

Thiago Franzen Aydos

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DA MANUFATURA  
BASEADO EM RFID NO ÂMBITO DA *INTERNET OF THINGS*.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. Orientador: Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Aydos, Thiago Franzen

Sistema de monitoramento da manufatura baseado em RFID  
no âmbito da Internet of Things / Thiago Franzen Aydos ;  
orientador, João Carlos Espíndola Ferreira - Florianópolis,  
SC, 2016.

120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia Mecânica. 2. Lean Manufacturing . 3.  
Internet Of Things. 4. RFID. 5. Manufatura Enxuta. I.  
Ferreira, João Carlos Espíndola . II. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica. III. Título.

Thiago Franzen Aydos

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DA MANUFATURA  
BASEADO EM RFID NO ÂMBITO DA *INTERNET OF THINGS*.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 11 de março de 2016.

---

Prof. Armando Albertazzi Jr., Dr. Eng. – Coordenador do Curso  
Universidade Federal de Santa Catarina

**Banca Examinadora:**

---

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D. – Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Carlos Manuel Taboada Rodriguez, Dr. Ing.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Milton Luiz Horn Vieira, Dr. Eng.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Dedico este trabalho ao futuro da  
manufatura digital.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer ao professor João Carlos Espíndola Ferreira por ter aceito o desafio de ser o orientador desta pesquisa, pelo seu o esforço e tempo dedicados ao longo do trabalho e por todo o conhecimento que dele tive o prazer de absorver e usufruir.

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica e a todos os professores do departamento que fazem do POSMEC uma referência em excelência de ensino e pesquisa.

Agradeço aos meus pais, Francisco e Iara, pelo amparo e pelas oportunidades ao longo de toda a minha vida, pelo incentivo e suporte necessários para viabilizar a execução deste mestrado acadêmico

À minha namorada e companheira Jaqueline Conz, pela paciência e apoio durante os finais de semana de trabalho e períodos de maior estresse, pelas revisões e sugestões que tanto facilitaram a dissertação da monografia.

À minha amiga e colega Mariele Canal Bonfante, por sua disposição em ajudar sempre que foi necessário, pela amizade e parceria ao longo desta jornada.

Ao amigo e compadre Luigi Ferreira, por enriquecer esta pesquisa auxiliando com seus conhecimentos de programação, gerenciamento de banco de dados e computação, por todo o tempo dedicado a colaborar na resolução de problemas técnicos enfrentados e por toda disposição em ajudar.

Ao amigo Aleksandro Teixeira, pela colaboração no desenvolvimento da interface em C#, pela sua *expertise* em programação e pelas horas dedicadas ao longo deste trabalho.

Ao Eduardo Lohmann e ao Silvio Dalsotto, por viabilizarem as aplicações do sistema nas empresas de manufatura.





"Tudo o que um homem pode imaginar, outros  
homens poderão realizar."  
(Jules Verne, 1873)



## RESUMO

O surgimento de novas tecnologias de comunicação sem fio possibilitou o fenômeno chamado *Internet Of Things*. A aplicação desse conceito no ambiente de manufatura proporciona novas oportunidades relacionadas à gestão de operações na melhoria de processos, conectando objetos e computadores de forma criativa. No contexto de melhorias nas operações de manufatura, os consagrados princípios da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) passam a ser cada vez mais disseminados entre os gestores de operações, reduzindo desperdícios e oferecendo benefícios generalizados aos processos analisados. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento de objetos com a tecnologia RFID, dispositivos sem fio (*wireless*) e *plug and play*, para auxiliar na coleta de dados um sistema de produção, fornecendo informações de tempo e de quantidades, facilitando a execução do balanceamento de carga, do atendimento ao *takt time*, da avaliação de capacidade e da identificação de desperdícios no processo. O sistema proposto compreende a definição dos requisitos de projeto, o desenvolvimento de um módulo leitor RFID, de um *middleware*, de um banco de dados e de um software aplicativo. O sistema foi composto por micro controladores Arduino, leitores RFID e módulos de transmissão de dados sem fio Zigbee, possibilitando operação com atualizações em tempo real e com mobilidade. Por fim, o sistema foi aplicado em duas empresas dos setores automotivo e de energia, a fim de atender diferentes demandas na gestão de operações. No setor automotivo, cinco pontos de leitura foram instalados em uma célula de fabricação de *yokes* e os resultados mostraram que o processo não estava apto a atender o *takt time* definido. No setor de energia, dois pontos de leitura foram usados para analisar horas improdutivas, que compreenderam 23,4% do tempo gasto. Também verificou-se uma redução de 60% de horas-homem em comparação com o previsto em orçamento da empresa.

**Palavras-chave:** Manufatura Enxuta. Redução de Desperdícios. *Plug and Play*. Chão de Fábrica.



## ABSTRACT

The appearance of new wireless communication technologies has enabled the Internet of Things phenomenon. The application of such concept in the manufacturing environment provides new opportunities related to the management of operations in improving processes, connecting objects to computers in a creative way. In the context of improving manufacturing operations, the longstanding Lean Manufacturing principles become increasingly disseminated among operation managers, reducing waste and providing significant benefits to the analyzed processes. Considering this scenario, this study aims to develop a monitoring system using RFID, wireless, and plug and play technologies in order to help data collection in a production system, providing information about time and quantities, enabling process waste identification, production according to takt time, activity balance, and production capacity assessment. The proposed system comprises the definition of design requirements and the development of a RFID reader, a middleware, a database, and a software. The system is composed by Arduino micro-controllers, RFID readers, and wireless Zigbee transmission modules, enabling operations with real-time updates and mobility. The system was applied in two companies from automotive and energy sectors, in order to answer different demands in operations management. In the company of the automotive sector, five reading points were installed in one cell that manufactures yokes, and the results show that the process is not able to reach the takt time. In the company of the energy sector, two reading points were used to analyze unproductive hours, which comprised 23.4% of the time spent. It was also verified a reduction of 60% in man-hours in comparison with what was predicted in the company's budget.

**Keywords:** Lean Manufacturing. Waste Reduction. Plug and Play. Shop Floor.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ondas de inovação. ....	23
Figura 2 - Tecnologias sem fio. ....	30
Figura 3 - Tipologia de uma rede de Zigbees. ....	32
Figura 4 - Comparação de tecnologias sem fio. ....	33
Figura 5 - Exemplo de QR Code.....	34
Figura 6 - Exemplo de um sistema RFID. ....	36
Figura 7 - Fornecimento de energia para a etiqueta por meio do leitor RFID....	37
Figura 8 - Casa Toyota. ....	40
Figura 9 - Gráfico de Balanceamento de Operadores. ....	45
Figura 10 - Etapas da revisão.....	48
Figura 11 - Resultados da busca nas bases. ....	50
Figura 12 - Distribuição de frequência de publicações relacionando a <i>Internet of Things</i> com a Manufatura Enxuta. ....	51
Figura 13 - Distribuição de frequência das palavras-chave das publicações. ....	52
Figura 14 - Fluxograma de etapas de projeto.....	59
Figura 15 – Visão conceitual do sistema - Diagrama de Rede.....	62
Figura 16 - Diagrama de Objetos/Classes.....	63
Figura 17 - Placa Arduino Uno.....	64
Figura 18 - Leitor RFID MFRC522.....	65
Figura 19 - Zigbee Xbee S1.....	66
Figura 20 - Esquema do Leitor RFID. ....	66
Figura 21 - Etiquetas magnéticas com anotação. ....	67
Figura 22 – Montagem do leitor RFID .....	68
Figura 23 - Zigbee coordenador conectado ao cabo USB.....	69
Figura 24 - Diagrama de Banco de Dados. ....	71
Figura 25 - Tela configurações. ....	72
Figura 26 - Tela Estatísticas.....	74
Figura 27 - Tela Análise <i>Lean</i> . ....	76
Figura 28 – Exemplo com informações da tela Estatísticas.....	80
Figura 29 - Célula de fabricação de <i>yokes</i> . ....	84
Figura 30 - Leiaute da célula de fabricação de <i>yokes</i> com o sistema aplicado...	86
Figura 31 – Leitor 3 (E2) fixado sobre a caixa de comando do torno CNC.....	87
Figura 32 - Aplicação do sistema de monitoramento na célula de <i>yokes</i> . ....	88
Figura 33 - Etiqueta magnética acoplada nos produtos.....	88
Figura 34 - Tela configurações da aplicação na Empresa A. ....	90
Figura 35 - Tela estatísticas da aplicação na Empresa A. ....	91
Figura 36 - Tela Análise <i>Lean</i> da aplicação na Empresa A. ....	94
Figura 37 - Transformador HVDC e reator de alta tensão. ....	97
Figura 38 - Fluxograma de processos na produção da Empresa B.....	97
Figura 39 - Leiaute da sala de reaperto. ....	100
Figura 40 - Leitores alimentados pela energia da rede por meio de cabos USB. ....	101
Figura 41 - Tela Configurações da aplicação na Empresa B. ....	103

Figura 42 – Tela estatísticas da aplicação na Empresa B. ....	105
Figura 43 – Gráfico de Pareto – Horas improdutivas .....	106



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação de artigos selecionados. ....	53
Quadro 2 - Resumo dos artigos selecionados. ....	57
Quadro 3 - Teste de duração de baterias .....	80



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAM – *Automotive part and accessory manufacturers*  
FTP – *File Transfer Protocol*  
GBO – Gráfico de balanceamento de operadores  
GPS – *Global Positioning System*  
HVDC – *High-Voltage Direct Current*  
IoT – *Internet of Things*  
JIT – *Just-in-time*  
LDD – Linguagem de definição de dados  
LDM – Linguagem de Manipulação de dados  
MFV – Mapeamento do Fluxo de Valor  
RFID – *Radio Frequency Identification*  
RTLS – *Real Time Location System*  
SGBD – Sistema de gerenciamento de banco de dados  
SQL – *Structured Query Language*  
STP – Sistema Toyota de Produção  
UWB – *Ultra-Wide-Band*  
VSM – *Value Stream Mapping*  
WWW – *World Wide Web*



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	23
1.2	OBJETIVO GERAL	27
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>29</b>
2.1	<i>INTERNET OF THINGS</i>	29
2.2	IDENTIFICAÇÃO POR RÁDIOFREQUÊNCIA - RFID	35
2.3	MANUFATURA ENXUTA	39
2.4	ENGENHARIA DE SOFTWARE	46
<b>2.4.1</b>	<b>Arquitetura de Software</b>	<b>46</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Banco de dados</b>	<b>47</b>
2.5	REVISÃO SISTEMÁTICA	48
<b>2.5.1</b>	<b>Metodologia de pesquisa</b>	<b>48</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Planejamento e execução da revisão</b>	<b>49</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Análise da revisão</b>	<b>52</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Conclusões da revisão sistemática</b>	<b>58</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO E DESENVOLVIMENTO</b>	<b>59</b>
3.1	REQUISITOS DE PROJETO	59
3.2	DESENVOLVIMENTO	61
<b>3.2.1</b>	<b>Arquitetura de Rede</b>	<b>61</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Leitor RFID</b>	<b>63</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Middleware e banco de dados</b>	<b>69</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Software aplicativo</b>	<b>71</b>
3.2.4.1	Configurações	72
3.2.4.2	Estatísticas	74
3.2.4.3	Análise <i>Lean</i>	76
3.3	TESTES PRELIMINARES	79
<b>3.3.1</b>	<b>Alcance de sinal e faixas de leitura</b>	<b>79</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Duração da bateria</b>	<b>79</b>
3.4	CONFIGURAÇÕES DO AMBIENTE PARA APLICAÇÃO	80
<b>3.4.1</b>	<b>Instalação de leitores e etiquetas</b>	<b>81</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Monitoramento de objetos</b>	<b>81</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Monitoramento de pessoas</b>	<b>82</b>
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO EM EMPRESAS</b>	<b>83</b>
4.1	CASO 1: EMPRESA A	83
<b>4.1.1</b>	<b>Apresentação da Empresa</b>	<b>83</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Produtos</b>	<b>83</b>

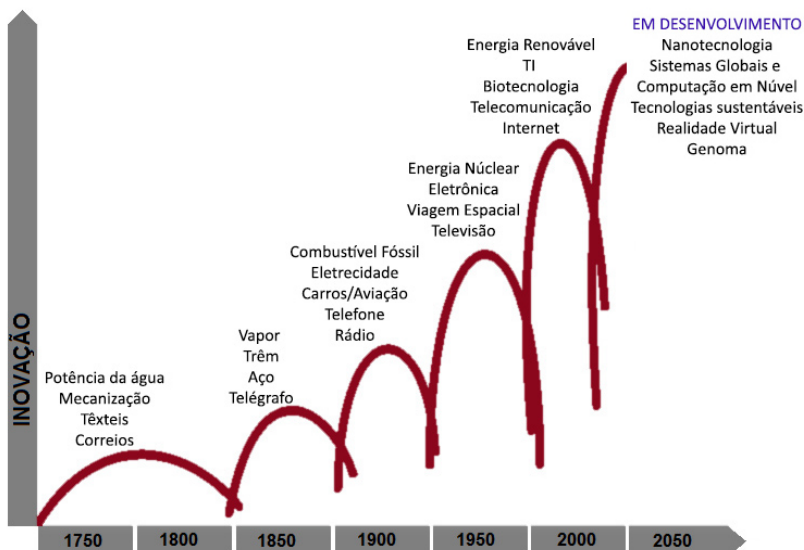
<b>4.1.3</b>	<b>Célula de fabricação de yokes</b> .....	<b>84</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Aplicação</b> .....	<b>85</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>89</b>
<b>4.1.6</b>	<b>Considerações finais desta aplicação</b> .....	<b>95</b>
<b>4.2</b>	<b>CASO 2: EMPRESA B</b> .....	<b>96</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Apresentação da empresa</b> .....	<b>96</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Unidade Canoas/RS</b> .....	<b>96</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Processo de Reaperto</b> .....	<b>98</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Aplicação</b> .....	<b>99</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>102</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Considerações finais desta aplicação</b> .....	<b>107</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>109</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE A – Tabelas com informações das aplicações</b> .....	<b>117</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Atualmente a humanidade vive um ritmo de desenvolvimento tecnológico jamais visto na história. Smihula (2010) afirma que o mundo atravessa a chamada “quinta grande onda de inovação tecnológica”, caracterizada pelo uso generalizado da tecnologia da informação e das comunicações, com ampla utilização da telecomunicação, internet e redes digitais (Figura 1). A internet se faz presente de forma massiva no cotidiano da população mundial, alterando as formas conhecidas de interação e comunicação entre os indivíduos e gerando novas formas de viver a vida. O uso da tecnologia da informação e da inovação é, muitas vezes, o elemento essencial para o aumento da lucratividade e do sucesso das empresas em geral.

Figura 1 - Ondas de inovação.



Fonte: Adaptado de Hargroves e Smith (2005).

Nesse contexto, a expressão *Internet of Things* (IoT), ou Internet das Coisas, surge para viabilizar a total conexão entre mundo real e o

virtual, conectando objetos à internet de forma que informações e ações sejam realizadas e transmitidas sem a intervenção do homem. Sun (2012) define *Internet of Things* a partir da utilização de tecnologias como sensores infravermelhos, sistemas de posicionamento global (*Global Positioning System* - GPS), leitores a laser e, especialmente, identificação por rádio frequência (*Radio Frequency Identification* - RFID) para conectar qualquer objeto à internet de forma a se comunicar e trocar informações, possibilitando identificar, monitorar, rastrear e gerenciar uma rede de forma inteligente. Atualmente, essas tecnologias vêm sendo amplamente utilizadas no meio industrial e empresarial, proporcionando maior eficiência e agilidade às operações.

O RFID é uma tecnologia de identificação automática sem contato físico com os objetos, funcionando a partir da emissão de sinais de radiofrequência capazes de identificar e acessar informações contidas em etiquetas (*tags*) magnéticas. Tal tecnologia apresenta perspectivas revolucionárias para um futuro não tão distante, quando será possível realizar uma gama de atividades sem qualquer tipo de contato físico. Nos dias de hoje, é possível abrir ou fechar portas e ativar ou desativar os mais variados tipos de dispositivos são alguns exemplos dessas atividades. Entre as diversas áreas de aplicação da tecnologia RFID identifica-se uma demanda cada vez maior no setor logístico para rastrear e identificar objetos ou pessoas em tempo real. Zebst, Green e Sowew (2010) afirmam que o uso dessa tecnologia na manufatura pode proporcionar melhorias de produtividade, de tempos de atravessamento (*lead times*), de tempos de ciclo, de desempenho nas datas de entrega e de fluxo de caixa, além de auxiliar a reduzir gastos de operação e de gestão de estoques, reduzindo os níveis de estoque de forma significativa.

Ainda no contexto de melhorias nas operações de manufatura, os princípios da Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) passam a ser cada vez mais disseminados entre os gestores de operações. Para reduzir os desperdícios em um sistema produtivo e aplicar ferramentas e métodos de acordo com a filosofia da Manufatura Enxuta, a utilização da tecnologia da informação colabora diretamente para atingir os objetivos propostos. Sistemas de informação com bancos de dados robustos, interligando todas as funções das empresas e a automatização de determinadas atividades passam a se tornar cada vez mais viáveis com o avanço do desenvolvimento tecnológico. Há um grande potencial de utilização da *Internet of Things* no contexto da Manufatura Enxuta, especialmente quando combinada com a tecnologia RFID.

Trabalhar com manufatura significa ser constantemente desafiado. Resolver problemas e buscar melhorias para os processos produtivos



fazem parte de rotina da gestão industrial. As soluções para os problemas na produção podem ser muitas, tornando-se vital estudar e optar por aquelas que tragam maiores benefícios com baixo-custo. Automatizar operações rotineiras e burocráticas deve ser um objetivo primordial nessa área de atuação, possibilitando mais tempo de trabalho na área criativa e de análise das informações para a tomada de decisão. Coletar dados de produção, por exemplo, é um tipo de atividade que demanda muito tempo e pouco esforço intelectual. Por exemplo: para avaliar o tempo padrão de fabricação em uma célula de montagem do setor metal-mecânico, acompanha-se o processo no chão de fábrica e, a partir da amostra coletada, conclui-se sobre tempos, produtividade, leiaute e qualidade. Tais atividades podem ser sistematizadas e automatizadas para funcionarem com a menor interferência humana possível. Dessa forma, aumenta-se a confiabilidade da informação, que deixa de ser amostral e passa a ser relativa à população. Além disso, gera-se um ganho de produtividade do trabalhador, que terá mais tempo para avaliar e executar as melhorias resultantes dessa análise.

O problema desta pesquisa de mestrado consiste em desenvolver uma alternativa para monitorar tempos, quantidades e informações gerais sobre produtos no chão de fábrica, sem depender de muito tempo, energia e investimentos elevados. Essas atividades envolvem investimentos em hardware, software e manutenção, tornando-as altamente custosas. As empresas capazes de desenvolver aplicativos e implementar soluções digitais para esse fim, via de regra, são as únicas detentoras do conhecimento e, portanto, possuem poder de barganha na hora de negociar o valor pelo serviço prestado, transformando os contratantes em “reféns” do conhecimento. Além disso, as soluções oferecidas pelas empresas da área, na maioria das vezes, são padronizadas e pouco customizáveis.

No âmbito da manufatura enxuta, monitorar objetos em processos produtivos passa a ser necessidade para alcançar os padrões globais de competitividade. A verificação de tempos é muito importante para avaliar o planejamento da capacidade produtiva, o balanceamento de linha e a adequação dos recursos produtivos à demanda. Saber a quantidade de produtos em processo e em estoque também é importante para entender a dinâmica do *WIP (Work-in-Process)* e para atuar na redução de estoques. Além disso, as informações coletadas podem alimentar uma série de outras ferramentas e sistemas *Lean*, como o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping – VSM*). O anseio por uma solução flexível à diversos ambientes e objetivos de aplicação, com tecnologias modernas e baratas e capaz de trazer informações da manufatura em tempo real é o

que motiva este trabalho. No contexto da *Internet of Things*, toda aplicação que venha a conectar objetos ao meio virtual contribui para o desenvolvimento do conceito, promovendo melhorias no controle da manufatura com baixo nível de investimento. Para realizar a transferência de informações de um objeto para uma rede virtual, dois tipos de tecnologias predominam no cenário de manufatura global atualmente: o código de barras e a RFID. O código de barras é constituído de uma série de tiras verticais pretas e brancas posicionadas de forma alternada na horizontal, que são identificadas por um leitor laser. Com o advento do RFID, a tecnologia de código de barras tende a ser substituída em grande parte das aplicações, especialmente devido à sua capacidade limitada de armazenamento de informações e da dificuldade de automação (JUELS, 2006). Assim, o desenvolvimento de soluções em RFID para os problemas da indústria passa a ter maior foco de pesquisadores e empresas em geral. Por se tratar de algo relativamente novo, essa tecnologia ainda não é amplamente aplicada nas empresas. Desenvolver sistemas com a utilização do RFID para auxiliar na gestão dos processos produtivos, de forma flexível e criativa, pode proporcionar benefícios para as empresas e impulsionar novas pesquisas sobre a *Internet of Things* na Manufatura Enxuta.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento de objetos com a tecnologia RFID, dispositivos sem fio (*wireless*) e *plug and play*, para auxiliar na coleta de dados um sistema de produção, fornecendo informações de tempo e de quantidades, visando facilitar o balanceamento de carga, o atendimento ao *takt time*, a avaliação de capacidade e a identificação de desperdícios no processo.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma configuração de hardware com qualidade, flexibilidade, mobilidade e custo acessível, para enviar as informações recebidas pelo leitor RFID sobre os itens rastreados;
- Desenvolver um software aplicativo capaz de receber as informações das etiquetas, registrá-las e analisá-las em tempo real, de acordo com a necessidade do gestor de operações, fornecendo as seguintes informações:
  - Quantidade de itens em cada região monitorada;
  - Data, hora e tempo de atravessamento de cada item em cada região;
  - Estatísticas de cada região, tais como valor mínimo, médio e máximo para tempos de atravessamento e quantidades de itens;
- Exportar as informações do software aplicativo para outros produtos de ampla utilização comercial, como o Microsoft Word e o Excel;
- Realizar aplicações do sistema em ambientes de produção, a fim de avaliar os resultados e verificar se o funcionamento do sistema está de acordo com os requisitos do projeto.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura sobre os principais conceitos que norteiam este trabalho, tais como *Internet of Things*, Identificação por Rádio Frequência (RFID), Manufatura Enxuta e Manufatura Virtual. A revisão busca dar suporte ao desenvolvimento e aplicação do sistema de monitoramento RFID proposto pelo autor. Uma revisão sistemática foi realizada para identificar trabalhos sobre a utilização das tecnologias pertencentes à *Internet of Things* como ferramenta de auxílio na aplicação dos conceitos da Manufatura Enxuta para monitoramento de objetos no chão de fábrica.

### 2.1 INTERNET OF THINGS

Durante a década de 1990, a internet passou por um processo de popularização massiva, mostrando ao mundo uma nova forma de interligar computadores e pessoas e dando início à era da Revolução Digital. A tecnologia, capaz de conectar bilhões de pessoas em tempo real mediante redes compartilhadas, passou a influenciar quase todos os aspectos da vida humana. Ler e enviar e-mails, acessar serviços de multimídia e redes sociais, jogar e utilizar serviços de banco *online* são apenas algumas das atividades oriundas dessa revolução. As informações contidas na internet eram fornecidas exclusivamente pelo homem, por digitação, apertando botões ou capturando imagens. Com o advento de novas tecnologias e pesquisas em automação, novas possibilidades de interação entre a máquina e o meio-ambiente surgiram, reduzindo a necessidade da inserção de informação pelo homem e, de forma geral, melhorando a experiência do usuário.

A visão da *Internet Of Things* surge com o objetivo de conectar a internet diretamente aos objetos, trocando informações e realizando ações no mundo físico sem a ação do homem. Mattern e Floerkemeier (2010) afirmam que a *Internet Of Things* possibilita que objetos físicos estejam conectados ao mundo virtual e possam ser controlados de forma remota, atuando como um ponto de acesso físico à internet. Kevin Ashton foi um dos criadores do termo *Internet Of Things* após desenvolver pesquisas no centro de Auto Identificação do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology* - MIT) (SARMA, BROCK; ASHTON, 2000). Ele afirmou que os computadores devem ter seus próprios meios de obter informações, para que eles possam ver, ouvir e cheirar o mundo por eles mesmos, sem a necessidade da entrada de dados pelos humanos (ASHTON, 2009).

