



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

**MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR APOIADO POR  
SISTEMAS DE RASTREIO**

**FERNANDO AUGUSTO PEREIRA**

**FLORIANÓPOLIS**

**2012**



**Fernando Augusto Pereira**

**MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR APOIADO POR  
SISTEMAS DE RASTREIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina com requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, área de Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Dalvio Ferrari Tubino

**Florianópolis, fevereiro de 2012**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

P436m Pereira, Fernando Augusto

Mapeamento de fluxo de valor apoiado por sistemas de  
rastreamento [tese] / Fernando Augusto Pereira ; orientador,  
Dálvio Ferrari Tubino. - Florianópolis, SC, 2012.  
195 p.: il.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina,  
Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de produção. 2. Processos de fabricação.
- I. Tubino, Dálvio Ferrari. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.
- III. Título.

CDU 658.5

## **Mapeamento de Fluxo de Valor Apoiado por Sistemas de Rastreo**

**Fernando Augusto Pereira**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal em Santa Catarina.

---

Prof. Antonio Cezar Bornia, Dr.

Coordenador do Programa PPGEP/UFSC

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dalvio Ferrari Tubino, Dr., orientador (UFSC)

---

Prof. Dr. André Roberto de Souza (IFSC)

---

Prof. Dr. José Roberto de Barros Filho (UNISUL)

---

Prof. Dr. Fernando Antonio Forcellini (UFSC)

---

Prof. Dr. Gustavo Daniel Donatelli (UFSC)

---

Prof. Dr. Gilberto José Pereira Onofre de Andrade (UFSC)

Florianópolis, fevereiro de 2012



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que a realização deste trabalho fosse possível.

Em especial agradeço a minha esposa Ana Julia pelas incontáveis ajudas realizadas, pelos incentivos e pela paciência sempre constante, mesmo em momentos de correria e incertezas.

Ao meu orientador Prof. Dalvio Tubino pelas orientações durante os anos em que passei no doutorado, por acreditar no meu trabalho desde o início e pelo incentivo para eu pudesse concluir este trabalho.

Ao Prof. Fernando Forcellini pelo apoio em vários momentos desta caminhada, pelos conhecimentos repassados e pelo apoio e oportunidade por ter feito parte deste doutorado na TÜB na Alemanha.

Agradeço a banca avaliadora, pela disponibilidade para avaliar este trabalho e pelas contribuições valiosas que certamente serão importantes para que o trabalho possa evoluir.

Agradeço a Capes pelo incentivo financeiro para que eu pudesse fazer parte do doutorado pelo projeto BRAGECRIM, na TÜB na Alemanha.



## RESUMO

PEREIRA, Fernando Augusto. **MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR APOIADO POR SISTEMAS DE RASTREIO**. 2012. 171 p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

A Manufatura Enxuta (ME), também conhecida como Sistema Toyota de Produção (STP), vem sendo utilizada por empresas do mundo inteiro, interessadas em buscar excelência em flexibilidade, qualidade, custos e desempenho na entrega. A ME apoia-se na utilização de um conjunto de práticas que visam alcançar estes objetivos, e o Mapa de Fluxo de Valor (MFV) tem-se mostrado como uma das suas práticas mais importantes. O MFV tem o objetivo de auxiliar as empresas no reconhecimento dos seus desperdícios, auxiliando na redução de custos e no aumento da produtividade e qualidade. Em estudos realizados sobre aplicações de MFV, identificaram-se alguns problemas que dificultam sua execução. Sua principal causa é a dificuldade na coleta de dados do processo produtivo, utilizados para construção de MFVs. De outra forma, a aplicação de tecnologias para rastreio vem crescendo de maneira expressiva, com a adoção de normas e padrões para o setor. Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um método alternativo para coleta de dados utilizando equipamentos para georreferenciamento (GNSS), testá-lo na prática, e verificar se realmente pode servir como alternativa à coleta de dados para construção de MFVs. Este novo método, que pretende utilizar tecnologias de rastreio para construir MFVs, tem o objetivo de facilitar a coleta de dados em processos produtivos e tornar a execução dos mapas uma prática constante nas empresas.

