

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA RFID NA AUTOMAÇÃO DO CANTEIRO DE
OBRAS VISANDO À MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO**

Victor Hugo Mazon de Oliveira

São Carlos, 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA RFID NA AUTOMAÇÃO DO CANTEIRO DE
OBRAS VISANDO À MELHORIA DA SEGURANÇA DO TRABALHO**

Victor Hugo Mazon de Oliveira

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Linha de pesquisa: Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade na Construção Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

São Carlos, 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Victor Hugo Mazon de Oliveira, realizada em 13/11/2018:

Prof. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra
UFSCar

Prof. Dr. Márcio Merino Fernandes
UFSCar

Prof. Dr. Carlos Humberto Martins
UEM

Prof. Dr. Marcel Andreotti Musetti
USP

Prof. Dr. Assed Naked Haddad
UFRJ

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Carlos Humberto Martins e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dra. Sheyla Mara Baptista Serra

DEDICO ESTE TRABALHO

Mais uma vez aos meus pais, Antonio Liu e Maria Lucia e aos meus irmãos Thomas, Fernando e Clariana. Sem vocês não haveria um porquê.

AGRADECIMENTOS

A realização desta pesquisa contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais nada seria possível.

Este trabalho está inserido na linha de pesquisa: Gestão da Produção e Segurança e Saúde do Trabalho, coordenada pela orientadora do grupo de pesquisa NUPRE (Núcleo de Pesquisa em Racionalização e Desempenho de Edificações), cadastrado no CNPq. Também fez parte do Projeto de Pesquisa CANTECHIS – Tecnologia para Canteiro de Obras Sustentável de Habitação de Interesse Social, formado em rede colaborativa coordenada pela UFSCar com participação da UFBA, UFRGS e EPUSP. A formatação deste estudo é parte integrante de apenas um dos subprojetos do CANTECHIS, cujo objetivo é o aperfeiçoamento de sistemas de proteção coletiva em canteiros de obras. Portanto, reitero os agradecimentos ao projeto CANTECHIS, apoiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

À Professora Dra. Sheyla Mara Baptista Serra pela orientação, pela amizade e por ter acreditado na realização desta pesquisa.

Aos Professores Dr. Carlos Humberto Martins, Dr. Jose Wilson Assunção e Dr. Romel Dias Vanderlei, pelo apoio, pela amizade e pela disponibilização do Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pela oportunidade de poder fazer parte do seu Programa de Pós-Graduação e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio institucional.

Aos colegas de Doutorado, por terem me acolhido como mais um membro da família UFSCar.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, e a quem, por isso, serei sempre grato.

OLIVEIRA, V. H. M. **Utilização da tecnologia RFID na automação do canteiro de obras visando à melhoria da segurança do trabalho.** 2019. 135 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGECiv), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP, 2019.

RESUMO

A expressão econômica da indústria da construção frente à estrutura econômica do país a estabelece como um dos principais setores da cadeia produtiva nacional. Por outro lado, o setor enfrenta problemas como o alto índice de acidentes de trabalho e o elevado desperdício de recursos. Esse contexto oportuniza a introdução de novas tecnologias para o desenvolvimento de ferramentas de gestão com o intuito de tornar o ambiente de trabalho mais eficiente, integrado, seguro. Nesse sentido, a investigação proposta tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de áreas de risco de queda e gestão dos equipamentos de segurança utilizando a tecnologia *Radio Frequency Identification* (RFID). Espera-se, com este estudo, demonstrar a viabilidade do sistema proposto, identificando a sua contribuição com relação à redução dos riscos de acidentes no canteiro de obras utilizando a tecnologia da informação como ferramentas de acompanhamento remoto. O método de pesquisa adotado é baseado no Design Science Research (DSR) para apoiar na solução do problema e no desenvolvimento de um artefato com base na tecnologia RFID. O sistema de controle e monitoramento proposto agrega duas funções distintas: (1): monitoramento e controle de riscos de queda em altura e (2) monitoramento e controle de equipamentos de segurança coletiva. Para coordenar e unificar as duas funções, foi desenvolvido um *software* intitulado: Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID e um aplicativo para a plataforma *Android* intitulado: Monitora RFID. O *software* e o aplicativo gerenciam as funções da ferramenta armazenando e organizando o banco de dados. Os resultados são gerados por meio de planilhas, gráficos e imagens em planta. A rotina de ensaios associa testes de laboratório para o desenvolvimento e validação da metodologia e testes em um canteiro de obras em operação para a verificação do sistema em um ambiente real de construção. Os resultados apresentam um sistema organizado por um protocolo de procedimentos para a reprodução e aplicação da ferramenta. Os testes validaram a proposta e os resultados foram consistentes, demonstrando a viabilidade operacional parcial do sistema.

Palavras-chave: Construção civil. *Radio Frequency Identification (RFID)*. Equipamento de proteção coletiva. Monitoramento e Controle.

OLIVEIRA, V. H. M. **Utilization of RFID technology in construction site automation to improve work safety**. 2019. 135 f. Dissertation (Doctorate degree). Graduate Program in Civil Engineering (PPGECiv), Federal University of São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, 2019.

ABSTRACT

The economic expression of the construction industry in relation to the national economic structure establishes it as one of the main sectors of the national production chain. On the other hand, the sector faces problems such as the high rate of occupational accidents and the high waste of resources. This context provides the opportunity to introduce new technologies for the development of management tools in order to make the work environment more efficient, integrated, and secure. In this sense, the proposed research aims to develop a system for monitoring and controlling fall risk areas and managing safety equipment using Radio Frequency Identification (RFID) technology. It is expected with this study to demonstrate the viability of the proposed system by identifying its contribution to reducing the risk of accidents on the construction site using information technology as remote monitoring tools. The research method adopted is based on Design Science Research (DSR) to support the problem solving and the development of an artifact based on RFID technology. The proposed control and monitoring system assemble two distinct functions: (1): monitoring and control of risks of falls from heights and (2) monitoring and control of collective safety equipment. To coordinate and unify the two functions, it was developed the software entitled: “*Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID*” and an app for the Andoid platform entitled: “*Monitora RFID*”. The software and the app manage the tool functions by storing and organizing the database. The results are generated using spreadsheets, graphics, and plan images. The testing routine combines laboratory testing for methodology development and validation and testing at an operating site for system verification in a real building environment. The results introduce a system organized by a protocol of procedures for the reproduction and application of the tool. The tests validated the proposal and the results were consistent demonstrating the partial operational viability of the system.

Keywords: Construction. Radio Frequency Identification (RFID). Collective Safety Equipment. Monitoring and control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Componentes do sistema RFID	23
Figura 2.2 – Formato básico do EPCode	25
Figura 2.3 – Exemplo de EPCode – 96-bit	26
Figura 2.4 – Funcionário da COELCE verifica os EPIs e EPCs dotados da <i>Tag</i> RFID; à direita, trabalhador da Coelce vestido com o Colete de Leitura RFID, que verifica automaticamente o uso adequado de EPIs	41
Figura 2.5 – Passagem de trabalhadores pela catraca RFID	43
Figura 2.6 – Exemplo de capacete com etiquetas RFID	44
Figura 2.7 – Exemplo de um portal com antenas leitoras RFID	46
Figura 3.1 – Sistemas de Guarda-Corpo e Rodapé	51
Figura 3.2 – Sistemas de proteção com plataforma	51
Figura 3.3 – Sistemas de proteção com telas	52
Figura 4.1 – Estrutura de investigação utilizando a DSR para a aplicação da tecnologia RFID deste estudo	56
Figura 4.2 – Estrutura metodológica	58
Figura 4.3 – Delineamento das etapas da pesquisa	60
Figura 4.4 – Ordenação da campanha de testes	61
Figura 4.5 – Laboratório P02 - Universidade Estadual de Maringá	62
Figura 4.6 – Vista do edifício “ <i>Concept Desing</i> ” e do 13º pavimento	64
Figura 4.7 – Área de ensaios no Laboratório P02 – teste de delimitação	67
Figura 4.8 – Leitores RFID no tripé metálico na área de testes do laboratório P02	68
Figura 4.9 – Mapa de indicação das direções de leitura para a delimitação da área de risco de queda	70
Figura 4.10 – Capacetes equipados com <i>Tags</i> RFID utilizados nos testes	70
Figura 4.11 – Planilha de ensaio – Fase	71
Figura 4.12 – Mapa de indicação das direções e dimensões para a validação da área de teste	73
Figura 4.13 – Caixa de madeira construída para instalar e proteger os equipamentos durante os ensaios de campo	74
Figura 4.14 – Local do ensaio – 13º pavimento do canteiro de obras do Cond. <i>Concept Design</i>	75
Figura 4.15 – Planta baixa do pavimento de teste indicando a posição do leitor RFID	76
Figura 4.16 – Planilha de ensaio – Teste de Campo	78
Figura 4.17 – Planilha de ensaio – Laboratório – Monitoramento e controle de equipamentos	81
Figura 4.18 – Planta baixa do 13º pavimento – Pavimento de testes	82
Figura 4.19 – Matriz de coordenadas para divisão da planta do canteiro – Localização	85
Figura 5.1 – Arquitetura do <i>Software</i> : Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID	87
Figura 5.2 – Interface do <i>software</i> para a plataforma <i>Windows</i> (a) e para a plataforma <i>Android</i> (B)	88
Figura 5.3 – <i>Tags</i> utilizadas para o cadastramento dos equipamentos monitorados	89

Figura 5.4 – Exemplos dos campos de cadastramento do banco de dados	90
Figura 5.5 – Sequência operacional para a obtenção dos resultados em relatórios	92
Figura 5.6 – Sequência operacional para a obtenção dos resultados gráficos	93
Figura 5.7 – Exemplo da Planilha de Ensaio – Leitor Intermec IF 2 posicionado a 2,20 metros	94
Figura 5.8 – Ângulo de leitura – Antena modelo Intermec IF2	95
Figura 5.9 – Medições realizadas com o Leitor Intermec IF2 (a) – Medições realizadas com o Leitor UHF 900 BT (b)	96/97
Figura 5.10 – Maquete tridimensional da área de teste adotada com nuvem de leituras	99
Figura 5.11 – Área de risco de queda resultante do ensaio de aproximação	99
Figura 5.12 – Área de ensaios no Laboratório P02 – teste de validação	101
Figura 5.13 – Gráfico de dispersão para as dimensões de validação da área de risco de queda	102
Figura 5.14 – Gráfico do número total de medições por funcionário	104
Figura 5.15 – Gráfico comparativo por grupo de funcionários e por data de medição	104
Figura 5.16 – Tag RFID instalada em sistema Guarda-corpo Rodapé (GcR) no canteiro de obras ...	105
Figura 5.17 – Planta baixa do pavimento de teste indicando a posição dos equipamentos de segurança coletiva monitorados	106
Figura 5.18 – Leitura das <i>Tags</i> instaladas nos equipamentos GcR e Treliça metálica no canteiro de obras	107
Figura 5.19 – Interface de leitura para o <i>software</i> em um sistema operacional <i>Android</i> e localização do equipamento através de uma representação em planta	108
Figura 5.20 – Resultado gráfico da identificação, descrição e localização de um equipamento instalado no canteiro	109
Figura 5.21 – Relatório gráfico de um conjunto de leituras e informações do banco de dados	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Evolução histórica da RFID	24
Tabela 2.2. Diferença entre <i>Tags</i> ativas e passivas	28
Tabela 2.3. Frequências de operação do sistema RFID – 1	29
Tabela 2.4. Frequências de operação do sistema RFID – 2	30
Tabela 2.5. Normatização para uso das faixas de Rádio Frequência	33
Tabela 3.1. Acidentes de trabalho por setor da economia – 2013	52
Tabela 5.1. Tabela do resumo das leituras máximas e mínimas obtidas para cada leitor e para cada altura de leitura.....	98
Tabela 5.2. Tabela de resumo das leituras obtidas para o leitor UHF 900 BT	98
Tabela 5.3. Cronograma dos ensaios de campo	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1. Equipamentos RFID utilizados na Etapa 1	65
Quadro 4.2. Protocolo de teste para a Fase 1 – Definição da faixa de risco de queda	69
Quadro 4.3. Protocolo de teste para a Fase 1 – Validação da faixa de risco de queda	72
Quadro 4.4. Protocolo de teste para a Fase 2 – Teste de campo	77
Quadro 4.5. Modelo do conjunto de informações para o cadastro dos equipamentos	79
Quadro 4.6. Equipamentos RFID utilizados na Etapa 2	80
Quadro 4.7. Protocolo de teste – Monitoramento e controle de equipamentos de segurança	84
Quadro 5.1. Custo dos equipamentos	112
Quadro 5.2. Síntese cronológica dos resultados	113/114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVO	16
1.1.1. <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.2. DELIMITAÇÕES	17
1.3. ESTRUTURA DA TESE	17
2. RFID NA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.1. SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO	20
2.2. TECNOLOGIA RFID	22
2.2.1. <i>Breve síntese histórica</i>	23
2.2.2. <i>Características da tecnologia RFID</i>	25
2.2.2.1. Procedimento de leitura	26
2.2.2.2. Sistema passivo, semipassivo e ativo.....	27
2.2.2.3. Frequências de uso do sistema RFID	28
2.2.2.4. Capacidade de armazenagem de dados.....	30
2.3. REFERÊNCIAS NORMATIVAS PARA O USO DO SISTEMA RFID	31
2.4. RFID E OS RISCOS DE PRIVACIDADE	34
2.5. O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA RFID	37
2.6. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA RFID NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	39
2.6.1. <i>Sistemas de localização e detecção de proximidade</i>	39
2.6.2. <i>RFID no controle de equipamentos de segurança</i>	41
2.6.3. <i>Uso da RFID no controle de acesso e segurança</i>	42
2.6.4. <i>Uso da RFID na gestão de materiais e insumos</i>	44
3. SOBRE A SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHADOR	47
3.1. ACIDENTE DE TRABALHO	47
3.2. CONCEITO: QUASE ERROS (<i>NEAR MISS</i>) E QUASE QUEDAS (<i>NEAR FALLS</i> OU <i>NEAR-MISS FALLS</i>).....	49
3.3. SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA QUEDAS DE ALTURA USUALMENTE EMPREGADOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	50
3.4. OS NÚMEROS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	52
4. MÉTODO DE PESQUISA	54
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA – <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	54
4.2. DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	57
4.2.1. <i>Locais dos testes</i>	62

4.3. ETAPA 1 – SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DO RISCO DE QUEDA.....	64
4.3.1. Protocolo de ensaio – Fase 1 – “Definição da faixa de risco de queda”	66
4.3.1.1. Delimitação das dimensões alcançadas pelo leitor RFID	66
4.3.2. Protocolo de ensaio – Fase 1 – “Validação da faixa de risco de queda”	72
4.3.3. Protocolo de ensaio – Fase 2 – “Teste de campo”	73
4.4. ETAPA 2 – SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA	79
4.4.1. Protocolo de ensaio – “Sistema de controle e monitoramento de equip. de segurança”	83
5. RESULTADOS.....	86
5.1. O SOFTWARE	87
5.1.1. Detalhes da implantação do Software	89
5.2. ETAPA 1 – “DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE QUEDA”	93
5.2.1. Fase 1 – Testes em laboratório	94
5.2.1.1. Validação das dimensões obtidas na delimitação da área de risco de queda .	100
5.2.2. Fase 2 – Testes de campo	102
5.3. ETAPA 2 – “SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA”	105
5.4. CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS	111
5.5. SINTESE CRONOLÓGICA DOS RESULTADOS	112
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
APÊNDICE – MANUAL DO USUÁRIO – MONITORAMENTO DA SEGURANÇA DO CANTEIRO DE OBRAS VIA RFID	126

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção apresenta relevante prestígio econômico em relação aos demais setores da economia. Os aspectos técnicos inerentes à atividade e seus aspectos sociais e políticos a estabelecem como uma das locomotivas da cadeia produtiva nacional. Sua participação econômica na formação do Produto Interno Bruto (PIB) pode ser expressa através do Valor Acrescentado Bruto (VAB¹). Em 2017, a participação do VAB Construção Civil representou 5,2% do VAB total Brasil (CBIC-2, 2018), destacando assim o seu peso econômico.

Contudo, o setor apresenta carências de investimentos voltados ao desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias em toda a sua cadeia produtiva. Para Giretti et al. (2009) os sistemas existentes, especialmente os voltados ao canteiro de obras, têm-se colocado no mercado com dificuldade, seja por resistência cultural, seja por limitações técnicas.

O universo que compõe os processos envolvidos em um canteiro de obras é formado por um número complexo de atividades. O grande número de práticas laborais, que incluem atividades de produção, aquisição de insumos, gestão de pessoas, materiais e equipamentos, gestão da segurança, entre outros, exige dos administradores um modelo de gerenciamento capaz de, diante da especificidade de cada tarefa, administrar adequadamente os desafios impostos.

Dentre as atribuições diárias do canteiro de obras, uma das principais diretrizes é a de manter um ambiente de trabalho seguro e em condições adequadas para a execução das atividades laborais. Para isso, a construção civil necessita de melhorias contínuas em seus processos construtivos e gerenciais. Mudanças no pensamento estratégico e na elaboração de sistemas de gestão são necessários para conduzir o setor ao uso de novas tecnologias, métodos e procedimentos que possam proporcionar um ambiente integrado, seguro e produtivo.

¹ Valor Acrescentado Bruto (VAB) é o resultado final da atividade produtiva no decurso de um período determinado. Resulta da diferença entre o valor da produção e o valor do consumo intermédio, originando excedentes (CBIC-2, 2018)

Segundo o Anuário Estatístico da Previdência Social, a indústria da construção ocupou o sexto lugar em número de acidentes totais no ano de 2017 (BRASIL, 2017). No âmbito internacional, segundo Yang et al. (2016), a indústria da construção é considerada uma das mais perigosas indústrias nos Estados Unidos, por exemplo. Entre os acidentes relacionados à construção, acidentes de queda são uma das principais causas de mortes e representam mais de 30% dos acidentes fatais das últimas décadas.

Esses dados reiteram a carência do desenvolvimento de técnicas, ferramentas e metodologias capazes de auxiliar no gerenciamento das condições de segurança e saúde do trabalhador, determinante no planejamento e controle da mitigação dos riscos. As normas regulamentadoras e as normas técnicas orientam para que várias medidas de prevenção dos acidentes do trabalho sejam tomadas. Destaca-se a obrigatoriedade da implantação dos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs), a obrigatoriedade da utilização dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e o treinamento dos colaboradores sobre os riscos presentes no canteiro de obras.

Entretanto, nem sempre os EPCs e os EPIs são instalados e utilizados de forma eficiente ou não são devidamente controlados durante seu uso. Nesse sentido, o desenvolvimento de novos equipamentos de proteção coletiva e a elaboração de métodos de controle de equipamentos já existentes pode ajudar a manter e preservar a segurança dos canteiros. Para Demiralp, Guven e Ergen (2012), existem déficits claros nas metodologias gerenciais tradicionais da construção civil. Para esses autores, o uso de tecnologias de coleta de dados, como o sistema de “Identificação por Rádio Frequência”, do inglês “*Radio Frequency Identification*” (RFID), pode ajudar decisivamente no desenvolvimento de toda a cadeia produtiva.

Não há restrições na implantação de métodos de controle e monitoramento. Para tanto, a implantação de um sistema de automação fazendo uso de técnicas computadorizadas ou mecânicas com o objetivo de controlar, otimizar e dinamizar os processos inerentes à melhoria da segurança do trabalho nos canteiros de obra pode ser associada à aplicação da tecnologia RFID. A automação se enquadra no conjunto de estratégias da cadeia produtiva da construção civil de otimizar os processos e o tratamento das informações de forma a aumentar a competitividade, a produtividade e obter a redução de custos.

O funcionamento de um tipo de gestão automatizada acontece a partir da coleta de dados no controle de aproximação e controle de equipamentos identificados por etiquetas RFID.

Este tipo de recurso tecnológico faz parte do conjunto de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) que, para Mehrjerdi (2008), ainda são pouco incorporadas à indústria da construção.

Para ajudar a preencher esta lacuna do setor, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento automatizado utilizando a tecnologia RFID. O estudo é composto por duas etapas de trabalho. Na primeira etapa o objetivo é desenvolver um sistema de controle e monitoramento para os riscos de queda. Este estudo investigará a funcionalidade da ferramenta como equipamento de segurança para o controle de risco de queda nos canteiros de obra. Na segunda etapa o objetivo é desenvolver um sistema para testar a funcionalidade da tecnologia RFID na identificação, monitoramento e controle de dois equipamentos de segurança: guarda-corpo rodapé e treliças para bandejas de periferia.

O conceito de monitoramento e controle proposto por esta pesquisa é detalhado por Vargas (2007) ao indicar que o monitoramento e controle devem ocorrer junto com o planejamento operacional e a execução das atividades. Para o autor, o monitoramento tem como objetivo acompanhar e observar aquilo que está sendo realizado de modo a propor ações corretivas e preventivas no menor espaço de tempo possível, após a detecção da anormalidade. O objetivo do controle é comparar o *status* atual do que está sendo realizado com o que foi planejado, realizando ações corretivas em caso de desvio.

Para coordenar e unificar as funções de monitoramento e controle da ferramenta é desenvolvido, paralelamente aos testes com os equipamentos RFID, um *software* intitulado: Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID. Este *software* incorpora as duas funções do sistema, oferecendo ao usuário um menu que possibilita escolher qual função utilizar a qualquer momento. Além disso, o *software* armazena, registra os eventos e organiza o banco de dados, disponibilizando os resultados das leituras dos equipamentos em forma de gráficos, planilhas e imagens.

A simulação da operação de todo o conjunto busca testar e validar os procedimentos e o funcionamento do sistema de controle e monitoramento desenvolvido. As contribuições obtidas com este estudo incluem os resultados dos testes, uma avaliação do funcionamento do sistema desenvolvido utilizando a tecnologia RFID, o desenvolvimento de um novo *software* e recomendações para futuras pesquisas.

De fato, há grande amplitude na aplicabilidade da tecnologia RFID na construção civil. Entretanto, a tecnologia em si se configura apenas como uma ferramenta. Disseminar e inserir sua aplicação nos processos industriais é o que caracterizara seu sucesso ou fracasso. Por isso, a investigação de um novo caminho que contribua com inovações voltadas ao desenvolvimento de novos mecanismos faz do uso de tecnologias como a RFID uma oportunidade para responder à demanda por inovações assinalada pela indústria da construção.

Entende-se, portanto, que a utilização de um método de rastreamento remoto com identificação de pessoas e equipamentos através de sinais de Rádio Frequência, recuperando e armazenando dados remotamente, tem funcionalidade preventiva e organizacional capaz de disponibilizar informações para o planejamento de processos construtivos, podendo, assim, contribuir no desenvolvimento de mecanismos voltados a proporcionar um ambiente de trabalho mais seguro para o trabalhador.

1.1. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo propor um sistema de monitoramento e controle de risco de queda e de equipamentos de segurança da construção civil utilizando a tecnologia RFID.

1.1.1. Objetivos Específicos

A composição do objetivo divide-se em etapas específicas, conforme a descrito a seguir:

- Desenvolver um *software* de apoio destinado à gestão do sistema proposto;
- Testar a funcionalidade da metodologia e do sistema de monitoramento e controle de risco de queda dos operários;
- Testar a funcionalidade da metodologia e do sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança.

1.2. DELIMITAÇÕES

A abrangência deste estudo limita-se ao desenvolvimento de um sistema com base nos seguintes parâmetros iniciais:

- Utilizar apenas a tecnologia RFID para o desenvolvimento do sistema proposto;
- Investigação da aplicação da tecnologia na segurança dos trabalhadores durante atividades laborais.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese é estruturada em seis capítulos e um apêndice. O capítulo inicial apresenta a introdução do estudo. Este capítulo exibe um preâmbulo de todo o tema abordado durante a pesquisa, bem como as justificativas que fundamentam e defendem a adoção do tema. Apresenta ainda os objetivos a serem alcançados durante o percurso do estudo e as delimitações que delinearão a proposta.

O Capítulo 2 inicia a revisão da literatura com uma abordagem da tecnologia de monitoramento via RFID, contemplando a caracterização de todos os aspectos técnicos necessários para a compreensão da tecnologia. Este capítulo descreve também a aplicabilidade da RFID na construção civil e exemplifica aplicações já existentes em outros setores. O capítulo é encerrado com uma breve definição de sistemas de automação e sua aplicabilidade na indústria da construção civil.

Os conceitos relacionados à Segurança e Saúde do Trabalhador são debatidos no Capítulo 3 através de uma abordagem que se inicia pela apresentação das definições legais para as ações que caracterizam o acidente de trabalho. O capítulo segue apresentando as estatísticas acerca dos acidentes de trabalho e também dos sistemas de gestão da segurança na indústria da construção civil relacionadas ao escopo delimitado por este estudo.

No Capítulo 4 apresenta-se o modelo metodológico, com as etapas da elaboração da pesquisa. A proposta utiliza um modelo de pesquisa com as seguintes características: aplicada quanto à natureza, objetivando gerar conhecimentos para aplicações práticas. Explicativa quanto ao objetivo, preocupando-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para os resultados oferecidos. Experimental quanto aos procedimentos,

ao elaborar instrumentos para a coleta de dados e submetê-los a testes para assegurar sua eficácia em medir aquilo que a pesquisa se propõe aferir.

A síntese dos resultados encontrados na pesquisa é apresentada no Capítulo 5.

No Capítulo 6 são feitas as considerações finais e conclusões sobre os resultados encontrados. Neste capítulo são identificadas as contribuições alcançadas e são propostas sugestões para a realização de pesquisas correlatas posteriores.

Por fim, está inserido o Apêndice, que apresenta o Manual do Usuário que descreve as instruções para a utilização do *software* “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID” e para a utilização do aplicativo “Monitora RFID”, desenvolvidos nesta pesquisa.

2. RFID NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A amplitude de possibilidades aplicacionais faz da automação industrial um instrumento operacional importante para a construção civil. Empresas do setor têm se interessado em introduzir soluções integradoras como o uso da tecnologia RFID na sua cadeia produtiva como forma de implantar sistemas automatizados e menos propenso a erros. No entanto, não há presunção de que a tecnologia RFID possa ser implantada em toda a indústria em um curto espaço de tempo.

Para Zhong et al. (2015), dentro de um ambiente habilitado para a aplicação da tecnologia RFID, os dados podem ser capturados em tempo real para serem utilizados em diferentes finalidades. Este modelo de captura e compartilhamento de informações pode abastecer um sistema de automação que controla e monitora os mecanismos para o seu próprio funcionamento, gerando assim benefícios ambientais e econômicos.

Segundo Tiago et al. (2017), nos últimos anos a tecnologia RFID foi aplicada em toda a cadeia industrial e de serviços, graças à sua facilidade de uso e suas múltiplas aplicações práticas, incluindo identificação, controle de acesso, cartões de transporte, rastreabilidade da cadeia de suprimentos e logística. No entanto, apesar de se tornar uma tecnologia cotidiana, muitas variáveis que serão discutidas ao longo deste capítulo influenciam na consistência da sua utilização.

Nesse contexto, o SEBRAE (2016) classifica este momento como um momento de transição da Construção Civil. A recuperação do setor passa pela necessidade da adoção de novas tecnologias. Portanto, a implementação da tecnologia RFID aliada a sistemas de automação, por exemplo, podem trazer métodos mais eficientes e ágeis para o canteiro de obras.

Finkenzeller (2010) complementa que o número de empresas envolvidas ativamente no desenvolvimento e comercialização de sistemas de RFID indica que este é um mercado em

expansão. Miles, Sarma e Willians (2008) reafirmam o crescimento rápido da tecnologia RFID com boas oportunidades de agregar valor aos processos. No entanto, os autores chamam a atenção para questões desafiadoras no emprego da tecnologia, questões estas que serão discutidas ao longo deste capítulo.

2.1. SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

Automação é o uso de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir as atividades manuais que envolvem tomadas de decisão e comandos-resposta de seres humanos (LAMB, 2013). A ideia de automação está diretamente relacionada ao conceito de máquinas realizando processos automáticos e agilizando tarefas sem interferência ou com interferência mínima de humanos.

Para SEBRAE (2016), na indústria da construção a mão de obra representa cerca de 40% do valor do empreendimento. Este é um dos fatores que têm incentivado a implementação da automação para algumas atividades do canteiro. O aumento da produtividade com a gestão eficiente de equipamentos é outro fator preponderante no investimento em automação. A relação tempo/custo/eficiência motiva a adesão a esse tipo de processo produtivo. Mesmo que, em um primeiro momento, os custos de implementação de automação possam ser representativos, os resultados a médio e longo prazo tendem a ser positivos.

Em termos conceituais, existem quatro tipos principais de sistemas automatizados, incluindo aquisição de informação, análise de informação, seleção de decisão e implementação de ação. Um tipo adicional de automação é a automação cujo único propósito é monitorar outros sistemas automatizados. Essas categorias não são mutuamente exclusivas; um único sistema automatizado pode se enquadrar em mais de uma categoria, se executar várias funções (HOFF; BASHIR, 2015).

A relação entre a automação e a utilização de máquinas refere-se ao fato da necessidade do uso de sensores, sistemas de computação (*softwares*) e sistemas mecânicos na realização das tarefas. Entretanto, todo esse processo não inibe a necessidade da participação de um operador humano monitorando e controlando todo esse sistema.

Portanto, sistemas automatizados estão sujeitos a falhas que, segundo Hoff e Bashir (2015), podem ocorrer por uma variedade de razões, incluindo projeto deficiente do sistema, fatores organizacionais, falhas do *software* e *hardware*, interferência ambiental, deficiência do equipamento e deficiência do operador.

Lamb (2013) e SEBRAE (2016) listam algumas vantagens e desvantagens no uso da automação na Construção Civil. Dentre as vantagens descritas estão:

- a) Operários com trabalhos pesados ou em ambientes insalubres podem ser substituídos;
- b) Tarefas além da capacidade humana podem ser mecanizadas;
- c) A eficiência operacional tende a ser maior e o custo de produção menor, com relação à produção manual;
- d) Facilidade na incorporação de inspeções e verificações ao longo da produção, melhorando o padrão e reduzindo inconsistências de qualidade;
- e) Redução de desperdícios e geração de resíduos;
- f) Catalisador para a melhoria da saúde financeira da empresa.

Como em qualquer sistema operacional, algumas desvantagens podem ser listadas:

- a) A tecnologia atual não é capaz de automatizar todas as tarefas de um canteiro de obras;
- b) Algumas tarefas custam mais para serem automatizadas do que para serem realizadas manualmente, por isso, a automação é indicada para processos repetitivos e com um grande volume de produtos;
- c) Os custos iniciais de implantação são relativamente altos em relação ao custo do produto;
- d) Necessidade de implementação de um setor de manutenções.

De forma geral, as vantagens tendem a superar as desvantagens. Empresas que adotam sistemas automatizados desfrutam de um padrão qualitativo e produtivo mais elevado, independentemente das implicações sistêmicas do processo.

Entre as principais tecnologias para automação está a tecnologia RFID que apresenta vantagens em relação às tecnologias mais antigas com aplicações semelhantes e que possui potencial de aplicação na construção civil.

2.2. TECNOLOGIA RFID

Os sistemas RFID se caracterizam por sistemas em que dados são armazenados em um dispositivo de transporte de dados eletrônico. A fonte de alimentação da energia e o canal de troca de dados entre o dispositivo de transporte e o leitor são realizados sem a necessidade de contato, ao invés disso, se utilizam campos magnéticos ou eletromagnéticos. O procedimento técnico subjacente é desenhado a partir dos campos de rádio e engenharia de radar. Por isso, a abreviação “RFID” significa Identificação por Rádio Frequência.

Uma breve definição do sistema RFID segundo Glover e Bhatt (2006, p.1):

RFID, abreviação para *Radio Frequency Identification*, é um termo que descreve alguns sistemas de identificação em que um dispositivo eletrônico utiliza rádio frequência ou variação do campo magnético para comunicação.

Segundo Chen, Zhou e Yu (2013), a tecnologia de identificação por radiofrequência utiliza *Tags* RFID e leitores RFID (ou simplesmente chamados de *Tags* e leitores) para monitorar objetos no mundo físico. Uma *Tag* é um microchip de baixo custo que pode ser anexado a um objeto. Pode armazenar algumas informações (incluindo um ID exclusivo) e pode se comunicar com um leitor através de um canal sem fio.

Glover e Bhatt (2006) também descrevem o funcionamento básico da tecnologia RFID através da interação das *Tags* e dos leitores. Para os autores, as *Tags* são os dispositivos de transporte de dados fixados no item a ser rastreado. O leitor é o dispositivo capaz de reconhecer a presença das *Tags* em seu raio de alcance e ler as informações nelas contidas. Após ler as informações das *Tags*, o leitor as transfere a um sistema de armazenamento.

Através dos autores Domdouzis, Kumar e Anumba (2007), Lieshout et al. (2007), foi organizada uma composição descritiva do funcionamento detalhado da tecnologia. Segundo os autores, o conjunto estrutural de identificação por Rádio Frequência típico inclui quatro componentes básicos: uma antena de leitura; um transmissor com decodificador; um *trasponder* eletronicamente programado e um *software* de controle. Uma antena emite sinais de rádio continuamente em uma dada frequência. Quando uma *Tag* configurada para detectar a frequência de trabalho utilizada entra em contato com estes sinais, ela é ativada e se comunica com o leitor pela modulação de transmitância de

frequências. A antena estabiliza a comunicação entre a *Tag* e o transmissor. O leitor obtém e armazena os dados. Quando solicitado, o leitor transmite os dados ao sistema que está conectado para reconhecer os protocolos de comunicação em um computador (Figura 2.1).

Figura 2.1 – Componentes do sistema RFID



Fonte: Autor, 2018

Especial atenção para uma característica importante do leitor. Trata-se de sua capacidade para evitar colisões entre as etiquetas de RFID usando métodos específicos. Ao utilizar métodos anticolisão, um leitor pode realizar múltiplas leituras, acelerando o processo de leitura. O desempenho do sistema anticolisão é avaliado em número de leituras por segundo. A utilização de um sistema anticolisão eficiente é essencial para calcular a transmissão de dados e a taxa do processo de leitura (LIESHOUT et al., 2007).

2.2.1. Breve síntese histórica

Miles, Sarma e Willians (2008) traça um histórico da tecnologia de Rádio Frequência:

A história da engenharia de rádio frequência pode ser datada de 1864 quando James Clerk Maxwell previu a existência de ondas eletromagnéticas, das quais micro-ondas fazem parte, através das equações de Maxwell. Em 1888, Heinrich Hertz tinha demonstrado a existência de ondas eletromagnéticas quando construiu um aparato que produziu e detectou micro-ondas na região UHF a rádio frequência selecionada pelo Centro Auto-ID no Massachusetts Institute of Technology (MIT) para sua iniciativa RFID um século e meio depois.

Outro precedente histórico que remete à evolução da ferramenta RFID é a importância do estabelecimento dos novos processos de análise de novas fontes de dados que podem ser vistos na história da adoção da tecnologia de radar. No início da segunda guerra mundial, os britânicos se tornaram adeptos dessa nova fonte de informações para se defender da

*Blitzkrieg*². De maneira muito rápida, esse sistema de detecção de aeronaves por radar se tornou um sistema de defesa bastante efetivo (MILES; SARMA; WILLIANS; 2008).

Em termos acadêmicos, “*Communication by Means of Reflected Power*” do autor Harry Stockman foi um dos primeiros trabalhos publicados tratando da tecnologia RFID. Este trabalho data do ano de 1948 e é fruto dos estudos realizados nas pesquisas para o desenvolvimento de rádios para a segunda guerra mundial (ROBERTS, 2006). Ainda segundo o autor, houve outras tecnologias relacionadas à RFID, como o sistema de *transponders* de ondas longas de IFF (*Identification Friend or Foe*), utilizadas em aeronaves que foram desenvolvidas no mesmo período.

A Tabela 2.1 resume os passos evolutivos, a partir da segunda guerra mundial, expondo levantamento histórico do desenvolvimento da RFID ao longo das décadas.

Tabela 2.1. Evolução histórica da RFID

DECADA	EVENTOS
1940 – 1950	Radares refinados e utilizados. Grandes esforços no desenvolvimento. RFID inventada em 1948.
1950 – 1960	Primeiras explorações da tecnologia RFID. Experimentos de laboratórios.
1960 – 1970	Desenvolvimento da teoria RFID. Começo das aplicações nos experimentos de campo.
1970 – 1980	Explosão do desenvolvimento da tecnologia RFID Os testes com RFID aceleram. Implementação da tecnologia RFID.
1980 - 1990	Surgimento de padrões. A RFID torna-se parte do cotidiano.

Fonte: Adaptado de ROBERTS (2006).

O primeiro registro de aplicação comercial da RFID é datado de 1987 na Noruega. Ao longo dos anos 90, empresas europeias como a Alcatel, Bosh, Phillips, Combitech, Tagmaster e Baumer estavam envolvidas no desenvolvimento do padrão “Pan-European” para aplicações em pedágios. Mais recentemente, no ano de 2001, o uso das etiquetas RFID para pedágios eletrônicos já havia se expandido para mais de 3500 linhas de tráfego (DOMDOUZIS; KUMAR; ANUMBA; 2007).

² O *Blitzkrieg* (termo alemão para "guerra-relâmpago") foi uma doutrina militar em nível operacional que consistia em utilizar forças móveis em ataques rápidos e de surpresa, com o intuito de evitar que as forças inimigas tivessem tempo de organizar a defesa. Seus três elementos essenciais eram o efeito-surpresa, a rapidez a manobra e a brutalidade do ataque, e seus objetivos principais eram: a desmoralização do inimigo e a desorganização de suas forças (MILES; SARMA; WILLIANS; 2008).