Algumas tecnologias estão diretamente relacionadas à visão da *Internet Of Things*, e possibilitam a interligação de objetos inteligentes com o mundo virtual. Dentre as principais propulsoras da filosofia encontram-se a Identificação por Radiofrequência (RFID) e a utilização de sensores capazes de captar informações variadas do meio ambiente. A ação de controlar luzes, portas, janelas e aparelhos eletrônicos de uma casa a partir da internet já é uma realidade. Diversas aplicações com RFID vêm sendo executadas nas mais diversas áreas, especialmente no setor logístico, onde monitorar produtos e pessoas em tempo real a custos reduzidos é estratégico para aumentar a lucratividade das empresas.

O desenvolvimento de tecnologias para transmissão de dados sem fio (*wireless*) está diretamente ligado ao surgimento da *Internet of Things*. A Figura 2 apresenta algumas das tecnologias mais utilizadas para a comunicação sem fio.

Figura 2 - Tecnologias sem fio.



Fonte: Autoria própria.

Wi-fi: é uma abreviação de *Wireless Fidelity*, é um conjunto de especificações para uma rede local sem fios (WLAN), baseado no padrão IEEE 802.11. Com essa tecnologia é possível instalar redes que conectam computadores e outros dispositivos (celulares, videogames, *tablets*, entre outros) à Internet quando em proximidade a um ponto de acesso. A transmissão de dados é feita por radiofrequência, podendo ser acessada de uma distância de até 30 metros. Atualmente, é amplamente utilizada para acesso universal à Internet, sendo empregada nos mais variados locais (WI-FI ALLIANCE, 2015).

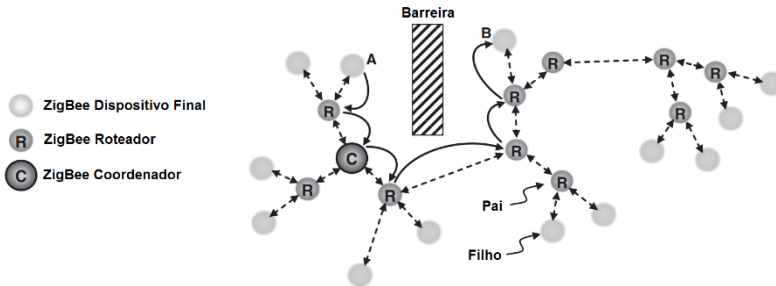
3G: o desenvolvimento da tecnologia de Terceira Geração (3G) permite que usuários acessem conexões de alta velocidade (384 Kbits/s) a partir de aparelhos móveis. Fazendo uso da radiofrequência, essa tecnologia é definida como a nova geração de sistemas de comunicação (KORHONEN, 2003). Aliada ao decréscimo nos custos de *smartphones*,

a quantidade de pessoas acessando a Internet pelos aparelhos móveis vem se equiparando àquelas que acessam pelos seus computadores. A tecnologia 3G é essencial ao fornecer diversas aplicações para os aparelhos móveis, como transações bancárias ou jogos online (CHONG et al., 2012). Além dos aparelhos celulares, que já vêm com essa tecnologia embutida, os modems 3G, que podem ser acoplados a notebooks, por exemplo, permitem uma conexão de banda larga também para usuários em movimento.

*Bluetooth*: desenvolvida pelo *Bluetooth Special Interest Group*, essa tecnologia sem fio conecta e sincroniza aparelhos digitais por meio de uma conexão de curto alcance. O conceito por detrás do desenvolvimento do Bluetooth é a remoção de cabos da equação da conectividade, de forma que, virtualmente, qualquer aparelho digital possa se conectar a outro por uma retransmissão sem fio. Um microchip com Bluetooth possui um transceptor de rádio, que conecta e sincroniza aparelhos digitais instantânea e automaticamente, sempre que estiverem ao alcance um do outro. O único dispositivo necessário para a conexão ser ativada é um ponto de acesso que esteja dentro do alcance dos aparelhos habilitados com Bluetooth (AARDSMA, 2001).

*ZigBee*: é um conjunto de especificações usadas para definir um conjunto de protocolos de comunicação para redes sem fio de curto alcance e de baixa taxa de transmissão de dados. Dispositivos que utilizam o ZigBee operam com frequências de 868 MHz, 915 MHz e 2,4 GHz, e a taxa mais alta de transmissão de dados é de 250 Kbits por segundo. Essa tecnologia é utilizada principalmente em aplicativos que utilizam baterias como fonte de energia, nos quais baixas taxas de transmissão, baixo custo e longa duração da bateria são requisitos importantes. Os dispositivos que utilizam o ZigBee possuem um tempo total de atividade bastante limitado: na maior parte do tempo, o aparelho fica em “espera”, podendo ser utilizado por muitos anos até haver a necessidade de troca de bateria (FARAHANI, 2008). Dessa forma, o uso de pouca energia se torna uma grande vantagem, além de as transmissões poderem ser feitas a longa distância, já que o protocolo permite a utilização de roteadores para distribuir os dados (CRACIUNESCU; HALUNGA; FRATU, 2015). Conforme apresentado na Figura 3, existem três classes de dispositivos lógicos que definem uma rede de ZigBees: coordenador, roteador e dispositivo final.

Figura 3 - Tipologia de uma rede de Zigbees.



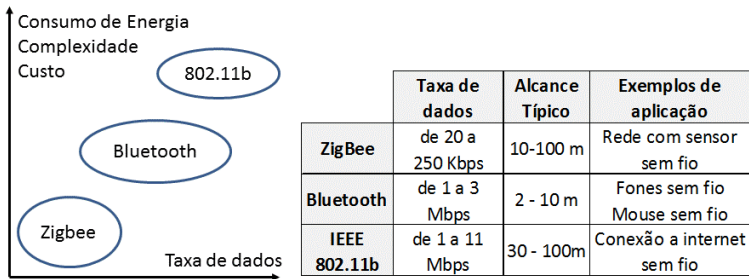
Fonte: Adaptado de Farahani (2008).

*Satélite*: nessa tecnologia, o acesso à internet é fornecido por satélites de comunicação. O sinal é enviado por satélites geoestacionários, com alta velocidade de transmissão. No Brasil, os serviços de internet via satélite são mais caros que as demais tecnologias, mas acabam sendo a única opção de acesso à rede para cerca de 20 milhões de brasileiros que vivem em áreas remotas, onde as redes de banda larga fixa, móvel ou a cabo não têm alcance (MOREIRA, 2010). A internet via satélite perde na competição do mercado para os serviços a cabo e de telefone, geralmente oferecidos pelas companhias de telecomunicação, devido ao alto custo e aos atrasos no sinal (PASZTOR, 2008).

A Figura 4 apresenta uma comparação entre as tecnologias de transmissão de dados via Zigbee, Bluetooth e Wi-fi. Torna-se claro que o Zigbee é a tecnologia mais recomendada para aplicações com baixa taxa de transferência de dados. Além de possuir menor consumo de energia, menor complexidade e menor custo, o Zigbee possui alcance tão alto quanto a tecnologia Wi-Fi.



Figura 4 - Comparação de tecnologias sem fio.



Fonte: Adaptado de Farahani (2008).

Outra tecnologia que aparece como facilitadora da *Internet of Things* é a tecnologia de código de barras 2D. A tecnologia de código de barras 1D vem sendo utilizada para rastreamento e monitoramento de objetos desde o início dos anos 1970. Trata-se de um código binário com barras pretas e espaços intercalados, posicionados em uma configuração paralela. Essa sequência pode ser interpretada numericamente e alfanumericamente a partir de leitores óticos a laser. A evolução para o código de barras de bidimensional surgiu nos anos noventa, trazendo diversas vantagens em comparação ao unidimensional. Segundo Razzak (2012), devido à menor complexidade e menor custo de desenvolvimento e aplicação, o código de barras bidimensional se tornou a principal ferramenta para criar uma relação entre objetos físicos e as suas representações cibernéticas. A disponibilidade de *smartphones* capazes de escanear códigos bidimensionais proporciona um estímulo à conexão físico-cibernética. Entre os vários tipos de código de duas dimensões, um dos mais populares é o chamado *QR Code* (*quick response code*), desenvolvido pela empresa Denso-Wave. Trata-se de uma matriz de código de barras que consiste em módulos pretos espalhados por um quadrado. A tecnologia possui código aberto e é compatível com a maioria dos celulares com câmera. A Figura 5 apresenta um exemplo de *QR Code*.

Figura 5 - Exemplo de QR Code

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz1234567890abcdefghijklmnopghj  
 klmnopqrstuvwxyz1234567890abcdefghijklmnopghjklmnopqrs  
 tuvwx1234567890abcdefghijklmnopghjklmnopqrstuvwxyz12  
 34567890abcdefghijklmnopghjklmnopqrstuvwxyz1234567890  
 abcdefghijklmnopqrstuvwxyz1234567890abcdefghijklmnopghj  
 klmnopqrstuvwxyz1234567890abcdefghijklmnopghjklmnopqrs  
 tuvwx1234567890abcdefghijklmnopghjklmnopqrstu



Fonte: Denso Wave (2016).

Segundo Denso Wave (2016), há muitas vantagens de se usar essa tecnologia em relação ao código de barras convencional. Enquanto códigos de barra de uma dimensão armazenam aproximadamente 20 dígitos, um código de barra bidimensional é capaz de armazenar até 300 caracteres alfanuméricos. *QR Codes* podem armazenar diferentes tipos de informação, tais como imagens, sons, palavras e impressões digitais. Além disso, podem ser facilmente identificados por um *smartphone* e podem ser lidos em mais de uma direção. Uma das desvantagens da tecnologia de código de barras se dá pela necessidade da sua visualização para transmissão da informação, não sendo possível realizar monitoramento quando não houver campo de visão.

## 2.2 IDENTIFICAÇÃO POR RÁDIOFREQUÊNCIA - RFID

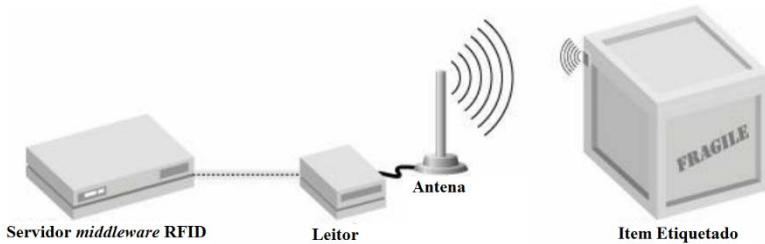
A identificação por radiofrequência é uma tecnologia de comunicação usada para identificar objetos ou pessoas portadoras de etiquetas magnéticas com informações únicas codificadas (*Electronic Product Code* - EPC), utilizando ondas de radiofrequência para a transmissão dos dados. Lozano-Nieto (2011) afirma que a principal função de um sistema RFID é responder de forma automática a uma informação previamente inserida em um circuito integrado. Segundo Glover e Bhatt (2006), RFID é normalmente descrito como um sistema em que uma estação-base de um determinado tipo (leitor RFID) é capaz de reconhecer outro aparelho eletrônico usando um dos muitos mecanismos de transmissão *wireless*. A popularização do RFID se deu a partir das aplicações da empresa Wal-Mart e do Departamento de Defesa Americano. Eles instalaram, a partir de 2005, etiquetas magnéticas nos produtos dos seus 100 principais fornecedores, de forma a realizar monitoramento de *pallets* e caixas (HUNT; PUGLIA; PUGLIA, 2007). Essas iniciativas foram responsáveis pela aceitação e uso do RFID como uma ferramenta capaz de aumentar a produtividade dos processos e torná-la uma tecnologia viável economicamente.

Um sistema RFID é composto por um hardware com três elementos principais (GLOVER; BHATT, 2006; HUNT; PUGLIA; PUGLIA, 2007):

1. *Etiqueta RFID* ou *Transponder*: é composta por um *chip* semicondutor, uma antena e, algumas vezes, uma bateria. Sua função básica é armazenar e transmitir a informação relativa ao objeto ao qual está acoplado para o leitor RFID.
2. *Leitor RFID* ou *Receiver*: realiza a comunicação entre a etiqueta e o controlador. Ele é capaz de ler e gravar informação na etiqueta RFID, bem como transmitir energia para as etiquetas. Normalmente é composto por três componentes: uma antena, um módulo de radiofrequência eletrônico, responsável pela comunicação com o RFID, e um módulo de controle eletrônico, responsável pela comunicação com o Controlador.
3. *Controlador* ou *RFID Middleware*: na maior parte das vezes é composto por um tipo de computador ou estação de trabalho capaz de rodar um software responsável pelo controle do sistema e pelo banco de dados.

A Figura 6 ilustra a configuração de um sistema RFID:

Figura 6 - Exemplo de um sistema RFID.

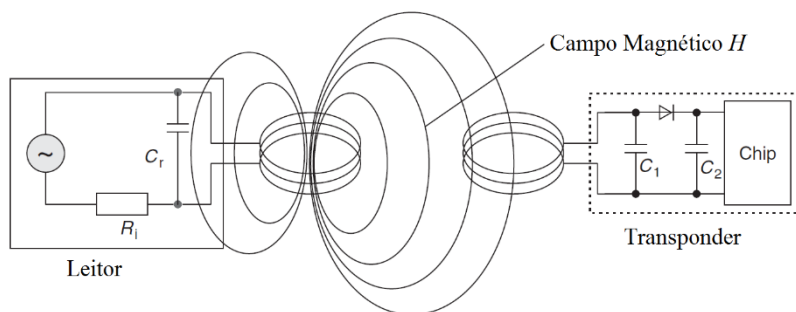


Fonte: Adaptado de Glover e Bhatt (2006).

As etiquetas magnéticas podem ser classificadas de acordo com as seguintes características:

- **Energização:** as etiquetas podem ser ativas, semi-passivas ou passivas. As etiquetas ativas possuem uma fonte de energia acoplada, como uma bateria. Ao enviar informação ao leitor, a etiqueta usa essa fonte para viabilizar a transmissão. Dessa forma, etiquetas ativas podem se comunicar com leitores de menor alcance e transmitir informação a distâncias muito maiores. Etiquetas passivas não possuem bateria acoplada. Recebem energia por meio do sinal do leitor RFID para transmitir a informação. Como resultado, etiquetas passivas são menores, mais baratas e possuem menor alcance de transmissão, de aproximadamente 60 centímetros. As etiquetas semi-passivas são muito similares às etiquetas passivas. A grande diferença é que possuem uma bateria acoplada para alimentar algumas funções externas do sistema conectado, como os sensores. Etiquetas semi-passivas podem responder apenas às transmissões que chegam até elas, captando energia do leitor para realizar a comunicação (Figura 7).

Figura 7 - Fornecimento de energia para a etiqueta por meio do leitor RFID.



Fonte: Adaptado de Finkenzeller (2010).

- Leitura/Escrita: classifica as etiquetas de acordo com o tipo de memória. Há basicamente dois tipos: somente-leitura (*read-only*) e leitura/gravação (*read/write*). As etiquetas somente-leitura são similares aos códigos de barras, que são programados somente uma vez e não podem ser alterados. As etiquetas leitura/gravação são chamadas de etiquetas inteligentes. São muito mais flexíveis e podem armazenar uma grande quantidade de informações, sendo capazes de alterar dados a qualquer momento, quantas vezes forem necessárias.

Diversos autores publicaram trabalhos sobre a utilização do RFID de forma a aumentar a eficiência e a eficácia em seus processos. Barros-Barros-Torres et al. (2012) desenvolveram um sistema de monitoramento dos equipamentos de proteção para operários na construção civil. O sistema RFID identifica os equipamentos utilizados por cada operador, armazena informações em um banco de dados e alerta para possíveis riscos de falha. Foram utilizados módulos leitores em cada operador, compostos principalmente por um leitor RFID ID-20, um microcontrolador Atmega1280 Arduino e um módulo wi-fi Zigbee, necessário para transmitir as informações ao controlador. Os objetos foram rastreados com etiquetas ativas. Kakumanu e Kota (2013) desenvolveram um sistema de monitoramento para a manufatura utilizando um leitor RFID, um microcontrolador ARM7 e o módulo Zigbee para transmissão de informação via wi-fi. Dessa forma, é possível rastrear objetos em uma planta industrial e obter em tempo real as configurações do sistema produtivo. Além destes, outros trabalhos serão descritos detalhadamente na seção 3.5.

Ainda há muito campo a ser explorado nas mais diversas áreas do conhecimento, inclusive na gestão de Sistemas de Manufatura. Segundo Günther, Kletti e Kubach (2008), para avaliar a viabilidade econômica e de aplicação de uma solução com RFID na manufatura, deve-se analisar os seguintes aspectos:

- Processos contínuos ou em linha podem não permitir a colocação de etiquetas em entidades discretas. Isso aumenta de forma drástica a complexidade do problema de monitoramento e rastreamento;
- Produtos com alto volume e baixo custo raramente justificam o investimento em identificadores únicos;
- Tamanhos físicos pequenos de componentes críticos podem não suportar uma etiqueta;
- Transformações complexas e frequentes na forma do produto podem tornar difícil uma identificação atualizada;
- A combinação das tecnologias de RFID e sensores dentro de uma planta de manufatura ou centro de distribuição necessitam frequentemente de maior precisão do que unidades monitoradas ao longo da cadeia de suprimentos;
- No contexto da combinação do RFID com sensores de localização, uma quantidade substancial de tempo e recursos pode ser necessária para localizar e expedir materiais e pedidos ao executar uma localização. A combinação do RFID e de um Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) para o rastreamento não é tradicionalmente adequado e acurado o suficiente para realizar rastreamento dentro de uma fábrica. Outras tecnologias de Etiquetas Inteligentes (*Smart Tags*) podem ser utilizadas, como o rastreamento de posição tridimensional;
- Sobre a estratégia de implementação, pode ser preferível, pela perspectiva de custos e operacionalidade, colocar etiquetas em módulos transportadores (*pallets*, caixas, *containers*) em vez de monitorar itens individualmente, mantendo a associação dinâmica entre itens e pedidos específicos com esses módulos.

Segundo Wyld (2006), a tecnologia RFID é geralmente vista como um melhoramento do código de barras. Preradovic e Karmakar (2010) afirmam que há uma tendência crescente em substituir os códigos de barras por etiquetas RFID, já que estas possuem códigos de identificação individual para cada item e podem ser lidos a longas distâncias. Ainda,

segundo os autores, a única razão pela qual o RFID ainda não substituiu o código de barras é devido ao maior custo de fabricação das etiquetas. Apesar disso, as etiquetas RFID superam algumas limitações do código de barras em relação à automação e distância para leitura.

### 2.3 MANUFATURA ENXUTA

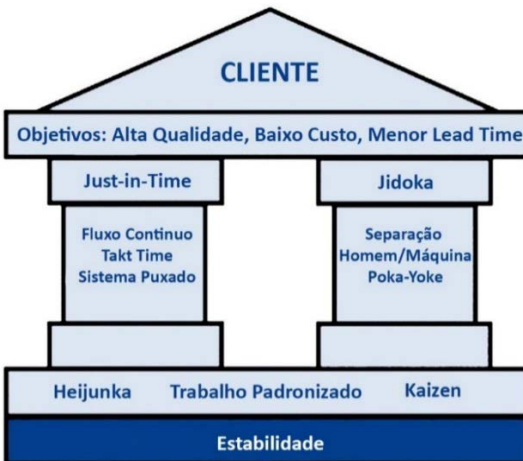
Entre os anos de 1985 e 1990 James P. Womack e Daniel T. Jones lideraram um abrangente estudo sobre a indústria automotiva mundial no Instituto de Tecnologia de Massachussets (*Massachussets Institute of Technology* - MIT). A pesquisa buscava entender diversas áreas da administração da produção, tais como desenvolvimento de produtos, gestão da cadeia de suprimentos, operações de manufatura e relações com clientes. Após a realização da pesquisa, ficaram evidentes as vantagens do Sistema Toyota de Produção (STP) em comparação aos sistemas utilizados pela maioria das indústrias ocidentais da época. O STP surgiu no Japão pós-guerra para contrapor o sistema de produção em massa desenvolvido por Henry Ford na indústria automotiva dos EUA. Segundo Taiishi Ohno (1997), considerado o maior responsável pela criação do STP, enquanto os EUA conseguiram baixar os custos de produção nas décadas antecedentes à guerra, produzindo em massa um número menor de tipos de carros, os japoneses, após a guerra, passaram a cortar custos e, ao mesmo tempo, produzir pequenas quantidades de muitos tipos de carros diferentes. Dessa forma, a Toyota buscava identificar e eliminar os desperdícios envolvidos no processo, reduzindo também os custos de operação.

A partir desse estudo, os autores publicaram o livro chamado “A máquina que mudou o mundo”, no qual cunharam a expressão *Lean Manufacturing*, traduzida para o português como Manufatura Enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 1990). Segundo Womack e Jones (1996), pode-se definir a Manufatura Enxuta como uma abordagem que busca uma melhor maneira de organizar e gerenciar a cadeia de suprimentos, o desenvolvimento de produtos, a operação da produção e os relacionamentos de uma empresa com seus clientes, buscando fazer cada vez mais com menos recursos e em menor tempo.

Segundo Ghinato (1995), o STP está estruturado sobre a base da completa eliminação dos desperdícios, com o *just-in-time* (JIT) e a “autonomação” (do japonês *jidoka*) atuando como seus dois pilares de sustentação. No japonês, as palavras para *just-in-time* significam “no momento certo” ou “oportuno”. Womack e Jones (1996) afirmam que o termo pode sugerir muito mais do que se concentrar apenas no tempo de

entrega, pois isso poderia estimular a superprodução antecipada e resultar em esperas desnecessárias. O STP realiza a produção com “estoque zero” ou sem estoque, o que equivale a dizer que cada processo deve ser abastecido com itens, quantidade e no momento necessário. O termo autonomia é descrito como a humanização da interface entre operador e máquina, que deve servir aos interesses do operador, detentor de liberdade para interromper o seu funcionamento sempre que achar necessário (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2013). A Figura 8 mostra uma representação da casa Toyota, desenvolvida por Ohno, que descreve o funcionamento e a cultura do STP de forma visual.

Figura 8 - Casa Toyota.



Fonte: Adaptado de Marchwinski, Shook e Schroeder (2008).

Os pilares *Just-in-Time* e *Jidoka* criam a sustentação necessária para alcançar os objetivos da empresa e a satisfação do cliente. Nas fundações da casa, a estabilidade e a disciplina mantêm alguns princípios que formam a base do sistema, conforme segue abaixo (MARCHWINSKI; SHOOK; SCHROEDER, 2008):

- ***Heijunka***: é o nivelamento e balanceamento do fluxo de manufatura, a fim de produzir o que o cliente quer, na hora e na quantidade que ele desejar, evitando grandes lotes e resultando em baixos volumes de estoque e altos *lead times* ao longo da cadeia;



- Trabalho padronizado: procedimentos que apresentam o *takt time* a ser atendido no processo, a sequência das atividades que cada operador deve realizar, os tempos esperados para sua execução e o estoque padrão de cada área para manter o fluxo de produção;
- Kaizen: significa a melhoria contínua de toda uma cadeia de fluxo de valor ou de um processo individual para criar mais valor com menos desperdícios. O *Kaizen* pode ser focado no sistema e no fluxo da cadeia produtiva, a ser realizado em nível gerencial, ou em processos individuais, realizados pelos times de trabalho e seus líderes.

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), do inglês *Value Stream Mapping* (VSM), é uma ferramenta desenvolvida por Rother e Shook para auxiliar na visualização de um processo inteiro, apresentando os fluxos de material e de informações. Ela é uma ferramenta adequada para auxiliar na transformação *Lean*. Segundo os autores (ROTHER; SHOCK, 1999), o principal objetivo do MFV é identificar todos os tipos de desperdícios na cadeia de valor e tomar ações para eliminá-los. O MFV é definido como “o simples processo de observar diretamente o fluxo de informações e materiais como eles ocorrem, anotando visualmente e então prevendo um estado futuro com um melhor desempenho” (JONES; WOMACK, 2000).

No contexto *Lean*, o Mapeamento do Fluxo de Valor (*Value Stream Mapping* – VSM) é uma ferramenta extremamente capaz de auxiliar a expor as ineficiências de processo e falhas de comunicação, conduzindo a melhorias generalizadas e reduzindo os desperdícios. Além disso, pode-se analisar a capacidade e a utilização das estações de trabalho, adequando da melhor forma possível o arranjo dos recursos produtivos para atender o *takt time*.

