.

Na Figura 4.7, o sinal Infravermelho2 representa as situações de entrada ou saída do ambiente 2. Quando o sensor de transição envia um sinal serial igual a "Entrando\r", Infravermelho2 recebe o valor 1, porém, se a *string* recebida for igual a "Saindo\r", Infravermelho2 recebe o valor 2, e, caso o sensor estiver interrompido, ele envia "Interrompido\r", setando Infravermelho2 em 3, operando somente no modo RFID.

Ou seja, mesmo que antenas de outros ambientes realizem leituras de *tags* de usuários em outros locais, o sistema só vai atualizar o banco de dados se receber informações válidas dos sensores de transição. Assim, a taxa de erros é muito baixa, porém, não é nula devido a alguns cenários não tratados.

Um exemplo desse tipo de situação é quando o usuário realiza a transição do ambiente 3 para o 2 e a antena desse ambiente não realiza a leitura da *tag*. Dessa forma, o sensor de transição indicaria que alguém entrou ou saiu do ambiente, contudo, não teria informação de identidade do usuário. Nessa situação, o banco de dados não seria atualizado, mesmo que o usuário realizasse uma transição válida entre ambientes. Como já comentado, o problema com o ambiente 2 pode ser corrigido com a adição de mais uma antena para cobrir melhor a área de leitura. Uma outra solução seria utilizar o equipamento correto para o projeto do sistema, como antenas de polarização circulares. Assim, a posição da etiqueta em relação à antena seria bem mais flexível.

Também foram realizados testes com vários usuários entrando no ambiente 1. O sistema com fusão sensorial conseguiu identificar corretamente todos os usuários que entraram no ambiente, sendo assim, o algoritmo poderia ser utilizado futuramente para acionar e setar equipamentos de acordo com quantidade de usuários em um ambiente, por exemplo.

Em situações em que usuários entraram ou saíram ao mesmo tempo de um ambiente, os resultados também foram satisfatórios, visto que os sensores foram capazes de reconhecer bem as transições de cada usuário separadamente, como pode ser visualizado na Figura 4.8.

```
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Nome da Leitora: Leitora3, Temperatura: 55°C, Configurada e Iniciada: True,
Conectada: True, IP: 192.168.0.242
Antena ligada na porta 1 conectada: True
Antena ligada na porta 2 conectada: True
Antena ligada na porta 3 conectada: False
Antena ligada na porta 4 conectada: False
Sistema de localização de Usuarios INICIADO: True
      ..▲..▲.. MENU ..▲..▲..
Digite 1 para iniciar sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 2 para interromper sistema de rastreamento de usuários em ambientes
Digite 0 para encerrar a aplicação
05/07/2015 22:16:32
Valor Infravermelho 1 = 1
Usuario: Raissa, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC E43C  entrando na Sala 1.
05/07/2015 22:16:32
Valor Infravermelho 1 = 1
Usuario: Mayara, EPC: E280 1160 6000 0205 22AC EC28  entrando na Sala 1.
```

Figura 4.8: Duas pessoas entrando no ambiente ao mesmo tempo.

4.2.3 Discussão sobre o *Hardware* utilizados e dificuldades encontradas

O fato de as antenas utilizadas não serem as mais adequadas, já que para essa aplicação seria melhor utilizar antenas de polarização circular, aumentou significativamente a taxa de erros de leitura para o sistema RFID. Com as leitoras e antenas corretas, é possível construir um sistema de rastreamento mais adequado, mesmo que não ocorra uma fusão sensorial. A identificação das etiquetas seria bem mais precisa e os resultados mais confiáveis.

Outra dificuldade encontrada foi obter o melhor posicionamento das antenas, porque foi necessário utilizar cabos específicos, que já possuíam tamanhos pré-determinados.

O sensor ideal para a aplicação desenvolvida seria um infravermelho de feixe (ou barreira). Entretanto, a UnB não pode fornecer nenhum dispositivo adicional, e, como os sensores eram caros e seria necessário adquirir no mínimo oito, optou-se por construir o sensor de transição. O maior problema foi o alinhamento dos lasers e a comunicação com o Visual Studio, já que foi necessário fazer com que duas *threads* se comunicassem.