2.2.2. Características da tecnologia RFID

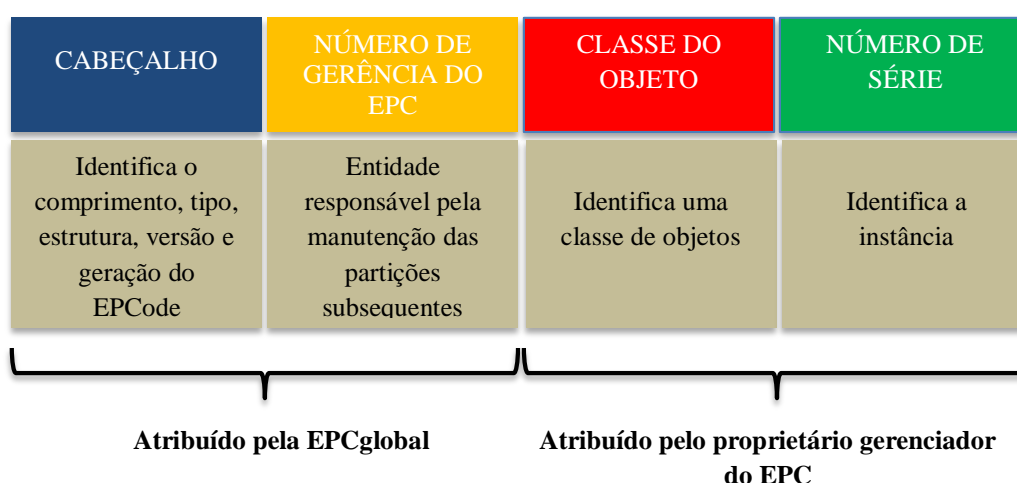
Existem inúmeras variáveis para a tecnologia RFID. Para manter uma visão geral dos sistemas que utilizam a tecnologia RFID, devem-se observar os recursos que podem ser usados para diferenciar um sistema a partir de outro. Dentre esses recursos estão: Tipo de procedimento (*half-duplex/full-duplex e sequencial*); sistema passivo, semipassivo e ativo; frequência; capacidade de armazenamento de dados, etc.

O sistema de identificação da tecnologia RFID possui o EPCode (*Electronic Product Code*), um número serial que estará alocado no *chip* da etiqueta. O EPCode tem como objetivo substituir o padrão código de barras para identificar os objetos.

O EPCode é um identificador universal que fornece uma identidade única para um objeto físico específico. Essa identidade é projetada para ser única entre todos os objetos físicos e todas as categorias de objetos físicos do mundo, por todo o tempo. Na maioria dos casos, os EPCodes são codificados em etiquetas RFID que podem ser usadas para rastrear todos os tipos de objetos (EPC-RFID INFO, 2016).

O formato básico do número serial, alocado no *chip* da *Tag*, é formado por um número principal e três partes de dados, como ilustrado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Formato básico do EPCode

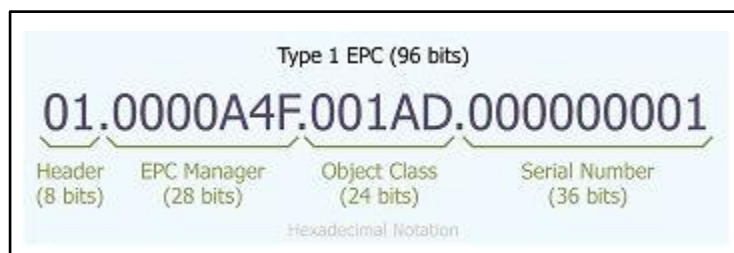


Fonte: Adaptado e traduzido de EPC-RFID INFO, 2016

Acredita-se que o EPCode de 96-bit, como o exemplo mostrado na Figura 2.3, será a próxima geração do *Universal Product Code* (UPC), substituindo o *General Trade*

Identification Number (GTIN) implantados nos códigos de barras da maioria dos produtos comercializados atualmente (EPC-RFID INFO, 2016).

Figura 2.3 – Exemplo de EPCCode – 96-bit



Fonte: EPC-RFID INFO, 2016

O número principal identifica a versão do EPCCode. Esta diferenciação permitirá a criação e leitura de EPCodes de diferentes tamanhos e tipos. A segunda parte do número identifica a empresa responsável pelo número, como, por exemplo, o fabricante do produto que coloca a etiqueta neste. Por exemplo: Empresa Construtora. A terceira parte é chamada de classe do objeto e refere-se ao tipo exato do produto. Por exemplo: Capacete de segurança do funcionário “Fulano” da obra “Edifício A”. A quarta parte do EPCCode é o número serial para aquele item (único), referente ao próprio capacete de segurança do exemplo. Com isto, é possível identificar, por exemplo, quais capacetes de segurança que estão entrando no final do prazo de validade que passaram pelo leitor de determinado local, a que horas passaram, quantas vezes passaram, etc.

2.2.2.1. Procedimento de leitura

Em sistemas *full-duplex* e *half-duplex* a resposta da *Tag* é transmitida quando o campo de Rádio Frequência do leitor é ligado. Devido à possibilidade de o sinal da *Tag* ser extremamente fraco em comparação ao sinal da antena de leitura, procedimentos de transmissão adequados devem ser empregados para diferenciar os sinais das *Tags* e das leitoras. Na prática, a transferência de dados entre a *Tag* e o leitor ocorre usando modulação de carga (FINKENZELLER, 2010).

Os procedimentos sequenciais, por sua vez, consistem em um sistema através do qual o campo do leitor é desligado brevemente em intervalos regulares. Essas lacunas são reconhecidas pela *Tag* e usadas para o envio de dados da *Tag* para o leitor. A desvantagem do processo sequencial é a perda de energia para a *Tag* durante o intervalo da transmissão, que deve ser compensada através do uso de baterias auxiliares (FINKENZELLER, 2010).

2.2.2.2. Sistema passivo, semipassivo e ativo

O sistema de comunicação RFID pode ser classificado como ativo, onde o equipamento é energizado por uma bateria; semipassivo, quando se tem uma bateria de reserva, pronta para atuar caso seja necessário o uso de energia; e passivo, quando não há uso de baterias (REN; ANUMBA; TAH; 2011).

Tags passivas estão normalmente no estado “dormindo” até serem despertadas pelo campo emitido pelo leitor. Nas *Tags* passivas o campo eletromagnético do leitor age para carregar o capacitor que alimenta a *Tag*. Devido à intensidade do sinal requerido, *Tags* passivas são utilizadas mais frequentemente para aplicações de pequenas distâncias (<1,5 m) e exigem um leitor de alta potência com antena capaz de ler as informações transmitidas. Etiquetas passivas são frequentemente muito leves, compactas e têm uma expectativa de vida ilimitada (LIESHOUT et al., 2007).

As *Tags* semipassivas, também conhecidas como semiativas, usam uma bateria para energizar a antena, mas o *chip* depende da energia da Rádio Frequência do leitor (MEHRJERDI, 2008).

Lieshout et al. (2007) complementa esclarecendo que esse tipo de *Tag* se comunica com o leitor como se fosse uma *Tag* passiva, mas possui uma bateria a bordo a fim de apoiar funções específicas, como, por exemplo, para armazenar as informações contidas em um sensor de temperatura integrado.

As *Tags* ativas são normalmente alimentadas por uma bateria interna (Tabela 2.2). Sua duração pode ser de anos, porém o período de duração está estritamente relacionado com a sua aplicação. São utilizadas para aplicações de longo alcance com leituras de até 100 m. São capazes de imitar sinais continuamente e normalmente são de leitura e gravação com uma memória total mais elevada. Devido a estes aumentos de capacidades, as *Tags* ativas são mais pesadas, mais caras, e têm expectativa de vida limitada (LIESHOUT et al. 2007 e MEHRJERDI, 2008).

Muitas são as diferenças entre a aplicação das tecnologias ativa e passiva. Optar por uma ou outra tecnologia dependerá de fatores relacionados à disponibilidade da tecnologia ou custo da mesma, por exemplo. Mais importante ainda é compreender a caracterização de suas diferenças. A Tabela 2.2 estrutura resumidamente as diferenças entre as *Tags* ativas e

passivas reorganizando e unindo as descrições indicadas por Domdouzis, Kumar e Anumba (2007) e Mehrjerdi (2008).

Tabela 2.2. Diferença entre *Tags* ativas e passivas

DESCRIÇÃO	TAG ATIVA	TAG PASSIVA
Fonte de alimentação de energia	Interna à <i>Tag</i>	Energia transferida do leitor
Disponibilidade de energia	Contínua	Quando está no campo de domínio do leitor
Alcance de comunicação	Longo alcance	Curto alcance
Armazenamento de dados	Grande	Pequeno
Intensidade do sinal do leitor para a etiqueta	Baixa	Alta
Peso	120-130 g	6-54 g
Capacidades	Leitura/Gravação	Apenas leitura
Vida útil de operação	5-10 anos	Ilimitada
Memória	2 MB	Acima de 16 Kb
Capacidade do Sensor	Habilitado para monitorar continuamente, monitorar a entrada do sensor	Sensor de monitoramento de entrada quando a <i>Tag</i> é energizada pelo leitor.
Leitura de múltiplas <i>Tags</i>	Habilitado para monitorar continuamente, monitorar a entrada do sensor Escaneamento de mais de 20 <i>Tags</i> se movendo a mais de 100 milhas/hora	Sensor de monitoramento de entrada quando a <i>Tag</i> é energizada pelo leitor. Escaneamento de 20 <i>Tags</i> movendo-se a 3 milhas/hora ou menos

Fonte: Adaptado de Domdouzis, Kumar e Anumba (2007) e Mehrjerdi (2008) (Apud <http://www.autoid.org/2002>)

2.2.2.3. Frequências de uso do sistema RFID

Como os sistemas que utilizam RFID geram e irradiam ondas eletromagnéticas, eles são legalmente classificados como sistemas de rádio. As funções dos outros serviços de rádio não devem, em circunstância alguma, ser interrompidas ou prejudicadas pela operação de sistemas com RFID.

É particularmente importante assegurar que o sistema com RFID não interfira com os rádios e televisões nas proximidades, serviços de rádio móveis (polícia, serviços de segurança, indústria), serviços de rádios marinhos e aeronáuticos e telefones celulares. Essa necessidade de cuidados em relação a outros serviços de rádio restringe significativamente a gama de frequências de operação adequadas disponível para um sistema de RFID (FINKENZELLER, 2010).

Fundamentalmente a gama de frequências faz parte do espectro eletromagnético, ou seja, as frequências de 300 kHz a 3 GHz. O espectro de operação da RFID é por muitas vezes denominado ISM (*Industrial, Scientific and medical*), mas as frequências exatas que constituem o ISM variam de acordo com as normas de cada país. As frequências de operação são organizadas em quatro bandas de frequência principais mais utilizadas para o sistema de RFID: LF (*Low frequency*), HF (*High frequency*), UHF (*Ultra high frequency*) e *Microwave* (WARD; KRANENBURG, 2006).

Para Mehrjerdi (2008) as diferentes frequências de trabalho incluem 125 KHz, 13.56 MHz, 2.45 GHz e 5.8 GHz. Para UHF faixas entre 860-950 MHz, para HF faixas ao longo de 13.56 MHz e para LF faixas ao longo de 120-140 KHz.

Devido à regulamentação do governo, diferentes partes do espectro eletromagnético são atribuídas para diferentes fins. Isto resulta em um número de bandas de frequência diferentes utilizadas em todo o mundo. Lieshout et al. (2007) indica que um esquema comumente aceito categoriza essas frequências em quatro intervalos, conforme também descrito por Ward e Kranenburg (2006). As Tabelas 2.3 e 2.4 resumem as frequências, características e áreas de aplicação conforme seus autores.

Tabela 2.3. Frequências de operação do sistema RFID – 1

BANDA	LF (<i>Low frequency</i>)	HF (<i>High frequency</i>)	UHF (<i>Ultra higt frequency</i>)	MICROWAVE
Frequências	30 – 300 KHz	3-30 MHz	300 MHz – 3 GHz	2 – 30 GHz
Frequências típicas da RFID	125 – 134 KHz	13.56 MHz	433 MHz OU 865 – 956 MHz E 2.45 GHz	2.45 GHz
Alcance aproximado de leitura	Menos que 0,5 metros	Acima de 1,5 metros	433 MHz acima de 100 metros 865-956 MHz entre 0,5 e 5 metros	Acima de 10 metros
Taxa de transferência de dados típica	Menos que 1 kilobit	Aproximadamente 25 Kilobits	De 433 a 956 MHz = 30 kilobits 2.45 GHz 100 kilobits	Acima de 100 kilobits
Características	Baixo alcance, baixa taxa de transferência de dados, penetração em água, mas não em metal	Taxas mais altas, taxa de dados razoável (semelhante ao telefone GSM), penetração em água, mas não em metal	Longas distâncias, alta taxa de transferência de dados, leitura simultânea de menos de 100 itens, não pode penetrar a água ou metal.	De longo alcance, alta taxa de transferência de dados, não pode penetrar água ou metal.
Usos típicos	Identificação animal, imobilização de veículos	Etiquetas inteligentes, acesso e segurança, cartões de viagem sem necessidade de contato	Rastreamento animal e logística	Ferramentas para veículos em movimento - pedágio

Fonte: Adaptado de Ward e Kranenburg, 2006

Tabela 2.4. Frequências de operação do sistema RFID – 2

DESCRIÇÃO	LF	HF	UHF	MICROWAVE
Alcance da frequência	<135 KHz	10 – 13,56 MHz	860 – 960 MHz	2.4 – 5.8 GHz
Alcance de leitura	Aprox. 10 cm	Aprox. 1m	Aprox. 2 – 5m	Aprox. 100 m
Ligação	Magnético / Elétrico	Magnético / Elétrico	Eletromagnético	Eletromagnético

Fonte: Lieshout et al., 2007

A tecnologia RFID baseada em frequências LF e HF faz uso de comunicação de *Near Field* (campo próximo) e da propriedade física de ligação indutiva de um campo magnético. O leitor gera um campo magnético entre o leitor e a *Tag* e este induz uma corrente eléctrica na antena da *Tag*, a qual é utilizada para alimentar o circuito integrado e obter o seu ID. A identificação é comunicada de volta para o leitor pela variação da carga da bobina da antena, que altera a corrente consumida na bobina de comunicação do leitor (WARD; KRANENBURG, 2006).

A tecnologia RFID com base em frequências UHF e frequências maiores faz uso de comunicação *Far Field* (campo distante) e da propriedade física de reflexão de força. A comunicação de campo distante é baseada em ondas eléctricas de rádio. O leitor envia um sinal de frequência de base contínua, que é refletido de volta pela antena da *Tag*. Durante o processo, a *Tag* codifica o sinal que deve ser refletido com a informação a partir da etiqueta (ID) utilizando uma técnica chamada de modulação, isto é, mudando a amplitude ou fase das ondas devolvidas (WARD; KRANENBURG, 2006).

2.2.2.4. Capacidade de armazenagem de dados

As capacidades de dados das *Tags* RFID normalmente variam de poucos *bytes* até vários *kilobytes*. As chamadas *Tags* de 1 bit representam a exceção a esta regra, pois são capazes de armazenar 1 bit exatamente. Este tipo de *transponder* é suficiente apenas para sinalizar dois estados para o leitor: “*transponder* no campo” ou “*transponder* não no campo”. No entanto, isso é perfeitamente adequado para cumprir as funções de monitoramento ou de sinalização simples, como na vigilância eletrônica para proteger mercadorias em lojas, por exemplo, (FINKENZELLER, 2010).

Uma das grandes conveniências da *Tag* de 1 bit é o seu custo. Por não necessitar de um *chip* eletrônico de memória, essas *Tags* podem ser fabricadas a um custo de poucos centavos e conseqüentemente se habilitarem para a utilização em larga escala.

A possibilidade de gravação de dados na *Tag* fornece outra maneira de classificar o sistema RFID, segundo Finkenzeller (2010):

a) Sistemas simples: o registro de dados da *Tag*, geralmente é um número em série que já vem incorporado ao *chip* durante a fabricação e não pode ser alterado posteriormente;

b) Sistema gravável: o leitor é capaz de inserir dados na *Tag*,

c) Sistema programável: o leitor é capaz de escrever e ler o acesso à memória. Quaisquer pedidos de gravação e autorização de leitura devem ser controlados pela lógica interna do suporte de dados.

O tamanho da *Tag* portadora de dados e, assim, a classe de preço, é determinado principalmente pela sua capacidade de memória. Portanto, codificações permanentes de somente leitura são usadas em massa e sensíveis aos requisitos de preço baixo e baixa capacidade de informação. No entanto, apenas a identidade de um objeto pode ser definida utilizando este tipo de dados. Além disso, os dados podem ser armazenados na base de dados centrais do computador controlador. Se os dados tiverem que ser transmitidos e gravados de volta na *Tag*, a mesma deverá ser dotada de tecnologia de memória (LIESHOUT et al., 2007).

2.3. REFERÊNCIAS NORMATIVAS PARA O USO DO SISTEMA RFID

A ISO (*International Standards Organisation*) é uma organização internacional não governamental independente, com uma adesão de 162 organismos nacionais de normalização. Através de seus membros, reúne especialistas para compartilhar conhecimento e desenvolver Normas Internacionais relevantes, voluntárias, baseadas no consenso e nas necessidades do mercado, que apoiem a inovação e forneçam soluções para os desafios globais. A ISO cria documentos que fornecem requisitos, especificações, diretrizes ou características que podem ser usadas de forma consistente para garantir que materiais, produtos, processos e serviços que sejam adequados ao seu propósito (ISO, 2018).

A organização reúne um aglomerado de normas que definem as diretrizes que referenciam a utilização da tecnologia RFD. Algumas dessas normas são expostas na Tabela 2.5.

(Nota No Brasil, a Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações (Tabela 2.5). O Capítulo II trata da autorização de uso de Rádio Frequência. Neste capítulo, o artigo 163 indica que o uso de Rádio Frequência, tendo ou não caráter de exclusividade, dependerá de prévia outorga da Agência, mediante autorização. O parágrafo segundo, por sua vez, prevê que o uso da Rádio Frequência por meio de equipamentos de radiação restrita definidos pela agência independem de outorga (BRASIL, 1997).

A Resolução nº 506 de 1º de julho de 2008 regulamenta sobre equipamentos de rádio comunicação de radiação restrita e tem como objetivo caracterizar os equipamentos de radiação e estabelecer as condições de uso de frequência para que possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento de estação e independentes de autorização de uso de Rádio Frequência, conforme previsto no art. 163, §2º, inciso I da Lei nº 9.472 de 16 de julho de 1997 (BRASIL, 2008).

A Tabela 2.5 faz uma compilação das referências normativas utilizadas pela comunidade internacional e os padrões normativos aplicados dentro do território nacional.

Tabela 2.5. Normatização para uso das faixas de Rádio Frequência

COMUNIDADE INTERNACIONAL		NO BRASIL	
Internatinal Standards Organisation (ISSO/IEC)		Lei nº 9.472 (16 de julho de 1997)	Agência Nacional de Telecomunicações (ANT)
ISO/IEC 18000-63:2015 <i>Information technology - Radio frequency identification for item management</i>	<i>Part 63: Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz Type C</i>	Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações	RESOLUÇÃO nº 506, DE 1º DE JULHO DE 2008
ISO/IEC 29173-1:2012 <i>Information technology -- Mobile item identification and management</i>	<i>Part 1: Mobile RFID interrogator device protocol for ISO/IEC 18000-63 Type C</i>		
ISO/IEC 29167-14:2015 <i>Information technology -- Automatic identification and data capture techniques</i>	<i>Part 14: Crypto suite AES OFB security services for air interface communications</i>		
ISO/IEC 21277:2018 <i>Information technology</i>	<i>Radio frequency identification device performance test methods -- Crypto suite</i>	<p style="text-align: center;">Capítulo II</p> Da Autorização de Uso de Rádio Frequência	Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita
ISO/IEC 18047-6:2017 <i>Information technology</i>	<i>Radio frequency identification device conformance test methods -- Part 6: Test methods for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz</i>		
ISO/TS 28560-4:2014 <i>Information and documentation -- RFID in libraries</i>	<i>RFID in libraries -- Part 4: Encoding of data elements based on rules from ISO/IEC 15962 in an RFID tag with partitioned memory</i>		
ISO 17364:2013 <i>Supply chain applications of RFID</i>	<i>Returnable transport items (RTIs) and returnable packaging items (RPIs)</i>		

Fonte: Brasil (2008); Brasil (1997); ISO (2018).

A *European Telecommunications Standardization Institute* (ETSI) apresenta dados referentes à utilização da RFID. Dentre eles, Lieshout et al. (2007) destaca os de maior relevância:

a) EN 300 330: Equipamentos de rádio com baixo alcance, características técnicas e métodos de teste para equipamentos de rádio usados em 9 kHz a 25 MHz e sistemas de

laço indutivo em frequências com alcance de 9 kHz a 30 MHz. Esta norma define as características dos sistemas de RFID que operam em LF e HF.

b) EM 300 220: Compatibilidade eletromagnética e *Radio Spectrum Matters* (ERM); equipamentos de pequeno alcance (SRD); equipamentos de rádio para serem utilizados entre o alcance de frequência entre 25 MHz até 1000 MHz com níveis de energia acima de 500 mW. Esta norma é relevante para o sistema RFID UHF (433 MHz e 860-960 MHz). No entanto, a força limitada aos 500 mW permite apenas leituras limitadas a um alcance inferior a 1 m.

c) EM 300 208: Compatibilidade eletromagnética e ERM; equipamentos de Identificação por Rádio Frequência operando na banda de 865 MHz a 868 MHz com níveis de energia acima de 2W. A norma é relevante para RFID UHF 860-960 MHz. Essa operação de canal para UHF para países ETSI abaixo de 2W. O padrão vai permitir a operação na Europa de produtos construídos em conformidade com a norma ISO 18000-6. PT 302 208, que prevê a operação de RFID na banda UHF. É importante salientar que esta norma ainda não foi aprovada por todos os países da União Europeia.

d) EM 300 440: Compatibilidade eletromagnética e ERM; equipamentos de baixo alcance; equipamentos de rádio operando na frequência entre 1 GHz a 40 GHz.

e) EM 300 328: Compatibilidade eletromagnética e ERM; sistemas de transmissão em banda larga; equipamentos de transmissão de dados operando em banda 2.4 GHz ISM e usando técnicas de modulação em banda larga. Esta norma é relevante para RFID de micro-ondas (2.45 GHz).

f) EM 300 674: Compatibilidade eletromagnética e ERM; transporte rodoviário e *Traffic Telematics* (TTT); Comunicação Dedicada de Baixo Alcance (DSRC) para equipamentos de transmissão (500 kbit / s / 250 kbit / s) que operam em bandas de 5.8 GHz na indústria, ciência e medicina (ISM).

2.4. RFID E OS RISCOS DE PRIVACIDADE

A política de privacidade de uma organização é mais eficaz quando se baseia em princípios que refletem uma compreensão completa dos riscos relacionados com a privacidade. Princípios bem formulados levam a um conjunto básico de requisitos de privacidade que

podem ser ainda mais adaptados para atender tipos específicos de organização ou de aplicação específica de considerações (KARYGIANNIS et al., 2007).

A Constituição Federal no art. 5º, inciso X tratou de proteger a privacidade, assim assegurando:

“São invioláveis a intimidade, a vida privada, a honra e a imagem das pessoas, assegurando o direito a indenização pelo dano material ou moral decorrente de sua violação.” (BRASIL, 1988).

No sentido clássico do conceito, a privacidade refere-se ao direito de blindagem fora do ambiente doméstico, da intimidade da vida, da comunicação confidencial e da proteção à integridade do corpo (LIESHOUT et al., 2007).

Direitos de privacidade pessoal podem ser comprometidos se um sistema que emprega a tecnologia RFID utilizar o que é considerado como informação pessoal identificável para um fim que não é originalmente previsto. A posse pessoal de *Tags* em funcionamento também pode ser considerada como um risco de privacidade, pois poderia habilitar o rastreamento dos detentores do item identificado.

O rastreamento de pessoas é uma vertente do uso da tecnologia que gera discussões do ponto de vista ético no que se refere à privacidade do usuário. O NIST (*National Institute of Standards and Technology*), pertencente ao Departamento de Comércio Norte-Americano, estabelece diretrizes e recomendações para utilização da RFID. Karygiannis et al. (2007) são os autores do guia de recomendações do NIST denominado “*Guidelines for Securing Radio Frequency Identification Systems*”. Os autores levantam várias preocupações importantes com a privacidade. Uma das preocupações é que as empresas podem coletar informações pessoais para uma finalidade específica e depois usar essa informação para fins diferentes indesejáveis a esse indivíduo. Outra preocupação é que as empresas que estão aplicando a tecnologia RFID para uma determinada finalidade podem não estar cientes de como as informações coletadas podem ser utilizadas para finalidades não intencionais, como a segmentação ou acompanhamento de indivíduos específicos, divulgação de práticas pessoais, segregação de mão de obra.

Segundo Tiago et al. (2017), como em outras tecnologias, a RFID está exposta a ameaças de segurança e, especificamente, a ataques à confidencialidade, integridade e disponibilidade dos dados armazenados nas *Tags* ou nas informações trocadas entre um leitor e uma *Tag*. O termo “risco” se refere à probabilidade de ocorrência de um evento que

causa danos a um ativo informacional. Dois tipos de riscos podem ser basicamente distinguidos:

a) Riscos de segurança. Eles são derivados de ações capazes de danificar, bloquear ou tirar proveito de um serviço de maneira mal-intencionada. A ação geralmente é realizada com o objetivo de obter lucro ou apenas para prejudicar o acesso a determinado serviço. Os serviços mais comuns fornecidos pelos sistemas RFID são o controle de acesso a instalações e pagamentos.

b) Riscos de privacidade. Esses riscos afetam as informações confidenciais dos usuários. As etiquetas RFID podem armazenar dados dos pagamentos realizados ou da rota de transporte seguida pelo usuário/proprietário.

O autor complementa que os ataques associados ao risco de privacidade incluem: o acesso não autorizado a dados pessoais que se encontram armazenados na *Tag* ou quando transmitidos na troca de informações entre a *Tag* e o leitor e o rastreamento pessoal com determinação de rotas, compras e hábitos de uma pessoa física.

Proteger a privacidade sempre requer técnicas de controle de segurança relativas à confidencialidade de dados. Entender quais tipos de informações deve ser consideradas pessoais requer considerações que impactam no ciclo de vida dos sistemas que utilizam a RFID. Essas considerações são listadas, por exemplo, pela Agência Federal dos Estados Unidos (KARYGIANNIS et al., 2007).

Um exemplo de aplicação bem-sucedido da tecnologia RFID em sistema de identificação de pessoal ocorreu em um estudo de caso realizado por Costin, Pradhananga e Teizer (2012) no Edifício Westin Peachtree Plaza Hotel, localizado em Atlanta, no Estado da Geórgia, nos Estados Unidos. O estudo resolveu as questões de privacidade no rastreamento dos trabalhadores ao optar por utilizar restritamente voluntários. Os trabalhadores passaram por uma palestra em que a pesquisa e seus objetivos de rastreamento foram explicados e o direito de não participação foi respeitado. Os nomes dados aos participantes foram pseudônimos e as informações foram utilizadas única e exclusivamente para a investigação e isso não resultou em qualquer tipo de incriminação.

Vilella, Ballesté e Solanas (2007) examina diferentes protocolos de segurança voltados para as questões de privacidade derivadas da implementação da identificação por RFID. Essa pesquisa concentrou-se na falta de privacidade que os usuários de RFID podem

sofrer. Foram apresentadas técnicas aplicadas as *Tags* básicas com o objetivo de atingir determinados níveis de segurança e privacidade. Além disso, resume alguns dos principais protocolos de segurança para *Tags* de chave simétrica com base em criptografia de chave pública. O objetivo principal do estudo foi dar uma classificação concisa dos protocolos de proteção de privacidade aplicados à tecnologia RFID. Neste mesmo contexto, Hermans et al. (2011) analisa criticamente a proposta de modelos de privacidade para sistemas RFID. O estudo propõe ainda um novo modelo de privacidade RFID que se baseia na noção de indistinguibilidade.

Um dos modelos propostos para garantir a privacidade no uso de *Tags* RFID é a existência do “kill switch” ou “interruptor de matar”. Este sistema inutiliza os dados contidos na *Tag* quando assim determinado. Na construção, por exemplo, os trabalhadores incorporados no canteiro não devem ser rastreados quando saem do local de trabalho, preservando, assim, suas liberdades civis. Entretanto esse modelo pode ter limitações, pois não garante a privacidade durante o período de rastreamento. Outro modelo proposto sugere o uso de uma coleção de pseudônimos para uma determinada *Tag* com a ideia de responder a cada consulta com um identificador diferente. Um leitor autorizado armazena essa coleção de identificadores, podendo ser capaz de combinar a identidade com a *Tag*. Um leitor não autorizado identificará apenas identidades diferentes (pseudônimos). No entanto, se o mesmo leitor pesquisar uma *Tag* com um número suficiente de vezes, este será capaz de coletar toda a lista de pseudônimos de uma determinada *Tag*. Uma possível solução para este ataque consiste em fornecer uma *Tag* com capacidade de detectar o leitor que está fazendo as consultas e recusar a responder quando estas consultas forem muito frequentes (JUELS, 2004).

Erros praticados por outras indústrias não devem ser cometidos novamente. Não se pode permitir que a tecnologia RFID siga pelo mesmo caminho. Para todos os problemas e polêmicas criadas com uma viabilidade visível, há de se ter uma solução viável e visível para sociedade. Assim, mostrar que a tecnologia não é um criador de problemas, mas um facilitador de processos.

2.5. O DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA RFID

Segundo Chen, Zhou e Yu (2013), na última década, a tecnologia RFID teve um crescimento significativo. Com mais de 3 bilhões de etiquetas vendidas em 2012, a

tecnologia RFID já afetou aplicativos que vão desde controle de estoque, gerenciamento da cadeia de suprimentos, até rastreamento de pessoas.

O número de empresas ativamente envolvidas no desenvolvimento e venda de sistemas RFID indica que este é um mercado em ascensão. O mercado de RFID, portanto, pertence ao mais rápido setor crescente da indústria de tecnologia de rádio, incluindo telefones celulares e telefones sem fio (FINKENZELLER, 2010).

As pesquisas acadêmicas que se dedicam ao desenvolvimento dos sistemas RFID acompanham a mesma tendência. Os pesquisadores têm investido grandes esforços no estudo da evolução do sistema e no desenvolvimento métodos para possibilitar diferentes aplicações. Ao longo deste capítulo serão apresentadas algumas pesquisas relacionadas à aplicação da tecnologia RFID.

Shangguan et al. (2015) focam na localização relativa de objetos em um espaço bidimensional, isto é, que localiza a ordem relativa de *Tags* em um plano. A localização relativa de um objeto em meio a um conjunto de objetos refere-se à ordem do objeto em relação a outros objetos ao longo de cada dimensão. A localização absoluta de um objeto refere-se ao seu valor de coordenadas em cada dimensão. Por exemplo, em uma biblioteca, para encontrar um exemplar de um livro, precisar-se-ia obter a ordem atual dos livros na prateleira.

Muitas pesquisas têm sido focadas na redução de acidentes. Wu, Yang e Chew (2013) analisam e verificam ocorrência de acidentes devido à queda de objetos nos canteiros de obras. Os autores propõem um sistema integrado de gerenciamento de informações utilizando uma rede de sensores RFID com base no rastreamento de objetos potencialmente controláveis.

Giretti et al. (2009) estudam a viabilidade do desenvolvimento de um novo sistema dedicado à gestão da saúde e segurança dos trabalhadores em tempo real no canteiro de obras. Os experimentos descritos nesse trabalho estabelecem duas funcionalidades. A primeira funcionalidade consiste no controle em tempo real das posições dos trabalhadores dentro do canteiro. A segunda estabelece uma ferramenta de *software* para a prevenção de acesso não autorizado às zonas perigosas.

O rastreamento de pessoas e equipamentos no canteiro, além de estruturar dados fundamentais para elaboração de planos de segurança, também fornece informações

importantes para melhorar o *status* e a mobilidade dos recursos. Costin, Pradhananga e Teizer (2012) defendem a implementação da identificação de Rádio Frequência passiva e de baixo custo em um estudo que analisa a eficiência de um operador de grua e de um elevador para elevação de material, ilustrando a aplicabilidade da tecnologia apesar da presença de vários obstáculos que dificultam a projeção dos sinais de Rádio Frequência.

Awolusi, Marks e Hollowell (2018) fazem uma revisão comparativa de diversas aplicações de tecnologias que podem ser incorporadas às vestimentas ou aos equipamentos dos trabalhadores (*wearable technology*) para o monitoramento de segurança personalizado na construção. As tecnologias estudadas foram o *Bluetooth*, RFID, Infravermelho, Magnetômetro e Sonar. O objetivo principal desse estudo foi identificar, catalogar e analisar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia pensando em seu desempenho na gestão de segurança do canteiro de obras.

2.6. APLICAÇÕES DA TECNOLOGIA RFID NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Exemplos de aplicações do sistema RFID na indústria da construção demonstram a variedade dos potenciais usos da tecnologia. A maioria das soluções tem uma perspectiva global, e foram identificadas no Brasil e em territórios internacionais.

2.6.1. Sistemas de localização e detecção de proximidade

Buscando enfrentar os desafios em sistemas de localização, Fang et al. (2016) investigaram um sistema de localização utilizando conjuntamente as tecnologias RFID, BIM e Nuvem. A estrutura desse sistema é composta por três componentes. O primeiro é um sistema RFID para localização interna. O segundo é um sistema habilitado para BIM para configuração do sistema e visualização de dados. E o terceiro é um sistema de computação em nuvem para processamento e compartilhamento de dados. Este sistema é projetado para coletar dados de localização de trabalhadores no interior do canteiro de obras.

Um estudo de Guo, Yu e Skitmore (2016) também investigou sistemas de localização em canteiros de obra baseados em sensores que incluem as tecnologias RFID, UWB, Ultrassom, GPS, infravermelho, redes locais sem fio e *Chirp Spread Spectrum*³. Os autores complementam indicando que as três tecnologias mais comumente utilizadas são a RFID,

³ O *Chirp Spread Spectrum* é uma técnica de espalhamento espectral que usa pulsos de *chirp* modulados em frequência linear de banda larga para codificar informações.

UWB e o GPS e que diferentes tecnologias de localização podem ser combinadas sinergicamente para melhora do desempenho.

A precisão da localização e rastreamento é fortemente influenciada pela disponibilidade do sinal, mas é muito difícil manter a disponibilidade de sinal suficiente nos locais de construção em função das características e dos obstáculos presentes no canteiro de obras. As técnicas de localização, em geral, utilizam métricas dos sinais de rádio recebidos. As métricas de sinal recebidas mais tradicionais são baseadas em medidas de ângulo de chegada, tempo de chegada, diferença de tempo de chegada ou intensidade do sinal recebido de vários pontos de referência (AWOLUSI; MARKS; HOLLOWELL; 2018).

Ainda para Awolusi, Marks e Hollowell (2018), ao contrário de outras indústrias, a aplicação de tecnologias de monitoramento como o *Bluetooth*, RFID, Infravermelho e Magnetômetro ainda está em estágio inicial na indústria da construção. Uma das aplicações registradas foi a avaliação de um método para testar sistemas de detecção de proximidade e alerta para promover a segurança em canteiros de obras proposto por Fang et al. (2016). Além disso, sistemas de monitoramento remoto foram empregados para monitorar os trabalhadores e aumentar sua consciência situacional, coletando continuamente os dados no local de trabalho, detectando as condições ambientais e a proximidade dos trabalhadores às zonas de perigo. Segundo os autores, a falta de implementação generalizada deve-se, em parte, à falta de dados confiáveis que sustentem seus benefícios potenciais.

Considerando a alta taxa das lesões por colisão ou queda, a indústria da construção precisa de tecnologias sem fio, confiáveis e robustas, capazes de detectar e alertar os trabalhadores quando existirem riscos devido à proximidade com fontes de perigo. Por isso, é necessário o desenvolvimento de sistemas de detecção e alerta de proximidade em tempo real capazes de alertar os trabalhadores e os operadores de equipamentos durante situações de proximidade de áreas de risco (AWOLUSI; MARKS; HOLLOWELL; 2018).

Especificamente para a tecnologia RFID, em geral, a distância da captação dos sinais de aproximação varia de acordo com a faixa de frequência utilizada conforme descrito no item 2.1.2.3 deste estudo.

2.6.2. RFID no controle de equipamentos de segurança

Segundo o RFID Journal Brasil - 1 (2015), a empresa de energia cearense (Companhia Energética do Ceará - COELCE) em parceria com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD)⁴ de Campinas criaram um sistema baseado em identificação RFID para garantir que os funcionários de campo do setor elétrico estejam usando adequadamente os seus equipamentos individuais de segurança. A solução visa atender o cuidado com o ser humano, e por isso é um projeto de cunho preventivo, um esforço educacional para profissionais treinados para enfrentar condições de risco.

O intuito do projeto foi que a empresa se certifique de que os colaboradores estejam usando adequadamente todos os equipamentos de proteção necessários para realizar cada tipo de serviço de campo. A princípio, os colaboradores contavam apenas com os manuais de segurança e a memória pessoal sobre os treinamentos realizados, porém, com o sistema RFID, desenvolvido especificamente para esta finalidade, os profissionais dispõem de uma checagem adicional eletrônica de seus equipamentos realizada por um colete desenvolvido para esta finalidade (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Funcionário da COELCE verifica os EPIs e EPCs dotados da *Tag* RFID; à direita, trabalhador da Coelce vestido com o Colete de Leitura RFID, que verifica automaticamente o uso adequado de EPIs.