Inicialmente um mapa do estado atual é desenhado e é possível identificar fontes de desperdício e oportunidades de melhoria. A segunda etapa é a criação do mapa futuro com base nas melhorias a serem feitas. O mapa fornece informações essenciais para a gestão de um fluxo de processo, como a quantidade de estoque, tempo de processamento e o *lead time*. O VSM se apresenta como uma metodologia sistemática para compreender o processo inteiro, identificando o que agrega e o que não agrega valor, e oferecendo uma visão ampla e nivelada do processo produtivo.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) afirmam que o termo *Gemba* (do japonês “o lugar real”) é frequentemente utilizado na filosofia *Lean* ou em melhoramentos em geral para aferir a ideia de que, quando se deseja realmente entender alguma coisa, deve-se ir até o local onde isso acontece e observar regularmente, de forma a obter um entendimento real dos desperdícios e das oportunidades de melhorias. Womack, Jones e Roos (1990) definem desperdício (*Muda*, em japonês) como qualquer atividade humana que absorve recursos e não cria valor. Segundo Taiishi Ohno (1997), o Sistema Toyota de Produção identifica sete tipos de desperdícios em operação, que podem ser considerados tanto em produção quanto em serviços, formando o núcleo da filosofia *Lean* (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2013):

- Superprodução: produzir mais do que é imediatamente necessário é a maior causa de desperdícios na operação, de acordo com a Toyota;
- Tempo de espera: a eficiência do equipamento e do operador são dois indicadores amplamente utilizados para identificar tempos de espera de equipamento e de trabalho, respectivamente;
- Transporte: movimentar itens na operação não agrega valor ao produto. Mudanças de leiaute para tornar os processos mais próximos e melhorias nos métodos de transporte e na organização do trabalho podem reduzir desperdícios;
- Processamento: o processo em si pode ser uma fonte de desperdício. Algumas operações só existem por causa de desatenção no projeto dos componentes ou pela falta de manutenção e, portanto, devem ser eliminadas;
- Estoques: todo tipo de estoque deve ser alvo de eliminação, embora seja importante entender profundamente as causas de sua manutenção;
- Movimentação: mesmo que o operador pareça estar ocupado, muitas vezes ele não está agregando valor algum ao trabalho. Simplificações do trabalho são boas fontes de redução de desperdícios em movimentação;
- Defeitos: desperdícios em qualidade são frequentes nas operações. Os custos totais da qualidade são muito maiores do que os tradicionalmente considerados e é extremamente importante identificar e eliminar essas causas.

Alguns autores, como Liker (2005), identificaram um oitavo tipo de desperdício:

- Criatividade: desperdício de tempo, ideias, habilidades e conhecimento dos funcionários.

O pensamento Enxuto (*Lean Thinking*) foi criado por Womack e Jones (1996) para que todas as empresas pudessem experimentar a produção *Lean* e por meio dele eliminar os desperdícios. Os cinco princípios do pensamento *Lean* são:

1. Determinar o valor de acordo com o ponto de vista do cliente final;
2. Identificar a cadeia de valor para cada produto, eliminando etapas que não agregam valor;
3. Fazer o trabalho fluir garantindo que as etapas que agregam valor ocorram sem interrupções (fluxo contínuo);
4. Fazer o cliente puxar a criação de valor ao longo da cadeia (produção puxada);
5. Buscar perfeição mediante a melhoria contínua.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013) afirmam que existem alguns objetivos de desempenho principais a serem perseguidos no cotidiano de um ambiente de operações. Cinco objetivos de desempenho básicos podem ser aplicados a todos os tipos de operações. A lista abaixo apresenta estes objetivos e exemplos de possíveis indicadores de desempenho para monitorá-los:

- Qualidade: representa a conformidade às expectativas do consumidor. Todas as operações necessitam da qualidade como um importante objetivo. É a parte mais visível daquilo que as operações fazem. Indicadores: defeitos por unidade, nível de reclamação e quantidade de sucata.
- Velocidade: significa o tempo gasto entre a solicitação de produtos ou serviços e a sua entrega. Quanto maior for a velocidade de entrega, maiores serão as chances de o cliente comprar e mais caro ele estará disposto a pagar por isso. Indicadores: tempo de espera do cliente, *lead time* (tempo de atravessamento).
- Confiabilidade: é fazer as coisas no tempo certo para que o cliente receba o produto ou serviço exatamente no momento em que ele precisa, ou quando prometido. Não interessa o quão

barato ou rápido é um serviço de ônibus se ele está sempre atrasado ou imprevisivelmente adiantado, ou os ônibus estão sempre cheios. Potenciais passageiros preferirão optar por um táxi. Indicadores: percentual de entregas atrasadas, atraso médio e proporção de produto em estoque.

- **Flexibilidade:** trata-se de estar apto a realizar mudanças na operação. Isso significa mudar o que a operação faz, como e quando ela é realizada. Pode-se medir a flexibilidade a partir de quatro requisitos fundamentais: flexibilidade no produto; flexibilidade no *mix* de produtos; flexibilidade no volume produzido; e flexibilidade no tempo de entrega. Indicadores: tempo de desenvolvimento de produtos, variedade de produtos, tempo de troca de ferramentas e tamanho médio de lote.
- **Custo:** para empresas que competem diretamente por preço no mercado, o custo se torna o maior objetivo operacional. Quanto menor o custo operacional, menor pode ser o preço ao consumidor ou maior a margem de lucro. O custo será sempre um importante objetivo da operação, mesmo que a empresa não dispute mercado diretamente por preço. Indicadores: tempo mínimo e médio de entrega, variação das metas, utilização dos recursos, produtividade, eficiência, valor agregado e custo horário de operação.

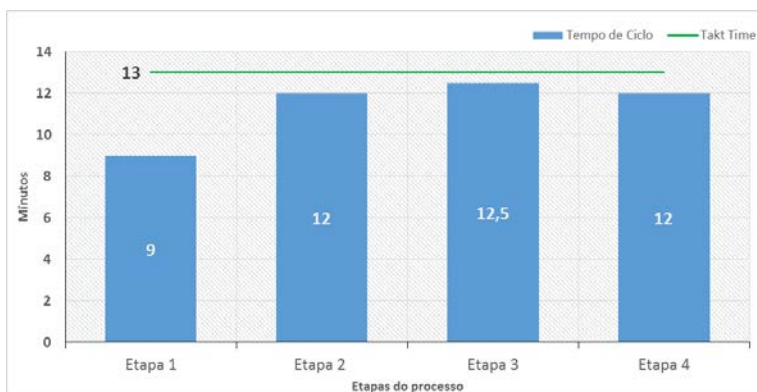
De acordo com os princípios da manufatura enxuta, um sistema de manufatura deve seguir o princípio do *just-in-time*, evitando desperdícios e ajustando sua produção de acordo com a demanda, sem utilizar volumes de estoque. Para tal, é fundamental estar atento nas variações da demanda e atualizar periodicamente o *takt time* da operação. Produzir de acordo com o *takt time* proporciona um melhor entendimento sobre a utilização dos recursos da cadeia de valor. Dessa forma, é possível projetar a capacidade da maneira que melhor se atenda ao mercado, evitando custos desnecessários.

Segundo Feld (2000), tempos de operadores são comparados ao *takt time* para identificar duas oportunidades: automação e balanceamento de carga de trabalho. A automação significa que o equipamento não precisa ser monitorado caso algum problema ocorra. O equipamento deverá automaticamente encerrar a operação quando alguma anormalidade for descoberta, permitindo ao operador realizar tarefas de valor agregado. Essa oportunidade é de grande importância para aumentar a produtividade e a qualidade. O balanceamento de carga de

trabalho visa examinar os elementos de trabalho individualmente para cada operação e determinar se eles podem ser reduzidos, divididos, reordenados, combinados ou eliminados. Esse esforço para balancear a carga de trabalho ao *takt time* é o principal viabilizador para alcançar o fluxo contínuo (*one-piece flow*).

A Figura 9 apresenta um Gráfico de Balanceamento de Operadores (GBO), usado para visualizar a comparação dos tempos de ciclo com o *takt time* e auxiliar na criação de fluxo contínuo. Ele é utilizado para equilibrar as atividades entre os operadores a fim de melhorar a utilização dos recursos e reduzir *lead time*. No processo com múltiplas etapas utilizado no exemplo abaixo, pode-se perceber que os tempos estão atendendo ao *takt time* e o processo está razoavelmente balanceado.

Figura 9 - Gráfico de Balanceamento de Operadores.



Fonte – Autoria própria.

Em um processo balanceado, os tempos de ciclo devem estar próximos do *takt time*. Quando o tempo de ciclo está divergindo significativamente, ações devem ser tomadas para ajustá-lo e evitar desperdícios no processo. Se o tempo de ciclo do operador está acima do *takt time*, significa que o processo não irá atender ao volume demandado. Divisão de tarefas ou *Kaizen* podem ser realizados para reduzir os tempos nas estações de trabalho. Se o tempo de ciclo estiver significativamente abaixo do ritmo da demanda, o processo está desbalanceado e os desperdícios por espera devem ser atacados. Alterações de layout podem reduzir o número de operadores. Além disso, agrupar atividades de menor tempo de ciclo auxilia na melhoria da utilização dos recursos.

## 2.4 ENGENHARIA DE SOFTWARE

O processo de desenvolvimento de software constitui um conjunto de atividades e resultados associados que geram um produto em forma de software. Segundo Sommerville (2007), existem algumas etapas comuns para todos os tipos de desenvolvimento de software:

- 1) Especificação de Software: clientes e engenheiros definem quais serão os requisitos, funcionalidades e restrições do software;
- 2) Desenvolvimento de Software: o software é projetado e programado;
- 3) Validação de Software: o software é verificado para assegurar que os requisitos do projeto serão atendidos;
- 4) Evolução de Software: o software passa por modificações para se adequar aos requisitos do cliente e do mercado.

Diferentes tipos de sistemas necessitam de diferentes processos de desenvolvimento. Consequentemente, essas atividades genéricas podem ser organizadas em diferentes formatos e descritas em diferentes níveis de detalhamento para cada tipo de software. Entretanto, o uso de um processo de desenvolvimento de software inadequado pode reduzir a qualidade ou a utilidade do produto final a ser desenvolvido, aumentando os seus custos de desenvolvimento.

### 2.4.1 Arquitetura de Software

Grandes sistemas são decompostos em subsistemas que fornecem um conjunto de serviços relacionados. O processo inicial de desenvolvimento, chamado de projeto de arquitetura, visa identificar esses subsistemas e estabelecer uma estrutura de controle e comunicação entre eles. O resultado desse desenvolvimento é a descrição da arquitetura do software (SOMMERVILLE, 2007).

Bass, Clements e Kazman (2003) descrevem três vantagens de se realizar o projeto e a documentação da arquitetura de software:

- 1) Comunicação entre stakeholders: a arquitetura é uma apresentação de alto nível do sistema que pode ser usada como foco de discussão por uma gama de diferentes *stakeholders*;
- 2) Análise do sistema: fazer a arquitetura explícita do sistema em um estágio inicial de desenvolvimento requer certas análises.

Decisões de desenvolvimento arquitetural tem profundo efeito em como o sistema irá atender a alguns requisitos críticos como desempenho, confiabilidade e manutenção;

- 3) Reutilização em larga escala: um modelo de arquitetura de sistema é uma descrição compacta e manejável de como o sistema está organizado e como os componentes operam entre si. A arquitetura do sistema é frequentemente a mesma para sistemas com requisitos similares e pode viabilizar a reutilização de softwares em larga escala.

### **2.4.2 Banco de dados**

Os sistemas de banco de dados são um componente essencial na vida da sociedade moderna e tem um grande impacto na forma como os computadores são utilizados e na evolução da tecnologia da informação. Segundo Elmasri e Navathe (2010), um banco de dados pode ser definido como uma coleção de informações relacionadas, as quais representam fatos que podem ser gravados e que possuem algum significado implícito. Segundo os autores, um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) pode ser definido como um software de uso abrangente que facilita o processo de definir, criar, manipular e compartilhar bancos de dados entre usuários e aplicações.

Segundo Connolly e Begg (2005), o usuário controla o banco de dados mediante uma Linguagem de Definição de Dados (LDD), permitindo especificar tipo, estrutura e restrições de informações a serem armazenadas. A Linguagem de Manipulação de Dados (LMD) permite ao usuário inserir, atualizar, excluir e solicitar informações de um banco de dados, por meio de uma linguagem de consulta. A linguagem mais comum usada pelos SGBDs para definição e manipulação de dados é a *Structured Query Language* (SQL), definida como linguagem padrão para bancos de dados relacionais. Um programa pode acessar um banco de dados enviando uma pergunta ou consulta (*query*) ou mediante transações no SGBD. Uma *query* normalmente exige que alguma informação seja respondida pelo sistema, enquanto as transações podem ler e escrever informações no banco de dados.

## 2.5 REVISÃO SISTEMÁTICA

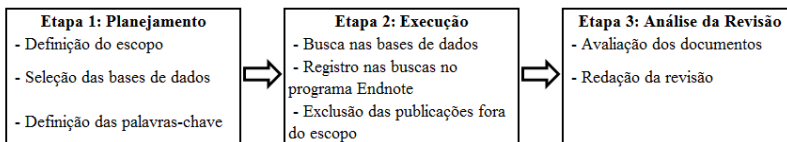
Chongwatpol e Sharda (2013) afirmam que os benefícios das aplicações com RFID na manufatura e em outros campos têm sido investigados ao longo das duas últimas décadas. Entretanto, muitos praticantes de iniciativas *Lean* não compreendem como o RFID e o *Lean Manufacturing* podem estar inter-relacionados, e como a atualização em tempo real das informações a partir do uso dessa tecnologia pode ser um valioso componente nessas iniciativas. Nesse contexto, uma revisão sistemática foi realizada para identificar como os conceitos e tecnologias da *Internet of Things* vêm sendo aplicados no âmbito da manufatura enxuta para monitoramento de objetos no chão de fábrica. A revisão consiste em avaliar a natureza das publicações sobre o tema em periódicos e conferências de boa reputação acadêmica.

A revisão sistemática está organizada como segue. A seção 3.5.1 apresenta o método utilizado para realização da pesquisa. A seção 3.5.2 apresenta o detalhamento do planejamento e da execução. Na seção 3.5.3 alguns artigos selecionados são analisados mais detalhadamente. Por fim, a seção 3.5.4 apresenta as conclusões da revisão.

### 2.5.1 Metodologia de pesquisa

Segundo Kitchenham (2004), a revisão sistemática é capaz de identificar lacunas de pesquisa para sugerir novas áreas de investigação, além de fornecer um contexto para apropriadamente posicionar novas atividades de pesquisa ou categorizar evidências relacionadas a um tratamento ou tecnologia específica. O processo de revisão sistemática é composto por três etapas: planejamento, execução e análise da revisão. A Figura 10 ilustra as etapas da Revisão Sistemática (KITCHENHAM, 2004).

Figura 10 - Etapas da revisão.



Fonte: Adaptado de Kitchenham (2004).



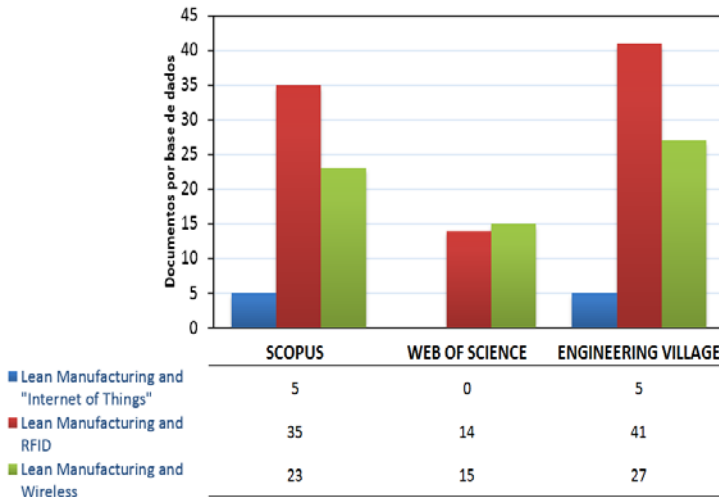
## 2.5.2 Planejamento e execução da revisão

A etapa de execução consiste em realizar buscas nas bases de dados selecionadas utilizando as palavras-chave escolhidas. Para a obtenção de resultados mais consistentes, as buscas foram feitas utilizando os mesmos padrões de pesquisa nas diversas bases de dados. As pesquisas utilizaram filtros para títulos de artigos, resumos e palavras-chaves, sem restrição de data de publicação. Foram selecionadas três bases de dados para esta pesquisa: Scopus, Web of Science, Engineering Village. Essas bases foram definidas de acordo com a quantidade de documentos armazenados em relação aos temas *Internet of Things* e Manufatura Enxuta. Para realizar a pesquisa, as palavras-chave foram definidas de forma a abranger a maior quantidade de documentos que relacionam a aplicação dos conceitos da *Internet of Things* na manufatura enxuta. Foram definidas três composições de palavras-chave, conforme segue abaixo:

- a) Lean Manufacturing + “Internet of Things”;
- b) Lean Manufacturing + “RFID”;
- c) Lean Manufacturing + “Wireless”;

Muitos trabalhos não utilizam *Internet of Things* no título, resumo ou palavras-chave por se tratar de um conceito recente. Dessa forma, decidiu-se relacionar o termo *Lean Manufacturing* também às duas principais tecnologias relacionadas à *Internet of Things*, que são o RFID e a comunicação sem fio, resumida na definição *Wireless*. O termo *Lean Manufacturing* foi inserido na pesquisa sem aspas para abranger um maior número de publicações relacionadas. Também se realizou buscas aliando as palavras Bluetooth, Zigbee e 3G ao termo *Lean Manufacturing*, porém a quantidade de trabalhos retornada foi mínima (Bluetooth = 0; Zigbee = 1; 3G = 0), gerando a exclusão dessas buscas na revisão sistemática em questão. Foram excluídas publicações de livros ou revisões de conferências. Os resultados obtidos a partir das buscas estão apresentados na Figura 11.

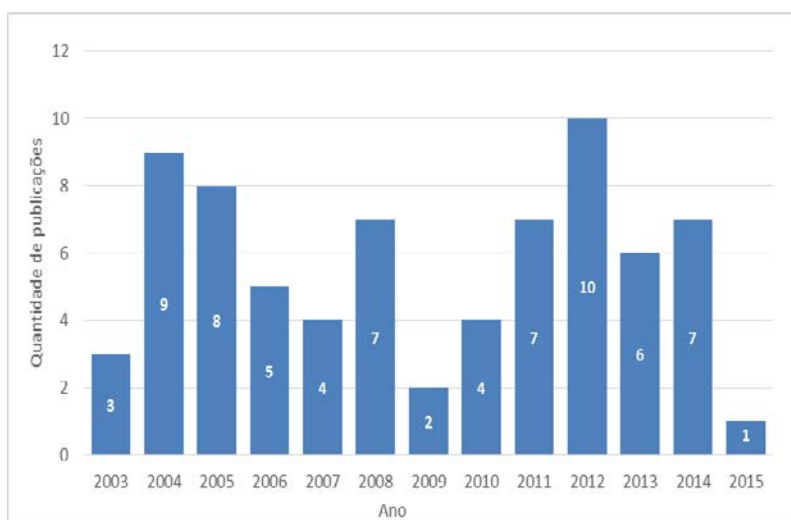
Figura 11 - Resultados da busca nas bases.



Fonte: Autoria própria.

No total foram encontrados 165 documentos que foram registrados no software Endnote X7. Com o auxílio desse programa, uma busca por documentos duplicados foi realizada e, após as exclusões destes, restaram 73 documentos. Uma análise quantitativa dos trabalhos selecionados possibilitou um melhor entendimento do panorama das pesquisas sobre as tecnologias da *Internet of Things* aliadas aos conceitos da Manufatura Enxuta. A redução de mais da metade da quantidade de trabalhos sinaliza a existência de um alto número de artigos com relevância acadêmica significativa sobre o tema. A Figura 12 apresenta a distribuição das publicações ao longo do tempo, e mostra que o tema tem sido alvo de pesquisas desde 2003.

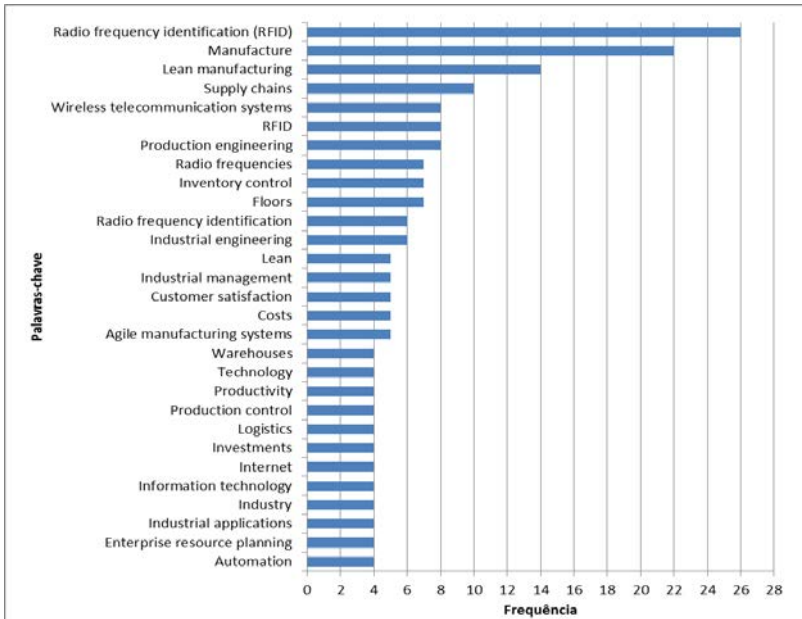
Figura 12 - Distribuição de frequência de publicações relacionando a *Internet of Things* com a Manufatura Enxuta.



Fonte: Autoria própria.

Uma distribuição de frequência das palavras-chave encontradas nas publicações foi elaborada para verificar quais temas têm maior associação ao contexto pesquisado, conforme apresentado na Figura 13. Além dos termos RFID e *Lean Manufacturing* usados como base principal da busca pelas publicações, os termos *Supply Chain* e *Inventory Control* aparecem no topo do *ranking* de frequência, indicando uma quantidade significativa de trabalhos relacionados ao estudo da logística.

Figura 13 - Distribuição de frequência das palavras-chave das publicações.



Fonte: Autoria própria.

Em seguida, os 73 documentos foram analisados pelo título e resumo e passaram por uma rodada de exclusão, conforme os critérios listados abaixo:

- Documentos que não abordam a tecnologia RFID como tema chave do estudo.
- Documentos que não abordam o monitoramento do fluxo de materiais no chão de fábrica como tema chave do estudo.
- Documentos publicados em conferências de baixa relevância acadêmica.

### 2.5.3 Análise da revisão

Foram selecionados sete artigos para compor a revisão de acordo com os critérios citados anteriormente, sendo lidos e analisados na íntegra. O Quadro 1 apresenta a relação de artigos selecionados.

Quadro 1 - Relação de artigos selecionados.

<b>Título</b>	<b>Ano</b>	<b>Autores</b>
<i>RFID opportunity analysis for leaner manufacturing</i>	2010	BRINTRUP, A.M.; RANASINGHE, D.; MCFARLANE, D.
<i>RFID-Enabled real-time manufacturing for automotive part and accessory suppliers</i>	2010	HUANG, G.Q.; QU, T.; ZHANG, Y.; YANG, H.
<i>Real time facility performance monitoring system using RFID technology</i>	2012	CHEN, K.; CHEN, J.C.; COX, R.A
<i>Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study</i>	2013	ARKAN, I.; LANDEGHEM, H.V
<i>Achieving lean objectives through RFID: A simulation-based assessment</i>	2013	CHONGWATPOL, J.; SHARDA, R.
<i>RFID-enabled smart assembly workshop management system</i>	2013	QU, T.; ZHANG, L.; HUANG, Z.; DAI, Q.; CHEN, X.; HUANG, G. Q.; LUO, H.
<i>Application of ORFPM system for lean implementation: an industrial case study</i>	2014	CHEN, J.C.; CHEN K-M.

Fonte: Autoria própria.

Brintrup, Ranasinghe e Mcfarlane (2010) identificaram uma série de oportunidades de aplicação do RFID no ambiente de manufatura, onde é possível reduzir os desperdícios de processo. Além disso, identificaram uma série de problemas enfrentados com a aplicação do código de barras no monitoramento de objetos provenientes da dependência da ação humana para a leitura dos códigos. Segundo os autores, códigos perdidos ou a leitura de códigos de produtos errados ocorre em 10% do tempo, o que leva as empresas a procurarem fontes alternativas de coleta de dados. O estudo propõe quatro ferramentas de visualização que permitem assegurar aos processos de manufatura um ponto de vista de redução de desperdícios, auxiliando o gestor a encontrar maneiras em que a utilização do RFID pode ser benéfica. Foram criadas três categorias e suas respectivas ferramentas:

- Coleta de Dados: um diagrama de processos e um diagrama de uso e causa foram sugeridos para automatizar a atividade de

coleta, a fim de eliminar desperdícios por transporte e movimentação.