**Palavras-chave:** Manufatura Enxuta. Mapeamento de Fluxo de Valor. GNSS.



## ABSTRACT

Lean Manufacturing (LM), also known as Toyota Production System (TPS) has been used by companies around the world, interested in pursuing excellence in flexibility, quality, cost and delivery performance. LM relies on the use of a set of practices aimed at achieving these goals, and Value Stream Map (VSM) has been shown as one of its most important practices. The VSM help companies in recognition of their waste, helping to reduce costs and increase productivity and quality. In studies about VSM applications, we identified some problems that hinder its implementation. Its main cause is the difficulty in collecting data from the production process, used for construction of FSMs. Otherwise, the application of technologies for screening is clearly growing, with the adoption of standards and industry standards. This work aims to develop an alternative method for data collection using equipment for georeferencing (GNSS), test it in practice, and make sure that it can serve as an alternative to data collection for construction of VSMs. This new method, you want to use tracking technologies to build VSMs, aims to facilitate the data collection processes and the implementation of the maps become a constant practice in companies.

**Keywords:** Lean Manufacturing. Value Stream Mapping. GNSS.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
1.1	Fatores de competitividade internacionais.....	31
1.2	A evolução da ME e sua importância.....	37
1.3	A importância do MFV na ME.....	39
1.3.1	Problemas, desafios e limitações do MFV .....	42
1.4	Planejamento da pesquisa e modelo adotado.....	51
1.4.1	O problema de pesquisa.....	55
1.4.2	Objetivos geral e específico da pesquisa .....	56
1.4.3	Relevância da pesquisa.....	57
1.5	Delimitações do trabalho .....	57
1.6	Estrutura do trabalho .....	58
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE MAPEAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS .....</b>	<b>61</b>
2.1	Mapas para documentar fluxos de processos.....	61
2.1.1	Fluxograma de processo .....	62
2.1.2	Gráfico de gantt .....	64
2.1.3	PERT/CPM.....	64
2.1.4	IDEFO .....	66
2.1.5	Mapeamento de Atividades do Processo .....	69
2.1.6	Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos.....	70
2.1.7	Matriz de Estrutura de Projeto.....	71
2.1.8	Diagrama de Fluxo .....	73
2.1.9	Carta de Atividades Múltiplas .....	75
2.1.10	Rotinas de Operações Padrão .....	76
2.1.11	Mapa de Fluxo de Valor .....	77
2.1.12	Outros mapas de fluxo de processos.....	79
2.2	Desafios na elaboração do mapeamento de processos.....	85
2.2.1	Escolha do produto .....	85

2.2.2	Falta de estabilidade do processo produtivo.....	86
2.2.3	Falhas na medição de dados no processo produtivo.....	86
2.2.4	Necessidade de possuir dados do fluxo de processo que possam ser interpretados como dados econômicos .....	88
2.2.5	Complexidade do produto .....	88
2.2.6	A dificuldade na realização de melhoria contínua .....	89
2.3	Resultados de análise do referencial teórico sobre Mapeamento de Processos Industriais .....	89
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE TECNOLOGIAS PARA RASTREIO.....</b>	<b>93</b>
3.1	Arquitetura de tecnologias para rastreo.....	93
3.1.1	Ambiente .....	94
3.1.2	Infraestrutura .....	95
3.1.3	Modelamento matemático .....	97
3.1.4	Princípio físico utilizado .....	99
3.1.5	Trabalhos realizados e precisão de posicionamento alcançada	104
3.2	Aspectos conclusivos sobre as tecnologias para rastreo.....	106
3.2.1	Restrições impostas pela tecnologia atual .....	106
3.2.2	Escolha da tecnologia para rastrear processos industriais .....	107
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DE MFVs APOIADOS POR EQUIPAMENTOS PARA RASTREIO.....</b>	<b>111</b>
4.1	Equipamentos para rastreo voltados à construção de MFVs...	111
4.1.1	Ensaio com equipamentos de GNSS utilizados para <i>hobby</i> ...	111
4.1.2	Ensaio realizados por equipamentos de uso profissional.....	115
4.1.3	Compilação e análise dos resultados obtidos pelos equipamentos .....	133
4.2	Método para coleta de dados e construção de MFVs apoiado por sistemas de rastreo .....	137
4.2.1	Etapa 1: seleção dos equipamentos para rastreo .....	137
4.2.2	Etapa 2: coleta de dados e montagem do MFV .....	140
<b>5</b>	<b>APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>147</b>