Fonte: RFID Journal Brasil -1, 2015

A funcionalidade do sistema contempla um colete com um interrogador RFID, desenvolvido pelo CPqD, com duas baterias recarregáveis, um módulo de leitura RFID e três antenas integradas para leitura de todas as áreas do corpo de cada trabalhador do setor

⁴ O CPqD é uma instituição independente, focada na inovação com base nas tecnologias da informação e comunicação (TIC).

elétrico. Além disso, há um leitor portátil que funciona anexado a um *smartphone* e que atua como um interrogador RFID móvel. Este leitor móvel serve para leituras móveis dos EPIs e EPCs que são carregados nos carros de serviço da COELCE e dos terceirizados. A comunicação entre o leitor e o *smartphone* é feito por meio de sinais de Bluetooth (RFID JOURNAL BRASIL – 1, 2015).

Nesta mesma linha de solução técnica, Roy e Jacob (2015) propõem um sistema de verificação de equipamentos de proteção individual. Para garantir que os trabalhadores usem todos os EPIs, foi desenvolvido um programa baseado em cartões RFID. Neste sistema, cartões RFID são fixados em todos os EPIs. Para ter acesso ao trabalho, os trabalhadores são convidados a passar por um portão dotado de antenas RFID. Ao passarem pelo portão, os dados dos cartões são recuperados e o programa compara os detalhes dos cartões com o banco de dados. Se os trabalhadores carregarem todo o EPI necessário para a sua segurança, eles terão permissão para trabalhar.

2.6.3. Uso da RFID no controle de acesso e segurança

Nos Estados Unidos, a Universidade da Califórnia/, na cidade de São Francisco, desenvolveu o projeto do *UCSF Medical Center at Mission Bay*. O empreendimento foi iniciado em outubro de 2010 e inaugurado em setembro de 2014 (O'CONNOR, 2013). Para gerenciar o projeto, a Universidade adotou uma abordagem inovadora e colaborativa para a concepção e construção do novo centro médico. Chamado de *Integrated Project Delivery* (projeto integrado de entrega), envolve arquitetos, empreiteiros, engenheiros e outros que trabalham como uma equipe para gerenciar os processos e produção.

Diariamente milhares de trabalhadores acessam o canteiro de obras de aproximadamente 270 mil metros quadrados. Com o intuito de monitorar e garantir a segurança de todas essas pessoas, a *DPR Construction*, empresa responsável pelo projeto, trabalhou com a empresa *ThingMagic* para implementar o sistema de controle de acesso baseado no sistema de RFID passivo. Foram instalados leitores de RFID nas catracas de entrada e saída do local e dividiu-se o canteiro de obras em 19 zonas com leitores fixos na entrada de cada zona (O'CONNOR, 2013). A Figura 2.5 exemplifica a utilização de catracas controladas *Tags* de identificação utilizando a tecnologia RFID.

Figura 2.5 – Passagem de trabalhadores pela catraca RFID



Fonte: Swedberg, 2013

No Brasil, a Gilbane Inc., companhia de negócios imobiliários e construção com mais de 50 escritórios em todo o mundo, está testando uma solução denominada pela empresa como "*Remote Attendance*" (presença remota) baseada em RFID para gerenciamento de trabalhadores subcontratados para construção em um canteiro de obras de 350 mil metros quadrados. O sistema não só ajuda clientes da Gilbane a identificar cada trabalhador, como também cria um registro eletrônico de quantas horas o indivíduo dedicou ao trabalho no local. Controla ainda se essa pessoa representa uma pequena empresa ou vive no local (RFID JOURNAL BRASIL - 2, 2015).

O sistema consiste em crachás de identificação, contendo uma *Tag* RFID passiva de alta frequência (HF), de 13,56 MHz, e um pequeno leitor, ligados por conexão Bluetooth com um *software* baseado em nuvem, para controlar quem entra e sai do local, além de quando isso ocorre.

A solução consiste em um leitor idChamp RS2 Bluetooth NFC-HF montado nas duas portas por onde os trabalhadores entram e saem do local de construção. Cada dispositivo RS2 tem um motor leitor RFIDEas HF incorporado. A quantidade de crachás RFID HF 13,56 MHz fornecida é da ordem de 2.000, cada um com um *chip NXP SemiconductorsIcode*, em conformidade com a norma ISO 15693. O único leitor em cada portão vem com a app Grid-in-Hand Mobile, para gerenciar os dados recolhidos (RFID JOURNAL BRASIL - 2, 2015).

Ao entrar no portão, os funcionários tocam primeiro o crachá de identificação contra o leitor. Ninguém está estacionado no portão para lembrá-los de fazê-lo e, embora o pessoal

ainda possa entrar no canteiro sem apresentar o crachá no leitor, não seria uma vantagem, uma vez que, então, não seria "batido o ponto".

De maneira geral o local para a fixação das *Tags* pode ser variado. Os modelos apresentados por O'Connor (2013) e pelo RFID Journal Brasil - 2 (2015) utilizaram *Tags* implantadas em crachás, entretanto *Tags* RFID podem ser fixadas no uniforme do trabalhador, nas botas ou até nos capacetes de segurança. Wu, Yang e Chew (2013) aponta a possibilidade de fixar as *Tags* nos capacetes de segurança, afirmando que este é um equipamento de segurança individual obrigatório dentro de qualquer planta de canteiro de obra.

Costin, Pradhananga e Teizer (2012) concordam com os benefícios da aplicação de etiquetas RFID no capacete dos trabalhadores como apoio ao sistema de segurança, conforme a Figura 2.6.

Figura 2.6 – Exemplo de capacete com etiquetas RFID



Fonte: Costin, Pradhananga e Teizer, 2012

2.6.4. Uso da RFID na gestão de materiais e insumos

A gestão de materiais consiste em um amplo espectro de atividades comprometidas em fornecer um bom fluxo entre fornecedores do sistema de produção com o fim de projetar inventários para atingir a máxima produtividade possível. A proposta da RFID facilita a gestão dos materiais visando combater a natureza dinâmica da gestão de material de construção, integrando o fluxo de informações entre equipe de *design* e planejamento de materiais, almoxarifado, escritório local, canteiro de obras e equipes de monitoramento de material (REN; ANUMBA; TAH; 2011).

Esse panorama é também descrito por Giretti et al. (2009), que indicam a existência de uma série de contribuições que aceitam o sistema de rastreamento de posições como um

valioso meio para a gestão de subtarefas na construção. Tecnologias que integram RFID e GPS com o propósito de rastrear componentes pré-fabricados se mostram capazes de evitar atrasos durante o processo construtivo.

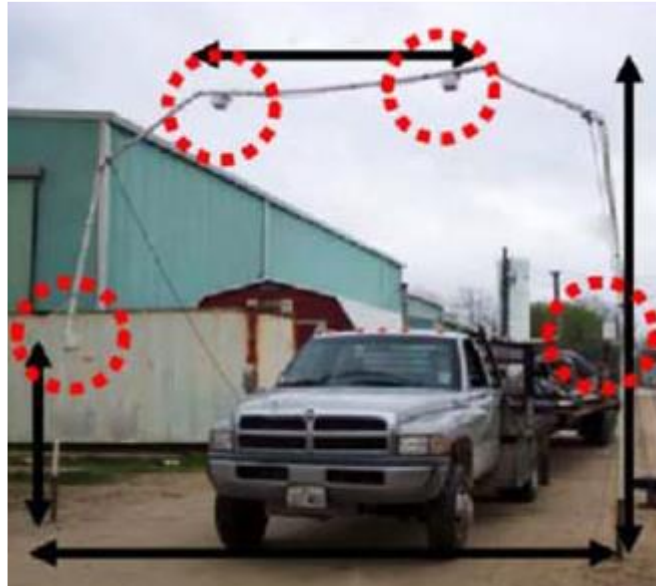
A incorporação de etiquetas de RFID, como um componente armazenador de dados relativos aos projetos, permite repassar aos responsáveis pela sua manutenção durante a fase operacional todas as informações necessárias para controlar o andamento das obras, configurando, assim, um sistema de controle e gestão de materiais por meio de monitoramento contínuo, melhorando a eficiência de rastreamento.

Com a expansão do desenvolvimento da RFID nas aplicações logísticas, pode-se esperar que alguns dos materiais de construção possam vir etiquetados dos fabricantes. No caso de materiais que não venham com suas próprias etiquetas, a empresa consumidora pode etiquetar seus recebimentos no canteiro de obras, incorporando esses materiais ao sistema (WU; YANG; CHEW; 2013).

Concordando com o fato de a tecnologia RFID ter se tornado uma realidade para as empresas construtoras, está o trabalho de Demiralp, Guven e Ergen (2012). Esse trabalho não estuda a viabilidade e sim a aplicabilidade do uso de Rádio Frequência nos processos de construção. Um dos casos estudados visa melhorar as ineficiências encontradas no processo manual da RFID. Para isso, prevê que a tecnologia de RFID ativa irá ser utilizada para identificar e localizar painéis de concreto pré-fabricados. As etiquetas que estão fixadas aos painéis serão usadas para identificar os componentes estruturais automaticamente ao longo da cadeia de suprimentos.

As empresas construtoras frequentemente lutam para manter inventários precisos de seus materiais e insumos. No entanto, se todos os itens forem marcados com uma *Tag* RFID, um leitor na entrada do canteiro de obras pode ser utilizado para marcar a entrada e saída de todos os materiais do canteiro. O sistema deve incluir um *software* de logística de materiais que deverá acessar as *Tags* através de um portal de leitura, conforme a Figura 2.7 (WESSEL, 2010).

Figura 2.7 – Exemplo de um portal com antenas leitoras RFID



Fonte: Mehrjerdi, 2008

A operação do sistema pela empresa indica quando uma carga de materiais chega com os produtos e passa pelo portal de entrada do canteiro. O leitor comunica a entrega de *Tags* e, com isso, o motorista poderá ou não ser autorizado a entrar no canteiro. Outra aplicação é a verificação de se todos os bens da carga etiquetados são compatíveis com o pedido realizado ao fornecedor (WESSEL, 2010).

Em outro caso, a Logistics Limited (ELL) utilizou a tecnologia RFID na visualização de operações logísticas. Este caso mostra o desempenho aprimorado de seus parceiros da cadeia de suprimentos em nível de estoque reduzido, melhor eficiência de entrega e evitar a falta de estoque. Em geral, na China, 574 empresas de logística foram analisadas em termos de aspectos tecnológicos, organizacionais e ambientais. A maioria dos casos revela as vantagens do uso da RFID para lidar com a captura de dados no estágio inicial (ZHONG et al., 2015).

3. SOBRE A SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHADOR

A segurança do trabalho é a ciência que, por meio de observações, estratégias, metodologias e técnicas próprias, e com suporte multidisciplinar, identifica, analisa e estuda as possíveis causas e consequências de acidentes do trabalho, objetivando a adoção de adequadas intervenções ambientais que visem à prevenção de infortúnios, à manutenção da integridade física e da saúde dos trabalhadores, além de contribuir positivamente para o incremento da produtividade empresarial, sempre respeitando os limites razoáveis da capacidade e potencialidade humanas (GONÇALVES; GONÇALVES; GONÇALVES; 2015).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) indica que garantir a segurança e saúde do trabalho é dever do empregador, que deve mostrar forte comprometimento com as atividades de SST, bem como garantir um Sistema de Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho (SGSST) (OIT, 2005).

3.1. ACIDENTE DE TRABALHO

A Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991, indica como conceito legal de acidente de trabalho:

“O que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho” (BRASIL, 1991).

Os acidentes de trabalho têm sido frequentemente associados a padrões negligentes oferecidos a condições de trabalho inseguras e a empregados displicentes que cometem atos inseguros. No entanto, entende-se que as causas dos acidentes de trabalho,

normalmente, não correspondem a essa associação, mas sim às condições ambientais a que estão expostos os trabalhadores e ao seu aspecto psicológico, envolvendo fatores humanos, econômicos e sociais.

Entretanto, as análises realizadas pela maioria das empresas continuam frágeis, quase sempre apontando apenas falhas humanas e atribuindo a culpa aos acidentados. Nesse contexto, os principais fatores relacionados com a ocorrência dos acidentes não são identificados, persistindo, assim, a elevada incidência desses eventos, gerando custos econômicos e sociais injustificáveis (Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), 2010).

Segundo Yang et al. (2016), devido ao alto risco de acidentes de queda na construção, a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) requer o uso de medidas de proteção contra quedas, como guarda-corpos, redes de segurança, e equipamento de proteção individual para proteger os trabalhadores ao atuarem em áreas elevadas. As medidas de segurança atuais para acidentes de queda são classificadas como medidas de proteção ativa/primária (por exemplo, guarda-corpos e tapumes), que impedem fisicamente a ocorrência de quedas e medidas de proteção passiva/secundária (por exemplo, trava quedas e redes de segurança), que ajudam a prevenir ou minimizar as quedas.

Enquanto as medidas de proteção passiva/secundária são geralmente empregadas, o uso de proteções contra quedas ativa/primária é restrita devido às limitações do ambiente de trabalho dos trabalhadores. Esta lacuna enfrenta críticas específicas, já que as medidas atuais de proteção contra quedas enfatizam a redução da gravidade de uma lesão, ao invés de prevenir pró-ativamente um acidente de queda. Por exemplo, o uso de um sistema pessoal de travamento de queda não impede a ocorrência de queda em si. Embora o uso de trava quedas possa salvar a vida dos trabalhadores que caem depois de perderem o equilíbrio, ser suspenso em um cabo de vida pode resultar em trauma de suspensão ou outras lesões mais graves. Além disso, muitos trabalhadores ainda se machucam devido ao uso incompleto ou inadequado dos dispositivos de proteção contra quedas (YANG et al., 2016).

Portanto, ao estabelecer esforços com a prerrogativa do desenvolvimento de mecanismos com traços fundamentalmente preventivos no combate ao alto índice de acidentes na indústria da construção civil, este estudo ajudará a formatar um conjunto de ações para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores.

3.2. CONCEITO: QUASE ERROS (*NEAR MISS*) E QUASE QUEDAS (*NEAR FALLS* OU *NEAR-MISS FALLS*)

“Quase erros” (*Near misses*) são bem conhecidos por fornecerem uma fonte importante de informações úteis para o gerenciamento de segurança. Eles são eventos mais frequentes do que os acidentes e suas causas podem potencialmente resultar em um acidente em circunstâncias ligeiramente diferentes. Apesar da importância deste tipo de *feedback*, há pouco conhecimento sobre as características de *near misses* e sobre o uso dessas informações no gerenciamento de segurança (CAMBRAIA; SAURIN; FORMOSO; 2010).

Em particular, existem alguns estudos voltados a detectar as “Quase quedas”, também denominadas de “*Near falls*” ou “*Near-miss falls*”, utilizando sensores automáticos conectados ao corpo do trabalhador. Em um desses estudos, Weiss et al. (2010) demonstram que “quase quedas” predizem quedas efetivas e que ocorrem com maior frequência do que as quedas efetivas. Portanto, esses estudos sugerem que “quase quedas” podem ser uma medida adequada para mensurar o risco de queda de altura. Esse estudo revela ainda a possibilidade da detecção da “quase queda” usando acelerômetros acoplados ao corpo do trabalhador em um ambiente controlado de laboratório. Dzung, Fang e Chen (2014) utilizaram um acelerômetro para *smartphone* e um giroscópio para detectar potenciais quedas, referenciadas por autorrelatos e imagens de vídeo. Para detectar os potenciais riscos de quedas, os autores Dzung, Fang e Chen (2014) mensuraram o vetor de intensidade do sinal usando um acelerômetro ou giroscópio e detectaram os potenciais riscos de quedas usando uma detecção baseada em uma abordagem limiar. Os estudos anteriores examinaram principalmente a intensidade de sinal do sensor acoplado ao trabalhador para detectar a “quase queda” durante um trajeto com velocidade controlada ou em condições de trabalho estacionárias.

Na indústria da construção, Cambraia, Saurin e Formoso (2010) propõem diretrizes de “quase erros” que poderiam ser usadas para identificar, analisar e disseminar informações sobre acidentes deflagrados por “quase erros”. No entanto, esse método exige que os trabalhadores relatem os “quase erros”, fato que inibe o sucesso do método devido a uma cultura de culpa pelo erro, papelada demorada e uma percepção de que relatar esses “quase erros” é inútil. Além disso, devido ao baixo número de acidentes de “quase erros”

reconhecidos e a diferença na conscientização dos trabalhadores, ainda é um desafio avaliar com precisão os riscos de queda deflagrados por “quase erros”.

Um dos métodos disponíveis para coletar dados quantitativos do “quase erros” é usar soluções tecnológicas como Ultrassom ou a RFID para obter informações em tempo real sobre a exposição dos trabalhadores aos perigos conhecidos do local de trabalho. No entanto, segundo Yang et al. (2016), ainda não há estudos que demonstrem que essa abordagem baseada na proximidade seja suficiente para capturar “quase erros” causados por perigos desconhecidos ou não desencadeados por riscos físicos. Alternativamente, uma tecnologia promissora é a *Wearable Inertial Measurement Units* (WIMU), que pode registrar movimentos sutis do corpo, como aceleração e velocidade angular, com um acelerômetro de três eixos, giroscópio e magnetômetro.

Yang et al. (2014) concluem que a modelagem e a validação da detecção de “quase erros” e, consecutivamente, “quase quedas”, darão à indústria da construção a oportunidade de identificar e prevenir rapidamente os acidentes de queda reais antes que eles ocorram. Para identificar essas quedas decorrentes de “quase erros”, o estudo distinguiu as atividades do trabalhador por meio do sinal do sensor de WIMU usando uma *Support Vector Machine* (SVM), que é um algoritmo de aprendizado supervisionado usado para analisar dados e reconhecer padrões para detectar incidentes de queda de “quase erro”. De acordo com o experimento de laboratório, essa pesquisa demonstrou a viabilidade do método proposto para a detecção de incidentes de quedas de “quase erros”. Na pesquisa, a detecção de incidentes de queda de “quase erros” com os dados do experimento teve uma precisão de 93,8% através de uma abordagem de SVM de uma classe e alcançou uma precisão de 91,1% para classificação de atividade usando um SVM.

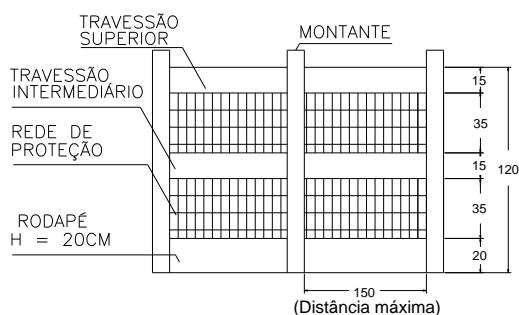
3.3. SISTEMAS DE SEGURANÇA CONTRA QUEDAS DE ALTURA USUALMENTE EMPREGADOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Como forma de reduzir os acidentes do trabalho, podem ser propostas barreiras físicas que evitem o contato do trabalhador com o agente causador do acidente. Pode-se definir Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC) como barreiras físicas ou funcionais que são destinadas à prevenção de acidentes e que não estão incorporadas ao corpo ou vestimenta dos operários.

De maneira geral, podem ser caracterizados como dispositivos de proteção que abrangem o maior número de indivíduos no ambiente de trabalho, ou seja, são dispositivos que protegem os indivíduos ocupantes de um determinado ambiente laboral.

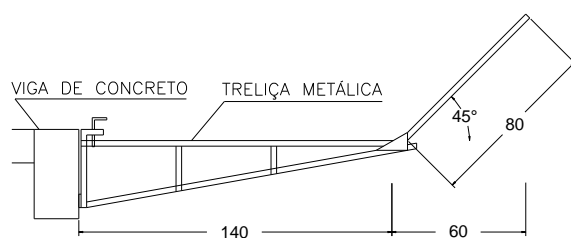
Conforme estabelecido pela NR-18 no item 18.3.1: “É obrigatória à instalação de proteção coletiva onde houver risco de queda de trabalhadores ou de projeção de materiais”. A norma descreve também alguns tipos de EPC como: medidas de proteção contra queda de altura como o guarda-corpo e a plataforma de periferia, telas de proteção de periferia e a possibilidade do uso de redes de segurança com elementos de sustentação (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3) (BRASIL, 2012).

Figura 3.1 – Sistemas de Guarda-Corpo e Rodapé



Fonte: Autor, 2018

Figura 3.2 – Sistemas de proteção com plataforma



Fonte: Autor, 2018

Figura 3.3 – Sistemas de proteção com telas



Fonte: Autor, 2018

Existe uma diversidade de sistemas de proteção coletiva, fazendo-se necessário estabelecer critérios para a escolha correta do EPC de acordo com as características da obra e das atividades nela desenvolvida. É necessário que haja um projeto de segurança para a execução de um empreendimento de forma segura, e que nele sejam contemplados os procedimentos de montagem e desmontagem dos diversos sistemas de proteção coletiva, priorizando a segurança e saúde do trabalhador.

3.4. OS NÚMEROS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

No Brasil, a construção civil não é o setor líder em ocorrências de acidente de trabalho. Dados do Anuário Brasileiro de Proteção (ABP) (2017) indicam que o líder em acidentes de trabalho é o setor de serviços em geral, com um total de 237.628 ocorrências. A indústria da construção ocupa apenas o 4º posto, com um total de 61.889 ocorrências registradas no ano de 2013, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Acidentes de trabalho por setor da economia – 2013

SETOR DE ATIVIDADE	2013	
	ACIDENTES	%
Indústria Extrativa	7.139	1,00
Indústria da Construção	61.899	8,62
Indústria de Transformação	222.473	30,99
Serviços de Utilidade Pública	17.315	2,41
Serviços de Comércio	99.583	13,87
Serviços de Administração	22.996	3,20
Serviços em Geral	237.628	33,10
Agropecuária	23.440	3,27
Ignorado	25.448	3,54
TOTAL	717.911	100,00

Fonte: Anuário Brasileiro de Proteção, 2017

A indústria da construção é reconhecida em todo o mundo como uma das mais perigosas, especialmente para acidentes de trabalho fatais. De acordo com a OIT (2013), a cada ano ocorrem pelo menos 60.000 acidentes fatais na construção em todo o mundo, com um óbito a cada 10 minutos e um de cada seis acidentes de trabalho fatais ocorrem na construção civil.

As informações epidemiológicas nacionais sobre acidentes não fatais são divulgadas anualmente pela Previdência Social, que se baseia nos registros da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT) e na concessão de benefícios, para agravos à saúde ocupacionais e não ocupacionais. Apesar da boa qualidade e regularidade da sua divulgação, essas informações são limitadas. Restringem-se, em sua maioria, a casos muito graves, com 15 ou mais dias de afastamento remunerado, e para os trabalhadores cobertos pelo Seguro Acidente de Trabalho e pelos que conseguiram acesso a esse tipo de benefício (CNI, 2013).

De fato, os esforços atribuídos ao poder público, aos centros de pesquisa, às empresas e até mesmo aos próprios trabalhadores não têm sido o bastante a ponto de reduzir o número de acidentes de trabalho a patamares que garantam a saúde e segurança dos colaboradores. Fator este que, por si só, justifica a pesquisa por soluções que contribuam para um ambiente de trabalho mais seguro.

4. MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve e justifica a metodologia proposta para avaliar a funcionalidade da tecnologia RFID no monitoramento e controle de pessoas em áreas de risco de queda e equipamentos instalados no canteiro de obra. Para este estudo, a geração dos novos conhecimentos ocorreu por meio de testes cujo objetivo foi identificar a funcionalidade da ferramenta desenvolvida.

Operacionalmente, o monitoramento de áreas de risco de queda permitirá observar e acompanhar a periodicidade com que os trabalhadores acessam áreas de risco e identificar quais são os trabalhadores que mais acessam essas áreas, por exemplo, para assim, planejar ações corretivas. O controle poderá ser feito propondo ações preventivas com base nos dados coletados durante o monitoramento, com o objetivo de mitigar as possibilidades de acidentes.

Esse mesmo conceito se aplica para os equipamentos de segurança. Seu monitoramento irá permitir acompanhar o histórico de utilização desse equipamento, verificar se está instalado no local devido, identificar o responsável pelo equipamento, acompanhar a necessidade de manutenção, etc. Com esta base de dados, a fiscalização da funcionalidade desse equipamento poderá ser realizada de forma controlada.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA – *DESIGN SCIENCE RESEARCH*

Kauark, Manhães e Medeiros (2010) indicam que distinguir o tipo de pesquisa a ser empregado é necessário para a definição dos instrumentos e procedimentos que um pesquisador precisa utilizar no planejamento da sua investigação. O tipo de pesquisa categoriza a pesquisa na sua forma metodológica de estratégias investigativas. Fontelles et al. (2009) complementam ao caracterizarem a pesquisa como a aplicação prática de um conjunto de procedimentos objetivos, utilizados por um pesquisador para o desenvolvimento de um experimento, a fim de produzir um novo conhecimento, além de

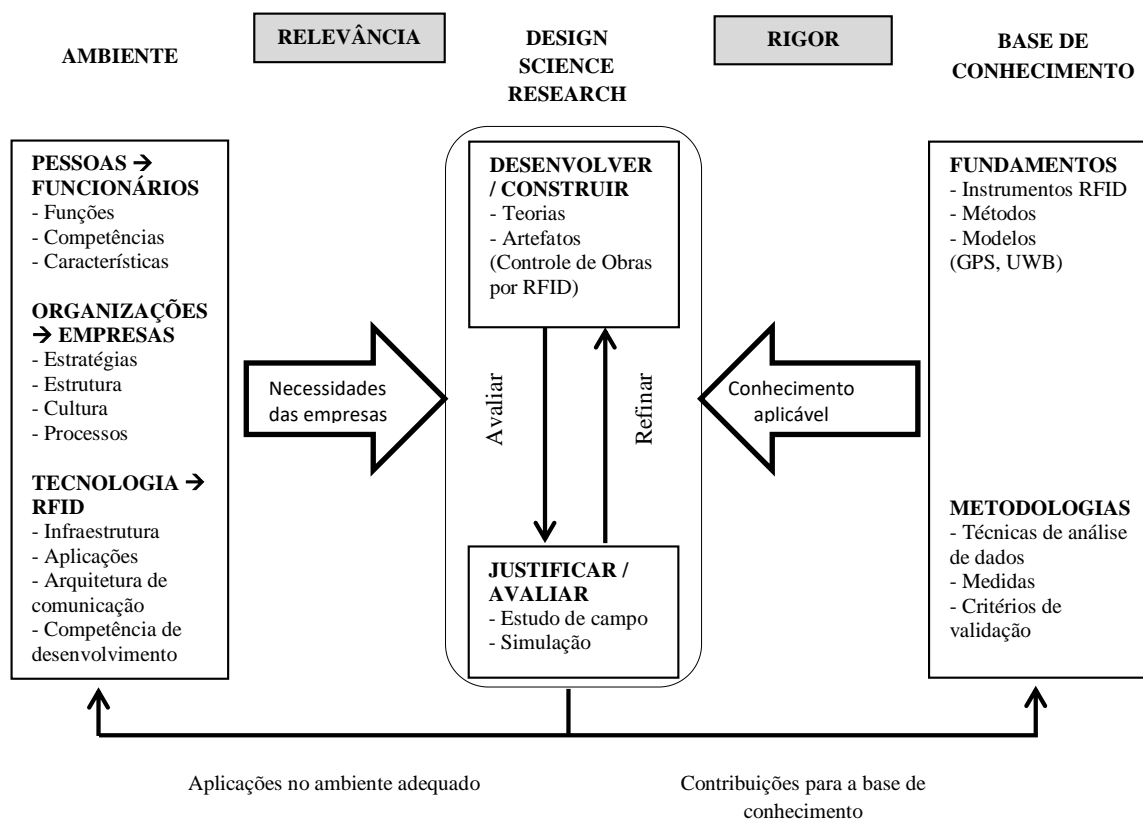
integrá-lo àqueles pré-existentes. Uma abordagem de pesquisa aplicada, segundo Gerhardt e Silveira (2009), gera conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. É também o tipo de pesquisa que, além de produzir conhecimento, gera novos processos tecnológicos e novos produtos, com resultados práticos imediatos como o proposto por este trabalho.

A metodologia de pesquisa adotada para este estudo foi baseada no *Design Science Research (DSR)* Segundo Hevner et al. (2004), esta é uma metodologia que operacionaliza e fundamenta a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato, ou, ainda, uma prescrição. Nesse sentido, a DSR se coloca como um processo rigoroso de projetar artefatos para resolver problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando e comunicar os resultados obtidos.

A definição da metodologia para esta pesquisa considerou uma característica fundamental da DSR como método. Segundo Van Aken (2004), esta metodologia é orientada para solução de problemas específicos, não necessariamente buscando soluções definitivas, mas, sim, soluções satisfatórias para a situação em questão. No entanto, as soluções geradas devem ser passíveis de generalização para uma determinada classe de problemas. Esta generalização deve permitir que outros pesquisadores e profissionais, em situações diversas, também possam fazer uso do conhecimento gerado.

Uma das principais razões para a aplicação da DSR neste estudo foi a possibilidade de este método superar a lacuna existente entre a diversidade de soluções da tecnologia RFID e a sua aplicação específica no monitoramento e controle de pessoas e equipamentos nos canteiros de obra. Para Van Aken (2004) isto ocorre porque é um método orientado à solução de problemas, mas que, ao mesmo tempo, produz conhecimento que pode servir de referência para o aprimoramento de teorias. A Figura 4.1 mostra a estrutura conceitual de compreensão, execução e avaliação na investigação de Sistemas de Informação adaptada aos objetivos deste estudo, segundo proposta inicial apresentada por Hevner et al. (2004).

Figura 4.1 – Estrutura de investigação utilizando a DSR para a aplicação da tecnologia RFID deste estudo



Fonte: Adaptado de Hevner et al., 2004.

Dentro dessa estrutura de investigação, o Ambiente (Figura 4.1) define o espaço do problema em que os fenômenos de interesse residem (HEVNER et al., 2004). Para a aplicação da tecnologia RFID no canteiro de obras, o Ambiente é composto por: pessoas, que para este estudo são definidas pelos funcionários; organizações, caracterizadas aqui pelas empresas de construção; e a tecnologia RFID proposta. Segundo os autores, é no Ambiente que estão os objetivos, as tarefas, os problemas e as oportunidades que definem as necessidades percebidas pelas pessoas dentro das organizações. As percepções são moldadas pelas características, funções e capacidades das pessoas dentro da empresa. As necessidades das empresas são avaliadas dentro do contexto da organização estratégica, da cultura, da estrutura e dos processos correntes. Juntos, todos esses aspectos definem as necessidades ou o problema como percebido pelo pesquisador, com o objetivo de enquadrar as atividades da investigação às necessidades da pesquisa.

A DSR aborda a investigação através da construção e avaliação de artefatos desenvolvidos para identificar as necessidades das organizações. O objetivo da ciência comportamental é a pesquisa da verdade. O objetivo do *Design Science* é a pesquisa da utilidade. Do ponto de

vista da DSR, a verdade e a utilidade são inseparáveis. A verdade informa o projeto e a utilidade informa a teoria. Assim, o artefato pode ter utilidade com base em alguma verdade ainda não descoberta. A teoria pode ainda ser desenvolvida ao ponto em que sua verdade possa ser incorporada no *design*. Em ambos os casos, a avaliação da pesquisa visa avaliar ou justificar as atividades que podem resultar na identificação de pontos fracos da teoria ou do artefato. O refinamento e a reavaliação da pesquisa são tipicamente descritos nas orientações futuras de investigação (HEVNER et al., 2004).

Na Figura 4.1, a base de conhecimento fornece a matéria-prima para a investigação. É composta por fundamentos e metodologias. Pesquisas anteriores de referências podem prover teorias fundamentais, instrumentos, estruturas, modelos e métodos que podem fornecer diretrizes para a fase de avaliação e justificativa. Na DSR métodos computacionais e matemáticos são usados principalmente para avaliar a qualidade e eficácia de artefatos, entretanto, as técnicas empíricas também podem ser empregadas (HEVNER et al., 2004). Neste estudo os modelos e os métodos tomaram como base pesquisas anteriores que utilizaram as tecnologias de GPS e UWB no monitoramento e controle de pessoas e equipamentos.

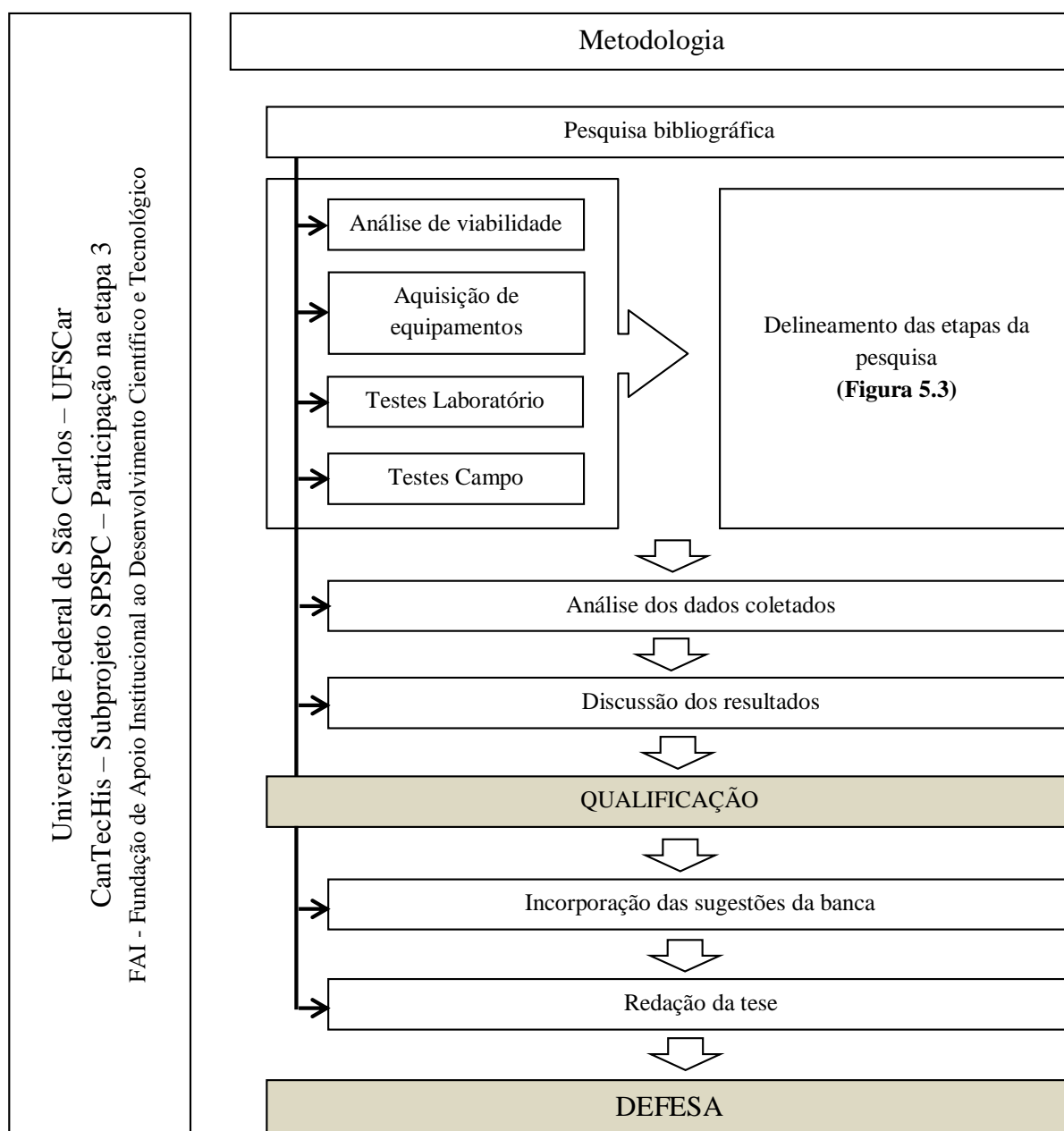
4.2. DELINEAMENTO DA PESQUISA

A investigação proposta abrange, portanto, o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento utilizando a tecnologia RFID e a determinação da sua funcionalidade no canteiro de obras.

A pesquisa se inicia com a revisão bibliográfica, contemplando o universo de aplicação das ferramentas de controle remoto com ênfase na aplicação da tecnologia RFID.

As etapas da pesquisa foram organizadas em macroestágios conforme apresentados nos diagramas das Figuras 4.2 e 4.3. O protocolo estabelecido para a metodologia foi sendo construído com base nos conhecimentos, eventos, sucessos e insucessos obtidos durante o curso dos estudos e todas as suas etapas estão detalhadas ao longo do trabalho.