- Dependência de Dados: um diagrama de dependência de dados foi sugerido para verificar a relação cronológica e sequencial das tarefas ao longo do fluxo, a fim de eliminar desperdícios por espera, defeitos, estoque e superprodução.
- Visibilidade: um diagrama de visibilidade de dados foi sugerido para identificar onde a visibilidade de processo pode ser aumentada e onde possui influência sobre os níveis de estoque, reduzindo os desperdícios por superprodução e por estoques.

O conjunto de ferramentas foi testado em duas empresas de manufatura e se mostrou eficaz como um guia autônomo para descobrir o valor da tecnologia RFID.

Huang et al. (2010) pesquisaram as principais aplicações do RFID na manufatura no setor automotivo, revelando uma lacuna entre a oportunidade e o desafio para o pequeno e médio fabricante de peças e acessórios (*Automotive part and accessory manufacturers – APAM*). O estudo visou desenvolver e implementar soluções de visibilidade e rastreabilidade com RFID nas camadas mais baixas da cadeia produtiva automotiva. As empresas do setor foram divididas em três campos de estudo: as que estão considerando introduzir a tecnologia do RFID (Nível 1), as que já iniciaram projetos piloto com RFID (Nível 2) e as que já introduziram a tecnologia nos seus processos por algum tempo utilizando visibilidade e rastreabilidade em tempo real (Nível 3). O artigo aponta as motivações para aplicar RFID no chão de fábrica e como superar os chamados “três grandes problemas”, que são alto custo, alto risco e alto nível de especialidade técnica.

Chen, Chen e Cox (2012) desenvolveram um sistema on-line de monitoramento de desempenho com uso do RFID para auxiliar na implementação do *Lean Manufacturing*. O sistema adota a tecnologia de transmissão de dados sem fio por satélite com o uso da internet, fornecendo, em tempo real, informações sobre o fluxo de materiais no chão de fábrica, tais como lead time e tempos de transporte. Com as informações coletadas, o sistema desenvolvido em Visual Basic 6.0 usa o Microsoft Excel para gerar um Mapa de Fluxo de Valor. O sistema possui um alarme que avisa o operador quando o tempo de produção ultrapassar os tempos esperados. O ambiente wi-fi, com uso da internet, é montado no chão de fábrica com roteadores distribuídos em posições centrais no sistema, permitindo que os leitores de RFID se comuniquem com a rede

local. Adaptadores sem fio são instalados em cada uma das estações de leitura RFID e, uma vez conectados, o sistema solicita automaticamente as informações para cada estação. A partir de testes em laboratório, o sistema se mostrou capaz de monitorar tempos de produção de forma remota. O sistema não apresenta dados estatísticos para usuário, bem como utiliza estimativas para o cálculo do número de itens a partir do lead time presumido para um produto, tornando incerto a quantificação dos produtos em cada uma das áreas durante o monitoramento. Além disso, não é flexível para rastreamento de múltiplos produtos e não analisa as informações de forma a fornecer orientações sobre como melhorar a produção. Para pesquisas futuras, os autores sugerem incrementos como previsão de desperdícios e avaliação do nível *Lean* a partir do mapa de fluxo de valor.

Arkan e Landeghem (2013) desenvolveram uma solução automatizada de monitoramento de indicadores de produção *Real-Time Location System* (RTLS), com uma antena de Banda Ultra Larga (UWB) e etiquetas RFID. Usando-se esse sistema foi possível obter valores como tempo de ciclo, tempo total de processamento, velocidade de atravessamento e taxa de produtos não conformes. Um *middleware* foi desenvolvido para filtrar informações redundantes durante o armazenamento e facilitar análises posteriores. O artigo apresenta um estudo de caso real, onde o sistema RFID-based RTLS foi implementado no departamento de controle de qualidade em uma empresa fabricante de para-choques plásticos para carros. Com o software FlexsimR foi realizada uma simulação de tempos para todos os materiais e proposto um novo fluxo, viabilizando a redução do número de operadores em uma área de inspeção de 6 para 5, a fim de reduzir ociosidade. Ao final do artigo, buscou-se validar a pesquisa comparando três fases do ambiente produtivo: antes do RTLS (com dados da empresa); com o RTLS (antes do redesenho) e com o RTLS (depois do redesenho). A média dos tempos de ciclo e a variância aumentaram com o RTLS, subindo ainda mais após o redesenho, mostrando que os dados da empresa estavam errados. O RFID-RTLS se mostrou um bom sistema para rastrear materiais em pequenos ambientes, com viabilidade industrial.

Chongwatpol e Sharda (2013) realizaram um estudo visando responder se as informações obtidas mediante soluções RFID são mais efetivas para auxiliar na busca pelos objetivos da Manufatura Enxuta e, em caso de resposta positiva, determinar de quais maneiras seria possível alcançá-los. Para responder a essas perguntas, foram criadas 6 hipóteses afirmando que a visibilidade proporcionada pelo uso do RFID pode gerar melhorias em comparação a ambientes sem RFID, tais como redução de

desperdícios por estoque, por superprodução, por espera e por processamento. A partir de uma vasta revisão de literatura, as hipóteses foram validadas. Além disso, realizou-se uma comparação de quatro cenários distintos de sistemas de produção com código de barras 1D, 2D e RFID. Os resultados mostraram que as tecnologias de código de barras 2D e RFID apresentam grande oportunidade para redução de desperdícios em operações. Além disso, verificou-se que o RFID possui maior número de benefícios em comparação com o código de barras 2D em todos os aspectos, reforçando a suposição de que o RFID possui um excelente potencial para complementar as iniciativas *Lean*.

Qu et al. (2013) relatam que a maioria dos estudos com aplicações de RFID estão focados no nível *pallet*, o que facilita o carregamento de dados referentes ao fluxo de materiais entre operações. Nas aplicações de nível *pallet* as etiquetas magnéticas são colocadas em *pallets* ou *containers* com lotes de produtos ou materiais para armazenamento ou distribuição. Já nas aplicações de nível item, torna-se necessário colocar etiquetas magnéticas individuais em cada produto ou material, de modo a realizar um controle independente de cada item. Assim, os autores visam discutir as implementações RFID no nível item para o desenvolvimento de mecanismos de controle em tempo real das informações em sistemas de gestão. O modelo proposto compreende três processos típicos na gestão da produção: o planejamento, a execução e a logística. Estes processos são considerados na simulação das aplicações com RFID em uma linha de montagem do setor automotivo. São discutidos os problemas tradicionais de uma linha de montagem e quais soluções e sistemas de gestão baseados em RFID podem ser usados em cada um dos níveis.

Chen e Chen (2014) aplicaram um sistema *online* de rádio frequência para monitoramento de desempenho em uma empresa de manufatura de equipamentos agrícolas para promover a implementação *Lean*. Em comparação com o MFV tradicional, o sistema forneceu informações mais representativas e com menor esforço, promovendo também redução de custos, além de auxiliar o profissional responsável a explorar mais atividades críticas de valor não agregado no processo. O estudo visa mediante o sistema desenvolvido uma referência para implementação das práticas *Lean* em pequenas operações de manufatura.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos artigos analisados e aponta os seus principais objetivos.



Quadro 2 - Resumo dos artigos selecionados.

<b>Título</b>	<b>Resumo</b>
<i>RFID opportunity analysis for leaner manufacturing.</i>	Identificação de oportunidades de aplicação do RFID em ambientes de manufatura para redução de desperdícios de processo.
<i>RFID-Enabled real-time manufacturing for automotive part and accessory suppliers.</i>	Identificação das principais aplicações do RFID na manufatura no setor automotivo e reflexão sobre os desafios dos fabricantes de pequeno e médio porte.
<i>Real time facility performance monitoring system using RFID technology.</i>	Desenvolvimento de um sistema on-line de monitoramento de desempenho com uso do RFID para auxiliar na implementação do <i>Lean Manufacturing</i> , fornecendo informações em tempo real sobre o fluxo de materiais no chão de fábrica.
<i>Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study.</i>	Desenvolvimento de uma solução automatizada de monitoramento de indicadores de produção <i>Real-Time Location System</i> (RTLS), utilizando antenas de Banda Ultra Larga (UWB) e etiquetas RFID para coleta de dados.
<i>Achieving lean objectives through RFID: A simulation-based assessment.</i>	Estudo para verificar se informações obtidas mediante soluções RFID são mais efetivas para alcançar os objetivos da Manufatura Enxuta e determinar de quais maneiras isso pode acontecer.
<i>RFID-enabled smart assembly workshop management system.</i>	Discussão sobre as implementações RFID de nível item no desenvolvimento de mecanismos de controle em tempo real de informações em sistemas de gestão.
<i>Application of ORFPM system for lean implementation: an industrial case study.</i>	Aplicação de um sistema on-line com RFID para monitoramento de desempenho em uma empresa de manufatura de equipamentos agrícolas, a fim de promover a implementação <i>Lean</i> .

Fonte: Autoria própria.

#### 2.5.4 Conclusões da revisão sistemática

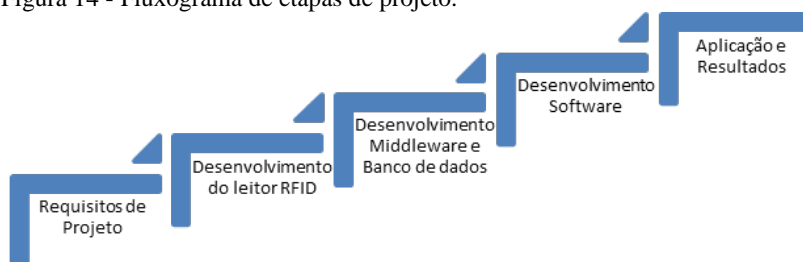
Para alcançar os objetivos da Manufatura Enxuta, torna-se cada vez mais oportuna a utilização das tecnologias representantes da *Internet of Things* no auxílio à coleta e análise de dados, bem como no monitoramento e rastreamento de atividades de manufatura em tempo real. Uma revisão sistemática foi realizada sobre o tema e a análise quantitativa dos artigos selecionados mostrou que o estudo do relacionamento entre essas tecnologias e a produção *Lean* tem avançado na última década. Os artigos selecionados após filtragem por critérios de exclusão foram analisados na íntegra e confirmaram a atualidade do tema. As oportunidades de aplicação do RFID para coleta de dados, bem como a aplicação de sistemas de monitoramento em tempo real, foram abordadas nos trabalhos e mostraram que a integração da *Internet of Things* com a Manufatura Enxuta é benéfica na maior parte das vezes. Por fim, a revisão sistemática abordou um número suficiente de artigos para representar o panorama atual da pesquisa sobre o assunto, mostrando o crescente envolvimento entre os dois conceitos pesquisados. Para pesquisas futuras, a consulta de bases de dados de dissertações e teses pode enriquecer o estudo com trabalhos mais atuais.

### 3 MÉTODO E DESENVOLVIMENTO

O método proposto neste capítulo visa desenvolver um sistema de monitoramento de objetos para um ambiente de manufatura enxuta. De acordo com os quatro processos básicos que norteiam a teoria do desenvolvimento de softwares, foram propostas cinco etapas de projeto para o desenvolvimento do sistema. A primeira etapa é a etapa de Especificação de Software, e consiste no entendimento dos requisitos do projeto de acordo com a necessidade da gestão de operações e com a proposta do sistema. A segunda etapa de desenvolvimento do sistema foi organizada a fim de maximizar a convergência aos requisitos selecionados, e separada em três partes: desenvolvimento do leitor RFID, desenvolvimento do *middleware* e do banco de dados e desenvolvimento do software aplicativo. O conjunto *middleware* e software aplicativo será chamado de Controlador. As atividades referentes à validação de software aplicativo foram englobadas dentro das três etapas de desenvolvimento, antecipando o enfrentamento de possíveis problemas e promovendo resultados com maior rapidez. A etapa final consiste na verificação do seu desempenho em ambientes reais de manufatura, gerando uma reflexão sobre o funcionamento e identificando oportunidades de melhoria. Esta última etapa equivale à etapa de Evolução de Software.

As etapas de projeto estão estruturadas conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma de etapas de projeto.



Fonte: Autoria própria.

#### 3.1 REQUISITOS DE PROJETO

Para se tornar inovador e funcional na gestão de operações, foram estabelecidos requisitos de projeto de acordo com os objetivos de desempenho propostos por Slack, Brandon-Jones e Johnston (2013). Para

alcançar os resultados esperados, deve-se considerar tais objetivos ao longo do desenvolvimento do sistema. O sistema RFID visa atender os seguintes requisitos:

- Qualidade: atender às funcionalidades propostas de forma fácil, rápida, segura e sem falhas. Para que isso seja alcançado, o sistema deve ser formado por componentes robustos, materiais periféricos de boa resistência e aplicativo devidamente testado. O mecanismo de transferência de dados sem fio deve possuir bom alcance e baixo consumo, a fim de ser aplicado em instalações industriais;
- Flexibilidade: possuir fácil operação e ser aplicável com diversas funcionalidades em um ambiente de operações. Isso possibilitará ao gestor utilizar o produto de forma criativa, seguindo a filosofia da *Internet of Things*, rastreando objetos e pessoas da forma que melhor atenda às suas necessidades. O sistema deve ser de fácil movimentação e instalação ao longo das áreas de rastreamento, sendo possível alterar a sua configuração no espaço físico sempre que necessário. Para tanto, o leitor deve ser constituído por um componente *wireless* e uma fonte de energia móvel, viabilizando a transmissão de informações para o software em qualquer local de uma planta, dentro do alcance da rede;
- Custo: buscar componentes de baixo custo para tornar o sistema mais atrativo ao usuário.
- Velocidade: receber e transmitir as informações sempre que o usuário necessitar em tempo real. Visa-se também que a preparação e instalação dos componentes durante a aplicação sejam rápidas.
- Confiabilidade: atender a todos os outros requisitos de projeto e cumprir com os objetivos sem esperar problemas na execução. Foco nos testes do sistema e correção de problemas encontrados.

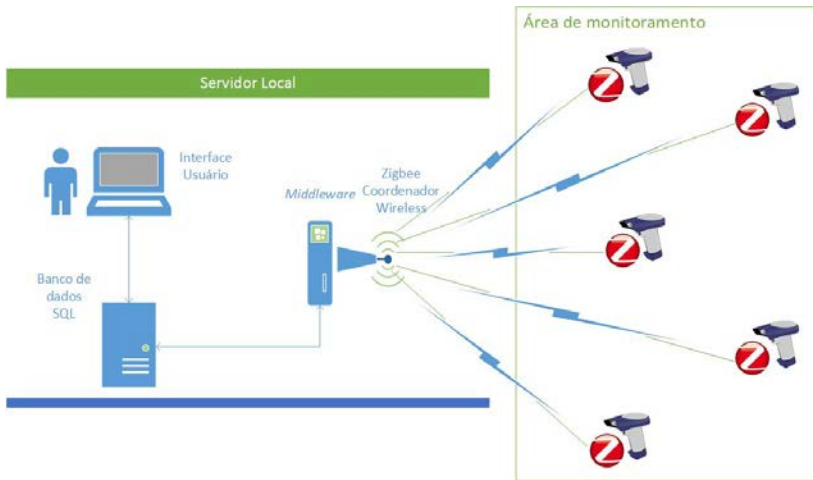
## 3.2 DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são apresentados os principais componentes do sistema. Uma explicação da arquitetura de rede é feita para introduzir a relação que os componentes possuem entre si e, a seguir, uma explicação individual de cada uma das etapas de desenvolvimento dos componentes é realizada.

### 3.2.1 Arquitetura de Rede

O sistema terá quatro componentes distintos que irão interagir conforme mostra a Figura 14. Os leitores RFID serão responsáveis pela captação das informações das etiquetas magnéticas, sempre que elas passarem pelo seu raio de alcance. Quando isso acontece, o leitor RFID envia a informação contida na etiqueta pelos módulos de comunicação sem fio Zigbee para o *middleware*, em tempo real. O *middleware* será responsável por formatar a informação e armazená-la no banco de dados, localizado no servidor. Uma série de métodos são executados no próprio banco de dados para armazenar e alimentar diferentes tabelas com as informações referentes ao monitoramento do processo. A interface com o usuário se dá por um microcomputador com acesso ao servidor onde está instalado o banco de dados. Com o software aplicativo é possível configurar as informações do banco de dados e selecionar os leitores a serem monitorados por comunicação serial TCP/IP, além de verificar o status do sistema em tempo real.

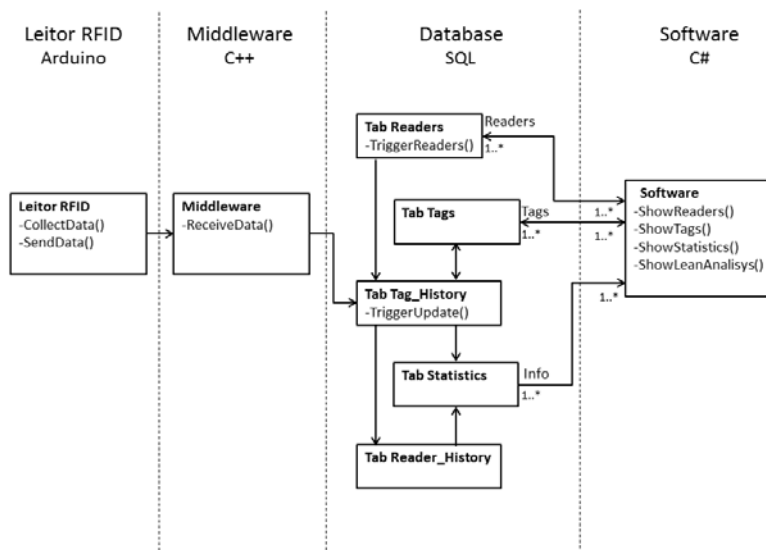
Figura 15 – Visão conceitual do sistema - Diagrama de Rede.



Fonte: Autoria própria.

No banco de dados desenvolvido em SQL, foram programados gatilhos (*triggers*) para distribuir as informações sempre que houver uma nova entrada, conforme detalhado na seção 4.2.3. A Figura 15 mostra um diagrama de classes adaptado para todos os módulos do sistema, descrevendo os métodos que cada classe executa e com qual módulo ele se comunica. No banco de dados, a tabela *Tag\_History* é encarregada de armazenar o histórico de passagem das etiquetas. Nessa tabela, um método chamado *TriggerUpdate* processa as informações e as distribui para as outras tabelas do banco, que depois serão apresentadas no aplicativo. O diagrama também descreve a linguagem de programação e o nome das classes programadas em cada um dos módulos.

Figura 16 - Diagrama de Objetos/Classes.



Fonte: Autoria própria.

O papel do banco de dados é essencial no funcionamento do sistema. Ele é responsável por armazenar e preparar as informações quase no seu formato final para apresentação. Dessa forma, o software aplicativo se torna simples, leve, de fácil e rápido desenvolvimento, necessitando somente preparar as *views* e apresentar tabelas do banco de dados. Mais detalhes do banco de dados serão apresentados na seção 4.2.3. As classes do aplicativo sugerem as seguintes funcionalidades do sistema: apresentação de informações dos leitores e das etiquetas, estatísticas de funcionamento e análise *Lean*.

### 3.2.2 Leitor RFID

O desenvolvimento do conjunto de hardware que compõe o leitor RFID passou pelas seguintes etapas:

- Pesquisa de componentes adequados para compor o leitor RFID, atendendo aos requisitos do projeto;
- Desenvolvimento do código a ser inserido no microcontrolador Arduino;

- Testes para verificar a funcionalidade do leitor RFID com todos os seus componentes montados.

Após uma pesquisa preliminar sobre os componentes necessários para compor o sistema, chegou-se a uma combinação de equipamentos capazes de atender aos requisitos do projeto. Esses equipamentos são descritos a seguir:

- Microcontrolador Arduino UNO: trata-se de uma plataforma aberta de computador, baseada em uma placa simples com entradas e saídas (*inputs/outputs*), um processador Atmel AVR e um ambiente desenvolvido que implementa e processa linguagens. Segundo D'Ausilio (2011), o Arduino Uno oferece uma grande vantagem: possui uma filosofia de código aberto, tanto em hardware quanto em software. Dessa forma, ele é capaz de promover a captação massiva de uma comunidade de usuários considerados não especialistas, com surgimento em torno do conceito do projeto. Existem centenas de projetos de código aberto publicados na internet os quais usuários podem usar ou alterar conforme suas necessidades. Além disso, possui um preço bem acessível, sendo mais barato que os concorrentes. Todos esses fatores transformaram o Arduino Uno em um dos propulsores da *Internet of Things* (Figura 16).

Figura 17 - Placa Arduino Uno.



Fonte: Arduino (2014).

- Módulo Leitor RFID Mfrc522 Mifare: o módulo leitor/gravador baseado no chip MFRC522 da empresa NXP é utilizado em comunicação sem contato a uma frequência de 13,56MHz. O *chip*, de baixo consumo e de pequeno tamanho,



permite ler e escrever em cartões que seguem o padrão Mifare (NXP, 2014). Além disso, o preço do leitor é barato e suas etiquetas custam centavos. Possui faixa de leitura de até 60 mm (Figura 18).

Figura 18 - Leitor RFID MFRC522.



Fonte: Filipeflop (2014).

- Módulo Zigbee – Xbee Antenna 1mW (S1): é uma tecnologia de comunicação *wireless* de curta distância, estruturação simples, baixo nível de consumo de energia e baixa taxa de transmissão de informação (Figura 19). Possui alcance de até 100 metros e usa frequências de transmissão entre 900MHz e 2,4GHz. O Zigbee possui taxa de transmissão de 20Kbps até 250Kbps. Devido à baixa taxa de transmissão e à pequena quantidade de informação transmitida, os tempos de envio e recebimento de informações são baixos. Quando não está sendo utilizado, o Xbee S1 é colocado em modo de suspensão. Quando ocorre a conversão entre os modos de suspensão e de trabalho, apenas 15ms são necessários para ativação do modo de trabalho e apenas 30ms para procura de equipamentos, o que torna o Zigbee muito econômico em utilização de energia (SUNG; HSU, 2011).

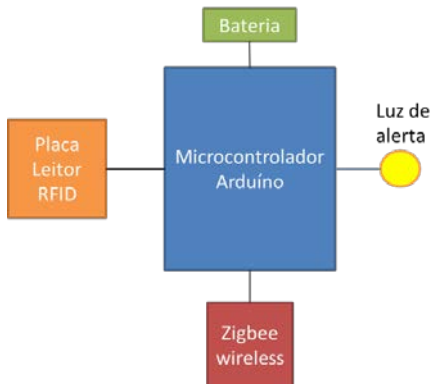
Figura 19 - Zigbee Xbee S1.



Fonte: Autoria própria.

O esquema da montagem do leitor RFID é apresentado na Figura 19. A placa do leitor é posicionada na entrada ou na saída de uma estação de trabalho a ser monitorada. Quando o objeto rastreado envia a informação para placa do leitor RFID, a luz de alerta se acende e a informação é processada pelo microcontrolador Arduino. Em seguida, a mensagem é transmitida para a estação de controle por meio de um módulo *wireless* Zigbee. O sistema é alimentado por uma bateria acoplada ao microcontrolador. Na estação de controle a informação é então armazenada e apresentada pelo software aplicativo.

Figura 20 - Esquema do Leitor RFID.



Fonte: Autoria própria.

As etiquetas utilizadas no sistema são na forma de “chaveiro”. Cada etiqueta possui um código alfanumérico de oito dígitos, o qual é único e identifica os produtos a serem rastreados (Figura 21). Os códigos de cada etiqueta foram escritos na parte traseira para facilitar a identificação durante os testes e aplicações.

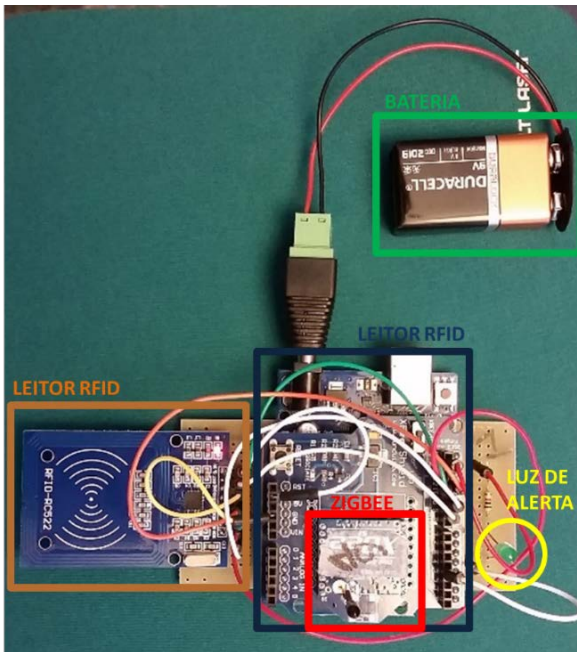
Figura 21 - Etiquetas magnéticas com anotação.