Além disso, em alguns momentos, houve um atraso de alguns segundos na atualização do banco de dados devido a capacidade de processamento do computador utilizado na programação.

Capítulo 5

Conclusões e trabalhos futuros

Neste trabalho, apresentou-se o estudo e a implementação de um sistema de detecção de usuários utilizando RFID e fusão sensorial.

Inicialmente, foi realizado no Capítulo 2 um breve histórico do surgimento da tecnologia RFID e suas aplicações atuais no cenário mundial. Apresentou-se um estudo teórico sobre os conceitos fundamentais de um sistema RFID e seus componentes, tais como antenas e seus parâmetros, leitores, *tags* e EPC, faixa de frequência, *Middleware* e fusão sensorial para automação predial. Foram abordados, também, a programação orientada a objetos, a linguagem C# e suas ferramentas de desenvolvimento.

Em seguida, no Capítulo 3, abordou-se a implementação do *hardware* e do *software* do sistema RFID com fusão sensorial de detecção de usuários proposto e suas características. O algoritmo e a lógica de programação foram apresentados e explicados detalhadamente para uma completa compreensão do sistema e os componentes escolhidos de *hardware*, justificados.

Os testes realizados para a escolha do melhor sensor para fusão sensorial foram comprovados e analisados. Tais testes demonstraram que o sensor LDR, com uma baixa taxa de erros, foi o mais apropriado para o sistema.

O algoritmo proposto apresentou resultados satisfatórios para um sistema de detecção sem fusão sensorial, distinguindo as mudanças de ambientes em grande parte de suas alterações. Quando o sistema identifica algum erro, o mesmo é reportado e corrigido de maneira com que não prejudique as próximas leituras do usuário.

Já para o caso em que ocorreu a fusão sensorial, a taxa de acertos foi bem mais alta, visto que os sensores complementaram a informação de leitura. Algumas falhas foram decorrentes de bloqueios de sinal das antenas, porém, isso não invalida a aplicação.

Assim, o sistema de detecção de usuário se mostrou funcional e satisfaz o seu propósito inicial. Esse trabalho abre as portas para uma implementação de um sistema de automação completo no ambiente do laboratório, e estudos sobre sistema RFID com *tags* passivas. São sugeridas as seguintes propostas para trabalhos futuros:

- Avaliar o comportamento de outros algoritmos utilizados na detecção de usuários;
- Utilizar o sistema de rastreamento para implementação da automação predial em ar condicionados ou sistema de iluminação, reduzindo o consumo de energia e propiciando um maior conforto ao usuário;
- Avaliar sensores mais eficientes e mais robustos.

O Laboratório de Automação e Robótica não foi um ambiente adequado para a implementação do sistema, visto que o equipamento RFID também não foi o ideal. Além da interferência das bancadas e dispositivos eletrônicos, o chão do laboratório é de metal, complicando ainda mais a implementação do algoritmo. Mesmo assim, o obtiveram-se resultados muito satisfatórios nos testes realizados no LARA. Dessa forma, a instalação do sistema de detecção desenvolvido em um ambiente com melhores condições e com o equipamento adequado proporcionaria resultados ainda melhores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEREIRA, A. de Souza Oliveira e M. F. *Estudo da Tecnologia de Identificação por RadioFrequência*. Brasília, Brasil, 2006.
- [2] PASSARETTI, C. S. *RFID - Identificação por RadioFrequência movendo-se para o futuro*. 54 p. Tese (Obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista) — Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, jun. 2008.
- [3] ROSA, R. *RFID Implementation*. EUA: RFID Center of Excellence, 2013.
- [4] IMPINJ. *UHF Gen 2 RFID Speedway Revolution Installation and Operations Guide*. EUA, 2012.
- [5] PINHEIRO, J. *Identificação por Radiofrequência: Aplicações e Vulnerabilidades da Tecnologia RFID*. Volta Redonda, Brasil: Cadernos UniFOA, 2006.
- [6] SPECTRUM, I. *RFID Inside*. 2007. Disponível em: <<http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/rfid-inside>>.
- [7] HALL; LINAS. *Handbook of Multisensor Data Fusion*; 1. ed. EUA: CRC Press, 2001.
- [8] SANGHERA, P. *RFID+ Study Guide and Practice Exams*; EUA: Syngress, 2007.
- [9] SMARTRAC TECHNOLOGY, LTD. *Frog3D - High performance product for supply chain applications*. EUA, 2013.
- [10] PERFECTRFID. *Tageos EOS-500*. 2015. Disponível em: <<http://www.perfectrfid.com/paper-tags/tageos-eos-500/65988>>.
- [11] ARDUINO. *Arduino Mega 2560*. 2015. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>.
- [12] LINGEMANN, R. *Building Automation System*. Broomfield, EUA: Prentice-Hall, 2005.
- [13] ROCHA, F. R. de Oliveira e Frederico Silva de P. *RFID Passiva no rastreamento de usuários para a automação predial*. 116 p. Tese (Obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação) — Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, abr. 2013.
- [14] NEIVA, J. P. B. *Localização e Orientação Indoor com recurso à Tecnologia RFID*. 78 j. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) — Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, Portugal, jul. 2012.