5.1	Aplicação prática do método em áreas abertas e semiabertas ..	147
5.1.1	Coleta de dados e construção do MFV realizado pelo método de RTK.....	153
5.1.2	Coleta de dados e construção do MFV pelo método de Estação Total.....	160
5.2	Discussão dos resultados da medição em campo.....	167
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>169</b>
6.1	Resultados obtidos com o trabalho de pesquisa .....	169
6.2	Vantagens da utilização de equipamentos para rastreamento na construção de MFVs.....	171
6.3	Dificuldades encontradas na elaboração do trabalho de pesquisa.....	173
6.4	Oportunidades futuras .....	174
6.5	Considerações finais .....	179
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>181</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Evolução das exportações e importações brasileiras. Fonte: MDIC (2011).....	31
<b>Figura 2 -</b>	Fatores de competitividade entre empresas (STAMER,1996).....	32
<b>Figura 3 -</b>	Diferentes fatores competitivos implicam diferentes objetivos de desempenho.Fontes: Slack et al (2006).....	34
<b>Figura 4 -</b>	A linha do tempo para estratégias de produção. Fonte: adaptado de Davis, Aquilano e Chase (2001).....	36
<b>Figura 5 -</b>	Critérios de competitividade das empresas.....	37
<b>Figura 6 -</b>	A organização e os diferentes níveis e responsabilidade. Fonte. Adaptado de Chiavenato (1994).....	39
<b>Figura 7 -</b>	Exemplo de mapeamento do estado atual (A) e mapeamento do estado futuro (B) e Shook (2003).....	41
<b>Figura 8 -</b>	Classificação dos trabalhos analisados quanto ao tipo de publicação.....	43
<b>Figura 9 -</b>	Classificação dos trabalhos de MFV analisados.	46
<b>Figura 10 -</b>	Frequência de problemas relatados em trabalhos sobre MFV.....	47
<b>Figura 11 -</b>	Identificação do problema de pesquisa.....	52
<b>Figura 12 -</b>	O campo de pesquisa na engenharia de produção (Fonte: Cauchick Miguel et al, 2010).	54
<b>Figura 13 -</b>	Ajuste entre classificações para os tipos de pesquisas realizadas na área da engenharia de produção e gestão de operações (CAUCHICK MIGUEL et al, 2010, p. 68).....	54

<b>Figura 14-</b>	Exemplo de Fluxograma de Processo (FP)Fonte: adaptado de Martins e Laugeni (2006).....	62
<b>Figura 15 -</b>	Fluxo do kanban do cliente e kanban em processo. Fonte: Monden (1984, p.22).....	63
<b>Figura 16 -</b>	Exemplo de gráfico de gantt.....	64
<b>Figura 17 -</b>	Diagrama PERT/CPM suas respectivas atividades e nós. Fonte: UFSC (2002).....	65
<b>Figura 18 -</b>	Diagrama esquemático de uma caixa de função: (A) conceito e (B) exemplo. Fonte: adaptado de Sanvido (1990).....	66
<b>Figura 19 -</b>	Diagramas do IDEF0. Fonte: adaptado de Sanvido (1990).....	68
<b>Figura 20 -</b>	Mapeamento de Atividades no Processo da fabricação de um parafuso.....	69
<b>Figura 21 -</b>	Uso do MRCS em uma fábrica de transformadores elétricos. Fonte: Rahmanto (2003).....	70
<b>Figura 22-</b>	Tipos de MEP existentes. Fonte: adaptado de DSM (2009).....	71
<b>Figura 23 -</b>	Exemplo de matriz de relações de Atividades-base. Fonte: DSM (2009).....	72
<b>Figura 24 -</b>	Exemplo de Diagrama de Fluxo. Fonte: LEI (2007).....	74
<b>Figura 25 -</b>	Exemplo de utilização do diagrama de Cartas de Atividades Múltiplas. Fonte: MARTINS e LAUGENI (2006).....	76
<b>Figura 26 -</b>	Folha de Rotina de Operações Padrão. Fonte: Tubino (2007).....	77
<b>Figura 27 -</b>	Partes do mapa de estado atual. Fonte: adaptado de Nash e Poling (2008).....	78