Figura 4.2 – Estrutura metodológica



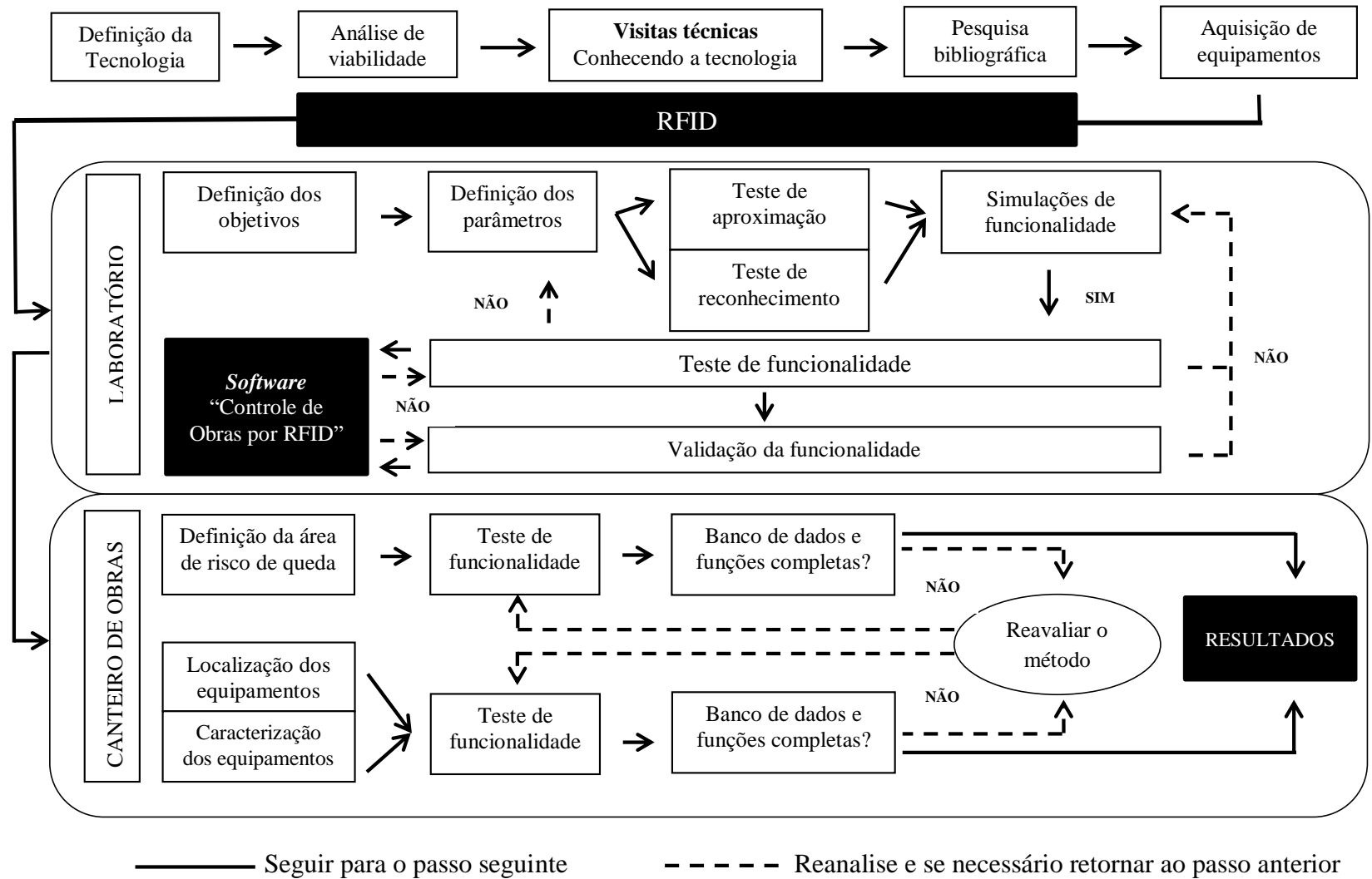
Fonte: Autor, 2017

Questões levantadas nas referências bibliográficas indicaram a necessidade de uma análise de viabilidade. Esta, por sua vez, delimitou-se sobre dois aspectos principais: viabilidade técnica e viabilidade econômica. Esta análise de viabilidade técnica foi suprida por meio de visitas estratégicas, em que reuniões foram realizadas com pesquisadores, empresas desenvolvedoras e fornecedores de equipamentos RFID. Essas discussões buscaram apurar se a aplicabilidade da ferramenta RFID atendia aos objetivos do estudo.

A condução da etapa de aquisição dos equipamentos e da formatação da parceria com a empresa desenvolvedora do *software* seguiu as normas estabelecidas pela Fundação de Apoio Institucional ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FAI-UFSCar), responsável por gerir os recursos disponibilizados pelo projeto CANTECHIS. A partir da aquisição dos equipamentos, a pesquisa avançou para as etapas de desenvolvimento do *software*, ensaios de simulação e testes de campo (Figura 4.3).

O delineamento do desenvolvimento da pesquisa é apresentado na Figura 4.3. Os testes foram divididos em duas etapas. A primeira etapa foi conduzida em um ambiente laboratorial com o propósito de desenvolver, avaliar e validar os procedimentos e o funcionamento do sistema de coleta e processamento dos dados. A partir da formatação dos procedimentos e da validação do funcionamento do sistema, foi iniciada a segunda etapa, que consistiu na realização de testes em um canteiro de obras real e em operação, reproduzindo toda a rotina estabelecida no laboratório.

Figura 4.3 - Delineamento das etapas da pesquisa

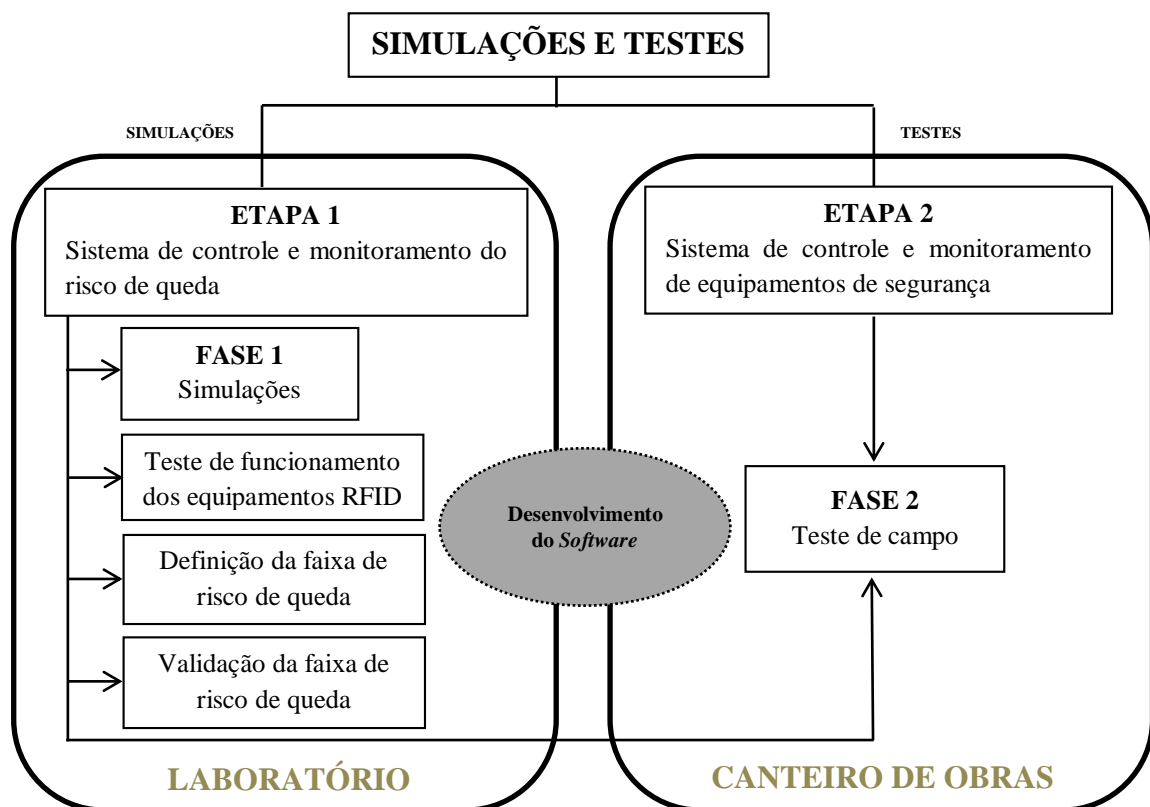


Fonte: Autor, 2017

Na Etapa 1 – “Sistema de monitoramento e controle de risco de queda”, se investigou a funcionalidade da ferramenta como equipamento de segurança com a utilização da tecnologia RFID para o controle de áreas com risco de queda nos canteiros de obra. Fundamentou-se no princípio de que, quando há um alto risco para a segurança e saúde do trabalhador, faz-se necessária a adoção de uma abordagem preventiva e não corretiva. Esta etapa subdividiu-se em duas fases. A Fase 1 – “Simulações” foi desenvolvida no laboratório e objetivou definir e validar os parâmetros para os testes de campo. A Fase 2 – “Teste de campo” reproduziu os parâmetros estabelecidos na Fase 1 em um canteiro de obras real e em operação (Figura 4.4).

A amplitude das possibilidades na aplicação da tecnologia RFID conduziu este estudo a um passo complementar à Etapa 1. Mantendo a proposta da pesquisa que direciona a utilização da RFID em sistemas de saúde e segurança para o trabalhador, desenvolveu-se também a Etapa 2 – “Sistema de monitoramento e controle de equipamentos de segurança”. Esta etapa teve como objetivo investigar a funcionalidade da ferramenta de acompanhamento remoto com o emprego da tecnologia RFID na identificação de equipamentos de segurança utilizados na construção civil (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Ordenação da campanha de testes



Fonte: Autor, 2019

Essas duas propostas podem ser agrupadas sob a adoção da tecnologia a nível individual e organizacional, cada proposta abordando a tecnologia condicionada a um fim específico com vistas a desenvolver uma ferramenta aplicada à saúde e segurança do trabalhador no canteiro de obras. Em conjunto, as duas propostas podem formular uma ferramenta de tecnologia com possível potencial para os usuários da construção civil.

O encerramento desta investigação ocorre com os testes de campo. Neste estágio o desenvolvimento do *software* já está consolidado e o sistema de monitoramento construído no percurso das etapas anteriores é o responsável pela coordenação dos dados obtidos durante os testes. As perspectivas para os resultados consistem em determinar que o método proposto respondesse aos objetivos de monitorar e controlar áreas de risco de queda e equipamentos. Além disso, há a expectativa de que o método possa gerar subprodutos para novas pesquisas e aplicações não previstas para esta pesquisa.

4.2.1. Locais dos testes

Os testes iniciais que simularam o funcionamento dos equipamentos RFID foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos (P02) da Universidade Estadual de Maringá (Figura 4.5). O laboratório é dedicado ao atendimento das disciplinas de Materiais de Construção, Mecânica dos Solos e Estruturas e é administrado pelo Departamento de Engenharia Civil.

Figura 4.5 – Laboratório P02 - Universidade Estadual de Maringá



Fonte: Autor, 2016

Internamente o laboratório é subdividido em seções de trabalho para cada uma das disciplinas atendidas por ele. No centro de suas instalações, o laboratório conta com um espaço de circulação e estudos com dimensões adequadas à área necessária para a

implantação da zona de simulação. Este espaço atende à capacidade máxima de leitura dos equipamentos RFID conforme descrito pelo manual técnico dos fabricantes, possibilitando, assim, a sua utilização.

Os testes de campo foram realizados no 13º pavimento do canteiro de obras do Condomínio residencial Concept Design, de propriedade da Construtora Design (Figura 4.6). Trata-se do canteiro de um edifício residencial de 20 pavimentos (3 subsolos + térreo + lazer + 15 andares tipo), executado em estrutura de concreto armado e vedação em alvenaria cerâmica convencional. Cada pavimento tipo contém seis apartamentos com dois dormitórios, uma suíte, sala com dois ambientes, cozinha, lavanderia, sacada com churrasqueira e duas vagas de garagem, totalizando 170 m² de área total. O projeto de segurança com a distribuição das bandejas e dos GcR deste andar também pode ser observado na Figura 4.6.

Todo o edifício é dotado de equipamentos de proteções contra quedas, como guarda-corpos e bandejas externas. As alvenarias de periferia estavam em execução até a altura de guarda-corpo. O acesso ao interior do canteiro é feito pelos fundos do edifício por meio da portaria de acesso de funcionários. A circulação vertical é feita pelo elevador cremalheira posicionado na lateral da torre.

Figura 4.6 – Vista do edifício “Concept Desing” e do 13º pavimento

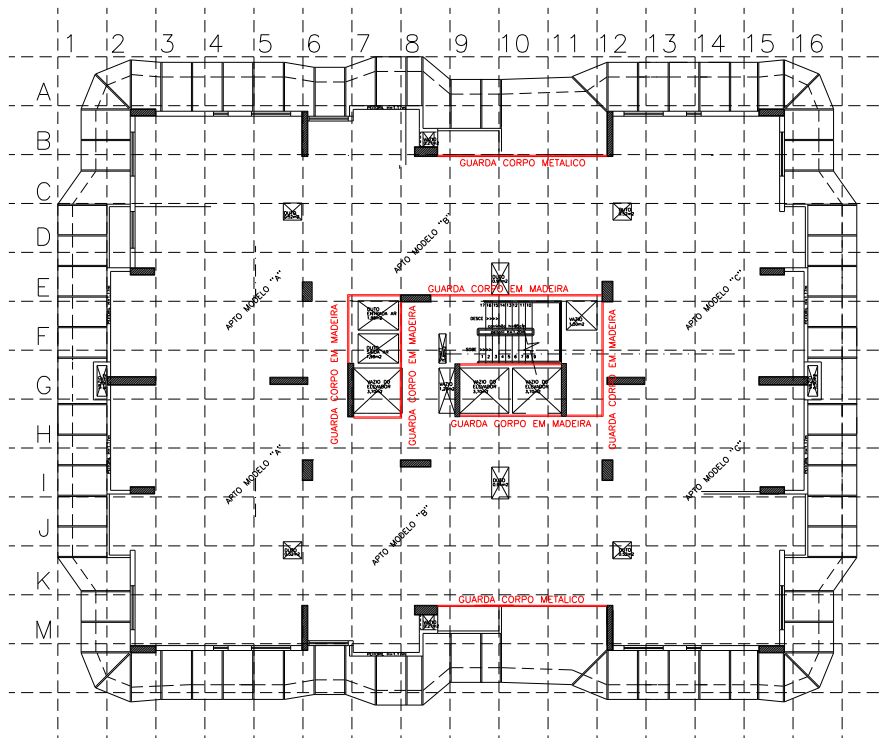
a)



b)



c)



Fonte: Autor, 2016




4.3. ETAPA 1 – SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DO RISCO DE QUEDA

A gestão de riscos é um elemento central na consolidação da estratégia de qualquer organização. É o processo através do qual as organizações analisam metodicamente os riscos inerentes às respectivas atividades, com o objetivo de atingirem uma vantagem sustentada em cada atividade individual e no conjunto de todas as atividades.

É necessário, em situações de alto risco, adotar uma abordagem preventiva ao evento. Tratar os processos de forma perspicaz, antecipar a ideia da existência de risco antes da ocorrência do sinistro, evitando, assim, possíveis consequências. Para Giretti et al. (2009), esse contexto exige a implantação de sistemas que forneçam ao trabalhador sinais de aviso de perigo e que, em escala, podem ser implantados em todos os canteiros de obras. Os autores complementam ainda que o sistema deve oferecer recursos de apoio ao responsável pela segurança e saúde do trabalhador da respectiva obra, para que possa adotar medidas, como penalidades de advertências, por exemplo, como precaução a ser avaliada de acordo com a situação corrente.

Para a execução da Etapa 1, o conjunto de equipamentos RFID aplicados nos testes é apresentado no Quadro 4.1. A função operacional de cada equipamento consta no protocolo de ensaio descrito neste capítulo.

Quadro 4.1. Equipamentos RFID utilizados na Etapa 1

EQUIPAMENTO	MARCA	MODELO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
Antena RFID fixa	Intermec	IA33A INTELLITAG	Frequência: 902 – 928 MHz Polarização: Circular Peso: 567 g Dimensão: 25,9 x 25,9 x 3,8 cm Interface: Cabo de dados	
Leitor RFID fixo	Intermec	IF2 <i>Network Reader</i>	Frequência: 902 – 928 MHz Temp. utilização: -25° a 55° C Peso: 1000 g Dimensão: 19,9 x 16,31 x 4,32 cm Interface: Cabo de dados	
Leitor RFID móvel	Acura Global	UHF 900 BT	Frequência: 800 – 960 MHz Temp. utilização: -20° a 50° C Peso: 170 g Dimensão: 14,8 x 5,1 x 3,0 cm Interface: Bluetooth 2.0 EDR / USB 1.1 / UART 3,3V / 3-fios	
Tag passiva RFID	<i>Smart Parking</i>	Adesiva	Frequência: 800 – 960 MHz Descrição: EPC Global Classe 1 Ciclo de operação: 10.000 Dimensão: 9,3 x 1,9 cm EPCode: 96 bits	
Tablet	Tecnopia	T10Q10	Screen 10” Memory 8 GB	

Fonte: Autor, 2017

Os testes foram divididos em duas fases. A primeira fase foi conduzida em um ambiente laboratorial com o propósito de desenvolver, avaliar e validar os procedimentos e o funcionamento do sistema de coleta e processamento dos dados. A partir da formatação dos procedimentos e da validação do funcionamento do sistema, foi iniciada a segunda fase, que consistiu na realização de testes em um canteiro de obras real e em operação, reproduzindo toda a rotina de ensaio estabelecida no laboratório.

4.3.1. Protocolo de ensaio – Fase 1 – “Definição da faixa de risco de queda”

O objetivo desta fase é definir a dimensão da faixa de risco de queda com base na capacidade de leitura e na velocidade de resposta do equipamento RFID.

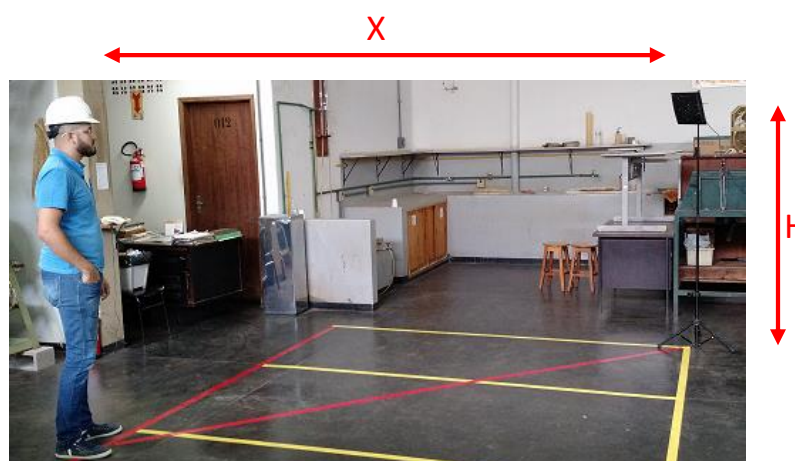
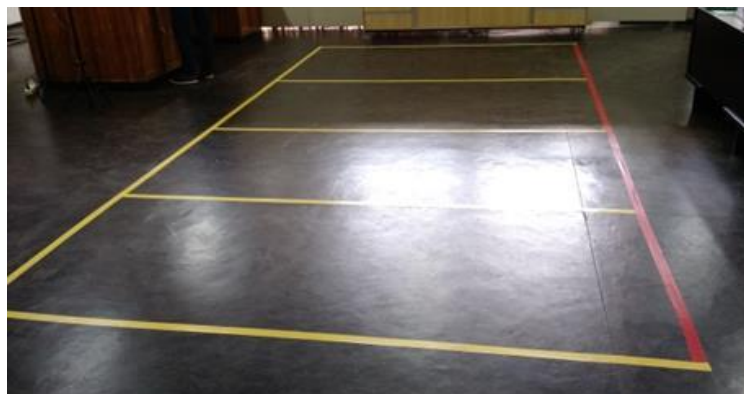
A fase de simulações em laboratório divide-se em dois testes. O teste 1 propõe a metodologia para delimitar o alcance do leitor RFID, definindo assim a área de risco de queda que pode ser monitorada pelo equipamento. O teste 2 é complementar. Propõe uma metodologia para confirmar as dimensões obtidas com o teste 1, a fim de validar a metodologia para que posteriormente possam ser reproduzidas em campo na Fase 2.

Durante a fase de teste em laboratório, os resultados devem ser coletados e compilados pelo *software* básico fornecido pelos fabricantes dos equipamentos de leitura RFID. Este *software* permite apenas coletar as distâncias de leituras e identificar quais *Tags* são lidas. Mesmo que restritivas, essas funções são suficientes para o propósito dos ensaios de laboratório. Durante este mesmo período o *software* “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID” deve ser desenvolvido, alimentando-se, inclusive, dos conhecimentos obtidos ao longo dos testes iniciais.

4.3.1.1. Delimitação das dimensões alcançadas pelo leitor RFID

A Figura 4.7 mostra a área de testes do laboratório. A faixa vermelha representa a borda de queda virtual, ou seja, o limite máximo para a aproximação do colaborador. As faixas amarelas são posicionadas obedecendo às distâncias de leitura indicadas pelos fabricantes dos equipamentos testados. As informações obtidas com as especificações dos manuais técnicos dos equipamentos são tomadas como parâmetros iniciais para os ensaios de aproximação. O esquema representativo do ambiente de testes pode ser visualizado na Figura 4.9.

Figura 4.7 – Área de ensaios no Laboratório P02 – teste de delimitação



Fonte: Autor, 2016

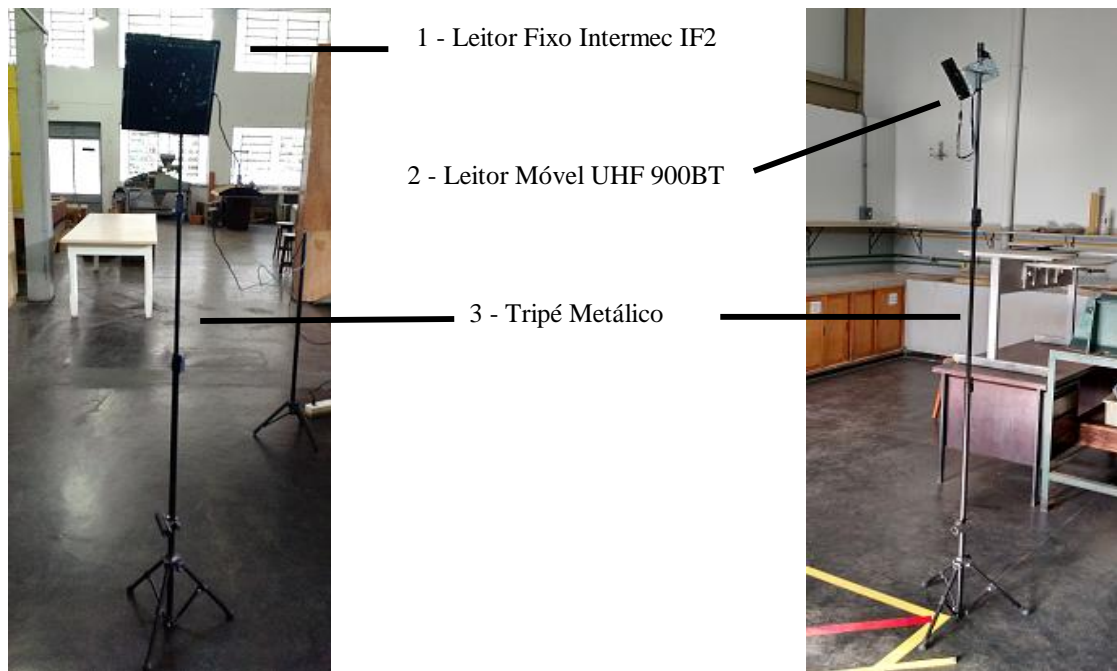
Para a identificação do trabalhador, deve ser adotado um capacete teste com quatro *Tags* passivas adesivas previamente cadastradas e testadas para uma incidência de sinal positiva. Para a instalação dos leitores RFID, deverá ser utilizado um tripé metálico regulável e móvel. Este equipamento de apoio permite variar a altura do leitor sem afetar os sinais de rádio emitidos pelas *Tags* (Figura 4.7).

A utilização de quatro *Tags* no capacete, conforme a Figura 4.10, é importante para evitar que a água presente no crânio humano influencie no reconhecimento do colaborador. Para possibilitar esta solução, todas as *Tags* são configuradas com um número de identificação idêntico, assim, independente da direção em que o colaborador se mover, há sempre uma *Tag* direcionada para o leitor emitindo sinais contínuos e sem interferências.

Para esta investigação, dois leitores RFID foram testados: Leitor Fixo Intermec IF2 e Leitor Móvel UHF 900BT (Figura 4.8). Além de variar o tipo de leitor, esta simulação

varia também a distância “X” em relação à antena, a altura “H” da posição de leitura da antena entre 1,85 e 2,20 metros.

Figura 4.8 – Leitores RFID no tripé metálico na área de testes do laboratório P02



Fonte: Autor, 2016

Outra importante ferramenta de trabalho adotada é a Planilha de registro dos ensaios (Figura 4.11). Mesmo com a coleta de dados informatizada, julgou-se necessário fazer um registro manual como forma de obtenção dos resultados para comparação. Além disso, a liberdade oferecida pela criação de uma planilha própria permite documentar informações adicionais às informações coletadas pelo *software* básico do equipamento, como: a lista de colaboradores trabalhando durante os ensaios, as instituições às quais esses colaboradores pertencem, as condições climáticas externas, a média das leituras e um campo de observações para possíveis interferências.

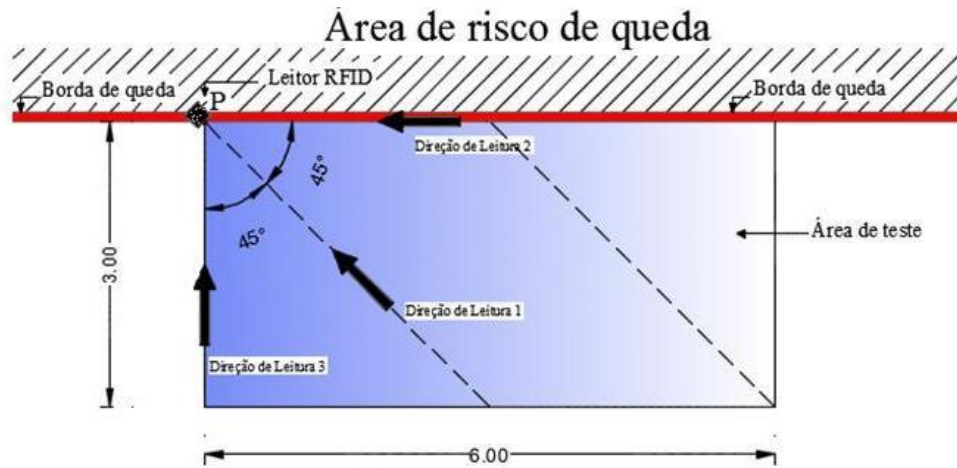
O protocolo com a sequência das ações para a execução dos testes é descrito no Quadro 4.2.

Quadro 4.2. Protocolo de teste para a Fase 1 – “Definição da faixa de risco de queda”

ITEM	AÇÃO	DESCRIÇÃO	NOTA
Passo 1	Delimitação da área teste.	Definir como área teste um quadrilátero retangular com dimensões de 6,0 x 3,0 m.	Figura 4.9
Passo 2	Posição do leitor RFID	Instalar o leitor RFID na posição “P” na extremidade do quadrilátero de demarcação da área de teste conforme a Figura 4.7. O leitor deverá ser posicionado em estrutura de apoio que não cause interferência de leitura. A altura do leitor deverá ser testada para as seguintes dimensões:	Figura 4.9
		a) - h = 1,85 m: Posicionar o leitor a 1,85 m de altura considerando o centro do leitor.	
		b) - h = 2,20 m: Posicionar o leitor a 2,20 m de altura considerando o centro do leitor.	
Passo 3	Software / Leitor	Nesta fase será utilizado o <i>software</i> básico fornecido pelo fabricante do leitor RFID apenas para coleta de dados. Deverão ser testados dois modelos de leitores (Fixo e móvel):	Quadro 4.1
		a) – Fixo: Leitor Intermec IF2 INTELLITAG.	
		b) – Móvel: Leitor Acura Global – UHF 900 BT.	
Passo 4	Tag	Utilizar o modelo de <i>Tag</i> adesiva com <i>Chip Smart Parking</i> , fixada no capacete do colaborador. Cada capacete deverá receber quatro <i>Tags</i> fixadas nas quatro faces do EPI conforme Figura 4.8.	Figura 4.10
Passo 5	Direção de leitura	As leituras deverão ser realizadas em três direções em relação à posição “P” do leitor. A primeira direção de leitura deverá ser frontal ao leitor. A segunda direção de leitura deverá estar à direita, formando uma projeção de 45° para a posição “P”. A terceira direção de leitura deverá estar à esquerda, formando uma projeção de 45° para a posição “P”, conforme a Figura 4.7.	Figura 4.9
Passo 6	Quantidade de leituras	Deverão ser coletadas dez medições de forma repetida e ininterrupta para cada direção de leitura (Passo 5). As leituras deverão acontecer em um mesmo local, em uma mesma data e em um mesmo horário, considerando condições climáticas iguais.	
Passo 7	Procedimento de leitura	O colaborador equipado do capacete monitorado pelas quatro <i>Tags</i> (Passo 4) deverá caminhar em ritmo normal nas direções de leitura pré-definidas e repetidamente, conforme descrito pelos passos 5 e 6. O colaborador deverá parar imediatamente quando acionado o aviso sonoro pelo equipamento , indicando que o leitor captou sua presença. Um segundo colaborador deverá fazer a medição da distância entre o colaborador com o capacete e o leitor.	Figura 4.7
Passo 8	Coleta de dados	O pesquisador, responsável pelo ensaio deverá coletar a medida da distância entre o colaborador com o capacete e o leitor e introduzir esse dado no <i>software</i> básico do equipamento. Além disso, o pesquisador deverá preencher a Planilha de ensaio para que os dados sejam armazenados em redundância, conforme a Figura 4.9.	Figura 4.11
Passo 9	Encerramento dos testes	O encerramento dos testes se dará após a realização das trinta leituras (dez para cada direção). Em caso de interferências, a leitura deverá excluída e nova leitura deverá ser feita na sequência.	
Passo 10	Compilação dos dados	Os dados deverão ser compilados após o encerramento dos testes. Nesta fase o <i>software</i> de apoio Excel poderá ser utilizado para análise dos dados.	

Fonte: Autor, 2017

Figura 4.9 – Mapa de indicação das direções de leitura para a delimitação da área de risco de queda





Fonte: Autor, 2016

Figura 4.10 – Capacetes equipados com Tags RFID utilizados nos testes



Fonte: Autor, 2016

Figura 4.11 – Planilha de ensaio – Fase 1

GESTÃO DE RISCO DE QUEDA				
		UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar)		
		PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL		
PLANILHA DE ENSAIO				
TESTE 01	ETAPA 1	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE TESTES		
PPGEstruturas e Construção Civil				
PESQUISADOR:	Victor Hugo Mazon de Oliveira			
COLABORADOR 1:		INSTITUIÇÃO:		
COLABORADOR 2:		INSTITUIÇÃO:		
COLABORADOR 3:		INSTITUIÇÃO:		
LOCAL:	LABORATÓRIO P02		CIDADE:	MARINGÁ
DATA:			ALTURA DA ANTENA (M)	
TIPO DE LEITOR:				
TIPO DE TAG:				
VELOC. CONS.:				
CLIMA:	<input type="checkbox"/> SOL	<input type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVA	
DIREÇÃO	LEITURA	MEDIDA (m)	HORÁRIO	OBSERVAÇÕES
Dtr. 1	1			
Dtr. 1	2			
Dtr. 1	3			
Dtr. 1	4			
Dtr. 1	5			
Dtr. 1	6			
Dtr. 1	7			
Dtr. 1	8			
Dtr. 1	9			
Dtr. 1	10			
MÉDIA				
Dtr. 2	1			
Dtr. 2	2			
Dtr. 2	3			
Dtr. 2	4			
Dtr. 2	5			
Dtr. 2	6			
Dtr. 2	7			
Dtr. 2	8			
Dtr. 2	9			
Dtr. 2	10			
MÉDIA				
Dtr. 3	1			
Dtr. 3	2			
Dtr. 3	3			
Dtr. 3	4			
Dtr. 3	5			
Dtr. 3	6			
Dtr. 3	7			
Dtr. 3	8			
Dtr. 3	9			
Dtr. 3	10			
MÉDIA				

Fonte: Autor, 2016

4.3.2. Protocolo de ensaio – Fase 1 – “Validação da faixa de risco de queda”

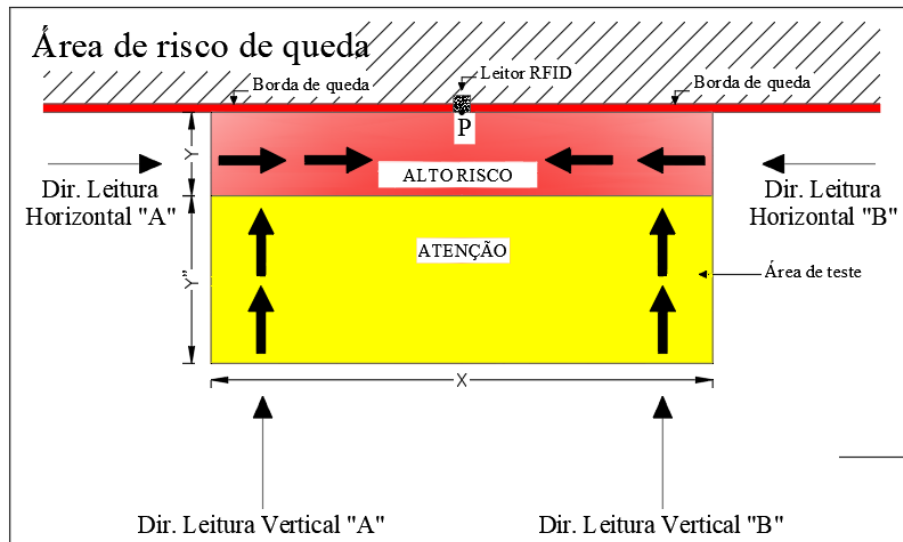
O objetivo desta fase de validação, depois de estabelecidos os parâmetros iniciais quanto à capacidade do leitor, é repetir os testes de aproximação utilizando as informações resultantes do teste “Definição da faixa de risco” para validar os resultados e concluir se há confiabilidade nos dados obtidos. A sequência das ações para a execução deste teste é descrita no Quadro 4.3.

Quadro 4.3. Protocolo de teste para a Fase 1 – Validação da faixa de risco de queda

ITEM	AÇÃO	DESCRIÇÃO	NOTA
Passo 1	Delimitação da área de validação	Definir a área de atenção (Amarelo) e a área de alto risco (Vermelho) com largura indicada por “Y” e comprimento “X” conforme as medidas resultantes do teste de “Delimitação da faixa de risco” (Item 4.3.1). A Figura 4.12 apresenta a nova configuração das faixas de teste.	Figura 4.12
Passo 2	Posição do leitor RFID	Instalar o leitor RFID na posição “P” na extremidade do quadrilátero de demarcação da área de teste, conforme a Figura 4.12. O leitor deverá ser posicionado em estrutura de apoio que não cause interferência de leitura. A altura do leitor deverá ser a que obtiver o melhor resultado no teste do item 4.3.1 (1,85 ou 2,20 m).	Figura 4.12
Passo 3	<i>Software / Leitor</i>	Nesta fase será utilizado o <i>software</i> básico fornecido pelo fabricante do leitor RFID apenas para coleta de dados. O leitor utilizado deverá ser o que obtiver o melhor resultado no teste do item 4.3.1 (Fixo ou Móvel).	Quadro 4.1
Passo 4	<i>Tag</i>	Utilizar o modelo de <i>Tag</i> adesiva com <i>Chip Smart Parking</i> , fixada no capacete do colaborador. Cada capacete deverá receber quatro <i>Tags</i> fixadas nas quatro faces do EPI, conforme a Figura 4.8.	Figura 4.8
Passo 5	Direção de leitura	As leituras deverão ser realizadas em quatro direções em relação à posição “P” do leitor. As duas primeiras direções de leitura deverão ser frontais ao leitor. As duas próximas direções de leitura deverão ser à direita e à esquerda da posição “P”, conforme a Figura 4.12.	Figura 4.12
Passo 6	Quantidade de leituras	Deverão ser coletadas dez medições de forma repetida e ininterrupta para cada direção de leitura (Passo 5). As leituras deverão acontecer em um mesmo local, em uma mesma data e em um mesmo horário, considerando condições climáticas iguais.	
Passo 7	Procedimento de leitura	O colaborador equipado do capacete monitorado pelas quatro <i>Tags</i> (Passo 4) deverá caminhar em ritmo normal nas direções de leitura pré-definidas e repetidamente, conforme descrito pelos passos 5 e 6. O colaborador deverá parar imediatamente quando acionado o aviso sonoro pelo equipamento , indicando que o leitor captou sua presença. Um segundo colaborador deverá fazer a medição da distância entre o colaborador com o capacete e o leitor.	
Passo 8	Coleta de dados	O pesquisador, responsável pelo ensaio, deverá coletar a medida da distância entre o colaborador com o capacete e o leitor e introduzir esse dado no <i>software</i> básico do equipamento. Além disso, o pesquisador deverá preencher a Planilha de ensaio para que os dados sejam armazenados em redundância, conforme a Figura 4.9.	Figura 4.9
Passo 9	Encerramento dos testes	O encerramento dos testes se dará após a realização das quarenta leituras (dez para cada direção). Em caso de interferências, a leitura deverá excluída e nova leitura deverá ser feita na sequência.	
Passo 10	Compilação dos dados	Os dados deverão ser compilados após o encerramento dos testes. Nesta fase o <i>software</i> de apoio Excel poderá ser utilizado para análise dos dados.	