Fonte: Autoria própria.

A montagem do leitor RFID se dá conforme mostra a Figura 22. A placa de leitura RFID é conectada ao microprocessador Arduino por meio de fios soldados em uma placa de circuito impresso. Para fazer a conexão do XBee S1 no microprocessador Arduino, um adaptador chamado de “Xbee *Shield* para Arduino” foi utilizado. Esse adaptador é conectado na parte superior do microprocessador e possui o mesmo formato de entrada do Xbee para efetuar o acoplamento. Na saída número três do microprocessador é soldada uma lâmpada de LED, utilizada como luz de alerta. Sempre que a placa RFID detectar alguma etiqueta magnética, o microprocessador processará a informação e fará a comunicação do Xbee dispositivo final com o Xbee coordenador. Nesse momento, a lâmpada de LED se acende e permanece acesa durante meio segundo para confirmar que a informação foi enviada ao servidor. Para viabilizar a característica flexível de mobilidade do sistema, uma bateria 9V é conectada na entrada de alimentação do microprocessador.

Figura 22 – Montagem do leitor RFID



Fonte: Autoria própria.

O Xbee coordenador é responsável por receber a informação dos Xbees acoplados nos módulos leitores e enviá-la para o servidor. Trata-se de um dispositivo Xbee S1 conectado a um cabo USB por meio de um *Shield* USB para Zigbee. O cabo USB “macho/fêmea” tem 5 metros de comprimento e é conectado ao computador que hospeda o servidor (Figura 23). O Leitor RFID é responsável por captar e armazenar no banco de dados o horário de registro e código das etiquetas magnéticas.

Figura 23 - Zigbee coordenador conectado ao cabo USB.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.3 *Middleware* e banco de dados

Um *middleware* foi desenvolvido para ajustar as informações de forma a gerar um banco de dados mais leve e robusto. Ele recebe as informações captadas pelo Xbee coordenador em tempo real e as armazena no banco de dados. A linguagem de programação utilizada para o seu desenvolvimento foi o C, por apresentar boa adaptação em programação de baixo nível (comunicação entre máquinas), proporcionando um rápido armazenamento das informações. Com as informações armazenadas no banco de dados, fica a cargo do aplicativo realizar a coleta de dados e apresentar ao usuário.

O SGBD escolhido para o projeto foi o *SQL Server Management*, da Microsoft. O banco de dados, desenvolvido em SQL, tem um papel chave no armazenamento e na simplificação da interface com o cliente (*client*). O banco de dados do sistema possui cinco tabelas distintas, conforme breve descrição a seguir. As informações das tabelas também serão explicadas na seção seguinte.

- Tabela Tags: contém informações referentes aos itens cadastrados. As variáveis contemplam o código da etiqueta, o nome e a quantidade de itens que cada uma irá representar. Novas etiquetas podem ser inseridas manualmente pelo usuário por meio do aplicativo. Caso a etiqueta identificada pelo leitor não possua o registro, ele é criado automaticamente.
- Tabela Tag History: contém informações sobre o histórico de passagem pelo ponto de vista das etiquetas. É a tabela que recebe as informações dos leitores e as distribui para as outras tabelas mediante um código gatilho. Nela são armazenadas a data e hora do registro de passagem, o nome do leitor que registrou a passagem, o código da etiqueta, o código do leitor e

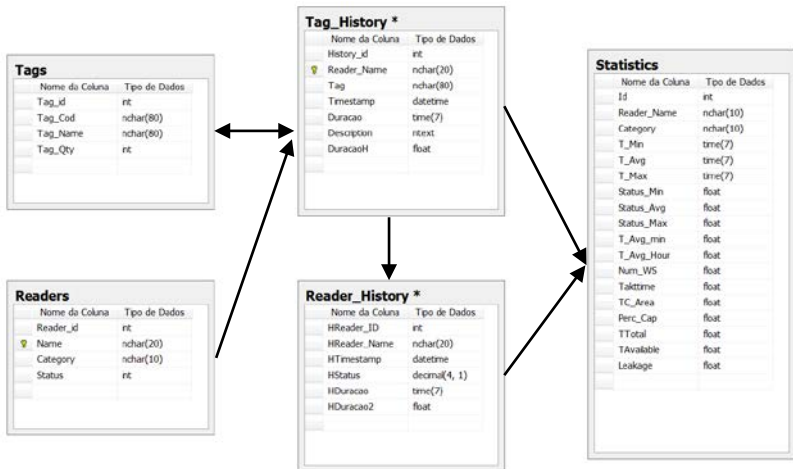
o tempo de permanência da etiqueta no leitor após o registro de horário.

- Tabela Readers: contém informações referentes aos leitores cadastrados. Os leitores são cadastrados pelo usuário por meio do aplicativo e o banco de dados atualiza informações da quantidade de itens (Status) em cada leitor. As variáveis descrevem o nome, o tipo de processo do leitor, e a quantidade de produtos atual localizada em cada leitor.
- Tabela Readers History: apresenta informações sobre o histórico de passagem das etiquetas pelo ponto de vista dos leitores. Todas as entradas e saídas de cada leitor são registradas nessa tabela, bem como a quantidade de produtos em cada leitor entre um registro e outro.
- Tabela Statistics: apresenta um conjunto de informações coletadas das tabelas Tag\_History e Readers\_History. Os dados estatísticos do sistema são extraídos das tabelas de histórico e compilados para proporcionar maior conhecimento ao usuário sobre a natureza e o comportamento de cada região monitorada. Resumidamente, a tabela contém os tempos mínimo, médio e máximo de permanência dos objetos em cada leitor, bem como a quantidade mínima, média e máxima de produtos em cada leitor, informações essas que são muito importantes para a gestão de operações. Ela também armazena outras informações utilizadas para a etapa da Análise *Lean*, que serão apresentadas na seção seguinte.

Todas as informações são inseridas no banco de dados na tabela “Tag\_History”. Essa tabela armazena o histórico de passagem das etiquetas pelos leitores por meio de duas variáveis: nome do leitor; e data e hora do registro. Ela possui um código de gatilho que é disparado sempre que uma nova entrada é registrada na tabela. Esse gatilho faz a disseminação da informação para as outras tabelas, alterando e adaptando valores conforme necessário. Na tabela “Tags”, uma nova *etiqueta* é adicionada sempre que ocorrer uma entrada pela primeira vez. Na tabela “Reader\_History”, o *trigger* calcula e armazena a duração que as etiquetas permanecem nos leitores, bem como a quantidade de etiquetas atual. Na tabela Estatísticas o *trigger* adiciona resultados como tempos de permanência nas regiões mínimo, médio e máximo, bem como a quantidade de produtos em processo (*work in progress - WIP*) mínimo, médio e máximo. A Figura 23 apresenta o diagrama de banco de dados

com todas as tabelas e suas respectivas variáveis, e como elas estão relacionadas ao fluxo de informação, mostrando o papel central da tabela *Tag\_History* no funcionamento do sistema.

Figura 24 - Diagrama de Banco de Dados.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.4 Software aplicativo

O software aplicativo é responsável pela interface com o usuário, podendo-se realizar todas as interações necessárias para a configuração e utilização do sistema. As operações de consulta, cadastramento e alteração de informações são realizadas de forma facilitada por meio de tabelas integradas com o SGBD. O software aplicativo foi programado em C#, linguagem de programação que faz parte do conjunto de ferramentas da plataforma .NET, da Microsoft. O C# é uma linguagem orientada a objetos que permite criar aplicativos compatíveis com aplicações tradicionais do Windows e com integração de banco de dados. Essa linguagem foi escolhida especialmente pela facilidade de integração com o *SQL Server Management*, da Microsoft.

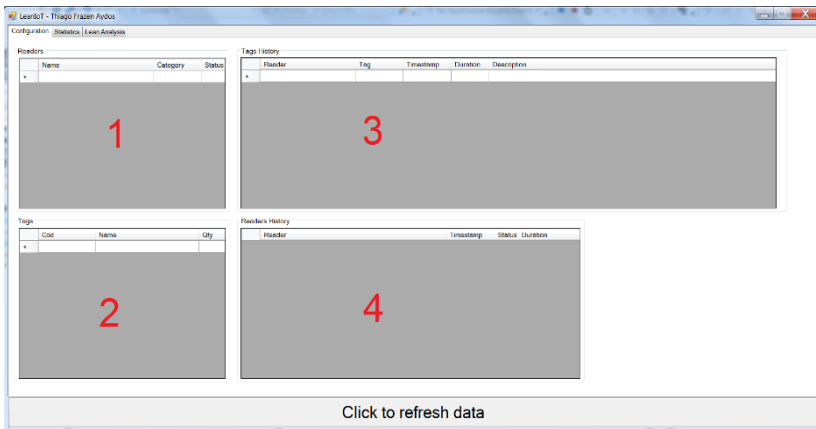
O aplicativo é dividido em três telas principais, atualizadas sempre que o usuário desejar: a tela “configurações”, a tela “estatísticas” e a tela de “análise *Lean*”. As telas filtram e apresentam informações das tabelas

do banco de dados. As características e funcionalidades de cada tela são descritas a seguir.

### 3.2.4.1 Configurações

A tela inicial do aplicativo apresenta as informações gerais do sistema, mostrando grande parte dos bancos de dados existentes em forma de tabelas. As duas tabelas à esquerda da tela mostram informações de configuração do sistema, dos leitores e das etiquetas, enquanto as tabelas da direita mostram o resultado da iteração entre os componentes de forma cronológica (Figura 24).

Figura 25 - Tela configurações.



Fonte: Autoria própria.

A seguir são descritas as variáveis de cada tabela.

#### 1) Tabela Leitores (*Readers*)

- Nome (*name*): apresenta o nome dos leitores.
- Categoria (*category*): 1 = processo ou 2 = estoque.
- Status: quantidade de itens presentes na região representada pelo leitor.

Todos os leitores devem ser inseridos pelo usuário antes de iniciar a aplicação, o que pode ser feito no aplicativo alterando-



se diretamente as tabelas. A coluna Status é atualizada automaticamente pelo sistema de acordo com a mudança nas quantidades de itens em cada leitor.

## 2) Tabela Etiquetas (Tags)

- Código (*Cod*): código de identificação das etiquetas, composto por 8 dígitos.
- Nome (*Name*): nome dado para facilitar a identificação de cada etiqueta.
- Quantidade (*Qty*): é a quantidade de itens que a etiqueta representa.

A tabela Etiquetas é preenchida pelo usuário com o código e a quantidade de produtos que a etiqueta representa. Uma etiqueta pode representar tanto um único produto como um *pallet* com uma centena de peças. Caso o sistema identifique uma etiqueta não registrada em algum dos leitores, ela automaticamente é inserida na tabela, representando apenas um único item.

## 3) Tabela Histórico de Etiquetas (Tags History)

- Leitor (*Reader*): Nome do leitor que identificou a etiqueta.
- Etiqueta (*Tag*): Código da etiqueta
- Registro de horário (*Timestamp*): Horário de registro da etiqueta no leitor.
- Duração (*Duration*): tempo que a etiqueta permaneceu no leitor após o registro de horário.
- Descrição (*Description*): campo de texto para anotação de observações e comentários.

A tabela Histórico de etiquetas apresenta informações sobre as passagens das etiquetas pelos leitores. Cada vez que um leitor identifica uma etiqueta magnética, um novo registro é criado. Com exceção do campo de descrições, todos os outros são preenchidos automaticamente pelo sistema, conforme o andamento dos registros.

## 4) Tabela Histórico de Leitores (Readers History)

- Leitor (*Reader*): Nome do leitor.

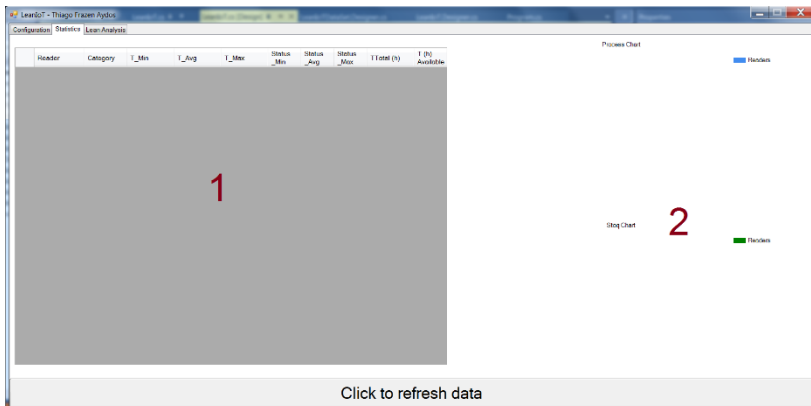
- Registro de horário (*Timestamp*): Horário de registro da etiqueta no leitor.
- Status: Quantidade de itens presentes na região do leitor.
- Duração (*Duration*): tempo que a etiqueta permaneceu no leitor após o registro de horário.

A tabela Histórico de Leitores apresenta a quantidade de etiquetas nos leitores em cada um dos momentos de registro de passagem. A cada novo registro no Histórico de etiquetas, é gravado na tabela a quantidade itens de cada leitor e quanto tempo estes permaneceram até a entrada ou saída de novos itens. Essa tabela tem uma função importante pois alimentará os dados sobre a ocupação dos leitores ao longo do monitoramento.

### 3.2.4.2 Estatísticas

Essa tela apresenta um conjunto das principais informações de todas as outras tabelas em tempo real, a fim de transmitir ao usuário um melhor entendimento da natureza de cada uma das regiões a monitoradas (Figura 26).

Figura 26 - Tela Estatísticas.



Fonte: Autoria própria.

#### 1) Tabela Estatísticas (*Statistics*)

- Leitor (*Reader*): Nome do leitor.

- Categoria (*Category*): 1 = processo ou 2 = estoque.
- Tempo Mínimo ( $T_{Min}$ ): menor tempo de duração de todos os registros do leitor.
- Tempo Médio ( $T_{Avg}$ ): tempo médio de duração de todos os registros do leitor.
- Tempo Máximo ( $T_{Max}$ ): maior tempo de duração de todos os registros do leitor
- Status Mínimo ( $Status_{Min}$ ): Menor quantidade de itens na região monitorada durante todos os registros do leitor.
- Status Médio ( $Status_{Avg}$ ): quantidade média de itens na região monitorada durante todos os registros do leitor.
- Status Máximo ( $Status_{Max}$ ): Maior quantidade de itens na região monitorada durante todos os registros do leitor.
- Tempo Total ( $TTotal$ ): tempo total de duração dos registros de um leitor. É a soma de todas os tempos de duração registrados.
- Tempo Disponível ( $TAavailable$ ): tempo entre o primeiro e o último registro no sistema. Tempo no qual o sistema ficou monitorando as etiquetas.

Essa tabela não está habilitada para alterações do usuário. Ela é autoalimentada pelas tabelas de histórico de leitores e histórico de etiquetas.

## 2) Gráficos

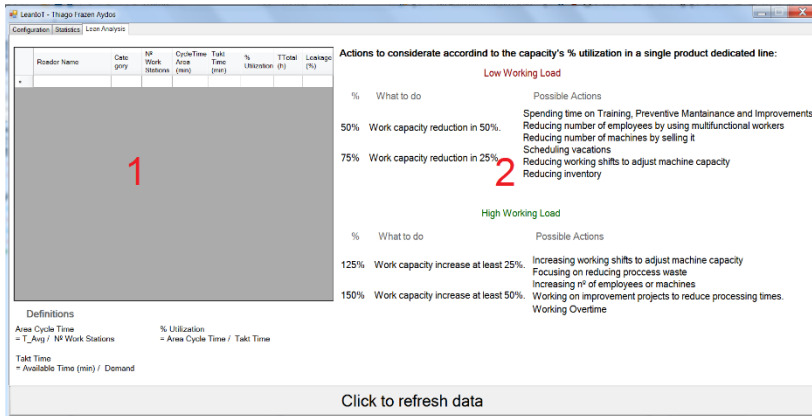
- Gráfico de processo (*Process Chart*): gráfico de barras com os tempos médios de duração de todos os leitores da categoria 1.
- Gráfico de estoques (*Inventory Chart*): gráfico de barras com os tempos médios de duração de todos os leitores da categoria 2.

A visão gráfica torna mais fácil o entendimento do balanceamento de tempos entre áreas, especialmente quando se trata de processos de fabricação. É possível identificar os gargalos e os recursos ociosos para trabalhar na equalização dos tempos e buscar um balanceamento de linha com redução de desperdícios. Os tempos de processo são apresentados em minutos, enquanto os tempos de estoque estão formatados em horas.

### 3.2.4.3 Análise *Lean*

A terceira tela do aplicativo é chamada de Análise *Lean*, conforme mostra a Figura 27. Com base nas informações extraídas do sistema e do *input* do *takt time* da região produtiva analisada, o programa sugere possíveis ações a serem tomadas para atender o nível de demanda definido a fim de evitar desperdícios. Esta função foi criada inicialmente para analisar apenas os leitores da categoria de processo. Como premissa para o funcionamento desta função, o tempo médio de duração dos registros nos leitores é considerado como o tempo de ciclo do processo. Todas as informações apresentadas na tabela são obtidas da tabela Estatísticas.

Figura 27 - Tela Análise *Lean*.



Fonte: Autoria própria.

#### 1) Tabela Análise *Lean* (View *Lean Analysis*)

- Leitor (*Reader*): Nome do leitor.
- Categoria (*Category*): 1 = processo ou 2 = estoque.
- Número de Estações de Trabalho (*Nº Workstations*): número de estações de trabalho idênticas à representada pelo Leitor.
- Tempo de ciclo da área (*Area Cycletime*): é calculado a partir do tempo médio de duração dos registros (tempo de ciclo) dividido pelo número de recursos disponíveis idênticos ao monitorado.

- *Takt Time*: o *Takt Time* da área é calculado dividindo-se o tempo disponível de produção pela demanda de fabricação.
- Indicador de Utilização (*% Utilization*): é dado pelo Tempo de ciclo da área (*Area Cycletime*) dividido pelo *Takt Time*. Quanto mais próximo de 100% maior será a adequação das áreas monitoradas à fabricação da demanda planejada.
- Tempo Disponível (*TAvailable*): É o tempo entre o primeiro e o último registro no sistema. Tempo no qual o sistema ficou monitorando as etiquetas.
- Indicador de Improdutividade (*Leakage*): é calculado a partir subtração de 1 pela divisão entre o tempo total de duração dos registros do leitor (*TTotal*) e o Tempo Disponível (*TAvailable*). Esse percentual representa o tempo em que os leitores estavam sem nenhum item presente, caracterizando um possível desperdício de processo. Exemplo: se o leitor representa uma máquina, esse indicador mostra o tempo em que a máquina esteve parada, sem produtos em processo.

É necessário inserir as seguintes informações pelo usuário: número de estações de trabalho e o *Takt Time* da região.

## 2) Ações a considerar de acordo com o Indicador de Utilização

De acordo com o percentual de utilização da capacidade dos recursos produtivos, foram definidos objetivos e possíveis ações para auxiliar a equalizar a produção com a demanda a fim de evitar desperdícios:

- O que fazer? (*What to do?*) Foram estabelecidos quatro objetivos que visam equalizar o Indicador de Utilização no nível mais próximo de 100% possível. Deve-se optar pelo objetivo com percentual mais próximo do resultado obtido no monitoramento.
- Ações Possíveis (*Possible Actions*): de acordo com os princípios da Manufatura Enxuta, algumas possíveis ações foram sugeridas para alcançar o objetivo selecionado no item anterior. Duas categorias de ações foram determinadas, de acordo com o nível presumido de trabalho em cada uma das regiões:

- Baixa Carga de Trabalho: quando o indicador de utilização estiver próximo de 75% ou inferior, deve-se tomar ações para evitar desperdícios inerentes à falta de trabalho:
  - ✓ Optar por desperdícios “bons”, utilizando tempo livre para treinamentos, manutenção e melhorias.
  - ✓ Reduzir o número de funcionários, redistribuindo tarefas e tornando os operadores multifuncionais.
  - ✓ Reduzir número de máquinas, diminuindo custos causados pela sua manutenção.
  - ✓ Agendar férias nos períodos de baixa carga.
  - ✓ Reduzir turno de trabalho para ajustar a capacidade.
  - ✓ Reduzir estoques, mais do que nunca.
  
- Alta Carga de Trabalho: quando o indicador de utilização estiver próximo de 125% ou superior, deve-se tomar ações para aumentar a produção e atender a demanda planejada:
  - ✓ Aumentar turnos de trabalho.
  - ✓ Realizar atividades de melhoria contínua para reduzir desperdícios.
  - ✓ Aumentar número de máquinas ou operadores.
  - ✓ Trabalhar em projetos de melhoria que reduzam os tempos de processamento.
  - ✓ Utilização de horas extras.

A análise se dá conforme exemplo a seguir. O Leitor A representa uma máquina com 6 minutos de tempo de ciclo e o Leitor B uma máquina com 10 minutos de tempo de ciclo. Se nas áreas analisadas existem outras duas máquinas idênticas a essas, o tempo de ciclo de cada área será dividido por três. Dessa forma, o tempo de ciclo A será igual a 2 minutos e o B será de 3,33 minutos. Se o *Takt Time* da área for de 3 minutos por peça, o indicador de utilização será de 66,67% para A e 111% para B. O processo A está mais rápido que o B, configurando uma situação de desbalanceamento da linha. Para obter um balanceamento ideal com redução de desperdícios, as ações de baixa e alta carga de trabalho devem ser consideradas.

Vale lembrar que investimentos em aumento de capacidade e aumento de tempo de trabalho podem esconder problemas maiores, como desbalanceamento de produção e desperdícios de processo.

Antes de realizar investimentos em capacidade, deve-se sempre avaliar o mapa de fluxo de valor do processo, realizar acompanhamento e investigar as causas dos desperdícios.

### 3.3 TESTES PRELIMINARES

Testes preliminares foram realizados em laboratório a fim de verificar as funcionalidades do sistema e identificar riscos na aplicação.

#### 3.3.1 Alcance de sinal e faixas de leitura

A comunicação via Zigbee apresentou excelente alcance de sinal, conforme especificado nas configurações do produto. O teste foi realizado em uma rua e a distância de alcance foi calculada pelo mapa do Google Earth. A comunicação foi concluída com êxito até uma distância de 90 metros entre os módulos. Algumas oportunidades foram identificadas. Para uma melhor eficiência do sistema, é recomendado direcionar as antenas dos módulos para onde se deseja transmitir a informação. Como restrição, foi confirmado que o sinal do Zigbee pode ser bloqueado por barreiras físicas, como paredes ou placa metálicas. Para obter os melhores resultados do sistema, a antena deve estar direcionada para o Zigbee alvo e não deve haver interferências no caminho.

A faixa de leitura da placa MFRC522, de acordo com as especificações técnicas do produto, é de até 6 cm. Essa distância foi confirmada mediante testes realizados em laboratório.

#### 3.3.2 Duração da bateria

Para uma aplicação do sistema no modelo *plug and play*, as baterias devem ter capacidade de alimentação pelo tempo necessário da realização da coleta de dados. Para verificar este tempo, foi realizado um teste único com dois leitores alimentados com baterias de diferentes marcas, que enviaram informações das etiquetas para o módulo coordenador a cada 10 minutos, até o esgotamento das cargas. O Quadro 3 apresenta o resultado do teste de duração de duas marcas distintas.

### Quadro 3 - Teste de duração de baterias

<b>Descrição</b>	<b>Duração (min)</b>
Bateria A	120
Bateria B	40

Fonte: Autoria Própria

A escolha da bateria torna-se um ponto importante na preparação de uma aplicação. Caso seja necessário coletar dados por mais de duas horas, baterias reserva devem estar disponíveis ou outras fontes de energia devem ser avaliadas.

### 3.4 CONFIGURAÇÕES DO AMBIENTE PARA APLICAÇÃO

Um dos objetivos do sistema é ser flexível para atender o maior número de aplicações possível. Acredita-se que o sistema pode ser adaptado aos mais variados ambientes de monitoramento de objetos, pessoas e outras entidades. O problema de pesquisa que motiva este trabalho surgiu no contexto da manufatura, no setor metal-mecânico. A Figura 28 apresenta um exemplo com informações extraídas pelo sistema em um ambiente de manufatura, que possui dois postos de usinagem, estoques intermediários, estoque final e a área de expedição para o cliente, com um leitor representando cada região. Essas informações foram retiradas da tela Estatísticas.