- [15] COONEY, E. M. *RFID + The Complete Review of Radio Frequency Identification*. 1. ed. EUA: Thompson/Delmar Learning, 2006.
- [16] DIAS, R. R. de F. Regulamentação do espectro de frequência para o sistema rfid. *RFID Journal Brasil*, n. 14, mar. 2013.
- [17] SCHUSTER STUART J. ALLEN, D. L. B. E. W. *Global RFID: The Value of the EPCglobal Network for Supply Chain Management*. 1. ed. EUA: Springer, 2007.
- [18] WANG, S.-W. Rfid application in hospitals: A case study on a demonstration rfid project in a taiwan hospital. *IEEE Transactions on Power on Power Delivery*, v. 8, n. 4-7, jan. 2006.
- [19] BERNARDO, C. G. Issues and solutions in setting a quadrilateral distance characteristic. *61st Conference for Protective Relay Engineers*, n. 1-3, apr. 2008.
- [20] MAZZAROPPI, M. *Sensores de Movimento e Presença*. 54 p. Tese (Obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, nov. 2007.
- [21] ZAMBONI, E. B. e. S. P. L. C. A programação orientada a objetos como ferramenta de aprendizado e auxílio em projetos de engenharia. *COBENGE*, n. 12-15, set. 2005.
- [22] NOVAK, I. *Beginning Microsoft Visual Studio LightSwitch Development*. Indianapolis, Indiana, EUA: Wiley Publishing, 2011.

ANEXOS



Figura 1: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:01.



Figura 2: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:09.



Figura 3: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:19.

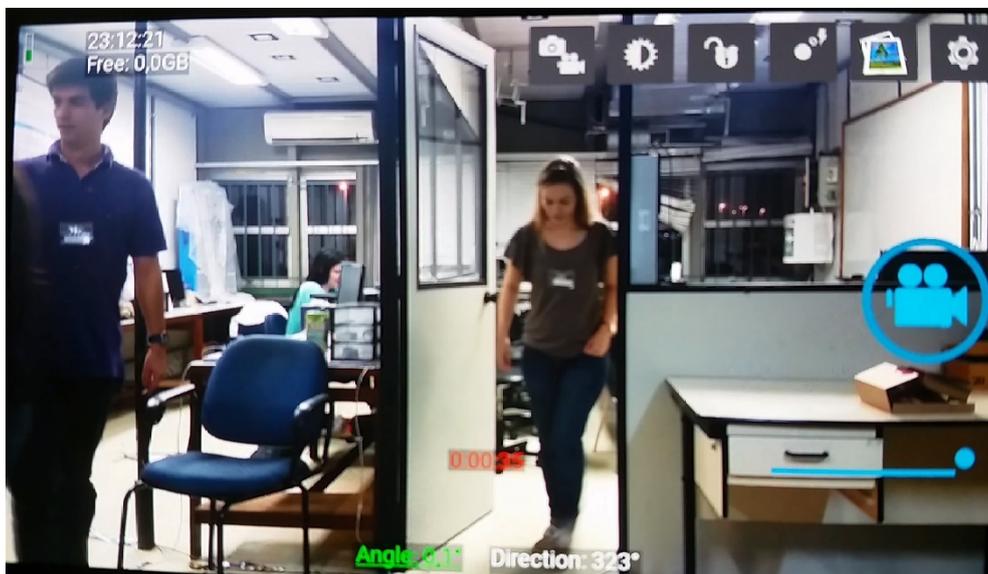


Figura 4: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:21.