Fonte: Autor, 2017

Figura 4.12 – Mapa de indicação das direções e dimensões para a validação da área de teste



Fonte: Autor, 2016

4.3.3. Protocolo de ensaio – Fase 2 – “Teste de campo”

À medida que a fase de testes em laboratório é vencida, inicia-se a fase de testes em campo. Para os testes em campo, o *software* desenvolvido durante a pesquisa deve ser utilizado como a ferramenta responsável por captar e armazenar os dados obtidos durante as leituras. Portanto, além de avaliar a metodologia proposta para os testes, esta fase é responsável por avaliar, também, a funcionalidade do *software*.

Neste ensaio, quatro trabalhadores foram equipados com capacetes rastreados por *Tags* passivas previamente cadastradas no *software*. O objetivo era que os trabalhadores se mantivessem exercendo suas atividades rotineiras de trabalho sem interagir propositalmente com o equipamento. Para que o teste fosse efetivo, foram escolhidos trabalhadores que, em função de suas atividades e do estágio da obra, necessariamente circulassem pela área onde o equipamento estava instalado.

A partir desta fase, a coleta de dados foi feita utilizando o *software* “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID” desenvolvido ao longo da pesquisa. Portanto, além de testar a eficiência do equipamento RFID na identificação dos trabalhadores, esta fase inicia, também, o teste do *software* e da funcionalidade de todo o sistema. O tripé metálico utilizado na fase de laboratório para fixar o leitor é frágil para um ambiente de obra. A solução encontrada foi construir uma caixa de madeira com dimensões iguais a 30 centímetros, com uma portinhola frontal de abrir e fixada à estrutura por perfilados

metálicos 38x19 mm, de forma que o conjunto fosse capaz de resistir à incidência do vento, da chuva e eventuais impactos que pudessem ocorrer durante as operações da obra (Figura 4.13).

Internamente à caixa, foi instalada uma alimentação elétrica que permitiu que o equipamento ficasse operando permanentemente ao longo dos dias em que os testes seriam realizados. Para garantir a segurança e a integridade do *tablet* responsável por receber e armazenar as leituras, a caixa deveria permanecer trancada ao longo dos testes. Quanto ao leitor UHF 900BT, este foi fixado na face externa da portinhola com a antena alinhada a 1,85 metros de altura, conforme definido na Fase 1.

Figura 4.13 – Caixa de madeira construída para instalar e proteger os equipamentos durante os ensaios de campo



Fonte: Autor, 2016

A Figura 4.14 apresenta o canteiro de obras do 13º pavimento do condomínio residencial *Concept Design*, local do ensaio. A seleção desse pavimento levou em consideração as atividades em execução e as condições do canteiro durante o período de teste. Este foi um critério fundamental para que o estágio da obra fosse compatível com os objetivos da pesquisa.

O pavimento selecionado contava com a laje superior e todas as demais estruturas de concreto totalmente executadas, possuía escoramento reduzido para facilitar o acesso e o deslocamento dos pesquisadores, possuía bandeja intermediária de proteção contra quedas de altura, possuía guarda-corpos isolando áreas com risco de queda e grampos chumbados à estrutura do edifício para permitir o uso de cintos de segurança durante a instalação dos equipamentos. As atividades em execução pelos trabalhadores da obra no local contemplavam a execução da alvenaria de periferia, fixação de linhas de vida e retirada de entulhos.

Figura 4.14 – Local do ensaio – 13º pavimento do canteiro de obras do Condomínio *Concept Design*

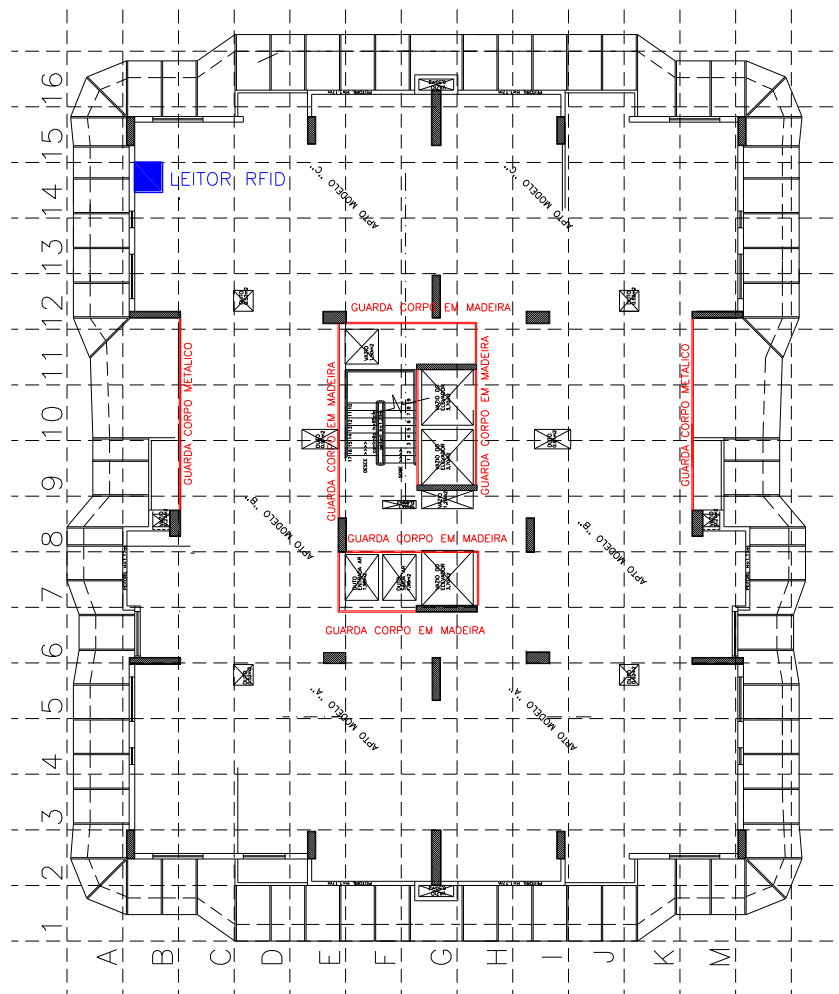


Fonte: Autor, 2016

A instalação do conjunto leitor RFID (Quadrado azul da Figura 4.15) foi localizada no local da futura suíte do Apartamento Modelo “C”, conforme planta baixa da Figura 4.15. O leitor foi posicionado no alinhamento da periferia do pavimento, de forma que sua antena

estivesse sobre a linha imaginária de queda configurada pela borda da laje. A partir deste ponto, deve ser estabelecida a geometria triangular hipotética definida na Fase 1.

Figura 4.15 – Planta baixa do pavimento de teste indicando a posição do leitor RFID



Fonte: Autor, 2016



Esperava-se com esta fase reproduzir os resultados obtidos na fase de laboratório e avaliar se novas variáveis podem influenciar no funcionamento do sistema. O protocolo dos testes é descrito no Quadro 4.4.

Quadro 4.4. Protocolo de teste para a Fase 2 – “Teste em campo”

ITEM	AÇÃO	DESCRIÇÃO	NOTA
Passo 1	Delimitação da área de teste	Definir a área de teste na região de periferia de um pavimento tipo. A área de teste deve permitir que o leitor RFID seja instalado sobre o limite de queda estabelecido pela linha de periferia da laje. Esta área deve permitir também que o leitor seja instalado na altura de medição definida na Fase 1 e o livre acesso para a circulação dos trabalhadores.	Figura 4.14
Passo 2	Posição do leitor RFID	O leitor RFID deve ser instalado sobre a linha de periferia da laje sobre o limite de queda. A altura do leitor deverá seguir a definição obtida na Fase 1. A estrutura de apoio utilizada para a fixação do leitor não deverá causar interferências nas leituras.	Figura 4.14
Passo 3	<i>Software</i> / Leitor	Nesta fase será utilizado o <i>software</i> desenvolvido durante a pesquisa “ Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID ”. O leitor utilizado deverá ser o que obtiver o melhor resultado no teste do item 4.3.1 (Fixo ou Móvel)	Quadro 4.1
Passo 4	<i>Tag</i>	Utilizar o modelo de <i>Tag</i> adesiva com <i>Chip Smart Parking</i> , fixada no capacete do colaborador. Cada capacete deverá receber quatro <i>Tags</i> fixadas nas quatro faces do EPI, conforme a Figura 4.10.	Figura 4.10
Passo 5	Número de trabalhadores	Quatro trabalhadores do canteiro deverão ser equipados com capacetes monitorados conforme o Passo 4. A seleção dos trabalhadores deve garantir que os mesmos estejam executando atividades na região onde será instalado o leitor para que haja um número mínimo válido de leituras.	
Passo 6	Direção de leitura	A direção de leitura será aleatória. Os trabalhadores deverão se movimentar naturalmente durante as suas atividades.	
Passo 7	Período de coleta de dados	Os testes deverão totalizar dez dias. Os dois primeiros dias deverão ser utilizados para instalação e calibração dos equipamentos. Sete dias deverão ser utilizados para as leituras durante um período de duas horas diárias. O décimo dia deverá ser utilizado para a desmontagem de toda a infraestrutura de teste.	
Passo 8	Procedimento de leitura	Os quatro trabalhadores equipados com os capacetes monitorados deverão exercer as suas atividades normais de trabalho. Quando o trabalhador acessar a área de leitura do equipamento, o mesmo acionará um aviso sonoro , indicando que o leitor captou sua presença. Não há a necessidade de nenhuma reação do trabalhador, pois outros equipamentos de segurança como a bandeja de proteção ou o guarda-corpo deverão garantir sua segurança. Não há limite para o número de leituras, esta variável será função da quantidade de vezes em que os trabalhadores acessarem ou permanecerem na área de monitoramento.	
Passo 9	Coleta de dados	A coleta dos dados deverá ser automática. À medida que o leitor RFID coletar os dados, os mesmos deverão ser transferidos utilizando um cabo de rede ou <i>bluetooth</i> para o <i>software</i> hospedado em um <i>Tablet</i> de apoio instalado junto ao leitor. Ao final de cada dia de teste, os dados armazenados no <i>Tablet</i> deverão ser transferidos para o computador matriz através de uma sincronização feita em uma rede de mesmo IP. Além disso, o pesquisador deverá preencher a Planilha de ensaio para que os dados sejam armazenados em redundância, conforme a Figura 4.16.	
Passo 10	Encerramento dos testes	O encerramento dos testes se dará ao final décimo dia. Caso haja alguma interferência, mais dias poderão ser inseridos no protocolo, entretanto, a quantidade de dias para leituras não deverá ser superior a sete.	
Passo 11	Compilação dos dados	Os dados deverão ser armazenados após o encerramento dos testes. Nesta fase a análise dos dados será feita com o suporte do <i>software</i> “ Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID ”.	

Fonte: Autor, 2017

Figura 4.16 – Planilha de ensaio – Teste em Campo

GESTÃO DE RISCO DE QUEDA					
		UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL			
PLANILHA DE ENSAIO					
TESTE CAMPO	ETAPA 01		COLETA DE DADOS PARA ÁREA DE RISCO		
PESQUISADOR: Victor Hugo Mazon de Oliveira					
TRABALHADOR 1:		FUNÇÃO:		EMPRESA:	Catamará Engenharia
TRABALHADOR 2:		FUNÇÃO:		EMPRESA:	Catamará Engenharia
TRABALHADOR 3:		FUNÇÃO:		EMPRESA:	Catamará Engenharia
TRABALHADOR 4:		FUNÇÃO:		EMPRESA:	Catamará Engenharia
TRABALHADOR 5:		FUNÇÃO:		EMPRESA:	Catamará Engenharia
OBRA:				CIDADE:	
DATA:					
TIPO DE LEITOR:					
TIPO DE TAG:					
VELOC. CONS.:					
CLIMA:	SOL		NUBLADO		CHUVA
DIREÇÃO	LEITURA	MEDIDA (m)	HORÁRIO	TRABALHADOR	OBSERVAÇÕES
Aleatória	1				
Aleatória	2				
Aleatória	3				
Aleatória	4				
Aleatória	5				
Aleatória	6				
Aleatória	7				
Aleatória	8				
Aleatória	9				
Aleatória	10				
Aleatória	11				
Aleatória	12				
Aleatória	13				
Aleatória	14				
Aleatória	15				
Aleatória	16				
Aleatória	17				
Aleatória	18				
Aleatória	19				
Aleatória	20				
Aleatória	21				
Aleatória	22				
Aleatória	23				
Aleatória	24				
Aleatória	25				
Aleatória	26				
Aleatória	27				
Aleatória	28				
Aleatória	29				
Aleatória	30				
Aleatória	31				
Aleatória	32				
Aleatória	33				
Aleatória	34				
Aleatória	35				
<hr/> Responsável					

Fonte: Autor, 2016

A consolidação dos protocolos de investigação das Fases 1 e 2 encerram os testes que propõem o método para o desenvolvimento do sistema de controle e monitoramento para o risco de queda utilizando a tecnologia RFID. Os resultados servirão para mostrar se o método e a tecnologia são adequados à utilização proposta.

4.4. ETAPA 2 – SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA

A investigação proposta para a Etapa 2 destina-se ao desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento que integre a tecnologia RFID e a determinação da sua funcionalidade nos canteiros de obras.

O sistema de controle e monitoramento engloba um conjunto de informações pertencentes a cada equipamento de segurança monitorado. Conforme apresentado no exemplo do Quadro 4.5, as informações cadastrais de cada equipamento compreendem: nome, obra, local, marca, material, estado, previsão para revisão e responsável. Este conjunto de dados deve ser inserido no banco de dados do *software* “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID”, permitindo assim, que, além de identificar a localização e a existência de cada equipamento, o sistema seja capaz de exibir também o seu histórico cadastral.

Quadro 4.5. Modelo do conjunto de informações para o cadastro dos equipamentos




Nome:	TRELIÇA BANDEJA 2
Obra:	<i>Concept Design – APTO C</i>
Local:	Sacada – APTO C
Marca:	Própria
Material:	Perfil metálico
Estado:	Novo
Previsão para revisão:	18/12/2016
Responsável:	Teste 1

Fonte: Autor, 2017

Para a identificação dos equipamentos de segurança deve ser utilizada a *Tag* passiva modelo B-20070 / C-20055 resistente à interferência de estruturas metálicas e intempéries sobre o funcionamento da sua transmissão de dados (Quadro 4.6). Este modelo passivo não é dotado de fonte de energia próprio, suas funções são ativadas quando a *Tag* ingressa no campo de trabalho do leitor e inicia a comunicação por ondas eletromagnéticas. Para o reconhecimento das *Tags*, será utilizado o leitor RFID móvel modelo UHF 900 BT (Quadro 4.6). Este é um equipamento leve, de grande mobilidade e opera na faixa de frequência entre 800 – 960 MHz. O acesso ao seu banco de dados interno pode ser feito via

bluetooth ou cabo de transmissão de dados. A função operacional de cada equipamento é descrita no protocolo de ensaio descrito neste capítulo.

Quadro 4.6. Equipamentos RFID utilizados na Etapa 2

EQUIPAMENTO	MARCA	MODELO	DESCRIÇÃO	IMAGEM
Leitor RFID móvel	Acura Global	UHF 900 BT	Frequência: 800 – 960 MHz Temp. utilização: -20° a 50° C Peso: 170 g Dimensão: 14,8 x 5,1 x 3,0 cm Interface: Bluetooth 2.0 EDR / USB 1.1 / UART 3,3V / 3-fios	
Tag passiva RFID	IF RFID	B – 20070/C-20055	Frequency: 915 MHz Memory: 128 bit EPCode Dimension: 140 x 31 mm	
Tablet	Tecnopia	T10Q10	Screen 10” Memory 8 GB	

Fonte: Autor, 2017

Novamente, os testes foram divididos em duas fases. A primeira fase foi conduzida em um ambiente laboratorial com o propósito de desenvolver, avaliar e validar os procedimentos e o funcionamento do sistema de coleta e processamento dos dados. A partir da formatação dos procedimentos e da validação do funcionamento do sistema, iniciou-se a segunda fase, que consistiu na realização de testes em um canteiro de obras real e em operação, reproduzindo toda a rotina de ensaio estabelecida no laboratório.

Na primeira fase, os testes de laboratório simularam a identificação de um equipamento de segurança caracterizado pelo protótipo metálico de uma treliça de suporte para bandeja secundária fabricada em escala reduzida (1:200), dotado de uma *Tag* previamente cadastrada. As leituras ocorreram com a aproximação do leitor RFID sobre a *Tag* até que um sinal sonoro fosse emitido pelo leitor, indicando, assim, o sucesso da leitura. Esta operação deveria ser repetida seis vezes, a fim de verificar a funcionalidade do procedimento. Os testes de validação consistiam em repetir os testes de aproximação com outras seis repetições de reconhecimento. Esperava-se com este teste identificar variações nas leituras que pudessem invalidar o funcionamento do conjunto. Para esta fase, todos os

dados obtidos durante as leituras foram anotados em uma planilha de controle de ensaio. O desenvolvimento do *software* responsável por controlar, armazenar e organizar os dados dos testes deveria ser desenvolvido ao longo desta etapa e utilizou as informações obtidas durante os testes para a construção de sua arquitetura e estrutura lógica. Nesta fase, os resultados deveriam ser coletados conforme a orientação da planilha de ensaio apresentada na Figura 4.17.

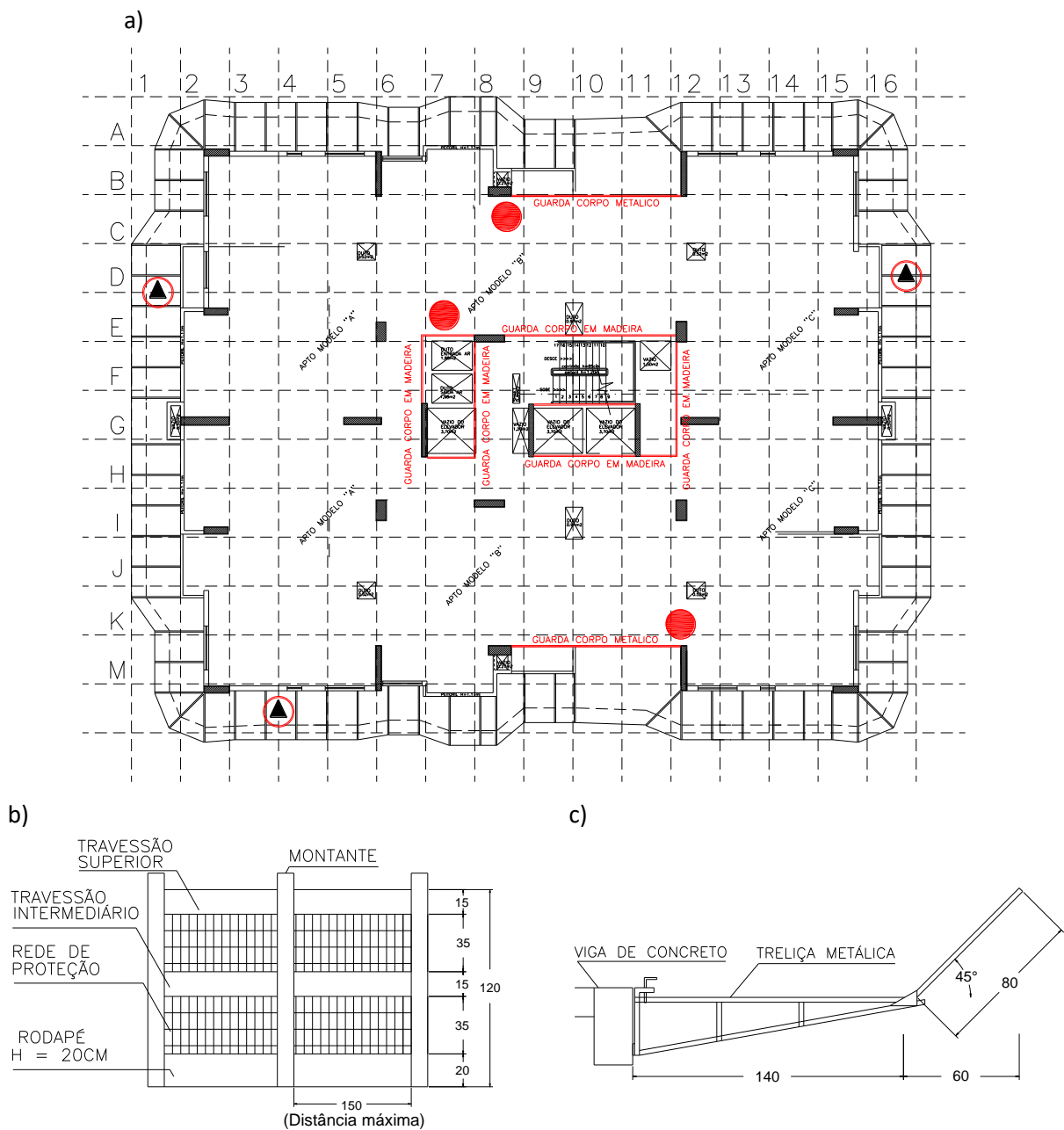
Figura 4.17. - Planilha de ensaio – Laboratório – Monitoramento e controle de equipamentos

GESTÃO DE EQUIPAMENTOS								
		UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar)						
		PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL						
PLANILHA DE ENSAIO								
TESTE CAMPO	ETAPA 02		COLETA DE DADOS PARA GESTÃO DE EQUIPAMENTOS					
PESQUISADOR: Victor Hugo Mazon de Oliveira								
COLABORADOR 1:		FUNÇÃO:		EMPRESA:				
COLABORADOR 2:		FUNÇÃO:		EMPRESA:				
COLABORADOR 3:		FUNÇÃO:		EMPRESA:				
COLABORADOR 4:		FUNÇÃO:		EMPRESA:				
OBRA:					CIDADE:			
DATA:								
TIPO DE LEITOR:								
TIPO DE TAG:								
CLIMA:	SOL		NUBLADO		CHUVA			
Nº	EQUIPAMENTO	FUNÇÃO	LOCALIZAÇÃO (QUADRANTE)	MARCA	* ESTADO DE CONSERVAÇÃO	PRÓXIMA REVISÃO	REPOSNÁVEL	OBSERVAÇÕES
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
* ESTADO DE CONSERVAÇÃO: BOM / MEDIO / RUIM								
_____ Responsável								

Fonte: Autor, 2016

A utilização de equipamentos de segurança pode ocorrer ao longo de todo o canteiro, por isso, para os testes de campo, as leituras deveriam ser realizadas em diversos pontos do pavimento. O pavimento determinado para os testes foi o 13º pavimento do edifício residencial multifamiliar “Concept Design”, como já descrito neste capítulo, e o projeto da distribuição das bandejas e dos GcRs deste andar podem ser observados na Figura 4.18. Para garantir a mobilidade da coleta de dados, a conexão sem fio via *bluetooth* entre o leitor RFID e o *tablet* responsável por armazenar provisoriamente os registros deveriam ser novamente utilizados como na Etapa 1.

Figura 4.18 – Planta baixa do 13º pavimento – Pavimento de testes



Fonte: Autor, 2017

Seis etiquetas passivas deveriam ser previamente cadastradas e instaladas nos equipamentos de proteção coletiva em diferentes pontos do canteiro. Dentre os equipamentos monitorados estavam os sistemas GcR em madeira e metálico – Círculo vermelho e Bandeja de proteção contra quedas – Triângulo preto (Figura 4.18).

4.4.1. Protocolo de ensaio – “Sistema de controle e monitoramento de equip. de segurança”.

O objetivo desse protocolo foi definir a sequência das ações para a execução dos testes de campo conforme descrição apresentada no Quadro 4.7.

Importante enfatizar que os dados a serem armazenados podem variar de acordo com a necessidade de cada processo. Os dados escolhidos para este estudo são demonstrativos e buscam validar as propostas aqui estabelecidas.

O procedimento de leitura adotado para a etapa do canteiro de obras deveria ser igual ao da fase de laboratório, com a aproximação do leitor sobre a *Tag* instalada no equipamento de proteção. Entretanto, para os testes de campo, os dados deveriam ser coletados com o apoio do *software* desenvolvido pelo estudo. Nesta etapa, além do êxito nas leituras, o correto funcionamento das funções do *software* também deveria ser avaliado.

Quadro 4.7. Protocolo de teste – Monitoramento e controle de equipamentos de segurança

ITEM	AÇÃO	DESCRIÇÃO	NOTA
Passo 1	Delimitação da área teste.	Definir como área teste o pavimento tipo de um edifício em execução.	Figura 4.4
Passo 2	Posição do leitor RFID	Leitor RFID móvel, manuseado pelo pesquisador com possibilidade de acessar a posição da <i>Tag</i> fixada nos equipamentos dentro do canteiro proposto.	Quadro 4.6
Passo 3	<i>Software</i> / Leitor	O equipamento de leitura RFID deve estar alimentado pelo <i>software</i> desenvolvido para o experimento e/ou conter interface de transferência de dados com o mesmo.	Quadro 4.6
Passo 4	<i>Tag</i>	Utilizar o modelo de <i>Tag</i> IF RFID B – 20070/C / 20055 conforme modelo identificado como adequado ao cenário. Cada equipamento deverá receber uma única <i>Tag</i> fixada em local que permita fácil leitura. A fixação da <i>Tag</i> deverá ser realizada com fita dupla face de alto desempenho, parafuso ou arame.	Quadro 4.6
Passo 5	Tomada de leitura	O colaborador/pesquisador deverá aproximar o leitor da <i>Tag</i> fixada no equipamento e efetuar leitura independente para cada aparato.	
Passo 6	Quantidade de leituras	Deverá ser coletada uma única leitura de cada equipamento. Deverão ser definidos seis equipamentos para representação do ensaio.	
Passo 7	Definição de localização	Para definir a localização dos equipamentos no canteiro, a planta deverá ser dividida em quadrantes com dimensões de 2 m x 2 m. Os quadrantes deverão ser nomeados com números no eixo de coordenadas da abscissa (x) e com letras no eixo de coordenadas da ordenada (y) formando uma matriz de coordenadas conforme modelo orientativo (Figura 4.19).	Figura 4.19
Passo 8	Coleta de dados	Os dados coletados pelo leitor deverão ser descarregados ou transferidos para equipamento de apoio alimentado pelo <i>software</i> desenvolvido. Este equipamento será responsável por produzir um croqui gráfico como um dos resultados propostos.	
8.1		Equipamento: Identificar o nome do equipamento.	
8.2		Função: Identificar a função do equipamento. No caso deste estudo, os equipamentos são previamente definidos como equipamentos de segurança.	
8.3		Localização (Quadrante): Identificar a localização do equipamento dentro da matriz de localização da planta.	
8.4		Marca: Identificar a marca do equipamento.	
8.5		Estado de conservação: Identificar o estado de conservação do equipamento. Para este estudo, são definidos três padrões: Bom / Médio / Ruim.	
8.6		Próxima revisão: Identificar a data prevista para a próxima revisão.	
8.7		Responsável: Identificar o responsável pelo equipamento. O responsável pode ser configurado por vários atores como: o responsável pela instalação do equipamento, o responsável pela segurança do trabalho, o funcionário que retirou o equipamento do almoxarifado da empresa, etc.	
Passo 9	Encerramento dos testes	O encerramento dos testes se dará após a realização das leituras. Em caso de interferências, a leitura deverá excluída e nova leitura deverá ser realizada na sequência.	
Passo 10	Compilação dos dados	Os dados deverão ser compilados após o encerramento dos testes com o auxílio do <i>software</i> “ Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID ”.	

Fonte: Autor, 2017

Figura 4.19 – Matriz de coordenadas para divisão da planta do canteiro – Localização

		2m	2m	2m	2m	2m	2m
		1	2	3	4	...	n
2m	A	1A	2A	3A	4A	...	nA
2m	B	1B	2B	3B	4B	...	nB
2m	C	1C	2C	3C	4C	...	nC
2m	D	1D	2D	3D	4D	...	nD
2m
2m	n	1n	2n	3n	4n	...	nn

Fonte: Autor, 2017

Para avaliar o funcionamento da função de identificação dos equipamentos, as três possíveis situações deveriam ser simuladas: presente, deslocado e ausente. Para a situação “presente”, a *Tag* deveria ser instalada em um equipamento posicionado no local correto do cadastro. Quando a leitura apresentasse a situação “deslocado”, significava que a *Tag* estava instalada em um local diferente do local do cadastro. Para a situação “ausente”, significava que nenhuma *Tag* estava instalada no equipamento analisado e que no cadastro inicial ou anterior constava como “presente”.

5. RESULTADOS

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento, através da concepção de um *software* de controle, pretende consolidar uma ferramenta de monitoramento remoto não intrusivo utilizando a tecnologia RFID passiva. Para isso, duas funções de trabalho distintas foram arquitetadas: definição de áreas de risco de queda e o controle e monitoramento de equipamentos de segurança nos canteiros de obra, conforme mencionado anteriormente. O objetivo principal do sistema é definir áreas de risco de queda e identificar e monitorar equipamentos de segurança previamente cadastrados em seu banco de dados.

Operacionalmente, a funcionalidade do dispositivo baseia-se em realizar iterações contínuas entre os dados previamente cadastrados e os dados obtidos com as leituras das *Tags* RFID. O produto de todas as interações permite que o sistema gere alertas sonoros, crie um banco de dados contínuo, cruze e compare dados com o arquivo, gere resultados numéricos, gere resultados gráficos e identifique objetos armazenados no banco de dados. Dessa maneira, a ferramenta localiza a posição de cada elemento conforme a demanda do operador. Além disso, as características e os dados de cada elemento são compilados em relatórios e imagens, facilitando o entendimento e a utilização da ferramenta.

Os resultados iniciais consistiram em conhecer e definir o modelo do leitor e da *Tag* mais eficientes para atender as demandas da proposta estabelecida por este estudo. Com a definição desses equipamentos, avançou-se para determinação da sua eficiência e do seu alcance. Esses parâmetros foram fundamentais para definir como se consolidaria o protocolo para os testes. Essas definições foram estabelecidas dentro da Etapa 1 e serão detalhadas no item 5.2 ao longo deste capítulo.

Assim que os equipamentos foram definidos e que as referências de funcionamento dos equipamentos foram conhecidas, observou-se que seria necessário desenvolver uma ferramenta computacional própria para atender às propostas estabelecidas.

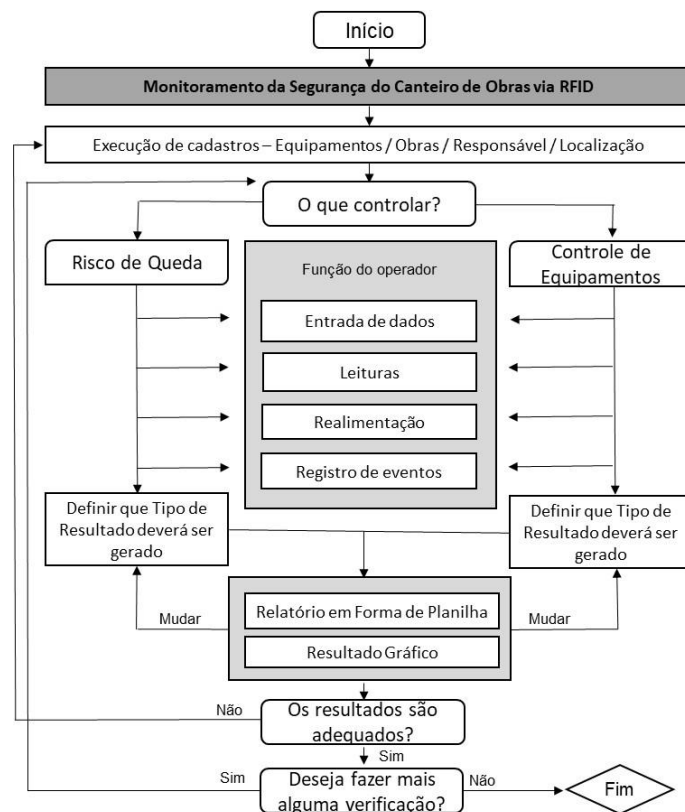
5.1. O SOFTWARE

Denominado “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID”, o *software* desenvolvido integrou a investigação e proposição de um novo método de controle e monitoramento voltado à saúde e segurança do trabalhador no canteiro de obras utilizando a tecnologia RFID.

O *software* possui duas funções. A função “Risco de Queda” tem o objetivo de controlar e monitorar áreas do canteiro de obras que ofereçam risco de queda aos trabalhadores. A função “Controle de Equipamentos” tem o objetivo de controlar e monitorar equipamentos de segurança instalados ao longo do canteiro para a proteção dos trabalhadores. A operação de cada função será detalhada ao longo deste capítulo.

A representação simplificada da arquitetura do *software* é ilustrada por um croqui esquemático conforme a Figura 5.1. Entretanto, este não é necessariamente um modelo definitivo por estar ainda numa fase de desenvolvimento. A operação e manipulação do sistema certamente identificará exigências de trabalho e lacunas no algoritmo que poderão ser apuradas em futuras pesquisas.

Figura 5.1 – Arquitetura do *Software* – “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID”



Fonte: Autor, 2018

A interface desenvolvida para o *software* torna a comunicação do operador acessível e de fácil entendimento. Buscou-se adaptar, para uso da ferramenta, às necessidades e características dos trabalhadores da construção civil. A programação visual disponibiliza as funções em forma de ícones organizados conforme a sequência lógica de utilização.

O *software* foi desenvolvido para as plataformas *Windows* e *Android*, permitindo, assim, a sua hospedagem em computadores que utilizam o sistema operacional *Windows* (Figura 5.2a) e *tablets* ou *smartphones* que utilizam o sistema operacional *Android* (Figura 5.2b). Para a utilização da plataforma *Android*, foi desenvolvido um aplicativo denominado Monitora RFID, aplicável em *tablets* ou *smartphones*.

Figura 5.2 – Interface do *software* para a plataforma *Windows* (a) e para a plataforma *Android* (B)



Fonte: Autor, 2017

Um dos desafios na implantação de novas tecnologias nos canteiros é tornar as ferramentas acessíveis aos trabalhadores. Esta barreira foi superada pela simplicidade operacional do sistema. Automatizar o registro e a análise de dados reduziu etapas no processo com consequente redução de tempo, custo e erros, sem criar dificuldades para um ambiente de trabalho que já se mostra de grande complexidade, como os canteiros de obra.

Os direitos sobre o desenvolvimento e uso deste *software* se reservam ao autor e ao Programa de Pós-Graduação sob regime de confidencialidade.

5.1.1. Detalhes da implantação do *Software*

Para iniciar a operação do *software* é necessário percorrer algumas etapas preparatórias. O primeiro passo é clicar duas vezes no ícone “AbrirServidor.bat”. Após esta etapa, aguardar que, na tela que irá abrir, apareça a mensagem “Servidor *UP*”. Minimizar a tela e, em uma tela independente, clicar no ícone “ControleDeObras” no computador. Aguardar o *software* abrir a tela inicial de trabalho para a interface *Windows*, conforme ilustrado na Figura 5.2. Todo o detalhamento da rotina operacional para a utilização do *software* está demonstrado no Manual do Usuário (Apêndice 1).

O primeiro passo para iniciar a operação do *software* é o cadastramento dos equipamentos de segurança utilizados no estudo. Cada equipamento de segurança recebeu uma *Tag* RFID passiva com um número de identificação exclusivo. Além disso, a faixa de frequência utilizada foi de 800 – 960 Mhz para os dois modelos de *Tag* utilizados: modelo B – 20070 / C – 20055 resistentes a interferências impostas por superfícies metálicas ou a ação de intempéries e o modelo adesivo utilizado para a identificação dos capacetes (Figura 5.3). Esta é uma fase importante, uma vez que o cadastramento dos dados é feito manualmente, passível, portanto, de falhas humanas.