<b>Figura 28 -</b>	Resumo das características dos MFV para processos industriais.....	84
<b>Figura 29 -</b>	Modelo de arquitetura de sistemas para rastreo..	94
<b>Figura 30 -</b>	Ambientes, infraestrutura requeridas e tipos de tecnologias comerciais. Fonte: Giaglis et al (2002).....	97
<b>Figura 31 -</b>	Parâmetros de medição para estimativa de posicionamento de objeto. O modelo considera que as ELBs e o NL estão no mesmo plano. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006)...	97
<b>Figura 32 -</b>	Representação esquemática de funcionamento de sistemas cliente-base e rede-base.....	99
<b>Figura 33 -</b>	Parâmetros físicos e suas características. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006)...	100
<b>Figura 34 -</b>	Composição da arquitetura de tecnologias para rastreo e suas diversas possibilidades.....	104
<b>Figura 35</b>	Precisão de posicionamento alcançado e classificação das tecnologias desenvolvidas para rastreo. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006).....	105
<b>Figura 36 -</b>	Método de medição selecionado para realização de ensaios em campo.....	108
<b>Figura 37 -</b>	Kit GSM+GPS para demonstração do <i>chip</i> eletrônico utilizado para fabricação de equipamentos de GPS.....	113
<b>Figura 38 -</b>	Compilação dos ensaios realizados com o kit GSM+GPS cedido pela SmartCore.....	114
<b>Figura 39 -</b>	Áreas de sistemas produtivos classificados segundo possibilidades para visualização de satélites para georreferenciamento.....	114
<b>Figura 40 -</b>	Local de realização da coleta de dados com equipamento de georreferenciamento e estação	

	total.....	116
<b>Figura 41 -</b>	Montagem do equipamento RTK para medições em céu aberto.....	117
<b>Figura 42 -</b>	Montagem da antena 1 no tripé.....	118
<b>Figura 43 -</b>	Equipamento para coleta de dados: haste de medição, coletor de dados RTK e antena.....	119
<b>Figura 44 -</b>	Áreas demarcadas para simular uma linha de produção.....	120
<b>Figura 45 -</b>	Início do trabalho com a coleta de dados no primeiro ponto da “linha de produção” e a medição debaixo da estrutura do posto de gasolina, que simula a condição da ÁREA 2 (Figura 39).....	121
<b>Figura 46 -</b>	Setup da Estação Total e medição do segundo ponto que simula a linha de produção em céu aberto.....	122
<b>Figura 47 -</b>	Ensaios realizados na região do Posto BR na Lagoa.....	123
<b>Figura 48 -</b>	Resultados dos ensaios realizados pelo Método RTK na Área 1 (aberta) e Área 2 (semiaberta)..	124
<b>Figura 49 -</b>	Valores das médias no eixo X e Y e seus respectivos desvios-padrão plotados no gráfico.	126
<b>Figura 50 -</b>	Comparação gráfica, em escala, da média do desvio-padrão encontrado nos Ensaios 4, 5 e 6 com um posto de trabalho típico.....	127
<b>Figura 51 -</b>	Comparação gráfica, em escala, dos desvios-padrão obtidos pelos ensaios 4, 5 e 6 na área 2 (semiaberta).....	128
<b>Figura 52 -</b>	Ilustração do que pode acontecer quando o tempo de medição for inferior a 5 segundos em locais semiabertos, combinada com postos de trabalho a uma distância inferior a 2 m entre si.	130