Figura 28 – Exemplo com informações da tela Estatísticas

<b>Etapa</b>	<b>Categoria</b>	<b>T Min</b>	<b>T Avg</b>	<b>T Max</b>	<b>Status Min</b>	<b>Status Avg</b>	<b>Status Max</b>
E Usi1	2	00:02:59	00:38:10	02:00:00	1	2,5	6
P Usi1	1	00:22:00	00:37:00	00:45:00	1	2,3	3
E Usi2	2	00:10:00	00:20:00	00:30:00	1	1,4	3
P Usi2	1	00:35:00	00:42:30	00:50:00	1	1,5	2
E Final	2	01:30:00	01:30:00	01:30:00	1	2,6	3

Fonte: Autoria própria.



### 3.4.1 Instalação de leitores e etiquetas

O sistema foi inicialmente projetado para trabalhar com os leitores representando a região a ser monitorada e etiquetas magnéticas representando itens que passam por essas regiões. Como as etiquetas passivas são menores, mais baratas, e não necessitam de uma fonte de energia própria, é mais fácil acoplá-las na população de maior quantidade ou que tenha maior mobilidade. As regiões monitoradas tendem a permanecer estáticas por mais tempo e podem facilmente ser energizadas. Dessa forma, o sistema foi projetado para fornecer mais detalhes sobre os leitores, que representam as regiões monitoradas. Porém, isso não é regra e, de acordo com a configuração do ambiente, é possível utilizar leitores para os itens móveis e etiquetas para as regiões estáticas, caso o foco da extração de informações esteja nos itens móveis. Exemplo: na produção naval, que é altamente customizada com longos períodos de fabricação, seria possível configurar o ambiente da seguinte forma: uma etiqueta magnética representaria um navio em produção e os leitores representariam equipes ou funcionários que estariam trabalhando no navio. Dessa forma, seria possível ter as estatísticas de tempo de cada um dos funcionários. Todavia, esse tipo de configuração não será abordado neste trabalho.

### 3.4.2 Monitoramento de objetos

O monitoramento de objetos é realizado acoplando etiquetas magnéticas nos itens que se deseja rastrear. Pode-se trabalhar com um ou mais tipos distintos de materiais ou produtos:

- Monitoramento como foco em um tipo de item: os tempos refletirão o universo de produção do item específico. O *takt time* deverá ser calculado com base na demanda deste único item e tanto os tempos quanto as quantidades representarão exatamente a sua realidade de produção.
- Monitoramento com foco em mais de um item: os tempos refletirão o universo de produção dos itens a serem monitorados. Se os diferentes itens compartilharem as mesmas regiões de trabalho, o *takt time* deverá ser calculado com a média ponderada entre os tempos e as demandas de todos os produtos que compõem o *mix*. O registro individual de cada item será registrado e poderá ser monitorado. Porém, serão contabilizados nas estatísticas da região monitorada o valor

médio de todos os itens. Isso torna a análise menos rica em detalhes, mas ainda sim de significativa importância para avaliar balanceamento de carga, atendimento à demanda e desempenho de diferentes *mix* produtivos em um fluxo de produção.

### **3.4.3 Monitoramento de pessoas**

O monitoramento de pessoas funciona quase da mesma forma que o de objetos. Etiquetas magnéticas são acopladas no cartão de identificação ou vestuário e os leitores RFID identificam o posicionamento em tempo real de cada uma das pessoas monitoradas. Pode-se monitorar uma ou mais pessoas simultaneamente.

## 4 APLICAÇÃO EM EMPRESAS

A aplicação do sistema, em carácter experimental, foi realizada em duas empresas de ramos distintos, a fim verificar o desempenho e o resultado do trabalho em diferentes aplicações *Lean*. O sistema foi aplicado na Empresa A, fabricante de peças do setor automotivo, onde foram monitoradas peças em uma célula produtiva utilizando 5 leitores, para verificar tempos, balanceamento de linha e capacidade de atendimento ao *takt time*. As etiquetas foram acopladas aos produtos. O sistema também foi aplicado na Empresa B, pertencente ao segmento de energia, em uma fábrica de transformadores e reatores a fim de monitorar o controle os tempos de produção em um processo de reaperto de reatores. Dois leitores foram usados para monitorar o tempo de valor agregado no produto, onde as etiquetas estavam monitorando os funcionários.

### 4.1 CASO 1: EMPRESA A

#### 4.1.1 Apresentação da Empresa

A empresa é uma das maiores forjarias do Brasil e tem sua fábrica situada em Canoas, Rio Grande do Sul. Com capacidade de produção de até 30.000 ton/ano, a Empresa A tornou-se referência em soluções para produtos forjados, usinados e conjuntos montados para os segmentos automotivo, agrícola e industrial.

#### 4.1.2 Produtos

A Empresa A produz atualmente os seguintes produtos para os segmentos listados abaixo:

- Segmento agrícola: conjunto de terceiro ponto, niveladores, estabilizadores, eixos longos, barras inferiores.
- Segmento automotivo: *yokes*, suporte de eixo, sela de mola, ponta de eixo, flange de transmissão, eixo de transmissão, eixos, braço Pitman, braço de ligação, braço de direção, anel retificado.

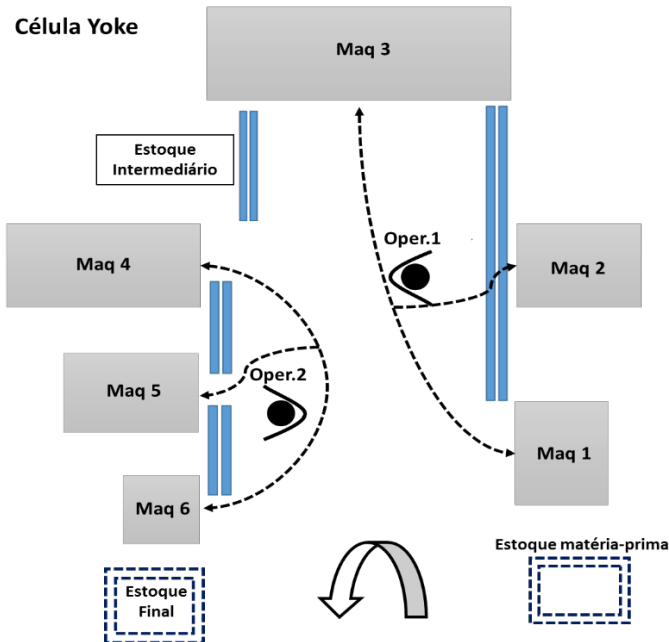
Para a aplicação do sistema, foi escolhida a célula de fabricação de *yokes*, também conhecidos como garfos ou juntas universais (Figura 28). Os *yokes* fabricados pela Empresa A fazem parte do sistema de transmissão e eixo de veículos automotores e compõem os chamados

cardãs. Os cardãs são juntas que têm o objetivo de permitir que a árvore de transmissão disponha de determinado ângulo de movimento para acompanhar o trabalho da suspensão enquanto o veículo se desloca. O deslocamento do eixo de transmissão tanto no sentido longitudinal quanto no radial é possível graças aos *yokes* conectados nas extremidades.

#### 4.1.3 Célula de fabricação de yokes

A fabricação dos *yokes* acontece em uma célula de produção com 6 máquinas, um estoque de matéria-prima e um estoque de produto acabado. A Figura 29 apresenta o leiaute da célula de fabricação de *yokes*. Normalmente, são disponibilizados três operadores para realizar a operação das máquinas, a fim de obter o maior aproveitamento da capacidade. No dia da aplicação do sistema, havia apenas dois funcionários compartilhando as atividades. O produto se movimenta ao longo dos processos por meio esteiras mecanizadas, conferindo à célula um caráter de sequenciamento *first-in-first-out* (FIFO).

Figura 29 - Célula de fabricação de *yokes*.



Fonte: Autoria própria.

Os processos que compõem a célula são os seguintes:

- Posto 1 - Torno CNC: Usinagem do diâmetro interno e da face.
- Posto 2 - Brochadeira Vertical: brochamento do *spline* interno.
- Posto 3 - Torno CNC: Usinagem externa.
- Posto 4 - Centro de Usinagem Horizontal: Usinagem dos alojamentos.
- Posto 5 - Têmpera por Indução: Têmpera do *spline*.
- Posto 6 - Balanceadora: Balanceamento dinâmico.

A célula é planejada para fabricar 18 peças por hora com 3 operadores trabalhando simultaneamente, possuindo capacidade para atender a um *takt time* de 3,33 minutos por peça.

#### 4.1.4 Aplicação

Os principais objetivos da aplicação do sistema de monitoramento na Empresa A foram os seguintes:

- Identificar os tempos de processamento e de espera em estoque;
- Identificar a quantidade média de produtos em estoque;
- Identificar oportunidades de melhoria de balanceamento de tarefas;
- Verificar adequação ao *takt time*;
- Identificar o percentual de improdutividade dos processos.

A verificação dos tempos de processamento permite auxiliar em diversas análises de produtividade e de eliminação de desperdícios. Os tempos de espera e a quantidade média de produtos em estoque são importantes para dimensionar os níveis estoque de segurança e auxiliar na redução do WIP.

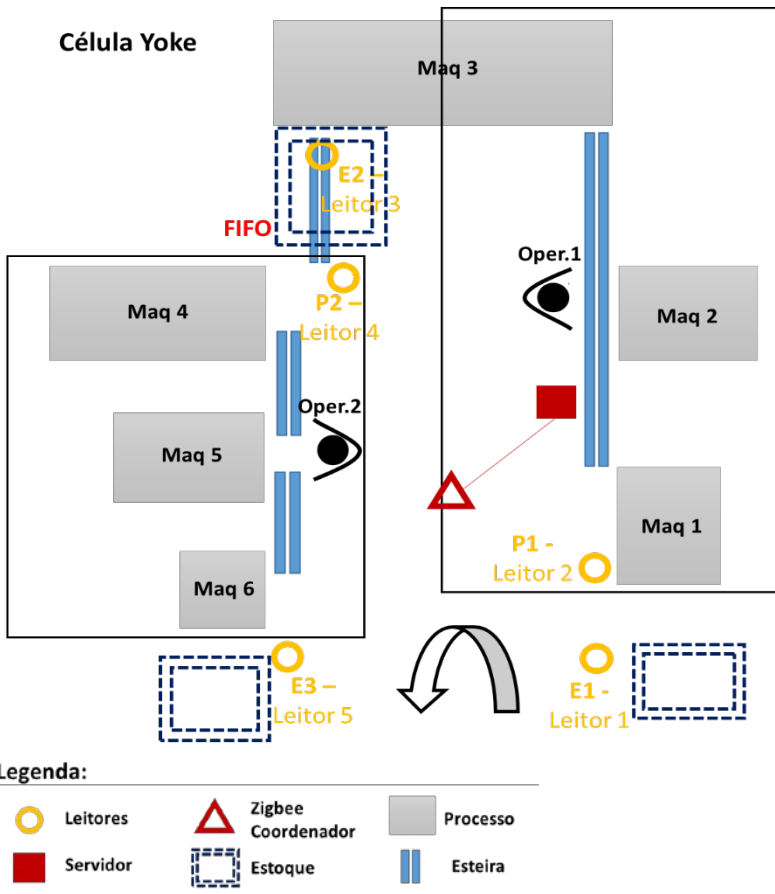
A aplicação foi realizada da seguinte forma: cinco leitores RFID foram posicionados em determinados pontos da célula de produção para monitorar a movimentação dos produtos. Cada leitor representa uma região específica:

- Leitor 1: Estoque de matéria-prima (E1).
- Leitor 2: Processo 1, que incorpora os três primeiros postos de trabalho (P1).
- Leitor 3: Estoque intermediário (E2).

- Leitor 4: Processo 2, que incorpora os outros três postos de trabalho (P2).
- Leitor 5: Estoque de produto acabado (E3).

A Figura 30 mostra o leiaute da célula de fabricação de *yokes* da Empresa A com o sistema de monitoramento aplicado. A matéria-prima entra na célula de fabricação no estoque E1 e atravessa todas as operações de transformação, até chegar no estoque final E3.

Figura 30 - Leiaute da célula de fabricação de *yokes* com o sistema aplicado.



Fonte: Autoria própria.

O servidor, localizado em um notebook, foi posicionado em uma das bancadas da célula. O Xbee coordenador foi conectado ao servidor por meio de um cabo USB “macho/fêmea” de 5 metros de comprimento, posicionado a uma altura de aproximadamente 4 metros do chão e preso a um suporte já existente no meio da célula. Os módulos leitores foram fixados em suas posições com ajuda de fita adesiva isolante (Figura 31).

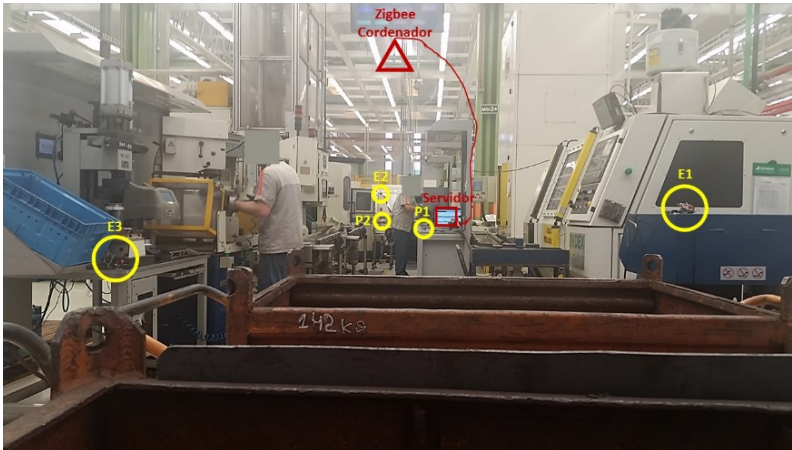
Figura 31 – Leitor 3 (E2) fixado sobre a caixa de comando do torno CNC.



Fonte: Autoria própria.

Como há muitas operações de usinagem e transformação na célula de *yokes*, o acoplamento das etiquetas no produto não seria possível, uma vez que poderia prejudicar o processo de fabricação, além de danificar as etiquetas. Dessa forma, as etiquetas foram posicionadas sobre ou junto às peças, sem nenhum método de fixação. De acordo com o progresso da movimentação das etiquetas pela célula, os operadores foram instruídos a registrar as entradas nas áreas representadas por cada leitor, retirando a etiqueta posicionada sobre as peças e passando uma vez no leitor. Assim que a luz de aviso do leitor fosse acesa, a entrada da peça estaria confirmada. A Figura 32 mostra uma foto da aplicação com a instalação de todos os componentes do sistema.

Figura 32 - Aplicação do sistema de monitoramento na célula de *yokes*.



Fonte: Autoria própria.

A fim de verificar a funcionalidade do sistema de alocação de múltiplos itens em uma única etiqueta (como no monitoramento de *pallets* ou *containers*), definiu-se que cada uma iria representar dois produtos. As etiquetas acompanham os dois produtos ao longo do processo inteiro, conforme apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Etiqueta magnética acoplada nos produtos.



Fonte: Autoria própria.



No período da realização do monitoramento a empresa estava trabalhando apenas um turno por dia. A aplicação do sistema iniciou-se às 15h42, quase no final do turno de trabalho, e foram monitorados somente os produtos que entraram na célula após o início do monitoramento, registrando a entrada no estoque de matéria-prima E1.

#### **4.1.5 Resultados**

A primeira tela do aplicativo apresenta as configurações do sistema ao final da aplicação. Ao final, 19 produtos deram entrada no sistema, com o primeiro registro às 15h42 e o último às 17h10 do mesmo dia, totalizando 1,47 horas de monitoramento. O monitoramento foi encerrado devido ao fim do expediente de trabalho. Ao final, 9 produtos estavam no estoque de produto acabado e 10 estavam no estoque intermediário E2. A Figura 34 apresenta a tela de configurações após a realização do monitoramento.

Na tela de estatísticas pode-se perceber que o tempo médio de processamento para os processos de P1 é de 6,66 minutos, enquanto o tempo médio de processamento de P2 é de 13,3 minutos. O número médio de produtos em estoque foi de 5,4 unidades para o estoque de matéria-prima E1 e 5,9 unidades para estoque intermediário. Houve uma concentração máxima de 9 peças no estoque intermediário E1. A Figura 35 apresenta a tela Estatísticas ao final do monitoramento. Pode-se notar a concentração de atividades mais demoradas no conjunto de atividades P2, o que exige uma maior atenção na hora da distribuição de atividades entre os operadores para evitar ociosidade.

Figura 34 - Tela configurações da aplicação na Empresa A.

Lein01 - Thiago Trazen Aydos  
 Configuration | Statistics | Learn Analysis

**Readers**

Nome	Category	Status
READER01	2	0
READER02	1	0
READER03	2	10
READER04	1	0
READER05	2	9

**Tag History**

Reader	Tag	Timestamp	Duration	Description
READER01	63A94C03	22/10/2015 15:42	00:01:37	
READER01	737761F6	22/10/2015 15:43	00:01:49	
READER01	6580AD35	22/10/2015 15:44	00:04:33	
READER01	00FF6E1E	22/10/2015 15:44	00:08:14	
READER02	63A94C03	22/10/2015 15:45	00:03:36	
READER01	A17C220E	22/10/2015 15:46	00:19:11	
READER02	737761F6	22/10/2015 15:47	00:05:47	
READER03	63A94C06	22/10/2015 15:53	00:11:00	
READER02	6580AD35	22/10/2015 15:53	00:06:18	
READER03	737761F6	22/10/2015 15:59	00:13:08	
READER02	00FF6E1E	22/10/2015 16:01	00:05:00	
READER02	A17C220E	22/10/2015 16:05	00:06:40	

**Tags**

Cod	Name	Qty
737761F6	737761F6	2
63A94C03	63A94C03	2
A17C220E	A17C220E	1
F4823268	F4823268	2
0414BE98	0414BE98	2
2441B488	2441B488	2
34476788	34476788	2
B0414EE9	B0414EE9	2
0490E596	0490E596	2
0F444767	0F444767	1
0000F1E3	0000F1E3	1
0594440F	0594440F	1

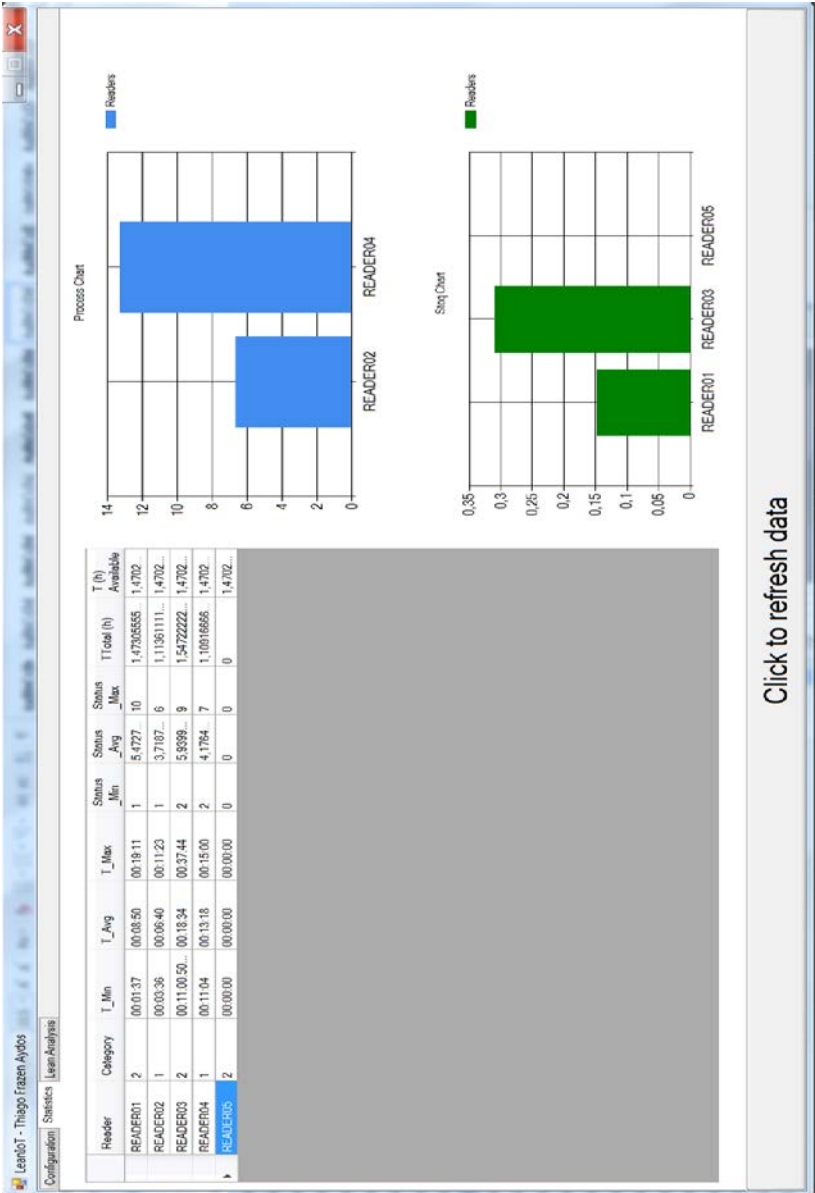
**Readers History**

Reader	Timestamp	Status	Duration
READER01	22/10/2015 15:42	2.0	00:01:18
READER01	22/10/2015 15:43	4.0	00:00:45
READER01	22/10/2015 15:44	6.0	00:00:12
READER01	22/10/2015 15:44	8.0	00:00:59
READER01	22/10/2015 15:45	7.0	00:00:37
READER02	22/10/2015 15:45	2.0	00:01:43
READER01	22/10/2015 15:46	7.0	00:01:08
READER01	22/10/2015 15:47	6.0	00:06:12
READER02	22/10/2015 15:47	4.0	00:05:29
READER02	22/10/2015 15:53	3.0	00:00:43
READER02	22/10/2015 15:53	2.0	00:06:05
READER01	22/10/2015 15:53	4.0	00:02:34

[Click to refresh data](#)

Fonte: Autoria própria.

Figura 35 - Tela estatísticas da aplicação na Empresa A.



Fonte: Autoria própria.

A tela análise *Lean* é apresentada na Figura 36. Conforme indicado pela empresa, o *takt time* definido é de 3,3 minutos por peça, equivalente a 18 peças por hora. Como o tempo médio de duração dos registros é considerado igual ao tempo de ciclo do posto monitorado, o tempo de ciclo da área é calculado dividindo-se o tempo de ciclo do posto pelo número de máquinas ou postos de trabalho da área. Para calcular o tempo de ciclo das áreas monitoradas na aplicação, tornou-se necessário considerar iguais os tempos de ciclo das máquinas de um mesmo leitor.

O processo P1 possui tempo de ciclo da área de 2,22 minutos por peça, que é inferior ao *takt time* definido pela empresa. Por outro lado, o processo P2 está com 4,43 minutos por peça, sendo superior em 33% o desejado para atender a demanda. Estes resultados mostram que a célula de fabricação de *yokes* não está apta a atender o *takt time*. Isto porque o processo P2 está acima do esperado para atendimento da demanda planejada, apresentando um percentual de utilização de 133%.

Pode-se constatar o desbalanceamento de carga de trabalho entre as estações de processamento, sendo recomendável adotar algumas ações sugeridas pelo sistema desenvolvido. Em P1, o percentual de utilização está próximo de 75% e deve-se utilizar o tempo ocioso para realização de outras atividades. Fica claro que o operador do processo P1 deve auxiliar P2, no qual há sobrecarga. Se isto não for possível, recomenda-se realizar atividades de organização, limpeza e manutenção, bem como treinamentos, além de auxiliar na operação de outras células de trabalho, caso haja tempo disponível.