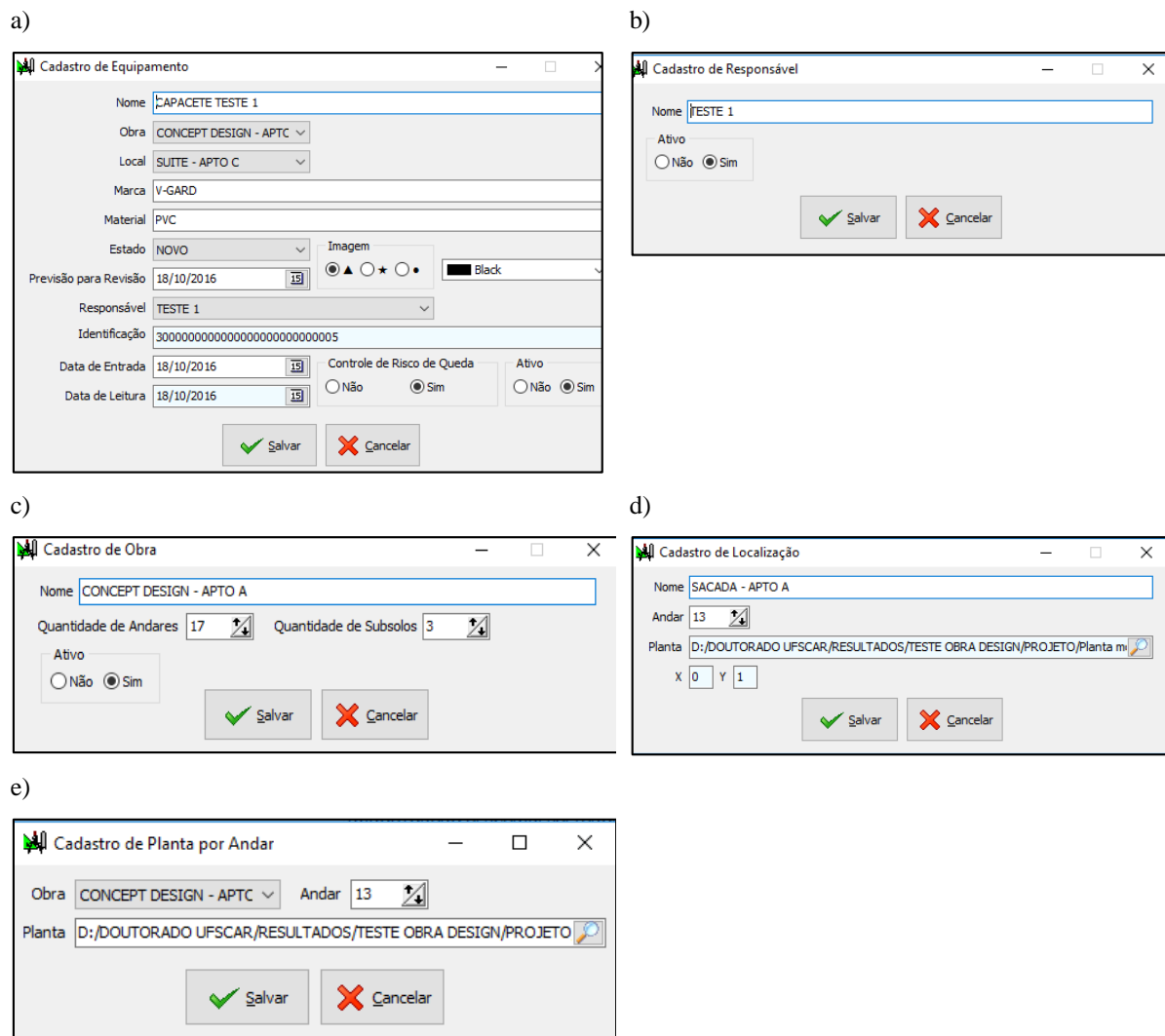
Figura 5.3 – *Tags* utilizadas para o cadastramento dos equipamentos monitorados



Fonte: Autor, 2017

A matriz operacional do sistema foi orientada por um banco de dados com as informações dos equipamentos e do local de operação. O conjunto de informações que compõe o banco de dados é único, no entanto, cada função do sistema acessa exclusivamente as informações que forem pertinentes ao seu funcionamento. Dentre as informações que formam o banco de dados estão os cadastros: dos equipamentos (Figura 5.4 a), do responsável pelo equipamento (Figura 5.4 b), informações da obra (Figura 5.4 c), informações da localização (Figura 5.4 d) e informações da planta (Figura 5.4 e).

Figura 5.4 – Exemplos dos campos de cadastramento do banco de dados



Fonte: Autor, 2017

Para o cadastramento, o *software* disponibiliza um conjunto de ícones de cadastro que expõe janelas para a inserção de todos os dados necessários para o funcionamento do *software*, conforme os exemplos da Figura 5.4.

As informações numéricas e de texto devem ser digitadas ou selecionadas no menu de opções de cada caixa de cadastro. O cadastramento das informações segue uma ordem pré-determinada que organiza e disponibiliza as informações inseridas para a próxima etapa do cadastro.

As imagens das plantas são inseridas no banco de dados através do *upload* do arquivo. Estes arquivos devem estar armazenados no computador onde o *software* está sendo utilizado. O formato dos arquivos de imagens deve ser [.bmp] para que o *software* o reconheça e permita o *upload*.

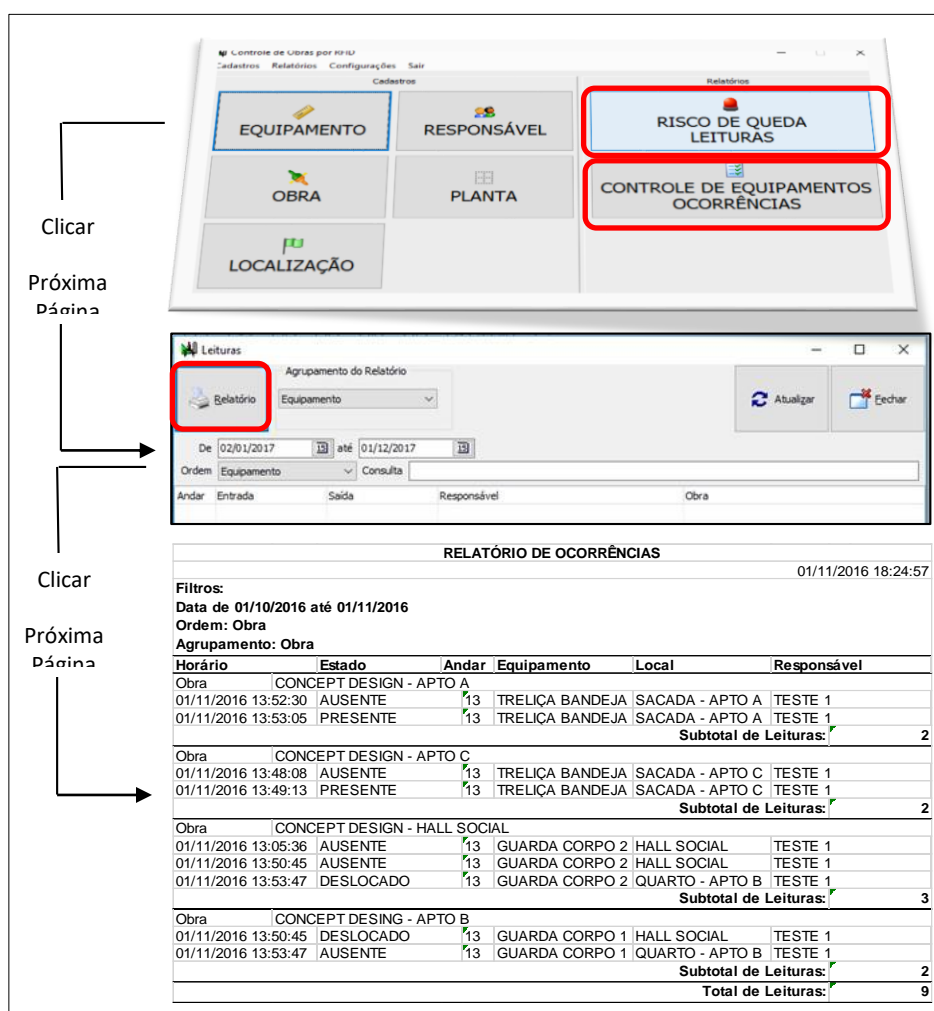
Através do registro dos eventos, o sistema cruza as informações previamente cadastradas e vincula essas informações ao novo conjunto de informações resultantes das novas leituras, mantendo, assim, o banco de dados continuamente atualizado.

O segundo passo consiste em estabelecer as conexões entre os equipamentos. Este processo divide-se em duas etapas. A primeira conexão ocorre para estabelecer a identificação da *Tag* pelo leitor RFID. Após reconhecer a *Tag*, o leitor comunica-se via *bluetooth* com um *tablet* ou *smartphone* alimentando o banco de dados do sistema nele instalado. A segunda conexão ocorre para transmitir as informações obtidas durante as leituras pelo *tablet* ou *smartphone* ao computador matriz. Esta conexão é feita quando os equipamentos são emparelhados em uma mesma rede e o endereço de IP do computador matriz é transferido ao *tablet* ou *smartphone*. A sincronização dos equipamentos atualiza o banco de dados matriz, produzindo, assim, novas interações.

Durante as configurações, o usuário pode, ainda, definir especificamente quais dados deseja obter através da formatação do menu de filtragem de dados. Assim, os resultados são organizados de forma que possam ser ordenados pelo tipo de equipamento, pelo local de aplicação, pela obra ou pelo responsável (operador).

Os resultados reproduzidos através de planilhas numéricas são obtidos pelo acesso aos ícones “Risco de Quedas Leituras” e “Controle de Equipamentos Ocorrências”. Estes dois ícones acessam as telas “Leituras” ou “Ocorrências”, onde o operador pode definir todos os filtros para o relatório final. Após definir o Agrupamento do Relatório, a Data, a Ordem e a Consulta, basta ao operador clicar no botão “Relatório”, que o *software* gerará automaticamente uma planilha com os dados referentes às definições feitas pelo operador. Um exemplo desta sequência operacional é exibido na Figura 5.5.

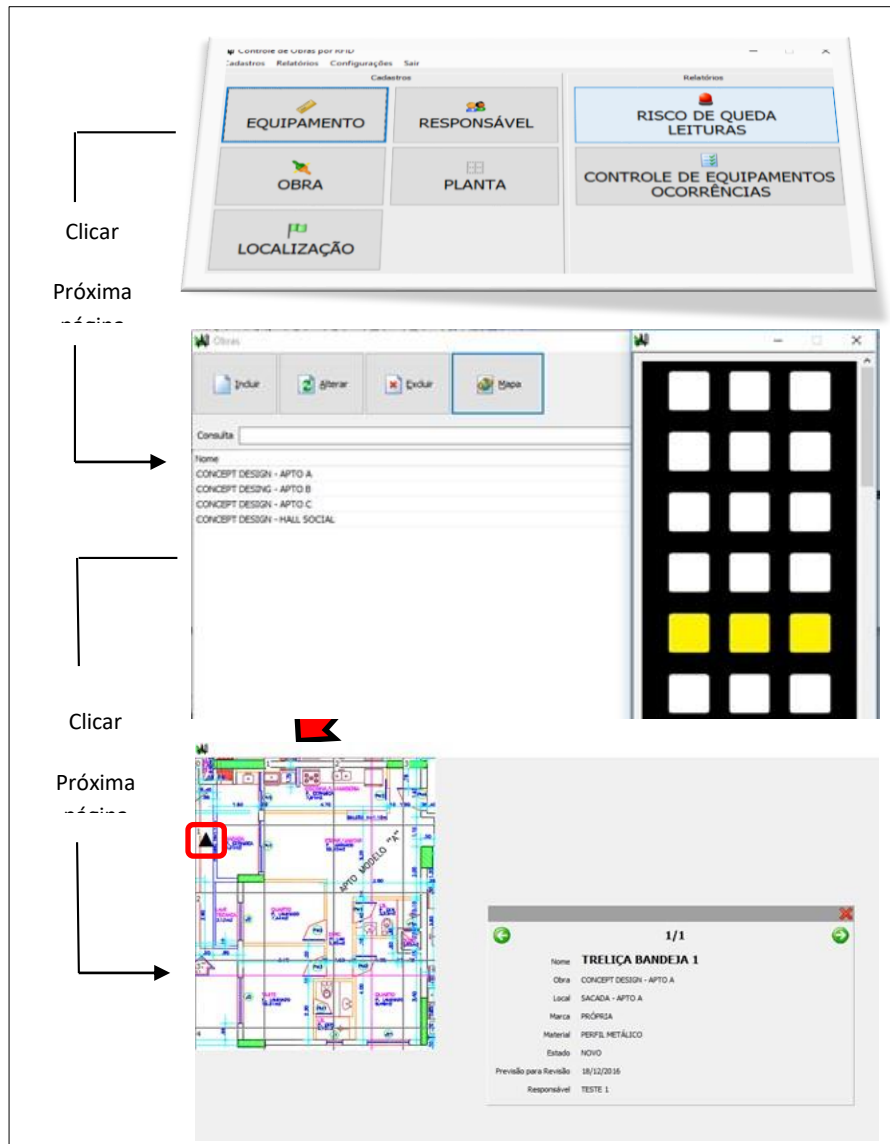
Figura 5.5 – Sequência operacional para a obtenção dos resultados em relatórios



Fonte: Autor, 2018

Para obter os resultados gráficos o acesso deve ser feito pelo ícone “Obra”. A próxima tela permite que o operador defina qual obra ele deseja acessar. Definida a obra, basta clicar no ícone “Mapa”. Na mesma tela aparecerá uma tela secundária com o desenho de uma edificação que contém a quantidade de andares pré-definida nas configurações para aquela obra. Os andares que contiverem equipamentos monitorados apareceram pintados de amarelo. O operador deve clicar no andar desejado e outra tela com uma planta daquele andar aparecerá. Este mapa contém símbolos que definem cada equipamento (triângulos, círculos, quadrados, etc.) conforme pré-definido nas configurações. Estes símbolos estarão localizados exatamente onde o equipamento se encontra no canteiro. Para ver todas as informações do equipamento contido na planta, basta ao operador clicar sobre o símbolo para que uma tela secundária apareça na lateral da planta mostrando os dados do equipamento. Esta sequência operacional é exibida no exemplo da Figura 5.6.

Figura 5.6 – Sequência operacional para a obtenção dos resultados gráficos



Fonte: Autor, 2018

5.2. ETAPA 1 – “DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE QUEDA”


Esta etapa do estudo propôs definir a metodologia de ensaios para a construção de um sistema destinado ao monitoramento remoto não intrusivo com a função de definir e monitorar áreas de risco de queda em canteiros de obras utilizando a tecnologia RFID.

Os ensaios dividiram-se em duas fases. Inicialmente a metodologia foi desenvolvida e testada em laboratório. Na segunda fase a metodologia e seus parâmetros foram reproduzidos para testes em um canteiro de obras. O mesmo canteiro de obras foi utilizado para os ensaios da Etapa 2.

5.2.1. Fase 1 – Testes em laboratório

Os ensaios foram realizados em 27/04/2016 com início às 14:00 horas e encerramento às 17:30 horas. O exemplo da Figura 5.7 apresenta uma das baterias de medições para o leitor fixo Intermec IF2 posicionado a 2,20 metros.

Figura 5.7 – Exemplo da Planilha de Ensaio – Leitor Intermec IF 2 - H= 2,20 metros

GESTÃO DE RISCO DE QUEDA				
		UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCar) PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL		
PLANILHA DE ENSAIO				
TESTE 01	ETAPA 1	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE TESTES		
PESQUISADOR: Victor Hugo Mazon de Oliveira				
COLABORADOR 1:	PEDRO CASTRO	INS TITUIÇÃO:	AUTOMAÇÃO MARINGÁ	
COLABORADOR 2:	WAGNER POLONIO	INS TITUIÇÃO:	AUTOMAÇÃO MARINGÁ	
COLABORADOR 3:	GUILHERME QUEIROZ	INS TITUIÇÃO:	INST. ELÉTRO LUMENS	
LOCAL:	LABORATÓRIO P02	CIDADE:	MARINGÁ	
DATA:	27/04/2016	ALTURA DA ANTENA (M)		
TIPO DE LEITOR:	INTERMEC IF2	2,20		
TIPO DE TAG:	ADESIVA			
VELOC. CONS.:				
CLIMA:	<input type="checkbox"/> SOL	<input checked="" type="checkbox"/> NUBLADO	<input type="checkbox"/> CHUVA	
DIREÇÃO	LEITURA	MEDIDA (m)	HORÁRIO	OBSERVAÇÕES
Dir. 1	1	3,50	15:07	NORMAL
Dir. 1	2	3,00	14:14	NORMAL
Dir. 1	3	3,30	15:15	NORMAL
Dir. 1	4	3,30	15:16	NORMAL
Dir. 1	5	3,30	15:16	NORMAL
Dir. 1	6	3,30	15:17	NORMAL
Dir. 1	7	3,40	15:17	NORMAL
Dir. 1	8	3,30	15:17	NORMAL
Dir. 1	9	3,20	15:18	NORMAL
Dir. 1	10	3,00	15:18	NORMAL
MÉDIA		3,26		
Dir. 2	1	1,30	15:31	NORMAL
Dir. 2	2	1,40	15:32	NORMAL
Dir. 2	3	1,50	15:32	NORMAL
Dir. 2	4	1,50	15:33	NORMAL
Dir. 2	5	1,50	15:33	NORMAL
Dir. 2	6	1,40	15:34	NORMAL
Dir. 2	7	1,23	15:34	NORMAL
Dir. 2	8	1,50	15:35	NORMAL
Dir. 2	9	1,50	15:35	NORMAL
Dir. 2	10	1,50	15:35	NORMAL
MÉDIA		1,44		
Dir. 3	1	1,50	15:40	NORMAL
Dir. 3	2	1,60	15:40	NORMAL
Dir. 3	3	1,60	15:41	NORMAL
Dir. 3	4	1,40	15:41	NORMAL
Dir. 3	5	1,50	15:42	NORMAL
Dir. 3	6	1,50	15:43	NORMAL
Dir. 3	7	1,40	15:44	NORMAL
Dir. 3	8	1,50	15:47	PAUSA - TELEFONE CELULAR
Dir. 3	9	1,40	15:47	NORMAL
Dir. 3	10	1,40	15:48	NORMAL
MÉDIA		1,48		

Fonte: Autor, 2016

Os resultados das simulações demonstraram que os parâmetros investigados são função de uma série de variáveis que ocorrem voluntariamente durante as atividades de trabalho na construção. Constatou-se, também, que o comportamento dos equipamentos sofre

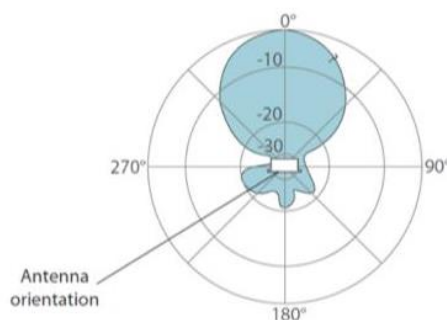
significativas variações em virtude da metodologia de aplicação dos mesmos, por isso, a importância de reproduzir com fidelidade o ambiente do canteiro.

A avaliação dos equipamentos indicou que a posição da *Tag* em relação ao leitor é determinante. Deve-se considerar que o crânio do trabalhador esteja posicionado entre a *Tag* e o leitor o que reduz a capacidade de leitura do sinal de rádio. No caso da *Tag* passiva adesiva, o tamanho da área de exposição do filamento metálico em relação ao leitor é diretamente relacionado à sua capacidade de transmissão de dados. Quanto maior a área metálica direcionada no raio de ação do leitor, melhor e mais abrangente é a leitura. Essas condições reafirmaram a necessidade da utilização de quatro *Tags*, cadastradas para um mesmo objeto, posicionadas em todas as faces do capacete. Este arranjo fez com que não houvesse interferência do crânio do trabalhador, independente da direção do seu trajeto.

Quanto ao leitor, os dois modelos testados operam na mesma faixa de frequência (800 – 960 MHz) com alcance de frequência muito próximos. Entretanto, o leitor modelo UHF 900 BT apresentou vantagens operacionais. Este equipamento destacou-se por ser um leitor móvel, com pequenas dimensões, baixo peso e conexão sem fio. Esses fatores o favorecem para uma amplitude maior de aplicações.

A posição do leitor foi diretamente equivalente ao seu desempenho. As especificações técnicas do leitor Intermec IF2 indicavam que a melhor área de leitura para o equipamento estava relacionada com a sua face frontal, formando um círculo com ângulo de leitura de aproximadamente 90° em relação ao centro do leitor (Figura 5.8). Os resultados confirmaram que ambos os leitores possuíam ângulos de leituras de aproximadamente 90° em relação ao centro da face frontal da antena, com pequenas variações dependendo do lado de aproximação, conforme os resultados das medições apresentadas na Tabela 5.1.

Figura 5.8 – Ângulo de leitura – Antena modelo Intermec IF2

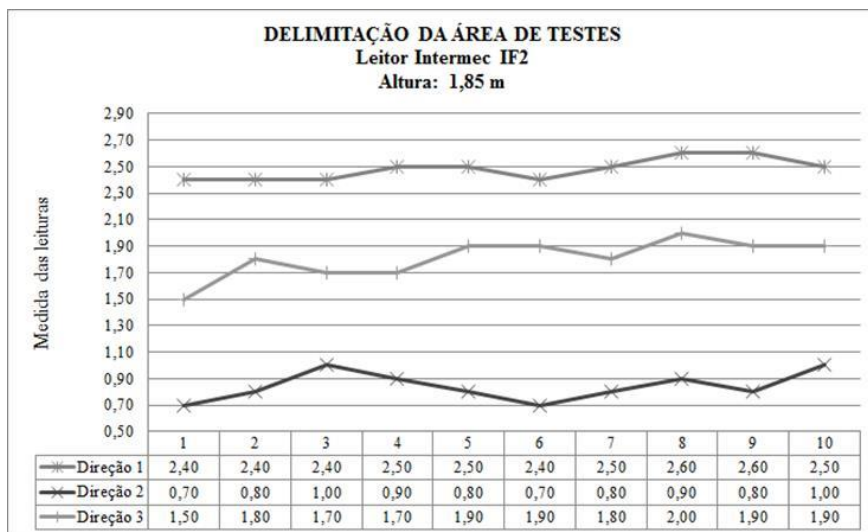
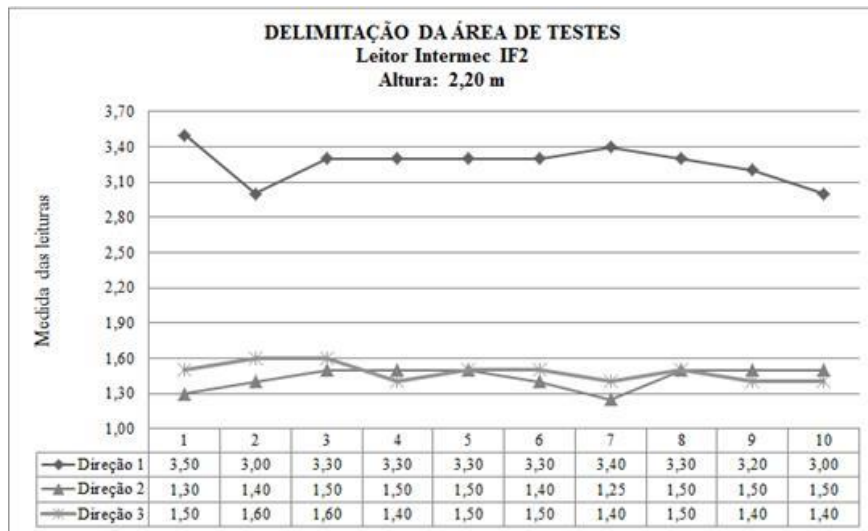


Fonte: Intermec, 2016

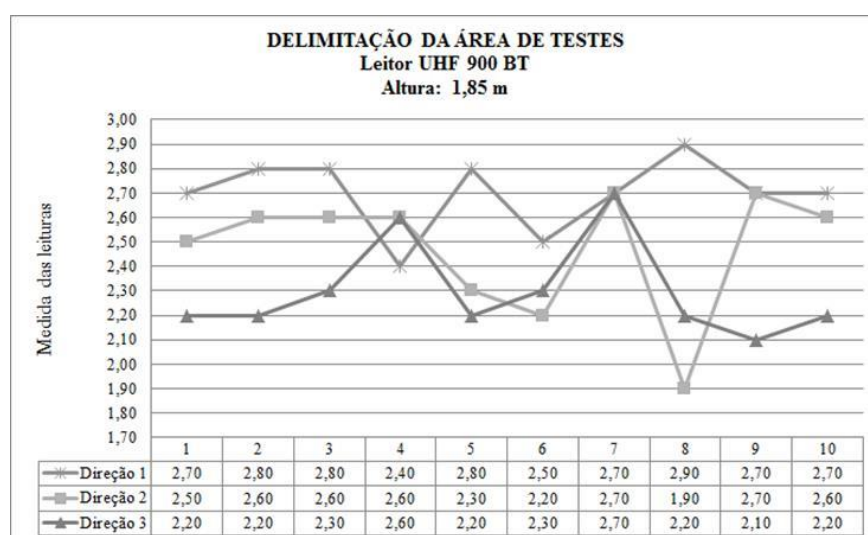
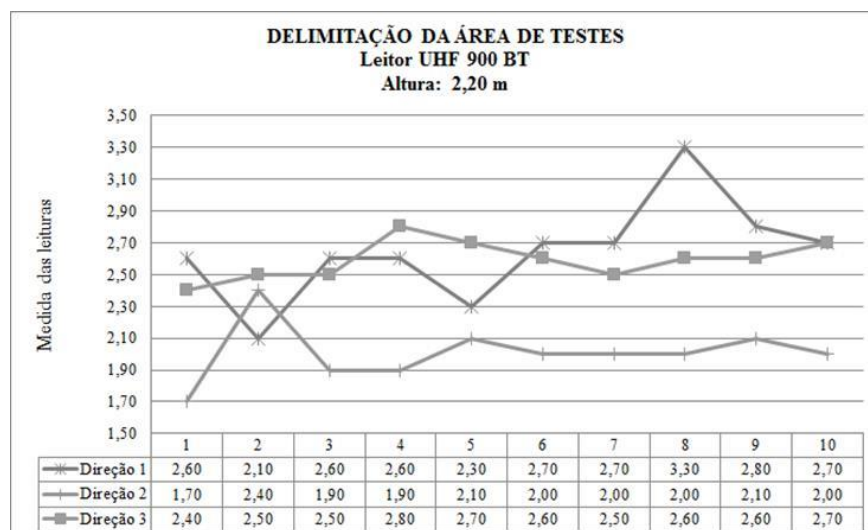
Os resultados em relação à altura do leitor apresentaram variações para ambos os leitores e para ambas as alturas. A extensão das variações percentuais obtidas com o leitor Intermec IF2 alcançaram 78,60%. Para o leitor UHF 900 BT a maior variação foi da ordem de 14,30% (Tabela 5.1). O ensaio contou com um conjunto de 120 medições e o detalhamento dos resultados obtidos com as leituras das distâncias “X” realizadas com o leitor Intermec IF2 posicionado nas alturas “H” 1,85 metro e 2,20 metros e com o leitor UHF 900BT também posicionado nas alturas “H” 1,85 metro e 2,20 metros são ilustrados nos gráficos de dispersão das Figuras 5.9a e 5.9b.

Figura 5.9 – Medições realizadas com o Leitor Intermec IF2 (a) – Medições realizadas com o Leitor UHF 900 BT (b)

a) Intermec IF2



b) UHF 900BT



Fonte: Autor, 2016

A variação nos resultados exigiu um exame comparativo entre todas as leituras. Para este exercício, adotou-se uma metodologia de pontuação por graduação. A graduação inicia-se em 3 para a maior leitura, segue para 2 para a segunda maior leitura, 1 para a terceira maior leitura e 0 (zero) para a pior leitura. Uma escala de cores complementa o formato da ordenação, atribuindo a cor verde para a maior leitura, laranja para a segunda maior leitura, amarelo para a terceira maior leitura e vermelho para a pior leitura, conforme a Tabela 5.1.

A análise comparativa mostrou que o leitor Intermec IF2 obteve desempenho inferior para ambas as alturas testadas. O sistema de pontuação sobre os dados obtidos resultou em valor máximo de 8 (oito) pontos para a altura de leitura de 2,20 metros e um desempenho ainda pior com uma contagem de 4 (quatro) pontos a 1,85 metro de altura (Tabela 5.1). Por outro lado, houve um equilíbrio entre os resultados obtidos para o leitor UHF 900 BT em ambas

as alturas. Para melhor ilustrar esta análise, os resultados do leitor UHF 900BT foram isolados na Tabela 5.2, revelando um empate na pontuação.

Tabela 5.1. Tabela do resumo das leituras máximas e mínimas obtidas para cada leitor e para cada altura de leitura(.)

ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS					
DIREÇÃO DE LEITURAS		INTERMEC IF2	UHF 900BT	INTERMEC IF2	UHF 900BT
		H = 2,20M	H=2,20M	H=1,85M	H=1,85M
DIREÇÃO 1	MÁXIMO	3,50	3,30	2,60	2,90
	MÍNIMO	3,00	2,10	2,40	2,40
DIREÇÃO 2	MÁXIMO	1,50	2,40	1,00	2,70
	MÍNIMO	1,25	1,70	0,70	1,90
DIREÇÃO 3	MÁXIMO	1,60	2,80	2,0	2,70
	MÍNIMO	1,40	2,40	1,50	2,10
TOTAL		8	13	4	13

Legenda

3	2	1	0
1º Maior leitura	2ª Maior leitura	3º Maior leitura	Pior leitura

Fonte: Autor, 2016

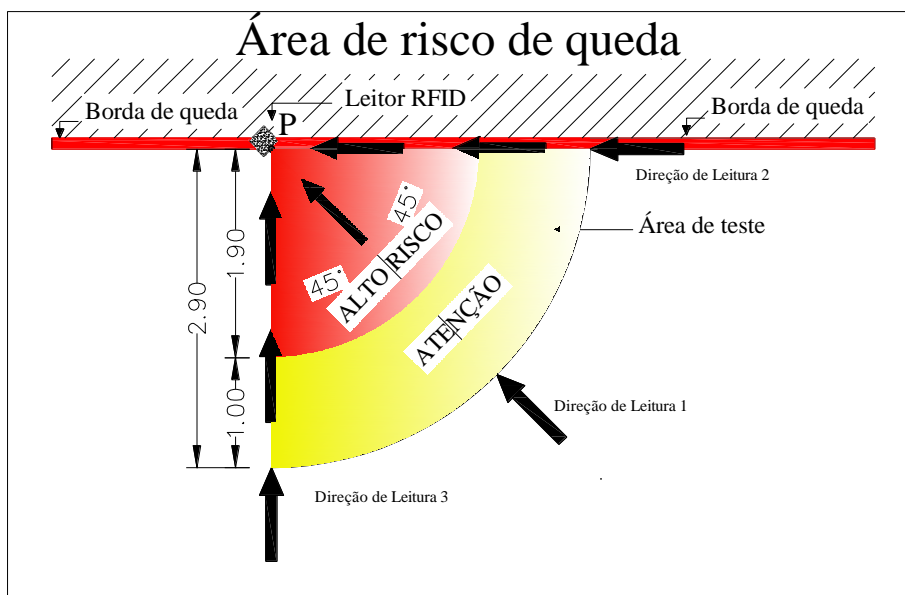
Tabela 5.2. Tabela de resumo das leituras obtidas para o leitor UHF 900 BT

ANÁLISE COMPARATIVA – LEITURA UHF 900BT			
DIREÇÃO DE LEITURA		UHF 900BT	UHF 900BT
		H = 2,20m	H = 1,85m
DIREÇÃO 1	MÁXIMO	3,30	2,90
	MÍNIMO	2,10	2,40
DIREÇÃO 2	MÁXIMO	2,40	2,70
	MÍNIMO	1,70	1,90
DIREÇÃO 3	MÁXIMO	2,80	2,70
	MÍNIMO	2,40	2,10
TOTAL		13	13

Fonte: Autor, 2016

Diante da igualdade na pontuação entre as leituras realizadas pelo leitor UHF 900 BT, o critério adotado para a definição da melhor altura considerou a maior leitura entre as leituras mínimas. Assim, o melhor resultado deste ensaio foi obtido pelo leitor UHF 900 BT posicionado a 1,85 metro de altura (Tabela 5.2). A partir desse resultado, definiram-se os dois parâmetros que serão reproduzidos para todas as próximas fases e etapas do ensaio: o tipo de leitor (UHF 900BT) e a altura de medição (1,85 m).

Figura 5.11 – Área de risco de queda resultante do ensaio de aproximação



Fonte: Autor, 2016

5.2.1.1. Validação das dimensões obtidas na delimitação da área de risco de queda

Com os parâmetros obtidos com os resultados do ensaio de Delimitação da área de risco de queda, conforme item 5.2.1.1, iniciou-se a etapa seguinte, com o objetivo de definir a metodologia para validar os resultados previamente atingidos. O cenário da Figura 5.12 ilustra a área de testes projetada para esta fase. Comparativamente, o *layout* da área teste seguiu a geometria triangular resultante descrita pela Figura 5.11.

Com base no resultado da análise comparativa dos leitores, adotou-se para a sequência dos testes o leitor UHF 900BT móvel posicionado a 1,85 metro. Os ensaios foram realizados em 25/05/2016 com início às 14:00 horas e encerramento às 16:30 horas.

Figura 5.12 – Área de ensaios no Laboratório P02 – teste de validação

a)



b)



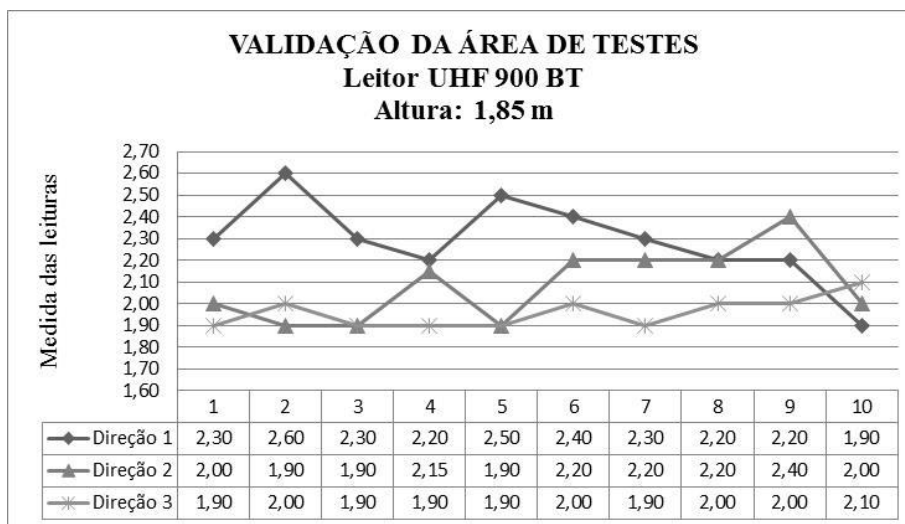
Fonte: Autor, 2016

A distância mínima obtida no ensaio de Delimitação da área de risco foi de 1,90 metro, definindo, assim, a área denominada como “Alto Risco” de queda. Os testes de validação realizaram 30 testes de aproximação com 10 aproximações por direção de tráfego. Os resultados confirmaram a distância mínima previamente estabelecida. Em nenhuma das três direções de aproximação houve leitura inferior a 1,90 metro e 30% das leituras ocorreram exatamente sobre esta marca.

A máxima distância obtida com o teste de validação foi 2,60 metros (Figura 5.13). Esta medida é 30 centímetros inferior à maior distância (2,90 metros) alcançada no ensaio de

delimitação. Esta variação manteve-se dentro da área de tolerância de 1 metro denominada de “Atenção”. Esta confirmação dimensional mostra que o método de simulação para aproximações de trabalhadores utilizando capacetes dotados de *Tags* RFID passivas exerceu a função esperada, ao confirmar a capacidade de leitura do equipamento para alertar o ingresso em áreas de risco de queda.

Figura 5.13 – Gráfico de dispersão para as dimensões de validação da área de risco de queda



Fonte: Autor, 2016

Os resultados dos ensaios em laboratório mostraram que a metodologia desenvolvida para investigar a funcionalidade da tecnologia RFID como equipamento de segurança pode ser preparada para ser replicada em campo. Além disso, a severidade do ambiente do canteiro de obras irá gerar variáveis que não puderam ser reproduzidas no laboratório, tornando os resultados da fase de ensaios em campo determinantes para esta investigação.

5.2.2. Fase 2 – Testes de campo

O propósito da Fase 2 foi reproduzir em canteiro de obras os testes realizados na Fase 1 (ensaio de laboratório) por meio de interações reais.

A duração total dos ensaios em campo foi de 10 dias, dentre os quais 7 dias foram de medições efetivas. Foi estabelecido um período de 2 horas diárias para leituras válidas, com a programação estabelecida conforme o cronograma descrito pela Tabela 5.3.

Tabela 5.3. Cronograma dos ensaios em campo

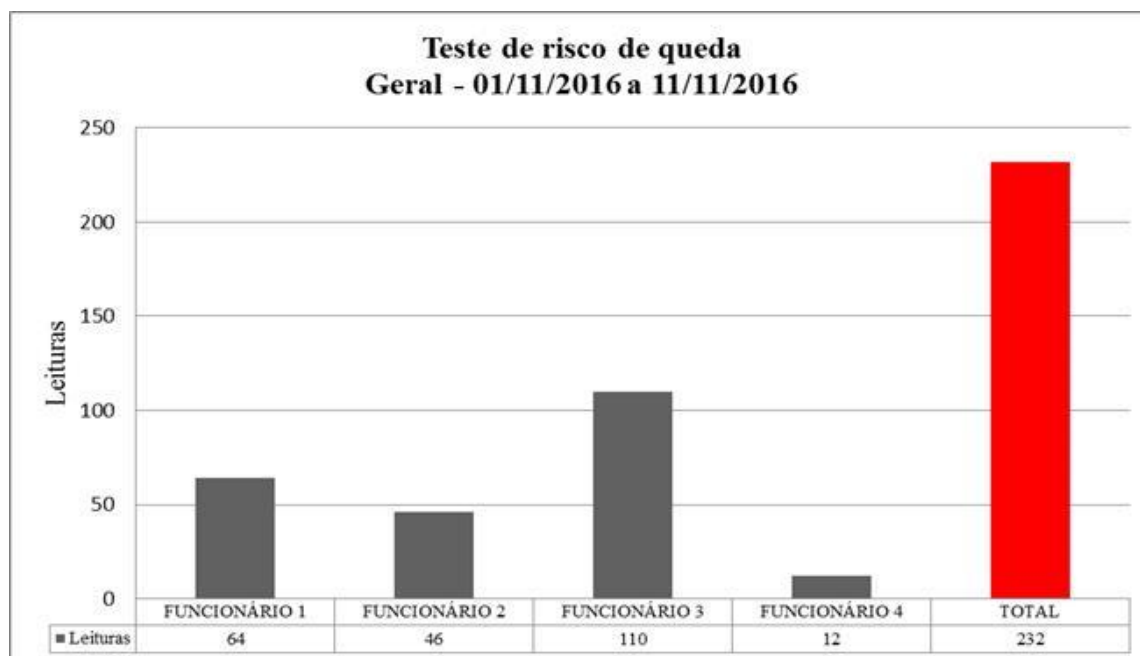
CRONOGRAMA DOS ENSAIOS EM CAMPO		
DATA	HORÁRIO	DESCRIÇÃO
28/10/2016	13:00 às 17:00 horas	MONTAGEM DO EQUIPAMENTO
29/10/2016	SEM ATIVIDADES	SÁBADO
30/10/2016	SEM ATIVIDADES	DOMINGO
31/10/2016	13:00 às 17:00 horas	MONTAGEM DO EQUIPAMENTO
01/11/2016	13:00 às 15:00 horas	1º DIA DE ENSAIO
02/11/2016	SEM ATIVIDADES	FERIADO - FINADOS
03/11/2016	SEM ATIVIDADES	INDISPONIBILIDADE DA EQUIPE
04/11/2016	14:00 às 16:00 horas	2º DIA DE ENSAIO
07/11/2016	15:00 às 17:00 horas	3º DIA DE ENSAIO
08/11/2016	15:00 às 17:00 horas	4º DIA DE ENSAIO
09/11/2016	15:00 às 17:00 horas	5º DIA DE ENSAIO
10/11/2016	13:00 às 15:00 horas	6º DIA DE ENSAIO
11/11/2016	14:00 às 16:00 horas	7º DIA DE ENSAIO
14/11/2016	13:00 às 17:00 horas	DESMONTAGEM DO EQUIPAMENTO

Fonte: Autor, 2016

Um total de 232 leituras foi realizado no decorrer dos 7 dias de medições, com um número de leituras diárias de: dia 1 – 30, dia 2 – 11, dia 3 – 7, dia 4 – 8, dia 5 – 8, dia 6 – 49, dia 7 – 119 (Figura 5.15). A variabilidade na quantidade de leituras ocorreu em função das atividades de trabalho na área onde foi instalado o equipamento, uma vez que os funcionários permaneceram executando suas atividades habituais durante o período de testes.