Figura 5: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:31.



Figura 6: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com vários usuários. Horário: 23:12:36.



Figura 7: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:09.



Figura 8: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:11.

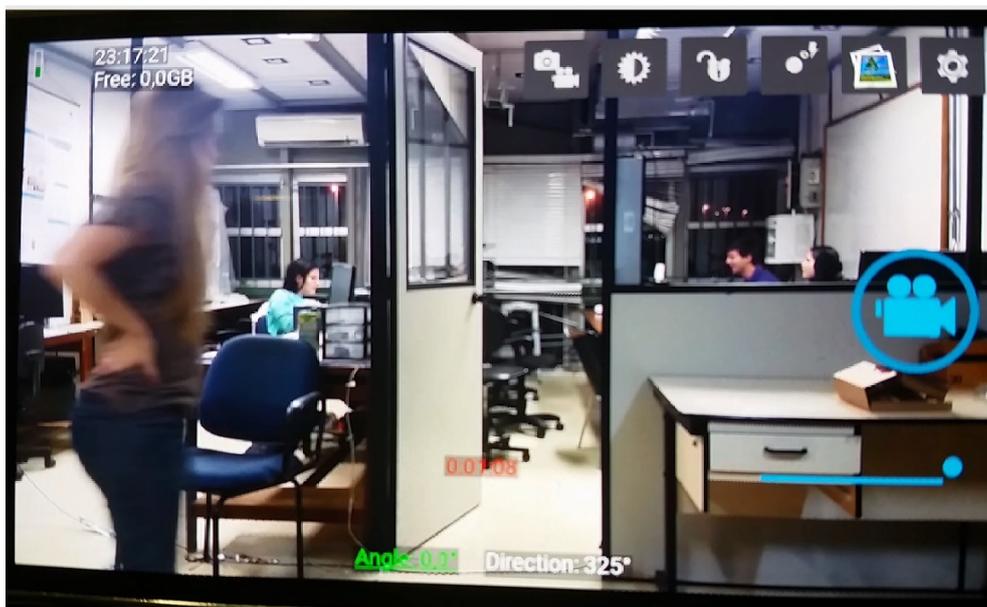


Figura 9: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:21.

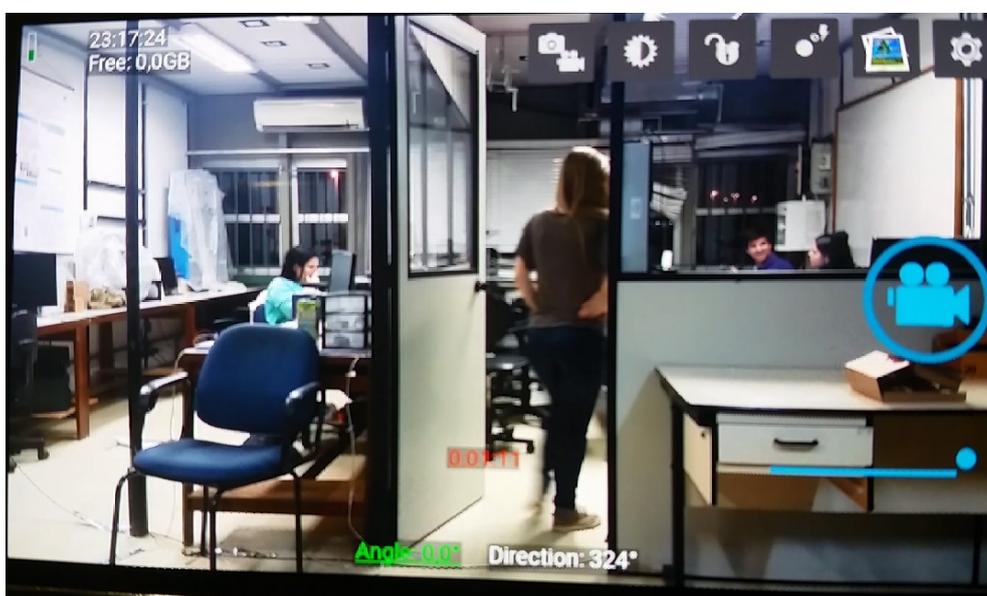


Figura 10: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:24.