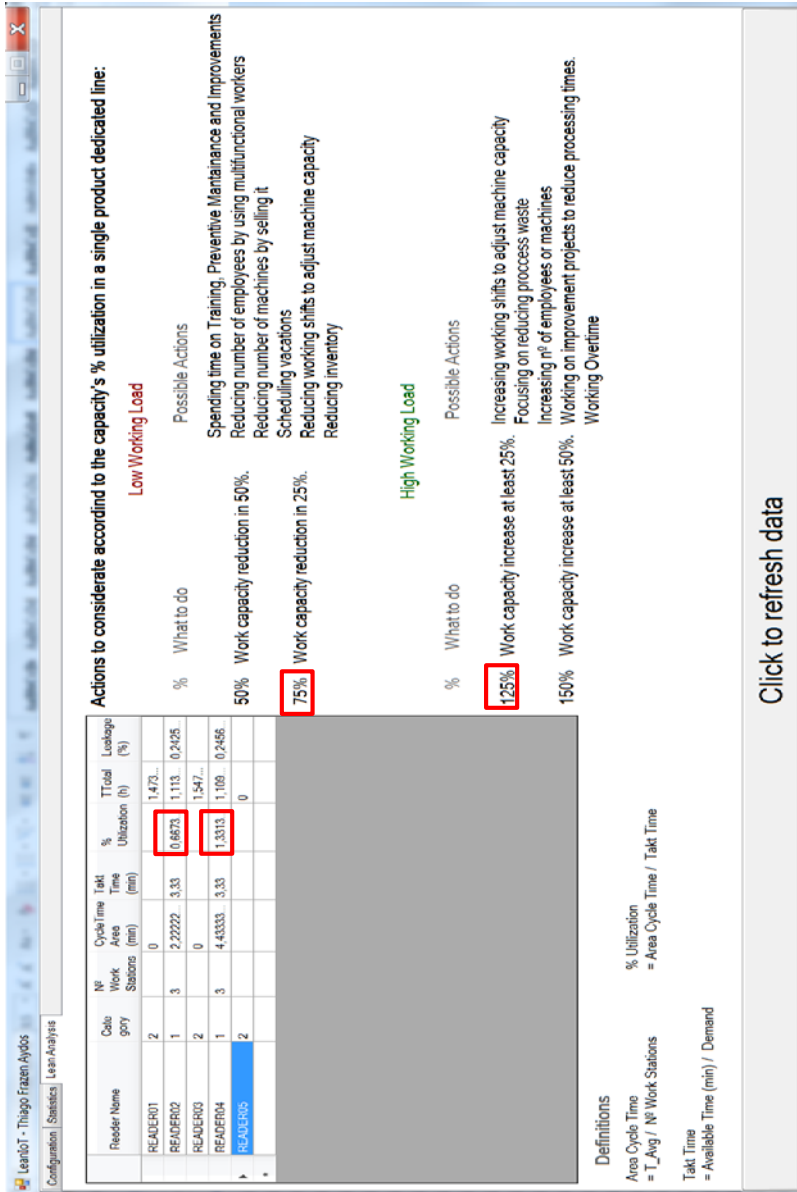
No processo P2, o percentual de utilização se encontra próximo dos 125% e, para essa faixa de valores, o aplicativo recomenda ações como aumentar o número operadores no auxílio das tarefas dessa região. Recomenda-se atuar na redução dos desperdícios e na melhor distribuição das atividades entre os operadores, a fim de aumentar a taxa de ocupação do gargalo. Acredita-se que a divisão das tarefas de P2 faria com que o tempo de atravessamento desta região fosse reduzido, tornando o processo passível de atendimento ao *takt time*.

A penúltima coluna da tabela de análise *Lean* apresenta o tempo total registrado nos processos P1 e P2. Como as máquinas da célula processam somente um produto por vez, somando-se todos os tempos de processamento dos produtos se obtém o tempo que as máquinas estiveram em operações produtivas. O tempo disponível do monitoramento foi de 1,47 horas, e o tempo de processamento total de 1,11 horas para P1 e 1,01 horas para P2. Ambos os processos tiveram percentual de

improdutividade no período de aproximadamente 24%. Este indicador representa o aproveitamento dos recursos durante o período avaliado.

O Processo P1 registrou tempo de ciclo inferior em mais da metade de P2 e processou uma quantidade maior de peças durante o período monitorado (P1 fabricou 19 peças enquanto P2 fabricou apenas 9). Vale salientar que o sistema não consegue perceber caso uma máquina esteja processando um produto defeituoso ou operando em algum retrabalho. Apesar de se tratar de horas improdutivas por falta de qualidade, elas serão consideradas produtivas pelo sistema. Não houve nenhum caso de não-conformidade durante o monitoramento.

Figura 36 - Tela Análise *Lean* da aplicação na Empresa A.



Fonte: Autoria própria.

#### 4.1.6 Considerações finais desta aplicação

Alguns pontos importantes devem ser considerados após a aplicação do sistema de monitoramento na Empresa A. Primeiramente, foram utilizados 5 módulos leitores para fazer o monitoramento de toda a célula produtiva. A quantidade ideal para realizar o monitoramento com mais riqueza de detalhes, nessa configuração, seria 13 módulos leitores: um para representar o estoque de matéria-prima, seis para representar cada uma das máquinas; cinco para representar todos os estoques intermediários e um para representar o estoque final. Dessa forma, seria possível verificar os gargalos reais da linha e calcular os tempos de ciclo individuais de cada máquina. Entende-se que a quantidade de leitores utilizada na aplicação foi suficiente para demonstrar as funcionalidades do sistema e grande parte das informações que ele pode fornecer.

O tempo de instalação dos equipamentos foi considerado rápido, somando 15 minutos com um operador. Não foi necessário interromper a produção para o posicionamento dos leitores em cada uma das áreas monitoradas. Apesar do curto período de monitoramento, entende-se que os resultados foram suficientes para demonstrar a funcionalidade e aplicabilidade do sistema. Para entender mais profundamente a natureza do processo e do produto analisados, seria necessário realizar um monitoramento mais prolongado, de forma a verificar a existência de desvios ou reflexos de mudanças nas configurações de célula. As atividades compreendidas nesse setup consistem em ligar as baterias nos leitores, fixá-los nas posições corretas com fita isolante e realizar um teste inicial em todos os leitores, verificando se as informações enviadas estão sendo recebidas pelo Xbee coordenador. As etiquetas magnéticas foram cadastradas no sistema conforme a sua entrada no estoque de matéria-prima E1, com a inserção manual do código e da quantidade de itens que cada uma representou.

A empresa afirma que a melhor configuração para obter menores tempos é com 3 operadores. Como as atividades, em especial do processo P2, não estavam com o balanceamento ideal, ouve um aumento no tempo de ciclo da região. Nessas condições, o ritmo de fabricação da célula passou de 3,33 (*takt time*) para 4,43 minutos. A configuração de 2 operadores na célula aumenta o desperdício envolvido na fabricação, em especial por tempo de espera, quando as máquinas já finalizaram o processamento e aguardam o operador para troca de peças. As informações coletadas com a configuração de 2 funcionários são de grande importância para dar mais flexibilidade à programação da produção. O conhecimento do desempenho em condições não ideais

auxilia os gestores na tomada de decisão com relação à alocação de pessoal nos recursos de produção.

Outro ponto a ser melhorado nesta implementação, a fim de tornar o sistema mais independente e de acordo com os princípios da *Internet of Things*, seria identificar maneiras de fixar as etiquetas magnéticas nos produtos, não necessitando da intervenção humana para o registro nos leitores. Assim, o leitor posicionado nas esteiras poderia identificar o produto sempre que ele passasse pela placa RFID sem o auxílio do operador. No Apêndice A, mostra-se a tabela completa de histórico de etiquetas.

## 4.2 CASO 2: EMPRESA B

### 4.2.1 Apresentação da empresa

A Empresa B é uma multinacional norte-americana de serviços e de tecnologia. Entre os seus diversos segmentos de atuação, encontra-se o de *Energy Management*, que desenvolve soluções e tecnologias para clientes que atuam nas áreas de geração, transformação, conversão, transmissão, distribuição, proteção, monitoramento e controle de energia elétrica. Esse *business* possui 20 mil funcionários em aproximadamente 80 países, equipando 90% dos serviços de energia mundiais, e visa trazer energia confiável e eficiente desde a geração até o consumidor final.

Abaixo segue a lista dos segmentos de mercado da Empresa A no segmento Energy Management:

- Power Generation
- Transmission
- Distribution
- Oil & Gas
- Industry & Infrastructure
- Buildings & Cities

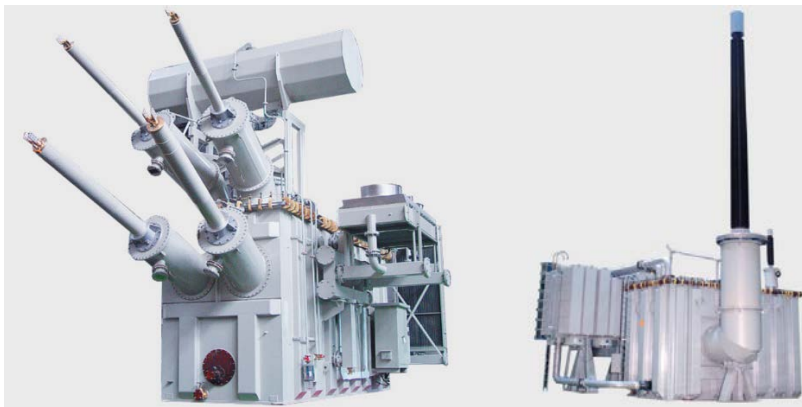
### 4.2.2 Unidade Canoas/RS

Em Canoas (RS) encontra-se uma das unidades produtoras de transformadores e reatores de potência com tensão de até 800kV, pertencente ao segmento *Transmission*. A Figura 37 exhibe exemplos de produtos similares aos fornecidos por essa unidade: um transformador de



alta tensão com corrente contínua (*High Voltage Direct Current – HVDC*) e um reator de alta tensão.

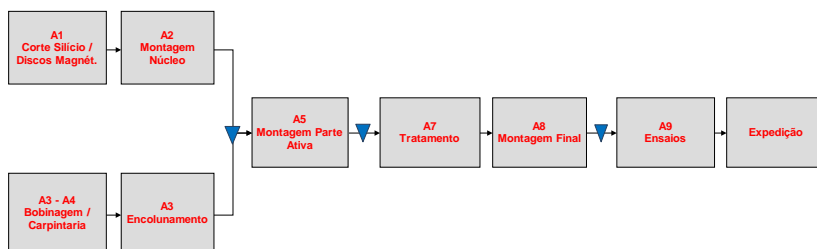
Figura 37 - Transformador HVDC e reator de alta tensão.



Fonte: GE (2015).

A Figura 38 apresenta o fluxograma de processos da fabricação de transformadores e reatores, realizada na unidade da Empresa A em Canoas. Os triângulos azuis representam estoques intermediários necessários para garantir o fluxo de produção em caso de desvios. Apesar de serem produtos diferentes, o processo de fabricação contempla grande parte das etapas em comum.

Figura 38 - Fluxograma de processos na produção da Empresa B.



Fonte: Autoria própria.

O processo de fabricação da Empresa A é composto pelas seguintes atividades:

- A1 - Corte de Silício / Discos Magnéticos: preparação e corte do silício para montagem do núcleo e fabricação dos discos magnéticos para reatores;
- A2 - Montagem Núcleo: empacotamento de chapas de silício e montagem do núcleo;
- A3 - Bobinagem e Encolunamento: fabricação dos enrolamentos e encolunamento para fabricação das bobinas do equipamento;
- A4 - Carpintaria: produção de peças de material isolante como madeira e borracha que compõem o equipamento;
- A5 - Montagem da Parte Ativa: acoplamento das bobinas no núcleo e ligação elétrica. Após o tratamento, a máquina volta para o processo de reaperto;
- A7 - Tratamento e Impregnação: sistema de vácuo e calor para retirada de umidade do equipamento;
- A8 - Montagem Final: colocação da parte ativa em tanque, preenchimento com óleo isolante e montagem dos componentes externos;
- A9 - Ensaios: realização de ensaios elétricos em laboratório para garantir a qualidade do produto;
- A10 - Expedição: embalagem e expedição do corpo e dos acessórios do produto.

#### **4.2.3 Processo de Reaperto**

Após o tratamento da parte ativa do equipamento, ocorrem alterações dimensionais em alguns componentes isolantes. Consequentemente, a parte ativa necessita ser “reapertada” para deixar as fixações firmes e ajustadas. Para a realização dessa etapa, o equipamento entra em uma sala climatizada onde são reapertados muitos elementos de fixação. Nessa etapa, também são acoplados calços e compensações de material isolante em áreas com maior alteração dimensional. Com o auxílio de macacos pneumáticos, as compensações são posicionadas entre a bobina e a culatra superior, e os parafusos e tirantes que fixam o núcleo são reapertados. Trata-se de um processo crítico que deve ser feito o mais rápido possível, já que o equipamento pode absorver umidade do ambiente enquanto não estiver imerso em óleo. Caso o tempo de

exposição do equipamento ultrapasse o limite definido pela engenharia, deve-se realizar novos processos de secagem.

Essa etapa é uma boa oportunidade para a realização de inspeção de qualidade, verificando possíveis problemas ocorridos na execução das etapas anteriores de fabricação. Na execução das tarefas de reaperto são utilizados de dois a oito funcionários simultaneamente, distribuídos nas áreas superior e inferior da plataforma de trabalho. O número de funcionários dedicados a essa operação depende do tipo, do tamanho e da complexidade do produto.

#### **4.2.4 Aplicação**

Por ser um processo crítico na manufatura de transformadores e reatores de alta tensão, torna-se importante monitorar o *lead time* da operação de reaperto. Além de verificar se o tempo de exposição está dentro dos limites técnicos permitidos, também surge o interesse em reduzir os desperdícios de processo, aumentando a sua eficiência e reduzindo o tempo de atravessamento. Com o monitoramento do processo pode-se verificar os desperdícios, e a anotação dos dados permite avaliar quais são os desperdícios inevitáveis ou intrínsecos ao processo (por exemplo: *setup* e movimentação) e quais são passíveis de eliminação (falta de material ou ferramenta, falta de energia, entre outros). Deve-se buscar reduzir e antecipar ao máximo os desperdícios inevitáveis, diminuindo o *lead time* da operação e trabalhando na sua eliminação definitiva.

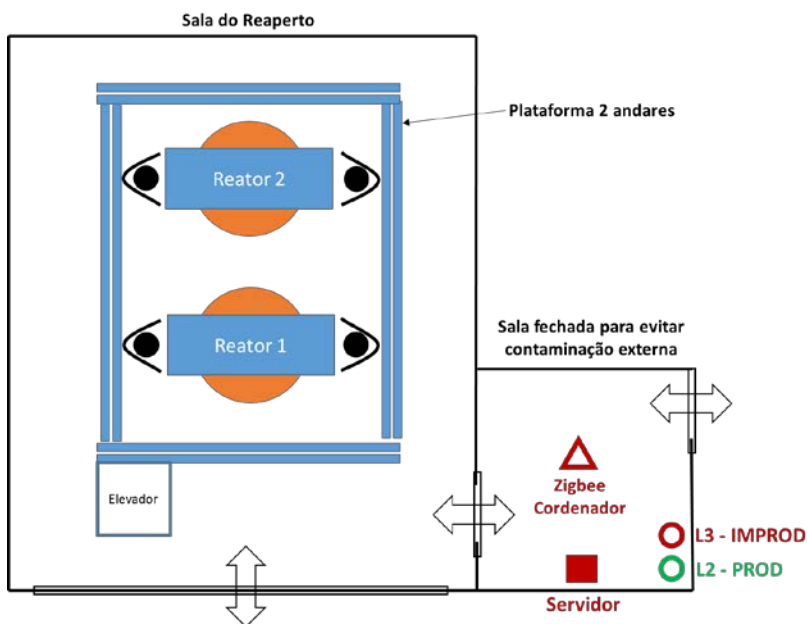
A redução do tempo despendido nas operações impacta diretamente o resultado financeiro da empresa, além de aumentar o seu nível de competitividade. Um dos grandes problemas na operação de reaperto é a falta de planejamento, que pode ocasionar horas gastas em desperdícios. A falta de ferramentas na hora e no local certo, os problemas com material e com a preparação de equipamentos necessários para a operação são alguns exemplos de desperdícios causados pela falta de planejamento. A implementação do sistema de monitoramento foi realizada na operação de reaperto de dois reatores monofásicos, reapertados simultaneamente. Os objetivos primordiais da aplicação do sistema no processo de reaperto são:

- Verificar os tempos de operação e os tempos gastos em desperdícios na operação, bem como avaliar suas principais causas;

- Verificar se o *lead time* da operação está dentro dos limites de segurança de fabricação;
- Verificar a quantidade média de operadores trabalhando ao longo do processo.

A Figura 39 mostra o leiaute da sala de reaperto. Após a realização do tratamento, as partes ativas são retiradas do tanque e colocadas na sala de reaperto, lado a lado. Uma plataforma móvel de dois níveis é ajustada para envolver os dois produtos e guarda-corpos são instalados para evitar acidentes de trabalho. O segundo nível serve para realizar atividades na parte superior do núcleo. Para cada produto são alocados dois funcionários que dividem as tarefas individuais e executam tarefas em dupla, quando necessário.

Figura 39 - Leiaute da sala de reaperto.



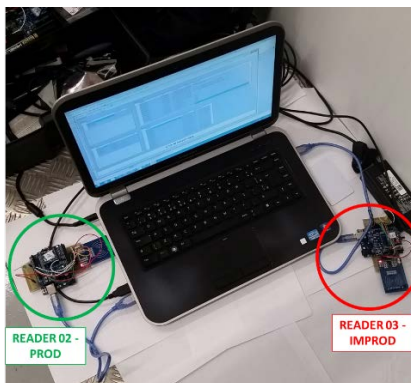
Fonte: Autoria própria.

No processo de reaperto não são necessárias máquinas de transformação. A operação é manual, realizada com auxílio de ferramentas e equipamentos de movimentação. A fim de verificar a

quantidade de horas dedicadas às tarefas produtivas, o leitor L2 foi posicionado junto à sala de passagem entre o ambiente externo e a sala de reaperto. De forma similar, o leitor L3 foi posicionado para marcar todas as horas gastas com desperdícios de processo. Na mesma sala, o Zigbee coordenador foi posicionado em um pilar e conectado ao servidor por meio de um cabo USB de 5 metros. As etiquetas magnéticas representam os operadores atuantes, sendo necessária uma etiqueta por operador. O responsável pela aplicação do sistema tem a função de verificar as atividades que estão sendo feitas e avaliar se são produtivas ou não. Caso sejam improdutivas, deve-se registrar o cartão do operador no leitor L3 e anotar, se possível, uma justificativa. Caso sejam atividades produtivas, o mesmo deve-se proceder no leitor L2. Assim, as atividades de cada operador terão o registro da duração e da sua descrição no sistema.

O monitoramento inicia quando um dos operadores começa a realizar as atividades relacionadas ao processo e só termina quando os dois reatores estiverem reapertados. Como esse processo demora de 4 a 16 horas, em média, não seria possível utilizar as baterias de 9V, já que elas possuem duração de 2 horas, havendo necessidade de substituições constantes ao longo da aplicação. Dois leitores foram utilizados, posicionados próximos ao notebook servidor, que serviu como fonte de energia. Ambos os leitores foram energizados por meio de cabos USB, e o notebook foi conectado à rede elétrica local, conforme a Figura 40.

Figura 40 - Leitores alimentados pela energia da rede por meio de cabos USB.



Fonte: Autoria própria.

#### **4.2.5 Resultados**

A Figura 41 apresenta a tela configurações. Nela pode-se ver as quatro etiquetas magnéticas usadas para monitorar os quatro operadores, os Leitores 2 (Horas Produtivas) e 3 (Horas Improdutivas). Ao final da aplicação, os quatro funcionários foram marcados no leitor de horas improdutivas para finalizar a contagem do Leitor 2 e encerrar a contabilização no sistema. O monitoramento foi iniciado às 8h24 e teve seu término às 17h32, quando a execução de todas as operações foi encerrada. O campo “descrição”, no histórico de passagem, serve para anotações diversas, em especial para registro dos desperdícios.

Figura 41 - Tela Configurações da aplicação na Empresa B.

Lealdão - Itagalo Itazen Ayos

Configuration | Statistics | Lead Analysis

Readers

Name	Category	Status
READER02	1	0
READER03	2	4

Tags

Cod	Name	City
6590A035	6590A035	1
63A89A08	63A89A08	1
COFESME	COFESME	1
737761F6	737761F6	1

Tags History

Reader	Tag	Timestamp	Duration	Description
READER02	63A89A08	19/10/2015 08:24	01:06:37	
READER02	COFESME	19/10/2015 08:24	01:53:47	
READER02	737761F6	19/10/2015 08:28	01:45:28	
READER03	6590A035	19/10/2015 09:25	00:14:34	Buscar ferramentas
READER03	63A89A08	19/10/2015 09:30	00:02:17	
READER02	63A89A08	19/10/2015 09:32	00:44:51	8:30 - preparação dos andimes - 4 op - 9:55
READER02	6590A035	19/10/2015 09:40	00:36:33	9:50 - 2 op. Preseçom pedras dos discos - até 10:10
READER02	737761F6	19/10/2015 10:14	00:00:33	
READER02	737761F6	19/10/2015 10:14	00:03:31	
READER03	6590A035	19/10/2015 10:17	00:22:53	Café
READER03	63A89A08	19/10/2015 10:17	00:21:49	Café
READER03	737761F6	19/10/2015 10:18	00:20:24	Café

Readers History

Reader	Timestamp	Status	Duration
READER02	19/10/2015 08:24	1,0	00:00:51
READER02	19/10/2015 08:24	2,0	00:00:42
READER02	19/10/2015 08:25	3,0	01:05:04
READER03	19/10/2015 09:25	1,0	00:04:41
READER02	19/10/2015 09:30	2,0	00:02:17
READER03	19/10/2015 09:30	2,0	00:02:17
READER03	19/10/2015 09:32	1,0	00:07:36
READER02	19/10/2015 09:32	3,0	00:07:36
READER02	19/10/2015 09:40	0,0	00:33:28
READER02	19/10/2015 09:40	4,0	00:33:28
READER02	19/10/2015 10:14	3,0	00:00:53
READER03	19/10/2015 10:14	1,0	00:00:53

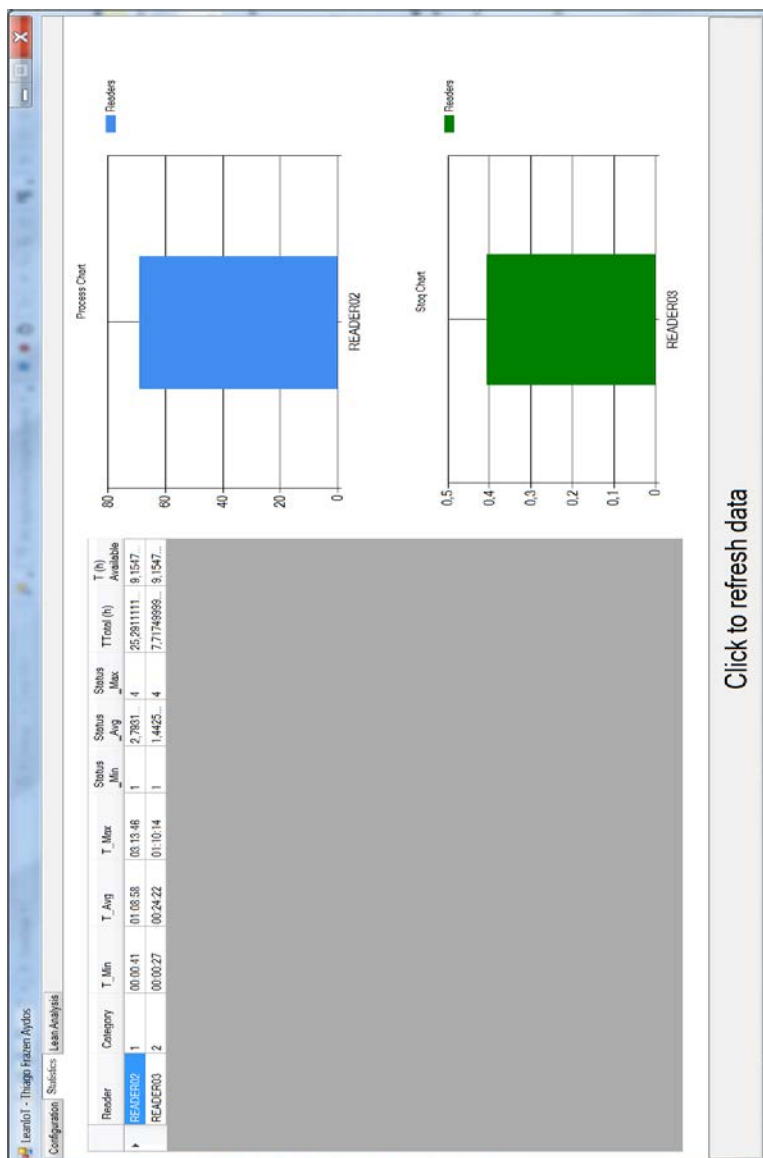
Click to refresh data

Fonte: Autoria própria.

A Figura 42 mostra a tela de estatísticas da aplicação na Empresa B. Algumas informações importantes podem ser obtidas do sistema. O número médio de funcionários em operação foi 2,79, apesar de haver quatro funcionários dedicados a esse trabalho. Logo, boa parte do tempo foi gasta com desperdícios ou outras tarefas não relacionadas. O registro máximo de duração de desperdícios foi de 1,16 horas, devido ao período de almoço dos funcionários. Por outro lado, o período máximo que um operador trabalhou diretamente no produto, sem gastar tempo em desperdícios, foi de 3,22 horas. O tempo médio que cada operador trabalhou na operação, sem interrupções, foi de 1,13 horas.