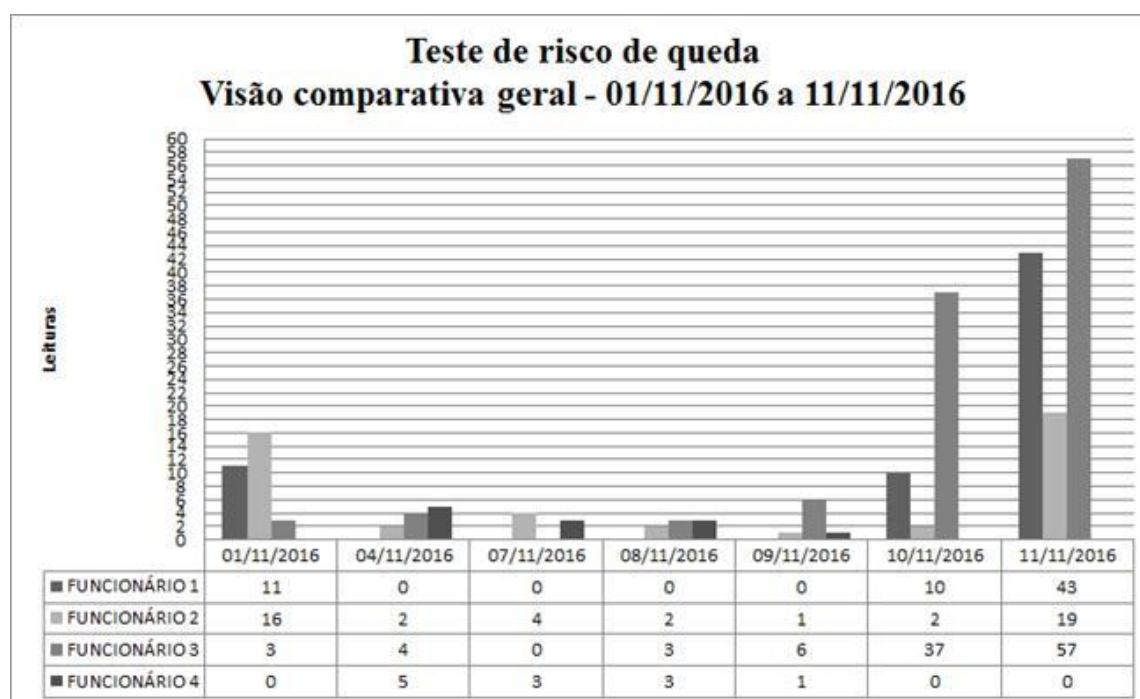
Comparativamente, o trabalhador identificado como “Funcionário 3” ingressou o maior número de vezes na área de risco de queda, totalizando 110 identificações. Por outro lado, o “Funcionário 4” ingressou o menor número de vezes e totalizou 12 identificações. Ao longo de todos os dias de testes, pelo menos um dos trabalhadores monitorados não foi identificado. Esta ocorrência aconteceu naturalmente em função da inexistência de atividades de trabalho a serem executadas por este determinado funcionário no local. Os gráficos das Figuras 5.14 e 5.15 mostram um panorama geral e comparativo das leituras por funcionário e por data de medição.

Figura 5.14 – Gráfico do número total de medições por funcionário



Fonte: Autor, 2016

Figura 5.15 – Gráfico comparativo por grupo de funcionários e por data de medição



Fonte: Autor, 2016

Um resultado importante desta fase do estudo foi a identificação das distâncias de leitura. Dentre as 232 medições realizadas, 46 identificações foram feitas dentro da área denominada “Alto Risco” a menos de 1,90 metro da borda de queda, o que representou 19,83% do total. Esta conclusão não correspondeu aos resultados de laboratório obtidos na fase de validação da área de risco de queda, em que as simulações indicavam que 100%

deveriam ocorrer com no mínimo 1,90 metro. Entretanto, mesmo que estas 46 identificações tenham ocorrido dentro da área de “Alto Risco”, a menor distância obtida foi de 1,65 metro, mantendo, assim, o funcionário a uma distância segura da borda de queda.

A efetividade das leituras confirmou que todas as aproximações foram identificadas pelo leitor RFID e em todas as identificações o aviso sonoro foi ativado instantaneamente. Por outro lado, observou-se que o vento foi um fator determinante e de grande influência. Quanto maior era a incidência do vento, maior era a dificuldade do equipamento de alcançar maiores distâncias e maior era a dificuldade do funcionário de ouvir o aviso sonoro do equipamento.

5.3. ETAPA 2 – “SISTEMA DE CONTROLE E MONITORAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA”

Esta etapa do estudo propôs definir a metodologia para a construção de um sistema de monitoramento e controle não intrusivo de equipamentos de segurança utilizando a tecnologia RFID. O sistema destinou-se a determinar e controlar a localização dos equipamentos distribuídos no canteiro. Além disso, descreveu suas características e informações técnicas.

Os ensaios foram realizados no 13º pavimento do canteiro de obras do condomínio residencial *Concept Design*, mesmo local da Etapa 1. Os equipamentos utilizados foram o Leitor UHF 900 BT móvel, *Tags* passivas com proteção contra intempéries (Figura 5.16) e um *Tablet* de apoio para a coleta dos dados.

Figura 5.16 – *Tag* RFID instalada em sistema Guarda-Corpo Rodapé (GcR) no canteiro de obras

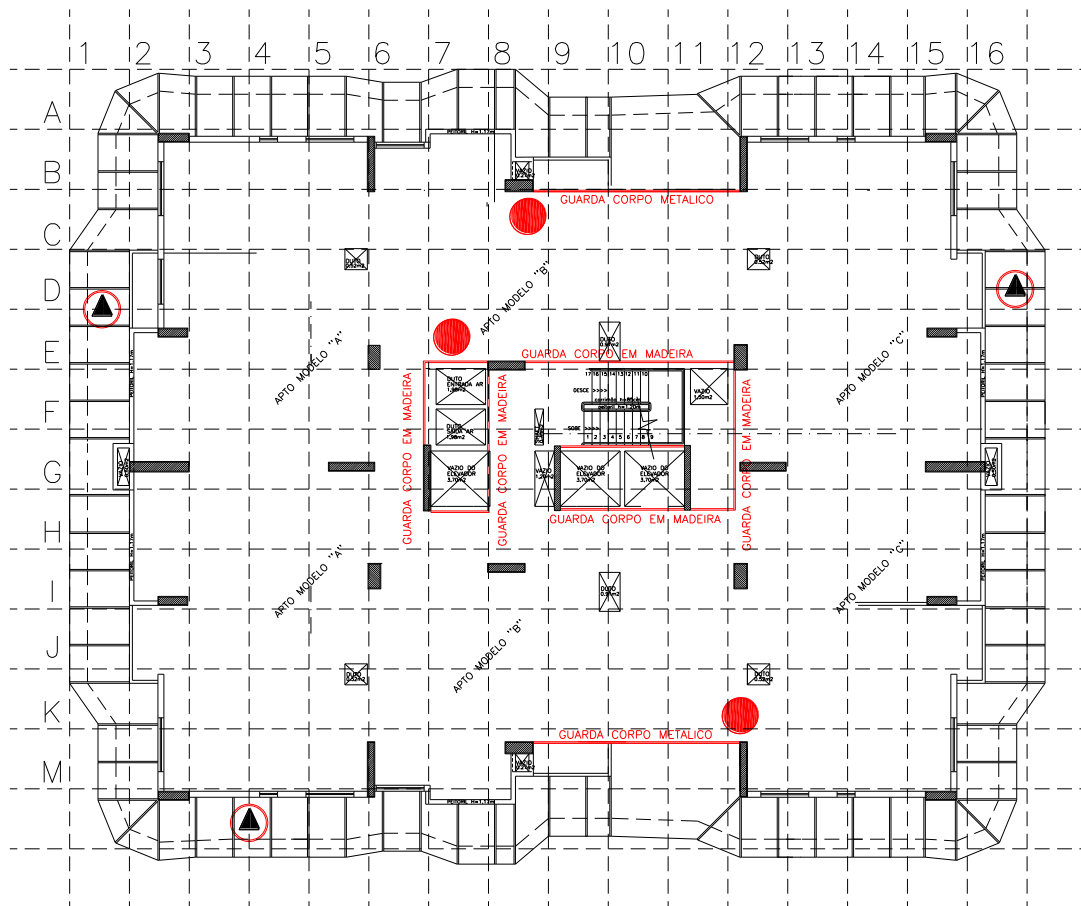


Fonte: Autor, 2016

Para o ensaio, foram identificados os seguintes equipamentos de segurança coletiva: GcR 1, GcR 2 (Círculo vermelho), treliça da bandeja 1 e treliça da bandeja 2 (Triângulo preto). A posição dos equipamentos monitorados pela pesquisa é indicada na planta baixa do

pavimento conforme exposto pela Figura 5.17. As *Tags* foram instaladas em local de fácil acesso para possibilitar que a sua instalação e leitura fossem feitas sem risco para o pesquisador. A fixação das *Tags* foi feita com fita dupla face e reforçada com pontos de arame recozido.

Figura 5.17 – Planta baixa do pavimento de teste indicando a posição dos equipamentos de segurança coletiva monitorados



Fonte: Autor, 2016

As *Tags* passivas foram previamente cadastradas no sistema e instaladas nos equipamentos de proteção coletiva em diferentes áreas do canteiro. Para verificar o correto funcionamento da função de identificação dos equipamentos, as três possíveis situações foram simuladas: presente (cor verde), deslocado (cor laranja) e ausente (cor vermelha). Para a situação “presente”, a *Tag* foi instalada em um equipamento instalado no local correto do cadastro. Para a situação “deslocado”, a *Tag* foi instalada em um local diferente do local do cadastro. Para a situação “ausente” nenhuma *Tag* foi instalada em um equipamento que no cadastro inicial constava como “presente”.

O programa foi capaz de localizar cada elemento cadastrado indicando se o mesmo se encontrava no local correto (lido - verde), no local incorreto (laranja) ou ausente (não lido - vermelho), de acordo com a Figura 5.18. As leituras realizadas com o *tablet* são assim transferidas ao computador matriz quando emparelhados em rede e utilizando o mesmo endereço de IP. A sincronização dos equipamentos atualiza o banco de dados do sistema continuamente, com consequente atualização da sua localização em planta.

Um total de nove leituras foi realizado. Todas as três possibilidades de *status* foram testadas e em todas as leituras o funcionamento do sistema ocorreu como o previsto. As leituras indicaram dois equipamentos presentes, dois equipamentos deslocados e cinco equipamentos ausentes. Essas respostas corresponderam exatamente ao cenário preparado para o teste (Figura 5.18).

Figura 5.18 – Leitura das *Tags* instaladas nos equipamentos GcR e Treliza metálica no canteiro de obras

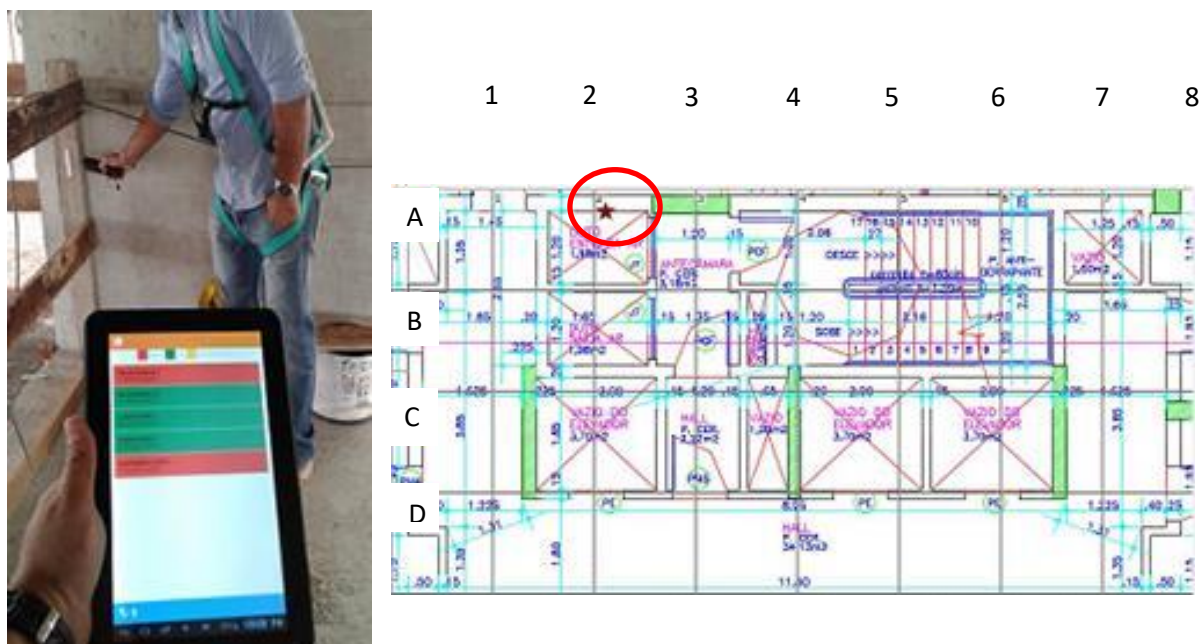


Fonte: Autor, 2016

O exemplo da Figura 5.19 mostrou que, para definir a localização dos equipamentos, o *software* subdivide a planta do canteiro em quadrantes com dimensões configuradas de dois em dois metros (2 m x 2 m). Esta subdivisão é flexível, caso haja necessidade de maior ou menor precisão, basta alterar a configuração que ajusta a subdivisão dos quadrantes para mais ou para menos. Os quadrantes são nomeados com números no eixo de coordenadas (x) e com letras no eixo de coordenadas (y), formando uma matriz de coordenadas. Desse modo, a localização do equipamento caracterizado pela estrela vermelha pode ser descrita, por exemplo:

- Nome: Guarda-Corpo Rodapé;
- Localização: Vazio elevador – 13º Pavimento;
- Posição 3A.

Figura 5.19 – Interface de leitura para o *software* em um sistema operacional *Android* e localização do equipamento através de uma representação em planta



Fonte: Autor, 2016

Outro recurso do sistema detalhou com maior profundidade a descrição do equipamento. Este recurso descreveu, além da localização, as características dos equipamentos. A Figura 5.20 exibe um exemplo do resultado gráfico proposto pelo sistema. Neste exemplo, o equipamento “Trelça Bandeja 2”, legendado pelo símbolo triângulo preto, estava sendo utilizado na obra *Concept Design – Apto C*; localizado na sacada do apartamento C; a marca do equipamento é própria, ou seja, a própria empresa o fabricou; o material de

fabricação é o perfil metálico; o estado de conservação é novo; a previsão para a próxima revisão ou manutenção é 18/12/2016; e o responsável pelo equipamento é o funcionário “Teste 1”.

Figura 5.20 – Resultado gráfico da identificação, descrição e localização de um equipamento instalado no canteiro



Fonte: Autor, 2016

Para que esta função do sistema seja utilizada, basta que o operador clique sobre o símbolo que representa o equipamento, para que a janela de informações apareça na tela do computador. A quantidade de equipamentos que podem ser cadastrados é ilimitada. Desta maneira, o operador pode monitorar todo o canteiro de obras por meio de um único terminal localizado no escritório de obra, por exemplo, sem precisar acessar efetivamente o interior do canteiro. A atualização do banco de dados deve ser realizada conforme a dinâmica operacional dos serviços. Cabe ao gestor da obra estabelecer os critérios de utilização conforme sua experiência e as necessidades da obra.

A Figura 5.21 apresenta mais um recurso do sistema. Todas as informações contidas no banco de dados do programa são disponibilizadas como planilhas de relatório. Neste exemplo o relatório descreve: quais são os filtros utilizados para delimitar as informações, disponibiliza as datas de leitura, os tipos de equipamentos e todas as demais informações relevantes ao relatório solicitado.

Figura 5.21 – Relatório gráfico de um conjunto de leituras e informações do banco de dados

RELATÓRIO DE OCORRÊNCIAS					
					01/11/2016 18:24:57
Filtros:					
Data de 01/10/2016 até 01/11/2016					
Ordem: Obra					
Agrupamento: Obra					
Horário	Estado	Andar	Equipamento	Local	Responsável
Obra: CONCEPT DESIGN - APTO A					
01/11/2016 13:52:30	AUSENTE	13	TRELIÇA BANDEJA	SACADA - APTO A	TESTE 1
01/11/2016 13:53:05	PRESENTE	13	TRELIÇA BANDEJA	SACADA - APTO A	TESTE 1
Subtotal de Leituras:					2
Obra: CONCEPT DESIGN - APTO C					
01/11/2016 13:48:08	AUSENTE	13	TRELIÇA BANDEJA	SACADA - APTO C	TESTE 1
01/11/2016 13:49:13	PRESENTE	13	TRELIÇA BANDEJA	SACADA - APTO C	TESTE 1
Subtotal de Leituras:					2
Obra: CONCEPT DESIGN - HALL SOCIAL					
01/11/2016 13:05:36	AUSENTE	13	GUARDA CORPO 2	HALL SOCIAL	TESTE 1
01/11/2016 13:50:45	AUSENTE	13	GUARDA CORPO 2	HALL SOCIAL	TESTE 1
01/11/2016 13:53:47	DESLOCADO	13	GUARDA CORPO 2	QUARTO - APTO B	TESTE 1
Subtotal de Leituras:					3
Obra: CONCEPT DESING - APTO B					
01/11/2016 13:50:45	DESLOCADO	13	GUARDA CORPO 1	HALL SOCIAL	TESTE 1
01/11/2016 13:53:47	AUSENTE	13	GUARDA CORPO 1	QUARTO - APTO B	TESTE 1
Subtotal de Leituras:					2
Total de Leituras:					9

Fonte: Autor, 2016

Esta ferramenta permitiu uma visão analítica global de todas as ocorrências cumpridas pelo programa. Os relatórios são arquivos editáveis e que podem ser gerados com extensões xls, txt ou pdf, permitido que alterações ou melhorias de *lay out* possam ser executadas.

Como indicado no relatório da Figura 5.21, seis diferentes equipamentos de segurança coletiva instalados em três diferentes condições (presente, ausente, deslocado) integraram os testes. Em todas as leituras realizadas durante as simulações os resultados indicaram a correta condição do equipamento, conforme planejado no cadastro inicial proposto. Além da condição do equipamento, em 100% das leituras o sistema definiu e apresentou corretamente o conjunto de dados pertinente a cada equipamento. Os resultados demonstraram também que o modelo de *Tag* utilizado obteve êxito em seu funcionamento independente do material constituinte do equipamento monitorado (metal ou madeira).

O valor da criação de um banco de dados ficou evidente ao proporcionar que dados específicos fossem selecionados com uma variedade de opções extensa. Esta mobilidade de recursos, além de construir uma base histórica de informações, substituiu o registro manual realizado pelos trabalhadores. Automatizar o registro e a análise dos dados reduziu trabalho, tempo e falhas no processo. Além disso, gerou informações para a construção de índices de produção e desempenho para a empresa.

A simplicidade do recurso foi outro importante resultado. Um dos desafios na implantação de novas tecnologias nos canteiros é tornar as ferramentas acessíveis aos trabalhadores. Esta barreira foi superada pela simplicidade operacional do sistema. Automatizar o registro e análise de dados reduz etapas no processo com consequente redução de tempo, custo e erros, sem criar dificuldades para um ambiente de trabalho que já se mostra de grande complexidade como os canteiros de obra, conforme já mencionado.

5.4. CUSTOS DOS EQUIPAMENTOS

Segundo Awolusi, Marks e Hollowell (2018), as tecnologias devem ter baixo custo de implementação e manutenção, sendo robustas o suficiente para resistir a ambientes hostis e a projetos com duração de vários anos.

Os custos dos equipamentos RFID dependem de muitos fatores, desde as métricas a serem avaliadas, os modelos de *Tags* utilizados, os modelos dos leitores utilizados, os requisitos necessários para o *software*, fontes de energia, etc. Dentre os fatores que mais influenciam os custos do conjunto de equipamentos RFID necessários para a implantação de um sistema de Monitoramento e Controle como o proposto por este estudo, estão o leitor e a concepção do *software*.

O custo do leitor RFID é diretamente relacionado com a faixa de frequência utilizada. A faixa de frequência influencia na precisão das medições de distância e velocidade. Por exemplo, uma faixa alta de frequência significa que mais vibrações são produzidas, isso implica em uma velocidade maior devido à baixa amplitude de ondas. Portanto, maior alcance de leituras e maiores velocidades são alcançados quando a frequência é aumentada. No que tange à produção intelectual do *software*, os parâmetros que determinam o seu custo estão relacionados à complexidade da sua arquitetura. Em geral, consideram-se a quantidade de horas de trabalho necessárias para conceber o produto e o potencial de inserção do produto no mercado. Dentre as tecnologias RFID analisadas e comercialmente disponíveis para esta pesquisa, os custos dos equipamentos e produtos selecionados para realização da pesquisa, detecção de proximidade e para a identificação são apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1. Custo dos equipamentos (preços referentes à aquisição em abril de 2016)

ITEM	DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	CUSTO
1.0	Leitor RFID móvel Acura Global UHF 900 BT	1	R\$ 4.400,00
2.0	Leitor RFID Intermec IA33A INTELLITAG	-	-
3.0	Tag RFID passiva IF RFID para metais / Smart Parking adesiva	100	R\$ 1.560,00
4.0	Desenvolvimento de <i>Software</i> – Acompanhamento da execução do projeto	1	R\$ 20.000,00
5.0	Tablet Tecnopia T10Q10	1	R\$ 600,00
6.0	TOTAL		R\$ 26.560,00

Fonte: Autor, 2019

Com base nas necessidades propostas por este estudo e visando garantir as operações e as comunicações de forma consistente e dinâmica, optou-se por uma faixa de frequência entre 860 – 960 MHz. Esta faixa de frequência encontra-se no espectro caracterizado com UHF com alcance de leitura aproximado entre 2 e 5 metros (Tabela 2.4).

5.5. SÍNTESE CRONOLÓGICA DOS RESULTADOS

Os resultados representam a compilação de uma série de processos que envolvem os testes e o desenvolvimento alcançado ao longo da pesquisa. Ao serem organizados em um protocolo metodológico, os resultados podem orientar a aplicação e replicação do estudo. Para ilustrar, sinteticamente, os resultados obtidos nesta pesquisa, organizou-se o progresso das etapas percorridas ao longo dos testes e seus resultados simplificados conforme ilustrado no Quadro 5.2.

Quadro 5.2. – Síntese cronológica dos procedimentos e resultados da pesquisa

ITEM	DESCRIÇÃO	ALTERNATIVAS	RESULTADO	AÇÃO
LABORATÓRIO				
01	Conhecer e avaliar os leitores RFID disponíveis para a pesquisa.	- Leitor Intermec IF2; - Leitor UHF 900BT;	- Disponíveis para teste	- Prosseguir para próxima etapa.
02	Determinar a eficiência e o alcance dos equipamentos RFID.	- Leitores; - Tags;	- Leitores disponíveis; - Tag passiva adesiva disponível; - Necessidade de Tag passiva com proteção.	- Buscar um modelo de Tag com proteção; - Buscar um fornecedor; - Prosseguir para próxima etapa.
03	Determinar a altura mais eficiente para o leitor RFID.	- Leitor Intermec IF2; - Leitor UHF 900BT;	- Entre 2,20 m e 1,85 m, a altura mais eficiente foi 1,85 m.	- Prosseguir para próxima etapa.
04	Definição da quantidade de Tags no capacete do colaborador.	- 1,2,3,4.	- 4	- Preparar 1 capacete teste; - Prosseguir para próxima etapa.
05	Determinar a eficiência dos leitores através de testes de aproximação.	- Leitor Intermec IF2; - Leitor UHF 900BT;	- Dist. máx. = 2,90 m - Dist. mín. = 1,90 m	- Prosseguir para próxima etapa.
06	Definir o leitor mais eficiente.	- Leitor Intermec IF2; - Leitor UHF 900BT;	- Leitor UHF 900BT	- Prosseguir para próxima etapa.
07	Definir a geometria da área de ação do leitor mais eficiente.	- Leitor UHF 900BT;	- Geometria Cônica	- Alterar geometria proposta inicialmente; - Prosseguir para próxima etapa.
08	Validação das dimensões obtidas na delimitação da área de risco.	- Dist. máx. = 2,90 m - Dist. mín. = 1,90 m	- Dist. máx. = 2,60 m - Dist. mín. = 1,90 m	- Alterar Dist. máx. para 2,60 m; - Prosseguir para próxima etapa.
09	Como armazenar, organizar e compilar os dados obtidos.	- Planilhas; - Software do equipamento; - Software próprio.	- Necessidade de um software próprio.	- Buscar o desenvolvimento de um software próprio com um parceiro desenvolvedor; - Contratação do parceiro via projeto de pesquisa CANTECHIS/FINEP/FAI/UFSCar.
TESTES DE CAMPO				
10	Verificar o funcionamento do software desenvolvido.	- Testar para:	- A ser verificado ao longo dos testes	- Prosseguir para próxima etapa.

		- Risco de queda; - Controle de equipamentos.	de campo; - Desenvolvimento do manual do usuário.	
11	Área de risco de queda			
11.1	Desenvolver solução para a fixação e funcionamento do leitor no canteiro de obras.	- Tripé metálico; - Caixa de madeira;	- Caixa de madeira fechada e fixada na linha de queda com alimentação elétrica permanente.	- Prosseguir para próxima etapa.
11.2	Iniciar período de testes (10 dias).	- Seguir protocolo proposto na metodologia.	- Leituras positivas.	- Prosseguir para próxima etapa.
11.3	Verificar o funcionamento do <i>software</i> .	- Testar <i>Android</i> ; - Testar <i>Windows</i> .	- Positivos.	- Prosseguir para próxima etapa.
12	Controle e monitoramento de equipamentos			
12.1	Cadastrar as <i>Tags</i> no <i>software</i> .	- Seguir protocolo do manual do usuário.	- Positivos.	- Prosseguir para próxima etapa.
12.2	Iniciar o período de testes.	- Seguir protocolo proposto na metodologia; - GcR; - Treliça da bandeja.	- Leituras positivas.	- Prosseguir para próxima etapa.
12.3	Realizar a interação do <i>software</i> entre os sistemas <i>Android</i> e <i>Windows</i> .	- Seguir protocolo do manual do usuário.	- Positivos.	- Prosseguir para próxima etapa.
12.4	Testar a qualidade dos resultados gerados pelo <i>software</i> .	- Planilhas; - Imagens gráficas; - Banco de dados.	- Positivos.	- Avaliação geral do sistema

Fonte: Autor, 2018

Os procedimentos representados no Quadro 5.2 sintetizam as etapas do estudo, dividindo-o em dois estágios. O período inicial transcorreu em um ambiente laboratorial e foi dedicado a conhecer, compreender e iniciar a operação da tecnologia RFID. Neste estágio definiram-se, dentro das opções disponíveis para a pesquisa, os equipamentos RFID (Leitor, *Tag*) cujo desempenho atendesse aos objetivos propostos. Além disso, definiu-se nesse momento todo o protocolo metodológico que balizou os testes em campo. A arquitetura do *software* “Controle de Obras por RFID” também foi construída neste estágio. Esta arquitetura teve como base a concepção das etapas da metodologia e as demandas geradas na operação dos equipamentos.

O segundo estágio foi dedicado inteiramente aos testes em campo. Neste momento, toda a rotina metodológica construída na etapa inicial foi aplicada nos testes em campo para determinar a funcionalidade e a viabilidade dos equipamentos RFID no controle e monitoramento de áreas de risco de queda e de equipamentos de segurança. Em paralelo, o item 10 do Quadro 5.2 indica que neste estágio o funcionamento do *software* foi colocado em teste buscando aprimorar e concluir a sua concepção.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a consolidação do percurso da pesquisa, observou-se que a investigação proposta acrescentou um conjunto de novas expectativas para à inserção de novas tecnologias no universo da construção.

A tecnologia RFID tem sido o conteúdo de uma série de pesquisas voltadas à indústria da construção, entretanto, neste trabalho, a abrangência da pesquisa delimitou-se a propor o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e controle de equipamentos e áreas de risco de queda utilizando a tecnologia RFID. O conjunto de testes executados durante a investigação abrangeu a verificação da funcionalidade da tecnologia RFID visando à viabilidade técnica na implantação do sistema e ao desenvolvimento de um programa computacional responsável por gerenciar os dados obtidos ao longo da operação da ferramenta.

Os objetivos inicialmente propostos foram atingidos. Ao longo da pesquisa a metodologia para a execução dos testes foi elaborada e apresentada através de um protocolo de ensaio acessível a novas reproduções. O *software* teve um funcionamento operacional que atendeu aos objetivos tanto para os testes de definição de áreas de risco de queda, quanto para os testes de monitoramento e controle de equipamentos. Os resultados gerados foram consistentes com dados claros e passíveis de uma análise crítica e conclusiva.

Em geral, na indústria da construção brasileira, o controle de equipamentos de segurança é feito manualmente. O método apresentado para identificar a funcionalidade, a viabilidade e a acessibilidade de um sistema utilizando a tecnologia RFID em substituição aos métodos usuais foi uma contribuição para a evolução da incorporação de novos instrumentos no canteiro. Além disso, os resultados produziram uma ferramenta com funções que inovam a maneira de administrar o controle dos equipamentos e áreas de risco.

A equiparação entre os sistemas convencionais usualmente empregados na indústria da construção aos resultados obtidos com o “Monitoramento da Segurança do Canteiro de

Obras via RFID” indicaram benefícios determinantes com o aperfeiçoamento no controle efetivo através do monitoramento remoto. Dentre as vantagens apresentadas está a possibilidade de monitorar remotamente e a qualquer momento através de um terminal de controle sem que o operador se submeta aos riscos de acessar as instalações do canteiro. A construção de um histórico de operações e um banco de dados em constante atualização foi outro importante avanço. Todas essas informações servem de referência para a construção de indicadores e índices da cadeia produtiva. Outros benefícios incluíram a redução no tempo empregado em procedimentos tradicionalmente manuais e limitados e a melhoria no acompanhamento das necessidades de manutenção e vida útil dos equipamentos, por exemplo.

A simplicidade na operação do sistema foi um dos propósitos buscados ao longo do seu desenvolvimento. Atingir esta condição torna a ferramenta atrativa, ao invés de complexa e burocrática. Esperava-se, com isso, estimular os trabalhadores a aceitá-la. Nesse sentido, a concepção da interface com o sistema operacional *Android* trouxe uma grande contribuição. O uso do sistema através de *smartphones* ou *tablets* aproximou a tecnologia dos trabalhadores, pois esses são equipamentos a que eles estão habituados e que fazem parte da sua rotina, humanizando, assim, a adoção da tecnologia.

A apresentação dos resultados das leituras e do banco de dados organizados em forma de relatórios e planilhas dotadas de filtros para a escolha das informações a serem transmitidas enriqueceu a apresentação das informações. Além disso, os resultados gráficos em forma de plantas com a identificação dos equipamentos nelas presentes simplificou e dinamizou a forma com que os operadores e os gestores tiveram acesso às informações geradas pela ferramenta.

Quanto ao tipo de leitor, os testes foram conclusivos ao determinar o leitor UHF 900 BT móvel como o de melhor funcionamento para a aplicação proposta por este estudo. Do ponto de vista operacional, este resultado foi oportuno. Vale ressaltar que esta pesquisa estava dividida em duas etapas, sendo assim, a vantagem oferecida com a mobilidade e leveza do leitor selecionado na primeira etapa trouxe grandes benefícios operacionais indispensáveis na execução da automatização do gerenciamento de equipamentos de segurança proposta na segunda etapa.

Durante os testes de determinação das faixas de risco de queda, uma inconsistência foi identificada. A menor distância da borda de queda obtida em laboratório (1,90 m) foi

superior à menor distância obtida nos testes em canteiro (1,65 m). Mesmo que a distância obtida em canteiro ainda garanta uma margem para que os trabalhadores possam ser alertados previamente com segurança, concluiu-se que fatores de campo como o vento, por exemplo, influenciaram diretamente na redução da capacidade do leitor RFID.

De fato, as contribuições produzidas pelos resultados das duas etapas da pesquisa obtiveram êxito em alcançar os objetivos propostos, tanto na formatação da metodologia para aplicação da tecnologia RFID, quanto na criação do *software* “Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras via RFID”. Entretanto, ao ampliar-se a escala e tomar-se como universo toda a área de um canteiro de obras, verificou-se que a amplitude da área de leitura do equipamento é limitada. Sendo assim, para que todo o perímetro de uma edificação seja monitorado contra o risco de queda, por exemplo, seria necessária a utilização de um grande número de leitores RFID. Esta é uma solução que geraria custos elevados em comparação a tecnologias e técnicas já existentes.

Os parâmetros obtidos podem gerar, ainda, contribuições ao estabelecer parâmetros para a segurança do canteiro de obras e outras áreas do setor como nos estudos de planejamento, controle de atividades, monitoramento de produtividade, etc.

Mesmo que, para a atual conjuntura da tecnologia, o custo do leitor RFID ainda seja um fator que deve ser levado em consideração em função da relação custo x capacidade de leitura para o monitoramento de áreas com dimensões reduzidas como poços de elevador, dutos de ventilação ou caixas de escada, por exemplo, os resultados indicaram que há possibilidade de aplicação.

As possibilidades para a continuidade e reprodução deste estudo em novas pesquisas são abrangentes. Um exemplo direto para futuras pesquisas seria ampliar o monitoramento e controle remoto com a utilização da *Tag* passiva RFID em outros tipos de equipamentos e ferramentas largamente utilizados nos canteiros de obra, como os equipamentos manuais como furadeiras elétricas, por exemplo. O grande número de equipamentos presentes nos canteiros, o seu alto valor agregado e a facilidade de extravio justificam o investimento no seu monitoramento.

Integrar o sistema de monitoramento e controle aqui proposto em outras áreas da segurança do canteiro pode fazer parte do conteúdo de futuras pesquisas. Adequações na formulação do sistema pode ampliar a sua funcionalidade e integrá-la ainda mais no dia a dia do

canteiro de obras. Neste contexto, pode-se aprofundar e evidenciar que este é um estudo voltado para a automação especificamente aplicado na segurança dos processos da construção civil.

Outra sugestão para futuros trabalhos está no desenvolvimento do *software*. A versão proposta por este trabalho é inicial, como já mencionado. Novas pesquisas podem ser realizadas para o aprimoramento das próximas versões. Uma série de melhorias pode ser proposta, incluindo: melhoria na interface, possibilidade de inserir fotos no sistema no momento das leituras, possibilitar que o sistema seja compatível com arquivos DWG e plataformas BIM, melhoria na inserção de dados cadastrais, etc.

Novos estudos podem também ultrapassar os limites do canteiro de obras. Pode-se replicar esta pesquisa no monitoramento e controle de ambientes e equipamentos de outros setores industriais, o que ampliaria o universo da pesquisa. Um exemplo de outras pesquisas e aplicações é o Projeto *Schood* (School + Hood = Schood, um nome que remete à comunidade em torno da escola), utilizado pela Positivo Tecnologia Educacional. Este é um projeto desenvolvido para escolas que visa integrar alunos, pais e escola. Trata-se de uma pulseira dotada da tecnologia *iBeacon*⁵ que os alunos devem utilizar enquanto estiverem na escola. Com essa pulseira, as chamadas passam a ser automáticas, é possível abrir uma conta na cantina, saber se os pais estão chegando para buscar os filhos, entre outras funções que prometem derrubar qualquer barreira de comunicação e trazer mais segurança para os alunos (SCHOOD, 2018).