<b>Figura 53 -</b>	Resultados dos ensaios realizados pelo Método de Estação Total na Área 1 (aberta) e Área 2 (semiaberta).....	131
<b>Figura 54 -</b>	Tipos de áreas de processos produtivos, métodos de medição, resultados de desvio-padrão e distâncias entre postos de trabalho (m).....	133
<b>Figura 55 -</b>	Processo de validação do equipamento de medição utilizado para coleta de dados no processo produtivo, visando à construção de MFVs.....	135
<b>Figura 56 -</b>	Sequência de atividades definidas para coleta de dados no processo produtivo utilizando equipamentos para rastreamento.....	138
<b>Figura 57 -</b>	Planilha de referência utilizada para criar os eventos a serem medidos no processo produtivo.....	141
<b>Figura 58 -</b>	Exemplo de dados fornecidos pela Estação Total em arquivo .txt para as medições realizadas em campo.....	142
<b>Figura 59 -</b>	Informações geradas no planejamento da coleta de dados e a vinculação dos resultados obtidos pelo processo de medição.....	144
<b>Figura 60 -</b>	Layout tridimensional da NS pré-moldados.....	145
<b>Figura 61 -</b>	Processo produtivo de blocos de concreto na empresa escolhida para aplicação.....	147
<b>Figura 62 -</b>	<i>Lead time</i> de produção para fabricação do bloco de concreto.....	149
<b>Figura 63 -</b>	Planejamento dos pontos de coleta de dados no processo produtivo da NS pré-moldados.....	150
<b>Figura 64 -</b>	Planejamento dos ensaios realizados com o Método RTK.....	152

<b>Figura 65 -</b>	Medição na área de armazenagem de matéria-prima.....	153
<b>Figura 66 -</b>	Medição do ponto no processo de mistura da matéria-prima.....	154
<b>Figura 67 -</b>	Medição de dados na área da prensa.....	155
<b>Figura 68 -</b>	Medição na área de Paletização de blocos.....	155
<b>Figura 69 -</b>	Valores de posicionamento plotados em escala a partir dos dados extraídos do equipamento.....	156
<b>Figura 70 -</b>	Construção da planilha de referência através da correlação dos eventos com o deslocamento e o tempo de coleta de dados no processo produtivo.....	157
<b>Figura 71 -</b>	MFV construído a partir dos dados coletados pelo Método RTK.....	158
<b>Figura 72 -</b>	Planejamento de ensaio para medição em campo pelo Método de Estação Total.....	159
<b>Figura 73 -</b>	Instalação da Estação-base para início das medições pelo Método de Estação Total.....	160
<b>Figura 74 -</b>	Locais de coleta de dados a partir do caminho percorrido pelo produto no processo produtivo.	161
<b>Figura 75 -</b>	Silo de armazenamento de matéria-prima.....	162
<b>Figura 76 -</b>	Armazenagem de blocos para secagem. Ao fundo blocos esperando caminhão para entrega aos clientes logo pela manhã.....	162
<b>Figura 77 -</b>	Valores de posicionamento plotados em escala a partir dos dados coletados pelo equipamento de Estação Total.....	163
<b>Figura 78 -</b>	Deslocamento e tempo coletados no processo produtivo a partir da Estação Total.....	164
<b>Figura 79 -</b>	MFV construído a partir dos dados coletados	

	pelo Método de Estação Total.....	165
<b>Figura 80 -</b>	MFV construído a partir dos dados coletados...	166



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Ângulo de Chegada

A-GPS – *Assisted Global Positioning System*

BIPM – Bureau International des Poids et Measures

CAD – Computer Aided Design

Cell-ID – *Celullar Identification*

CF – Chão-de-fábrica

CN – Conectividade

COMPASS – Sistema de GNSS desenvolvido pela China

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito

CP – Baixa/Falta de clareza dos processos

Cpk – Capacidade de processo

CPM – *Critical Path Method*

DF – Diagrama de Fluxo

DM – Problemas/Dificuldades para medir os processos

dMAX – Alcance da estação rádio-base

DMFV – *Dynamics Value Stream Mapping*

DSM – *Design Structure Method*

dTC – Tempo de Chegada do Sinal

ELB – Estação Rádio Base

ELBs – Plural de ELB

ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção

EP – Baixa/Falta estabilidade dos processos

ERP – *Enterprise Resource Planning*

EUA – Estados Unidos da América

EVM – *Enterprise Value Mapping*

e-MFV – *Extend Value Stream Mapping*

FD – Produção flexível demais

FP – Fluxo de processo

FS – Força do Sinal

GALILEO – Sistema de GNSS desenvolvido pelos países europeus, conjuntamente.