Figura 42 – Tela estatísticas da aplicação na Empresa B.



Fonte: Autoria própria.

Como o aplicativo não tem uma aba de avaliação dos desperdícios, foi necessário copiar o histórico de passagens para o Excel e organizar as informações de forma a extrair dados adicionais. Optou-se por deixar no sistema apenas funcionalidades mais genéricas, já que possibilidade de copiar e colar as informações permite ao usuário customizar e gerar novos resultados fora do aplicativo. O desenvolvimento de um módulo de análise de desperdícios envolveria uma grande gasto de energia em seu desenvolvimento e tornaria o uso do sistema mais complexo.

A Figura 43 apresenta um Gráfico de Pareto com os principais desperdícios registrados no sistema ao longo do monitoramento. No total, foram registradas 25,28 horas produtivas (12,64 horas por reator) e 7,72 horas improdutivas. As horas improdutivas correspondem a 23,4% do tempo gasto ao longo do reaperto. Desse montante, 60% foi gasto com o horário de almoço, 33% com paradas para descanso e café, 6% foi por falta de material ou ferramenta na área e 1% para reparar o aspirador utilizado durante a furação dos isolamentos.

Figura 43 – Gráfico de Pareto – Horas improdutivas



Fonte: Autoria própria.

A fim de aumentar a rapidez no processo de reaperto, as horas de almoço poderiam ser compensadas por outros funcionários, reduzindo em 4,63 horas o tempo registrado pelos operadores (aproximadamente 1 hora em tempo corrido) no processo do reaperto dos reatores. O tempo de busca de materiais e ferramentas causa um impacto direto nas horas corridas e pode ser evitado se uma boa preparação para o processo for realizada. A utilização de *checklists* na preparação de materiais e

ferramentas pode auxiliar a evitar esses desperdícios com movimentação de pessoal.

#### **4.2.6 Considerações finais desta aplicação**

A aplicação simulou uma situação de registros independentes, na qual cada operador seria responsável pelo registro da sua etiqueta e pela inserção das informações no sistema. A etiqueta magnética pode ser o próprio crachá de identificação que o funcionário utiliza durante o dia. Os leitores, bem identificados com sinais coloridos e posicionados em locais estratégicos de entrada e saída do ambiente, podem ser favoráveis a uma aplicação menos dependente da supervisão de um responsável. A aplicação mostrou que foram despendidas 25,3 horas-homem na operação de reaperto de dois reatores. No orçamento de horas para esse processo, estavam previstas 32 horas-homem para cada um dos reatores, totalizando 64 horas. Excluindo-se as horas improdutivas, verificou-se uma redução de 60% de horas gastas no processo. Isso significa um ganho direto de 60% sobre o custo de mão de obra nessa operação. Isso é extremamente importante para que a empresa atualize os valores nos orçamentos e ganhe competitividade em um mercado cada vez mais acirrado. Além disso, a realização do reaperto de dois ou três reatores simultaneamente reduz os tempos gastos de forma generalizada, especialmente com preparação de ferramentas e *setup* da área.

O custo da mão de obra para reatores representa de 10% a 20% do custo total do produto. O processo de reaperto, por sua vez, representa aproximadamente 3,5% da quantidade total de horas-homem investidas no processo de fabricação. Os resultados apontam uma ótima oportunidade de aplicação do sistema de monitoramento com RFID de forma sistêmica em outras áreas de fabricação, a fim de atualizar os tempos e identificar os desperdícios. Essa implementação seria controlada pelos próprios funcionários, que registrariam seus crachás nos leitores magnéticos em cada uma das áreas monitoradas. No Apêndice A, é possível ver a tabela completa de histórico de etiquetas.



## 5 CONCLUSÕES

O surgimento de novas tecnologias de comunicação sem fio possibilitou o fenômeno chamado de *Internet Of Things*. Hoje, pode-se listar centenas de aplicações decorrentes desse fenômeno, e muitas delas encontram-se no cotidiano das pessoas. Levar esse conceito para o ambiente de manufatura, de forma a possibilitar ao gestor o exercício de sua criatividade, é visto como uma tendência, conectando objetos e computadores de forma a melhorar os processos operacionais. O RFID é um dos propulsores da conexão do mundo real com o virtual, sem a necessidade da intervenção humana na manipulação dos dados.

Nesse contexto, este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de objetos com a tecnologia RFID para auxiliar na coleta de dados referentes à operação de sistemas produtivos. Com a utilização de tecnologias flexíveis e de baixo custo, o hardware desenvolvido atende os requisitos de projeto. O aplicativo desenvolvido é capaz de dar flexibilidade às escolhas do usuário, fornecer informações em tempo real e auxiliar o usuário na tomada de decisão com relação às ações *Lean*. Além disso, possibilita alcançar o balanceamento de linha e a redução dos desperdícios. As telas criadas no aplicativo proporcionam ao usuário uma experiência fácil, rápida e eficiente, podendo inserir e coletar informações em um mesmo ambiente. Todas as informações são facilmente exportadas para outros produtos da Microsoft, como as ferramentas do pacote Office.

As aplicações do sistema de monitoramento nas duas empresas geraram resultados satisfatórios. Na Empresa A o sistema foi instalado em uma célula de *yokes* com cinco pontos de leitura e a produção foi monitorada durante aproximadamente 1 hora e 30 minutos. As etiquetas foram acopladas nos produtos a fim de registrar informações referentes ao fluxo de materiais. A instalação dos equipamentos foi rápida e fácil, e os resultados mostraram que a célula, atuando com dois operadores não está apta a atender o *takt time* proposto. Com improdutividade de aproximadamente 24% durante o monitoramento, foi sugerida a divisão das tarefas do processo 2 com o funcionário do processo 1, que possui indicador de utilização próximo de 75%.

Na Empresa B, a instalação do sistema foi feita com dois pontos de leitura para analisar horas produtivas e improdutivas. As etiquetas foram relacionadas com os operadores e seus tempos foram monitorados. As horas improdutivas compreenderam 23,4% do tempo gasto ao longo do reaperto e verificou-se a possibilidade de redução de 60% do gasto com horas-homem em comparação com o previsto em orçamento. Além

disso, verificou-se que o rodízio de funcionários no horário de almoço auxiliaria a reduzir o *lead time* do processo.

A utilização do RFID já foi bastante aplicada no meio industrial, especialmente nas áreas de logística e de monitoramento de pessoas. Porém, o seu uso combinado com ferramentas da Manufatura Enxuta ainda não está amplamente difundido, principalmente quando aliado ao conceito *Internet of Things*, no qual o usuário pode conectar o real e o virtual de forma criativa. A proposição de um sistema flexível, com módulos *RFID-Wireless Real-Time* capazes de enviar informações para um aplicativo que auxilia diversas aplicações de *Lean Manufacturing*, é inovadora. A liberdade do usuário para interagir de diversas formas com o sistema, aplicando-o a finalidades distintas no meio industrial, é uma das contribuições desta pesquisa. Além das aplicações sugeridas pelo aplicativo, o usuário pode utilizar as funcionalidades e realizar aplicações da forma que desejar, de acordo com suas demandas específicas. Outro ponto a ser ressaltado é a viabilização de uma ferramenta barata e flexível para engenheiros e gestores industriais que, por diversos motivos, na sua maioria, ainda não utilizam as tecnologias analisadas em suas tarefas cotidianas. As contribuições do sistema desenvolvido vão além do *Lean Manufacturing*, sendo possível utilizá-lo tanto em Células Flexíveis de Manufatura quanto em aplicações no âmbito da *Industry 4.0*.

Uma das principais restrições do sistema está na faixa de leitura do leitor RFID utilizado. De acordo com a *Internet of Things*, deve-se evitar ao máximo a interferência humana na coleta de dados. Uma faixa de apenas 6 centímetros pode inviabilizar implementações que possuam restrições dimensionais de produtos ou de fluxos de passagem. Novos estudos com antenas de maior faixa de captação, como as de Ultra Banda Larga (UWB), bem como o uso de etiquetas magnéticas com energização ativa, podem trazer novas perspectivas para a aplicação desse sistema.

A pesquisa realizada foi focada na indústria. Há um grande potencial para aplicação do sistema também em outras áreas, como gestão pública, saúde, educação, setor agrícola, entre outros. Interações com as ferramentas da Manufatura Enxuta, como Mapa de Fluxo de Valor, *Kanban*, *CONWIP (Constant Work-In-Process)* e Sistemas Integrados de Manufatura podem resultar em maior eficiência e qualidade nos processos. Outro aspecto para futuras pesquisas pode ser uma maior customização das sugestões do aplicativo para adequar a produção à demanda, aumentando o seu nível de detalhamento. A utilização de um número reduzido de antenas Zigbee para transmissão das informações dos leitores também pode ser melhor explorada, reduzindo o custo de viabilização do sistema.

## REFERÊNCIAS

AARDSMA, T.L. Bluetooth. **Inside the Internet**, v. 8, n. 8, p. 4-5, 2001.

ARDUINO. **Website oficial**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 15 de set. 2014.

ARKAN, I.; LANDEGHEM, H.V. Evaluating the performance of a discrete manufacturing process using RFID: A case study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 29, p. 502-512, 2013.

ASHTON, K. That ‘Internet of Things’ Thing. **RFID Journal**, 2009. Disponível em: <[www.rfidjournal.com/article/print/4986](http://www.rfidjournal.com/article/print/4986)>. Acesso em 15 de set. 2014.

BARROS-TORRES, S.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T.M.; PÉREZ-IGLESIAS, H.J.; ESCUDERO, C.J. Real-time personal protective equipment monitoring system. **Computer Communications**, v. 36, p. 42-50, 2012.

BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. **Software Architecture in Practice**. 2 ed. Boston: Addison Wesley, 2003.

BRINTRUP, A.M.; RANASINGHE, D.; MCFARLANE, D. RFID opportunity analysis for leaner manufacturing. **International Journal of Production Research**, v.48, p.2745-2764, 2010.

CHEN, J.C.; CHEN K-M. Application of ORFPM system for lean implementation: an industrial case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, p. 839-852, 2014.

CHEN, K.; CHEN, J.C.; COX, R.A. Real time facility performance monitoring system using RFID technology. **Assembly Automation**, v.32, p.185-196, 2012.

CHONG, A. Y-L. et al. An empirical analysis of the determinants of 3G adoption in China. **Computers in Human Behavior**, v.28, n. 2, p. 360-369, 2012.

CHONGWATPOL, J.; SHARDA, R. Achieving lean objectives through RFID: A simulation-based assessment. **Decision Sciences**, v.44, n.2, p. 239-266, 2013.

CONNOLLY, T.; BEGG, C. **Database Systems – A Practical approach to design, implementation and management**. 4 ed. Addison Wesley: Harlow, 2005.

CRACIUNESCU, R.; HALUNGA, S.; FRATU, O. Wireless ZigBee home automation system. **Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, v. 9258, fev. 2015.

D'AUSILIO, A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. **Behavior Research Methods**, v.44, p. 305-313, 2011.

DENSO WAVE. **QR Code website oficial**. Disponível em: <<http://www.qrcode.com/en/>>. Acesso em 14 de fev. 2016.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. **Fundamentals of Database Systems**. 6 ed. Boston: Addison-Wesley, 2010.

FARAHANI, J. **ZigBee Wireless Networks and Transceivers**. Oxford: Newnes, 2008.

FELD, W. M. **Lean Manufacturing: tools, techniques, and how to use them**. 1 ed. Florida: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2000.

FINKENZELLER, K. **RFID Handbook – Fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication**. 3 ed. Londres: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

FILIPEFLOP. **Kit Módulo Leitor Rfid Mfrc522 Mifare**. Disponível em: <<http://www.filipeflop.com/pd-6b883-kit-modulo-leitor-rfid-mfrc522-mifare.html>>. Acesso em 15 de set. 2014.

GE. **Website oficial**. Disponível em: < <http://www.ge.com/>>. Acesso em 10 de nov. 2015.

GHINATO, P. Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time. **Revista Produção**, v. 5, p. 169-189, 1995.



GLOVER, B.; BHATT, H. **RFID essentials**. California: O' Reilly Media, Inc., 2006.

GÜNTHER, O.; KLETTI, W.; KUBACH, U. **RFID in Manufacturing**. Berlin: Springer, 2008.

HARGROVES, K.; SMITH, M. H. **The natural advantage of nations: business opportunities, innovations and governance in the 21<sup>st</sup> century**. London: Earthscan, 2005.

HUANG, G.Q.; QU, T.; ZHANG, Y.; YANG, H. RFID-Enabled real-time manufacturing for automotive part and accessory suppliers. **International Conference on Computers & Industrial Engineering**, 40, 2010.

HUNT, V.D.; PUGLIA, A.; PUGLIA, M. **RFID: A Guide to Radio Frequency Identification**. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2007.

JONES, D.; WOMACK, J. **Seeing the whole: Mapping the Extended Value Stream**. Massachusetts: Lean Enterprise Institute, 2000.

JUELS, A. RFID Security and Privacy: A Research Survey. **IEE Journal on Selected areas in communications**, v. 24, n. 2, 2006.

KAKUMANU, S; KOTA, S. An online RFID and Zigbee based Manufacturing Monitoring system using ARM7 micro controller. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v. 4, n. 5, 2013.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Joint Technical Report, Software Engineering Group, Keele University and Empirical Software Eng., Nat'l ICT Australia, 2004.

KORHONEN, J. **Introduction to 3G Mobile Communications**. 2 ed. Norwood: Artech House, 2003.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: A empresa que criou a produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LOZANO-NIETO, A. **RFID - Design Fundamentals and Applications**. New York: CRC Press - Taylor and Francis Group, 2011.

MARCHWINSKI, C.; SHOOK, J.; SCHROEDER, A. **Lean Lexicon: a graphical glossary for Lean Thinkers**. Cambridge: The Lean Enterprise Institute, 2008.

MATTERN, F.; FLOERKEMEIER, C. From the Internet of Computers to the Internet of Things. **Informatik-Spektrum**, v. 33, p. 107–121, 2010.

MOREIRA, T. Anatel planeja reforçar acesso à web via satélite. **Valor Online**, Miami, 20 dez. 2010. Disponível em < <http://nic.br/noticia/namidia/anatel-planeja-reforcar-acesso-a-web-via-satelite/> >. Acesso em 04 jul. 2015.

NXP. **MFRC – Standard 3V MIFARE reader solution**. NXP Semiconductors N.V. Manual de utilização, 2014.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman. 1997.

PASZTOR, A. Firms Team Up to Offer Internet via Satellite in Trans-Atlantic Push. **Wall Street Journal**, New York, N.Y. 08 jan. 2008. Disponível em <http://www.wsj.com/articles/SB119973987681072865> > Acesso em 4 jul. 2015.

PRERADOVIC, S.; KARMAKAR, N. C. Chipless RFID: Bar Code of the Future. **IEE Microwave Magazine**, v. 11, p. 87-97, 2010.

QU, T.; ZHANG, L.; HUANG, Z.; DAI, Q.; CHEN, X.; HUANG, G. Q.; LUO, H. RFID-enabled smart assembly workshop management system. **International Conference on Networking, Sensing and Control**, ed. 10, p.895-900, 2013.

RAZZAK, F. Spamming the Internet of Things: A Possibility and its probable Solution. **Procedia Computer Science**, ed.10. p.658-665, 2012.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See – Value Stream Mapping to add Value and Eliminate Muda**. Massachusetts: The Lean Enterprise Institute, 1999.

SARMA, S.; BROCK, D.L.; ASHTON, K.: **The Networked Physical World**. Massachusetts: MIT Auto-ID Center, 2000.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. 7 ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2013.

SMIHULA, D. Waves of technological innovations and the end of the information revolution. **Journal of Economics and International Finance**, v. 2, p. 58-67, 2010.

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 8 ed. Harlow: Addison-Wesley, 2007.

SUN, C. Application of RFID Technology for Logistics on Internet of Things. **AASRI Procedia**, v.1, p. 106-111, 2012.

SUNG, W-T.; HSU, Y-C. Designing an industrial real-time measurement and monitoring system based on embedded system and Zigbee. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 4522-4529, 2011.

WI-FI ALLIANCE. **Discover Wi-Fi**. Disponível em < <http://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>>. Acesso em 04 jul. 2015.

WOMACK, J.P.; JONES, T.D.; ROOS, D. **The machine that changed the world**. New York: Macmillan, 1990.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas – Elimine o Desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda. 1996.

WYLD, D.C. RFID 101: The next big thing for management. **Management Research News**, v. 29, p.154-173, 2006.

ZELBST, P.J.; GREEN JR, K.W.; SOWEW, V.E. Impact of RFID technology utilization on operational performance. **Management Research Review**, v. 33, n. 10, p. 994-1004, 2010.



## APÊNDICE A – Tabelas com informações das aplicações

Tabela Histórico de etiquetas (Tag\_History) da aplicação na Empresa A.

History_id	Reader_Name	Tag	Timestamp	Duration	Description
7842	READER01	63A994C6	2015-10-22 15:42:36	00:01:37	NULL
7843	READER01	737761F6	2015-10-22 15:43:54	00:01:49	NULL
7844	READER01	B580AD35	2015-10-22 15:44:39	00:04:33	NULL
7845	READER01	C0FFE34E	2015-10-22 15:44:51	00:08:14	NULL
7846	READER02	63A994C6	2015-10-22 15:45:50	00:03:36	NULL
7847	READER01	A17CC20E	2015-10-22 15:46:27	00:19:11	NULL
7848	READER02	737761F6	2015-10-22 15:47:33	00:05:47	NULL
7849	READER03	63A994C6	2015-10-22 15:53:02	00:11:00	NULL
7850	READER02	B580AD35	2015-10-22 15:53:45	00:06:19	NULL
7851	READER03	737761F6	2015-10-22 15:59:07	00:13:08	NULL
7852	READER02	C0FFE34E	2015-10-22 16:01:19	00:05:00	NULL
7853	READER02	A17CC20E	2015-10-22 16:05:38	00:06:40	NULL
7854	READER03	B580AD35	2015-10-22 16:06:24	00:15:34	NULL
7855	READER01	E4B32396	2015-10-22 16:07:29	00:02:45	NULL
7856	READER01	0414BE96	2015-10-22 16:08:40	00:07:44	NULL
7857	READER01	2441B496	2015-10-22 16:08:51	00:11:10	NULL
7858	READER01	3447B796	2015-10-22 16:09:34	00:18:32	NULL
7859	READER01	E4932396	2015-10-22 16:10:17	00:12:48	NULL
7860	READER03	C0FFE34E	2015-10-22 16:11:19	00:15:24	NULL
7861	READER03	A17CC20E	2015-10-22 16:12:18	00:37:44	NULL
7862	READER02	E4B32396	2015-10-22 16:12:59	00:11:23	NULL
7863	READER04	63A994C6	2015-10-22 16:15:03	00:12:39	NULL

7864	READER02	0414BE96	2015-10-22 16:24:09	00:08:38	NULL
7865	READER04	737761F6	2015-10-22 16:25:23	00:13:30	NULL
7866	READER02	2441B496	2015-10-22 16:31:12	00:06:16	NULL
7867	READER03	E4B32396	2015-10-22 16:35:45	NULL	NULL
7868	READER02	E4932396	2015-10-22 16:35:54	00:06:33	NULL
7869	READER04	B580AD35	2015-10-22 16:37:33	00:11:04	NULL
7870	READER05	63A994C6	2015-10-22 16:40:22	NULL	NULL
7871	READER03	0414BE96	2015-10-22 16:41:25	NULL	NULL
7872	READER04	C0FFE34E	2015-10-22 16:42:08	00:14:20	NULL
7873	READER03	2441B496	2015-10-22 16:43:45	NULL	NULL
7874	READER02	3447B796	2015-10-22 16:46:39	00:06:37	NULL
7875	READER03	E4932396	2015-10-22 16:49:00	NULL	NULL
7876	READER04	A17CC20E	2015-10-22 16:50:02	00:15:00	NULL
7877	READER05	737761F6	2015-10-22 16:52:23	NULL	NULL
7878	READER05	B580AD35	2015-10-22 16:59:01	NULL	NULL
7879	READER03	3447B796	2015-10-22 16:59:54	NULL	NULL
7880	READER05	A17CC20E	2015-10-22 17:05:02	NULL	NULL
7881	READER05	C0FFE34E	2015-10-22 17:10:49	NULL	NULL

Tabela Histórico de etiquetas (Tag\_History) da aplicação na Empresa B.

History_id	Reader_Name	Tag	Timestamp	Duration	Description
7927	READER02	63A994C6	2015-10-19 08:24:03	01:06:37	
7928	READER02	C0FFE34E	2015-10-19 08:24:54	01:53:47	
7929	READER02	737761F6	2015-10-19 08:25:36	01:48:25	
7930	READER03	B580AD35	2015-10-19 09:25:59	00:14:34	Buscar ferramentas
7931	READER03	63A994C6	2015-10-19 09:30:40	00:02:17	

7932	READER02	63A994C6	2015-10-19 09:32:57	00:44:51	9:30 - preparação dos andaimos - 4 op - 9:55
7933	READER02	B580AD35	2015-10-19 09:40:33	00:36:33	9:50 - 2 op - Prensagem pedras dos discos - até 10:10
7934	READER03	737761F6	2015-10-19 10:14:01	00:00:53	
7935	READER02	737761F6	2015-10-19 10:14:54	00:03:31	
7936	READER03	B580AD35	2015-10-19 10:17:06	00:22:53	Café
7937	READER03	63A994C6	2015-10-19 10:17:48	00:21:49	Café
7938	READER03	737761F6	2015-10-19 10:18:25	00:20:24	Café
7939	READER03	C0FFE34E	2015-10-19 10:18:41	00:19:27	Café
7940	READER02	C0FFE34E	2015-10-19 10:38:08	00:33:53	Inicio prensagem reatores - fim 11:00
7941	READER02	737761F6	2015-10-19 10:38:49	00:34:30	
7942	READER02	63A994C6	2015-10-19 10:39:37	01:43:03	11:30 - reator 1 com cunhas 50% colocadas
7943	READER02	B580AD35	2015-10-19 10:39:59	01:43:53	
7944	READER03	C0FFE34E	2015-10-19 11:12:01	01:10:14	Almoço
7945	READER03	737761F6	2015-10-19 11:13:19	01:08:01	Almoço
7946	READER02	737761F6	2015-10-19 12:21:20	01:46:39	
7947	READER02	C0FFE34E	2015-10-19 12:22:15	01:44:50	
7948	READER03	63A994C6	2015-10-19 12:22:40	01:08:42	Almoço
7949	READER03	B580AD35	2015-10-19 12:23:52	01:08:46	Almoço
7950	READER02	63A994C6	2015-10-19 13:31:22	00:35:22	Furação para fixação dos isolamentos

7951	READER02	B580AD35	2015-10-19 13:32:38	00:33:31	
7952	READER03	B580AD35	2015-10-19 14:06:09	00:11:42	
7953	READER03	63A994C6	2015-10-19 14:06:44	00:02:36	Colocar fita no aspirador
7954	READER03	C0FFE34E	2015-10-19 14:07:05	00:01:54	Colocar fita no aspirador
7955	READER03	737761F6	2015-10-19 14:07:59	00:00:35	
7956	READER02	737761F6	2015-10-19 14:08:34	00:07:32	
7957	READER02	C0FFE34E	2015-10-19 14:08:59	00:07:43	
7958	READER02	63A994C6	2015-10-19 14:09:20	00:08:00	
7959	READER03	737761F6	2015-10-19 14:16:06	00:24:42	Café
7960	READER03	C0FFE34E	2015-10-19 14:16:42	00:23:31	Café
7961	READER03	63A994C6	2015-10-19 14:17:20	00:19:36	Café
7962	READER02	B580AD35	2015-10-19 14:17:51	00:00:41	
7963	READER03	B580AD35	2015-10-19 14:18:32	00:00:27	
7964	READER02	B580AD35	2015-10-19 14:18:59	03:13:46	Ajuste Linha At
7965	READER02	63A994C6	2015-10-19 14:36:56	02:56:24	
7966	READER02	C0FFE34E	2015-10-19 14:40:13	01:37:43	Isolamentos cabos
7967	READER02	737761F6	2015-10-19 14:40:48	01:36:14	Isolamentos / acertar linha segundo reator
7968	READER03	737761F6	2015-10-19 16:17:02	NULL	
7969	READER03	C0FFE34E	2015-10-19 16:17:56	NULL	
7970	READER03	B580AD35	2015-10-19 17:32:45	NULL	liberado para ensaio de aplicada - fim
7971	READER03	63A994C6	2015-10-19 17:33:20	NULL	liberado para ensaio de aplicada - fim