Em síntese, as sugestões de continuidade para esta pesquisa são:

- Ampliar o monitoramento e controle remoto com a utilização da *Tag* passiva RFID inserindo outros tipos de equipamentos do canteiro de obras, como os postes de fixação das linhas de vida e escoramento, por exemplo;
- Verificar a influência do controle do acesso nas áreas de risco de acidentes no comportamento e motivação dos trabalhadores;
- Integrar o uso da tecnologia RFID com outros dispositivos e tecnologias de forma a aumentar a amplitude de alcance dos dados de deslocamento em canteiro de obras;

⁵ Tecnologia idealizada pela Apple Inc. (iBeacon technology), Beacons são dispositivos de geolocalização para ambientes fechados, ou seja, é um sistema de proximidade. Sendo assim, o Beacon permite que objetos sejam localizados com uma alta precisão dentro de estabelecimentos.

- Quanto ao *software* e ao aplicativo, desenvolver e aprimorar os dispositivos gerando novas versões;
- Ampliar a pesquisa para o monitoramento e controle de equipamentos e ambientes laborais de outros setores industriais.

Os benefícios do monitoramento e controle produzem implicações diretas na rotina do canteiro de obras. Constatou-se, por exemplo, que a presença de uma *Tag* fixada ao equipamento de uso diário, por si só, ajuda a inibir comportamentos inadequados dos trabalhadores. Além disso, a presença de novas tecnologias produz nos trabalhadores uma impressão positiva de organização, de cuidado e de investimento da empresa para com eles.

Por fim, observou-se que o maior obstáculo encontrado diz respeito ao objetivo de monitorar uma área ampla e permitir o acesso a esta área de forma aleatória e sem restrições. A utilização da tecnologia RFID no controle do acesso a áreas específicas através de pontos fixos e pré-determinados de controle, como portões de acesso, portais de acesso, catracas ou guaritas de controle, já é largamente difundida, porém restritiva a aplicações amplas, como propôs este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABP. **Anuário Brasileiro de Proteção, 2017.** *Revista Proteção*. Disponível em: <http://www.protecao.com.br/materias/anuario_brasileiro_de_p_r_o_t_e_c_a_o_2017/mundo/AAjbAn>. Acesso em 01 de Abr de 2018.

AWOLUSI, I.; MARKS, E.; HALLOWELL, M. Wearable Technology for Personalized Construction Safety Monitoring and Trending: Review of Applicable Devices. *Automation in Construction*, Jan. de 2018, p. 96-106.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm> Acesso em: 11 de Mar. de 2018.

BRASIL. DATAPREV. **LEI Nº 8.213, DE 24 DE JULHO DE 1991** – Diário Oficial da União (DOU) de 14 de agosto de 1991, 1991. Disponível em: <<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/1991/8213.htm>> Acesso em: 17 Jun. de 2014.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2017.** Disponível em: <www.previdencia.gov.br/dados-abertos/dados-abertos-sst/>. Acesso em: 22 Fev. de 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção, 2012.**

BRASIL, **LEI Nº 9.472, DE 16 DE JULHO DE 1997.** Organização dos serviços de telecomunicações, 1997.

BRASIL, **RESOLUÇÃO Nº 506, DE 1º DE JULHO DE 2008.** Regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, 2008. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2008/104-resolucao-506>>. Acesso em 21 de Nov. de 2014.

CAMBRAIA, F. B.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Identification, analysis and dissemination of information on near misses: A case study in the construction industry. *Automation in Construction*. n. 48, Jan. 2010, p. 91-99. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753509001155>>. Acesso em 17 de Mar. de 2019.

CBIC-2 – **Câmara Brasileira da Indústria da Construção. PIB Brasil e Construção Civil – Resumo contas nacionais: PIBpm Brasil; VABpb; Taxass % Reais de Crescimento e Participação % do VABpb da Construção Civil.** Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 01 de Mai. de 2018.

CHEN, B.; ZHOU, Z.; YU, H. Understanding RFID Counting Protocols, 2013. Disponível em: <<https://www.comp.nus.edu.sg/~yuhf/rfid-counting.pdf>>. Acesso em 14 de Abr. de 2019.

CNI. **Confederação Nacional da Indústria**. *Segurança e Saúde na Indústria da Construção no Brasil*. Brasília, 2013. 60p.

COSTIN, A.; PRADHANANGA, N.; TEIZER, J. Leveraging passive RFID technology for construction resource field mobility and status monitoring in a high-rise renovation project. *Automation in Construction*. n. 24, Jul. 2012, p. 1-15.

DEMIRALP, G.; GUVEN, G.; ERGEN, E. Analyzing the benefits of RFID technology for cost sharing in construction supply chains: a case study on prefabricated precast components. *Automation in Construction*. n. 24, Jul. 2012, p. 120-129.

DZENG, R. J.; FANG, Y. C.; CHEN, I. C. A feasibility study of using smartphone built-in accelerometers to detect fall portents. *Automation in Construction*. n. 38, Mar. de 2014, p. 74-86. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.11.004>>. Acesso em 17 de Mar. de 2019.

DOMDOUZIS, K.; KUMAR, B.; ANUMBA, C. Radio-Frequency Identification (RFID) applications: a brief introduction. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 21, Issue 4, Out. de 2007, p. 350–355.

EPC-RFID INFO. EPC Information. Disponível em: <<http://www.epc-rfid.info>>. Acesso em 09 de Abr. de 2016.

FANG, Y.; CHO, Y. K.; ZHANG, S.; PEREZ, E. Case Study of BIM and Cloud-Enabled Real-Time RFID Indoor Localization for Construction Management Applications. *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 142, Issue 7, 2016.

FINKENZELLER, K. *RFID Handbook - Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field*. 3ª edição. Londres, 2010. 462p.

FONTELLAS, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLAS, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. Núcleo de Bioestatística Aplicado à pesquisa da Universidade da Amazônia – UNAMA. Amazonas, 2009.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre/Rs: Editora da Universidade federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2009. 120 p.

GIRETTI, A.; CARBONARI, A.; NATICCHIA, B.; DE GRASSI, M. Design and first development of an automated real-time safety management system for construction sites. *Journal of Civil Engineering and Management*. Vol. 15, Issue 4, 2009, p.325-336.

GLOVER, B.; BHATT, H. *RFID Essentials*. United States of America: O'Reilly, 2006. 260p.

GONÇALVES, D.C.; GONÇALVES, I.C.; GONÇALVES, E.A. *Manual de Segurança e Saúde no Trabalho*. 6ª edição. São Paulo, 2015. 1373p.

GUO, H.; YU, Y.; SKITMORE, M. Visualization Technology-based Construction Safety Management: A Review. *Automation in Construction*, Vol. 73, 2016, p.135-144.

HERMANS, J.; PASHALIDIS, A.; VERCAUTEREN, F.; PRENEEL, B. *A New RFID Privacy Model*. European Symposium on Research in Computer Security, 2011.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research. *Mis Quarterly*. Vol. 28. 2004, p. 75-105.

HOFF, D. A.; BASHIR, M. Trust In Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust. *The Journal of the Human Factors and ergonomics Society*. N. 57, May. 2015, p. 407-434.

ISO. International Organization for Standardization. 2018. Disponível em: <<https://www.iso.org/standards.html>> Acesso em: 21 de Nov. de 2018.

JUELS, A. *Minimalist Cryptography For Low-Cost RFID Tags*. Fourth International Conference on Security in Communication Networks – SCN, 2004

KARYGIANNIS, T.; EYDT, B.; BARBER, G.; BUNN, L.; PHILLIPS, T. *Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (RFID) Systems*. NIST - National Institute of Standards and Technology. NIST Special Publication 800-98. Abr. 2007.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. *Metodologia da Pesquisa: um guia prático*. Itabuna/Ba: Via Litterarum, 2010. 86 p.

LAMB, F. *Industrial Automation Hands-On*. Nova York: McGraw-Hill Education, 2013. 347p.

LIESHOUT, M. C.; GROSSI, L.; SPINELLI, G.; HELMUS, S.; KOOL, L.; PENNING, L.; STAP, R.; VEUGEN, T.; WAAIJ, B. V.; BOREAN, C. *RFID technologies: Emerging Issues, Challenges and Policy Options*. Institute for Prospective Technological Studies. Joint Research Centre. European Commission, 2007. 278 p.

MEHRJERDI, Y. Z. RFID-enabled systems: a brief review. *Emerald Group Publishing Limited*. Yazd University, Yazd, Iran. Vol 28, Nº 03, 2008, p.235-245.

MILES, S. B.; SARMA, S. E.; WILLIAMS, J. R. *RFID Technology and Applications*. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra. 2008. 212p.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego. *Guia de análise - acidentes de trabalho*. Brasília, Secretaria de Inspeção do Trabalho (SIT), 2010. 78p.

O'CONNOR, M.C. Editorial: Como fazer o rastreamento de materiais na construção. *RFID Journal Brasil*, 2013. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/reportagens/vision?11030>>. Acesso em: 05 Nov. de 2013.

OIT. **Organização Internacional do Trabalho**. *Diretrizes sobre Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho*, 2005. Disponível em: <http://www.oit.org.br/sites/default/files/topic/safework/pub/diretrizes_sobre_gestao_364.pdf> Acesso em: 16 Jun. de 2014.

OIT. **Organização Internacional do Trabalho**. *Doenças Profissionais são principais Causas de Morte no Trabalho*, 2013. Disponível em:

<<http://www.oitbrasil.org.br/content/doencas-profissionais-sao-principais-causas-de-mortes-no-trabalho>> Acesso em: 17 Jun. de 2014.

REN, Z.; ANUMBA, C. J.; TAH, J. RFID-facilitated construction materials management (RFID-CMM) – A case study of water-supply project. *Advanced Engineering Informatics*, Inglaterra, v.25, edição 2, p. 198 – 207, ed, Elsevier. Abr. 2011.

RFID Jornal Brasil - 1. *Solução controla o uso de EPI's no setor de energia*, 2015. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?13057/#back-from-modal>>. Acesso em: 09 de Abr. de 2016.

RFID jornal Brasil - 2. *Empresa testa sistema para controlar acesso a construção*, 2015. Disponível em: <<http://brasil.rfidjournal.com/noticias/vision?12630/2>>. Acesso em: 10 de Abr. de 2016.

ROBERTS, C.M. Radio Frequency Identification (RFID). *Sciencedirect*, Universidade de Otago, Nova Zelândia, 2006. p. 18-26.

ROY, N; JACOB, J. A study on construction safety issues and development of a general solution framework. *International Journal of Engineering Reserch and General Science*, Vol. 3. Nov. – Dec. de 2015.

SCHOOD. Schood Escola Inteligente, 2018. Disponível em: <<https://appadvice.com/app/schood/1261120428>>. Acesso em 25 de Jun de 2018.

SEBRAE. **Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. *Automação nas Obras – Boletim de tendências*, 2016. Disponível em: <<https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/boletins-de-tendencia/automacao-nas-obras-mpe-e-inovacoes/586e71fb37a6ad1800ab4de3#download>> Acesso em: 03 Nov. de 2019.

SHANGGUAN, L.; YANG, Z.; LIU, A. X.; ZHOU, Z.; LIU, Y. Relative Localization of RFID Tags Using Spatial-Temporal phase Profiling. *USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation*. Oakland, CA, USA, 2015.

SWEDBERG, C. DPR construction uses RFID building-security solution. *RFID Journal*. Fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?10471>>. Acesso em: 13 de Abr. de 2016.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences : The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. *Journal of Management Studies*, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

TIAGO, M. F.; PAULA, F.; MANUEL, S.; LUIS, C. A Methodology For Evaluating Security in Commercial RFID Systems. *Intechopen*, 2017. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/radio-frequency-identification/a-methodology-for-evaluating-security-in-commercial-rfid-systems>>. Acesso em 13 de Abr. de 2019.

VARGAS, R. *Manual prático do plano de projeto: utilizando o PMBOK guide*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007. 231p.

VILELLA, J.A.; BALLESTÉ, A. M.; SOLANAS, A. *A Brief Survey on RFID Privacy and Security*. Proceeding of The Word Congress on Engineering. London. UK, 2007.

WARD, M.; KRANENBURG, R. V. *RFID: Frequency, standards, adoption and innovation*. JISC Technology and Standards Watch - Goldsmiths College, University of London. 2006.

WEISS, A.; SHIMKIN, N.; GILADI, N.; HAUSDORFF, J. M. Automated detection of near falls: algorithm development and preliminary results, *BMC Res. Notes* 3. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1186/1756-0500-3-62>>. Acesso em 17 de Mar. de 2019.

WESSEL, R. RFID helps control and organize construction sites. *RFID Journal*, 2010. Disponível em: <<http://www.rfidjournal.com/articles/view?7711>>. Acesso em 13 de Abr. de 2016.

WU, W.; YANG, H.; LI, Q.; CHEW, D.A.S. An Integrated Information Management System for Proactive Prevention of Struck-by-falling-object Accidents on Construction Site. *Elsevier B.V.*, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.010>>. Acesso em 06 de Mai. de 2018.

YANG, K.; ARIA, S.; AHN, C.; STENTZ, T. L. Automated Detection of Near-miss Fall Incidents in Iron Works Using Inertial Measurement Units. *Construction Research Congress*, 2014.

YANG, K.; AHN, C.; VURAN, M. C.; ARIA, S. S. Semi-supervised near-miss fall detection for ironworkers with a wearable inertial measurement unit. *Automation in Construction*, Vol.68, 2016, p. 194-202.

ZHONG, R. Y.; HUANG, G. Q.; LAN S.; DAI, Q. Y.; XU, C.; ZHANG, T. A Big Data Approach For Logistics Trajectory Discovery From RFID-enabled Production Data. *International Journal Production Economics*, Vol. 165, 2015, p. 260-272.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MANUAL

DO USUÁRIO

Monitoramento da Segurança do Canteiro de Obras Via RFID

Monitora RFID

Victor Hugo Mazon de Oliveira
Orientadora: Sheyla Mara Baptista Serra

- **PROCEDIMENTO DE INSTALAÇÃO**

- 1 - Instalação do JAVA.
- 2 - Firebird 2.5.
- 3 - Os arquivos devem estar na unidade raiz do sistema operacional (Dico local C:\RFID).
- 4 - Para inicial o servidor, execute o arquivo "ABRIRSERVIDOR".

- **ABRINDO O SERVIDOR**

1. Clicar duas vezes no ícone.



2. Aguardar até aparecer a mensagem “SERVIDOR UP”.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
2016-09-22 17:17:56.741 INFO 5412 --- [ main] s.w.s.m.a.RequestMappingHandlerMapping : Mapped "{[/error]}" onto public org.springframework.http.ResponseEntity<java.util.Map<java.lang.String, java.lang.Object>> org.springframework.boot.autoconfigure.web.BasicErrorController.error(javax.servlet.http.HttpServletRequest)
2016-09-22 17:17:56.742 INFO 5412 --- [ main] s.w.s.m.a.RequestMappingHandlerMapping : Mapped "{[/error],produces=[text/html]}" onto public org.springframework.web.servlet.ModelAndView org.springframework.boot.autoconfigure.web.BasicErrorController.errorHtml(javax.servlet.http.HttpServletRequest, javax.servlet.http.HttpServletResponse)
2016-09-22 17:17:56.862 INFO 5412 --- [ main] o.s.w.s.handler.SimpleUrlHandlerMapping : Mapped URL path [/webjars/**] onto handler of type [class org.springframework.web.servlet.resource.ResourceHttpRequestHandler]
2016-09-22 17:17:56.863 INFO 5412 --- [ main] o.s.w.s.handler.SimpleUrlHandlerMapping : Mapped URL path [/**] onto handler of type [class org.springframework.web.servlet.resource.ResourceHttpRequestHandler]
2016-09-22 17:17:56.969 INFO 5412 --- [ main] o.s.w.s.handler.SimpleUrlHandlerMapping : Mapped URL path [/**/favicon.ico] onto handler of type [class org.springframework.web.servlet.resource.ResourceHttpRequestHandler]
2016-09-22 17:17:57.467 INFO 5412 --- [ main] o.s.j.e.a.AnnotationMBeanExporter : Registering beans for JMX exposure on startup
2016-09-22 17:17:57.770 INFO 5412 --- [ main] b.c.e.u.UndertowEmbeddedServletContainer : Undertow started on port(s) 9090 (http)
2016-09-22 17:17:57.785 INFO 5412 --- [ main] c.i.ControlDeObrasPorRFIDApplication : Started ControlDeObrasPorRFIDApplication in 14.32 seconds (JVM running for 15.766)
```

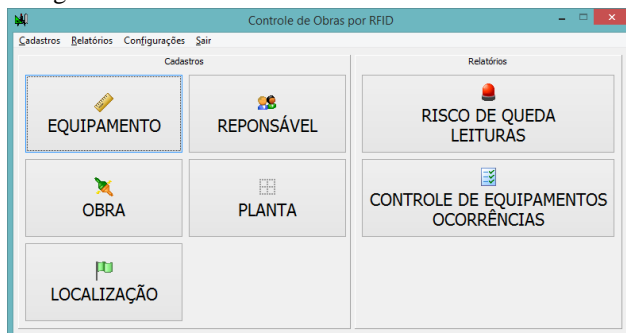
SERVIDOR UP

- ❖ **SISTEMA WINDOWS - COMPUTADOR**

1. Clicar duas vezes no ícone.

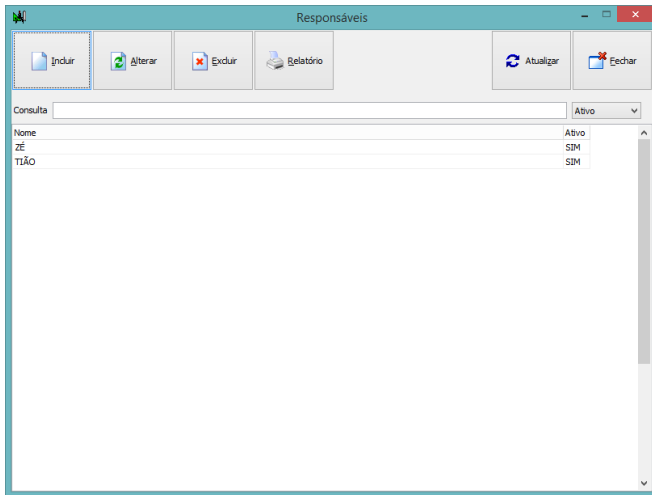


2. Aguardar o sistema abrir.

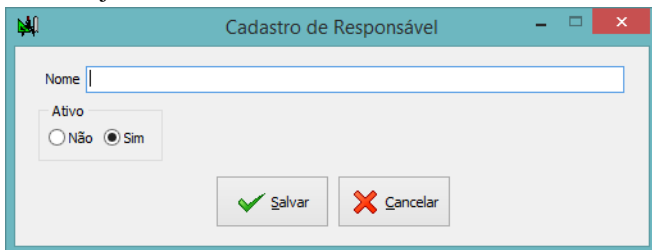


- **CADASTRO DE RESPONSÁVEIS**

1. Clicar no botão responsável na tela inicial do sistema e aguardar a listagem de responsáveis aparecer.



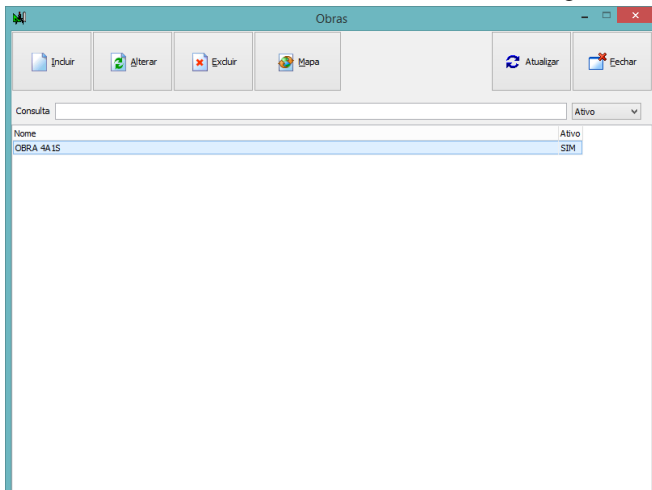
2. Clicar em Incluir, caso queira cadastrar um novo responsável, ou em Alterar, caso queira alterar um cadastro já existente.



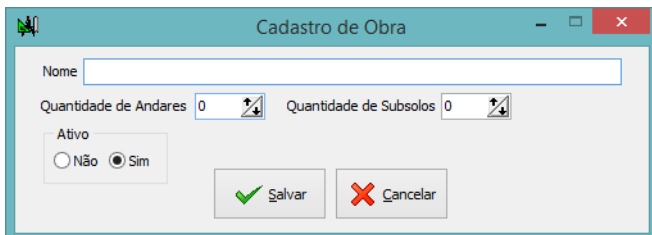
3. Preencher os campos e clicar em Salvar.

- **CADASTRO DE OBRAS**

1. Clicar no botão Obra na tela inicial do sistema e aguardar a listagem de obras aparecer.



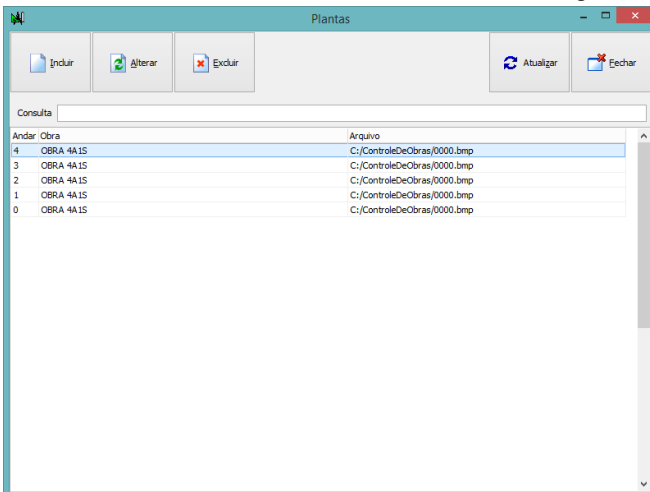
2. Clicar em Incluir, caso queira cadastrar uma nova obra, ou em Alterar, caso queira alterar um cadastro já existente.



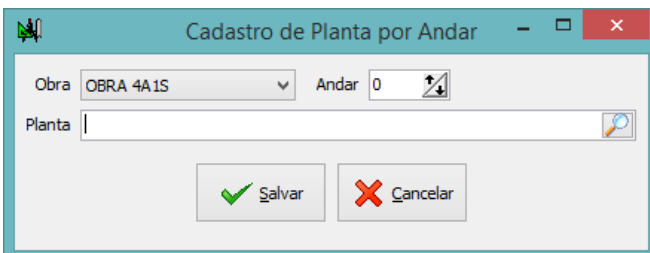
3. Preencher os campos e clicar em Salvar.

- **CADASTRO DE PLANTAS**

1. Clicar no botão Planta na tela inicial do sistema e aguardar a listagem de plantas aparecer.



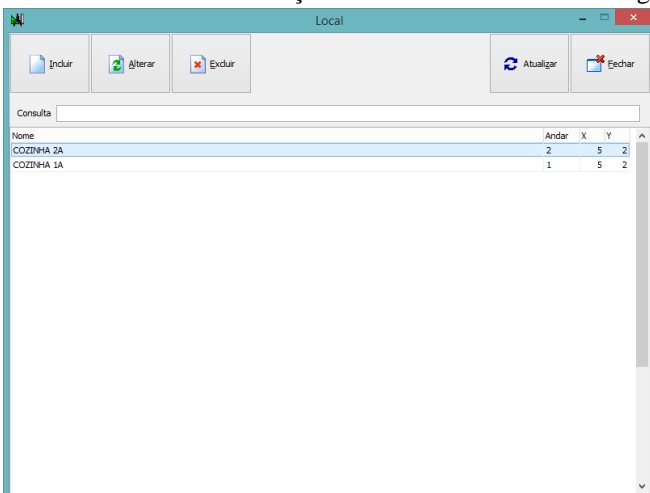
2. Clicar em Incluir, caso queira cadastrar uma nova planta, ou em Alterar, caso queira alterar um cadastro já existente.



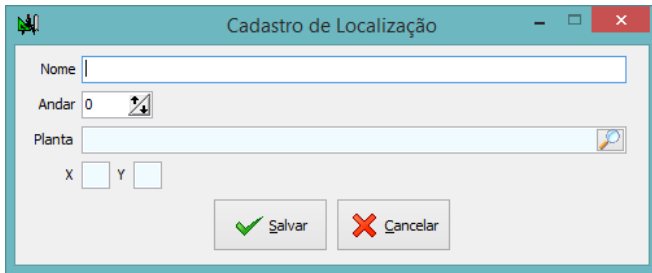
3. Quando todos os campos estiverem preenchidos, basta clicar em Salvar.

- **CADASTRO DE LOCALIZAÇÃO**

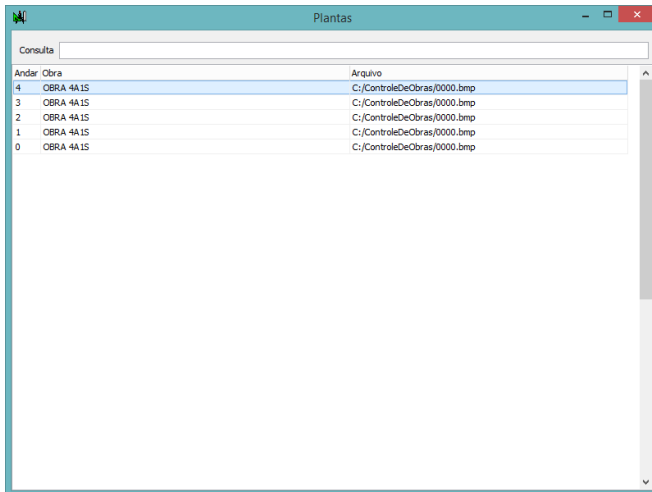
1. Clicar no botão Localização na tela inicial do sistema e aguardar a listagem de localizações aparecer.



2. Clicar em Incluir, caso queira cadastrar uma nova localização, ou em Alterar, caso queira alterar um cadastro já existente.



3. Para seleccionar uma planta, basta clicar na “lupa” e então abrirá automaticamente uma tela para seleção das plantas, as quais devem estar previamente cadastradas.



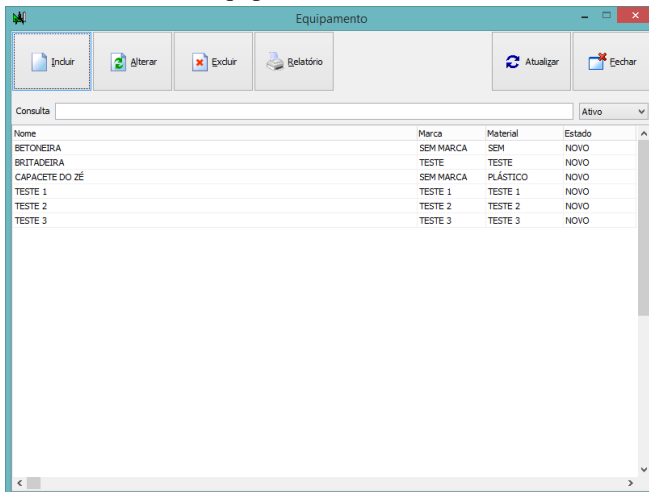
4. Depois de seleccionar a planta, abrirá automaticamente uma tela para a seleção de coordenadas desse local. Isso servirá, mais tarde, para que a posição dos equipamentos seja indicada diretamente no desenho da planta.



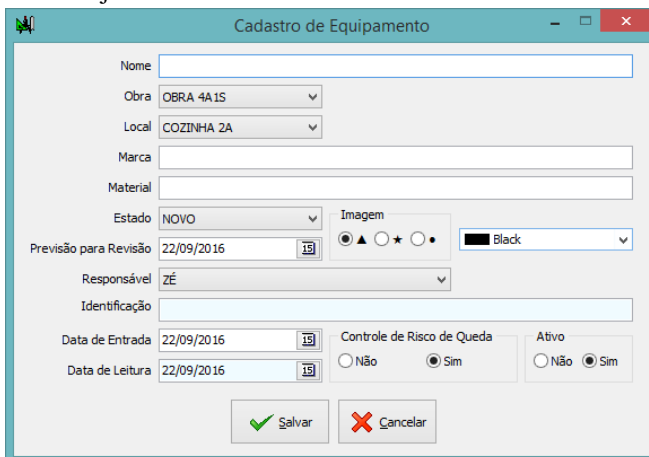
5. Quando todos os campos estiverem preenchidos, basta clicar em Salvar.

- **CADASTRO DE EQUIPAMENTO**

1. Clicar no botão Equipamento na tela inicial do sistema e aguardar a listagem de equipamentos aparecer.



2. Clicar em Incluir, caso queira cadastrar um novo equipamento, ou em Alterar, caso queira alterar um cadastro já existente.



3. Preencher os campos e clicar em Salvar.

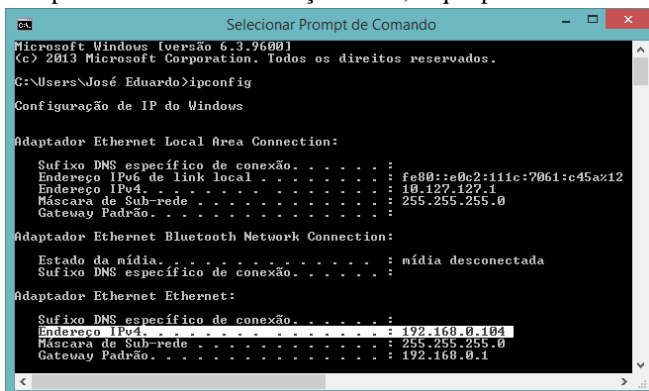
- ❖ **SISTEMA ANDROID – MOBILE**

- **IPCONFIG**

1. Para configurar a aplicação mobile será necessário saber o IP do servidor, ou seja, o endereço do servidor. Para isso é necessário entrar no CMD (apertar em Iniciar, digitar CMD e pressionar ENTER).

2. Abrirá então uma tela preta. Digitar "IPCONFIG" (sem as aspas) e pressionar ENTER.

3. Aparecerão vários endereços de IP, o que precisaremos é o Endereço IPv4.



4. Acessar o sistema pelo ícone.

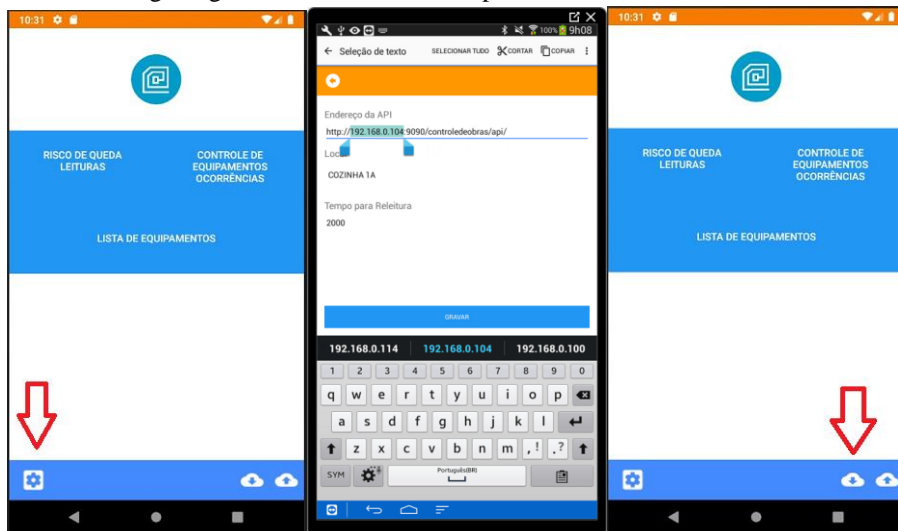


5. Aguardar o sistema abrir.



• CONFIGURAÇÕES

1. Clicar na engrenagem.
2. Abrirá uma tela de configuração onde deverá ser digitado o IP referente ao servidor.
3. Digitar o IP e clicar em Gravar.
4. Aguardar a tela inicial aparecer e depois clicar no botão para receber dados.
5. Clicar novamente na engrenagem, selecionar um local para leituras e clicar em Gravar.



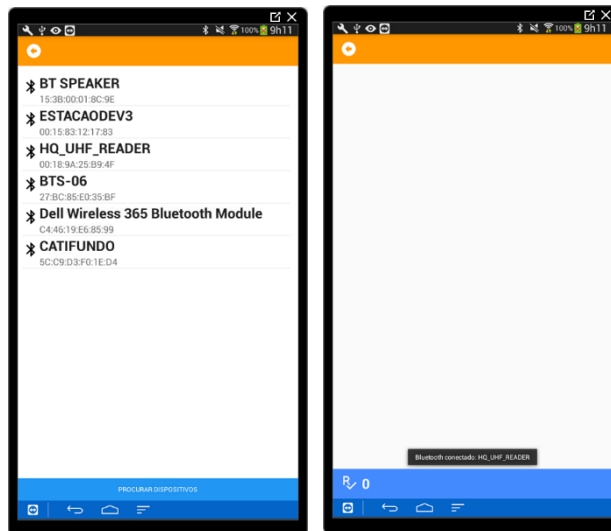
• ENVIO DE DADOS PARA O SERVIDOR

1. Para enviar os dados para o servidor, basta clicar no botão de enviar dados na tela inicial, ou seja, a sincronização entre os dados do *tablet* e *smartphone* ao servidor é feita a partir dessa opção.



- **RISCO DE QUEDA – LEITURAS**

1. Para fazer as leituras de risco de queda, basta clicar no botão correspondente a essa opção na tela inicial.
2. Uma tela para selecionar o dispositivo *bluetooth* será apresentada.
3. Depois de selecionado o dispositivo, aguarde uns instantes até que a comunicação seja feita. Uma mensagem para confirmação aparecerá na tela, bem como um aviso sonoro no aparelho leitor.

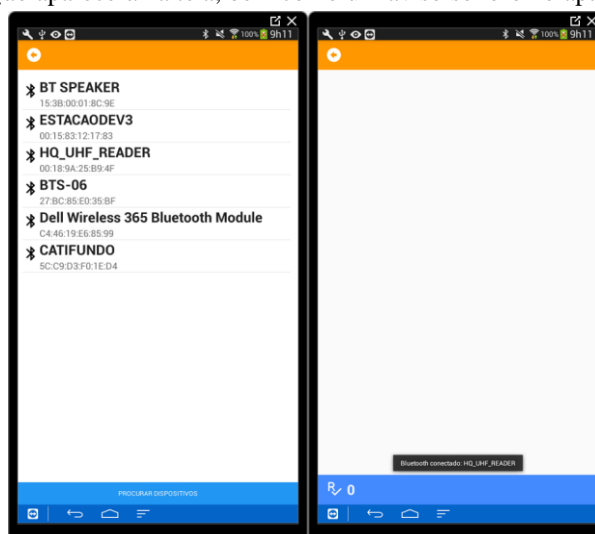


4. Para iniciar o processo de leitura, basta clicar no botão de leitura no aparelho leitor. Para cada leitura feita um aviso sonoro (sirene) será emitido.

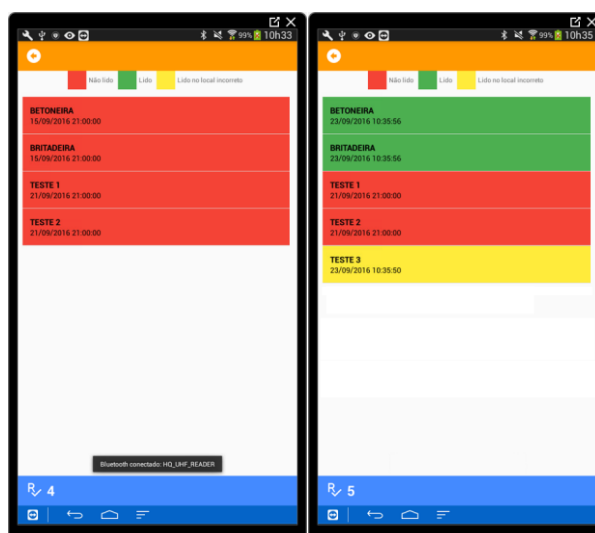


- **CONTROLE DE EQUIPAMENTOS – OCORRÊNCIAS**

1. Para fazer as leituras de ocorrências, basta clicar no botão correspondente a essa opção na tela inicial.
2. Uma tela para selecionar o dispositivo *bluetooth* será apresentada.
3. Depois de selecionado o dispositivo, aguarde uns instantes até que a comunicação seja feita. Uma mensagem para confirmação aparecerá na tela, bem como um aviso sonoro no aparelho leitor.



4. Abrirá então uma tela contendo a lista de todos os equipamentos que devem estar presentes no andar parametrizado. Essa lista assumirá todos os equipamentos como AUSENTES, tornando-os PRESENTES no momento em que forem lidas as etiquetas indicadas no cadastro.
5. Equipamentos que estiverem no local correto, ou seja, quando o local indicado no cadastro do equipamento for o mesmo local da leitura (parametrizado), ficarão na cor verde. Equipamentos que estiverem no local incorreto ficarão na cor amarela. Equipamentos que não forem identificados na leitura permanecerão na cor vermelha.



- **RELACIONAR ETIQUETAS E EQUIPAMENTOS**

1. Essa relação deve ser feita pela tela de “Risco de Queda – Leituras”, lendo uma etiqueta não cadastrada. Em vez de aparecer uma lista contendo o nome dos equipamentos, aparecerá uma lista contendo apenas o identificador da etiqueta RFID.
2. Selecionar na lista a etiqueta que corresponde ao equipamento e depois clicar em “usar em registro existente”.

3. Uma listagem de equipamentos aparecerá.
4. Selecionar na lista o equipamento, o qual deve ser relacionado à etiqueta.
5. Abrirá automaticamente uma tela de cadastro de equipamento; nessa tela somente os campos “identificação” e “local” poderão ser alterados.
6. Conferir o campo referente à identificação e selecionar a opção Gravar.