Figura 11: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:31.

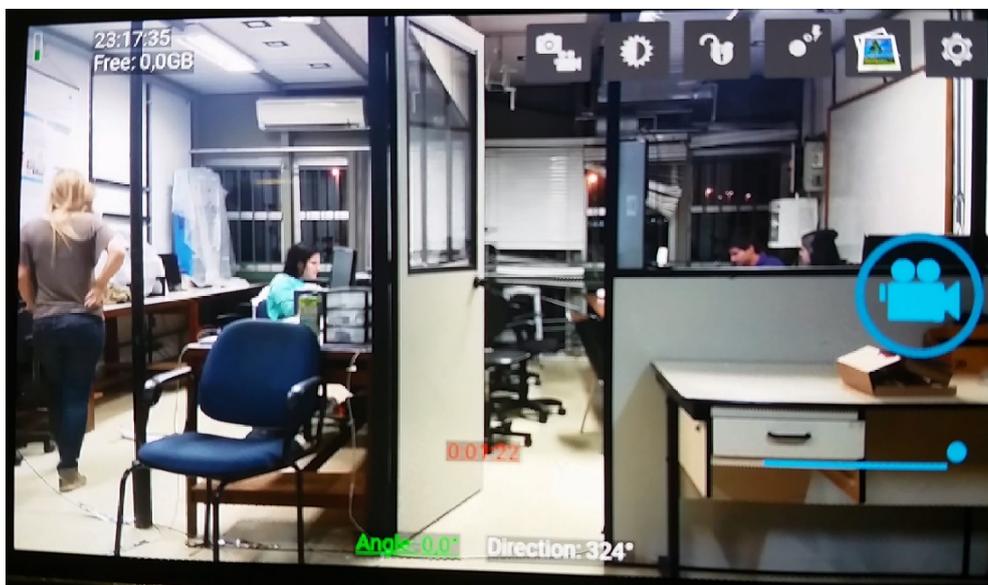


Figura 12: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:35.



Figura 13: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:42.



Figura 14: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:47.

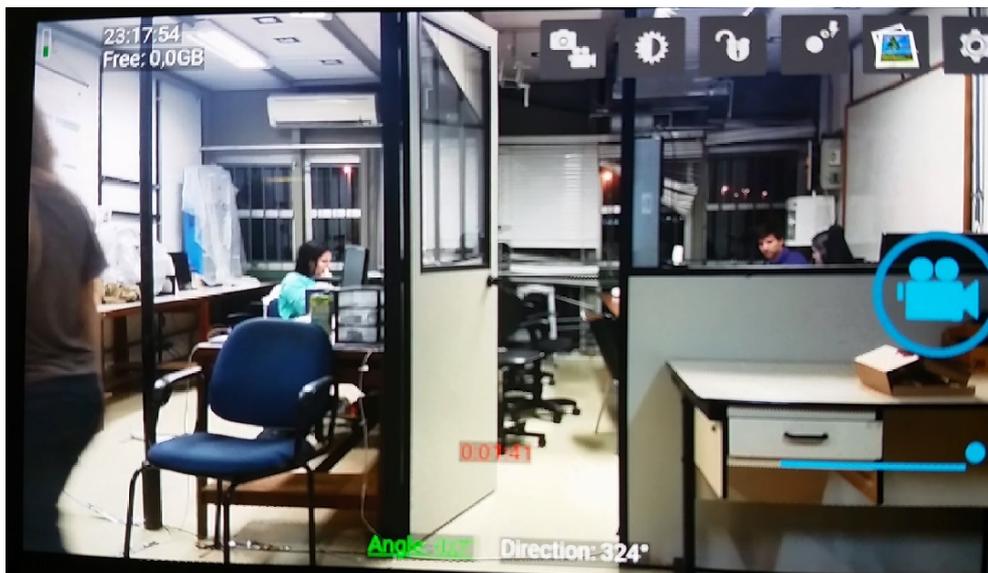


Figura 15: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:54.



Figura 16: Imagem de vídeo para os sistema de detecção com um usuário. Horário: 23:17:57.