GLONASS – Sistemas de GNSS desenvolvido pela Rússia

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

GPS – *Global Positioning System*

GPSs – Plural de GPS

GSM – *Global System Mobile*

IAD – Instituto Alemão para o Desenvolvimento

IDC – Sigla de uma empresa de *Market intelligence*

IDEF0 – *Definition Method Zero*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRNSS - *The Indian Regional Navigation Satellite System*

ITD – *Integrated Theory Development*

IP – Baixa/Nenhuma

IP – Baixa/Nenhuma integração entre processos

JIT – Jit In Time

LAI – *Lean Advancement Initiative*

LEI – *Lean Enterprise Institute*

MAP – Mapeamento de Atividades no Processo

MDIC – Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio

Mbps – mega byte por Segundo

ME – Manufatura Enxuta

MEP – Matriz de Estrutura de Projeto

MFV – Mapa de Fluxo de Valor

MFVs – Plural de MFV

MI – Processo muito intuitivo

MIFA - *Material and Information Flow Analysis*

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

MP – Baixa/falta de modularidade nos processos

MRCS – Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos

NL – Nó de Localização

NUMA – Núcleo Avançado de Manufatura

OA – Outras Áreas da Empresa

OTD – *Observed Time Difference*

P – Prático

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PCSM – *Profit Contribution Stream Mapping*

PD – Lotes pequenos demais (alto mix de produtos)

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

PDMFV – *Product Development Value Stream Mapping*

PERT – *Program Evaluation and Review technique*

PPM – Partes por milhão

QP – Baixa qualificação das pessoas

QZSS - *Quase-Zenith Satellite System*

RENAVAM – Registro Nacional de Veículos Automotores

R&R – Repetitividade e Reprodutibilidade

RFID – *Radio frequency IDentification*

ROP – Rotina de Operações Padrão

RTK – *Real Time Kinect*

SC – Cadeia de Suprimentos

SCM – *Supply Chain Management*

SCDP – *Supply Chain Development Programme*

SMED – *Single-minute Exchange Die*

SPMI – Sistema Produtivo de Manufatura Integrada

STP – Sistema Toyota de Produção

T – Teórico

TDMA – *Time Division Multiple Acess*

TOA – *Time of Arrival*

TRF – Troca Rápida de Ferramentas

TRIZ – *Theory for Inventive Problem Solving*

UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System*

VNM – *Value Network Mapping*

VRSA – *Value Stream Risk Assessment*

VSA – *Value stream Analysis*

VSCM – *Value Stream Cost Map*

MFV – *Value Stream Mapping*

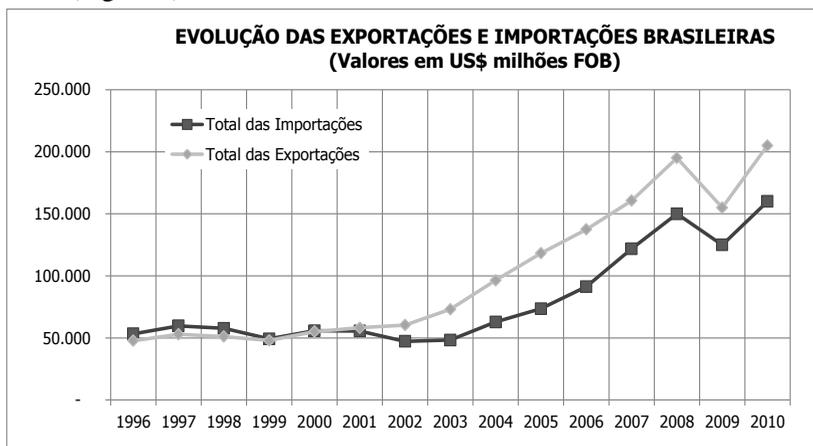
Wi-Fi – *Wireless Fidelity*



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Fatores de competitividade internacionais

Ressaltar que a competição em mercados que antes eram regionais, agora mundiais, por empresas mundo afora é recorrente. Mesmo assim não deixa de ser importante e gerar inquietação no mundo empresarial e também na academia. A taxa de crescimento das importações e exportações brasileiras continua, apesar do ano atípico de 2009 (Figura 1).



**Figura 1 – Evolução das exportações e importações brasileiras. Fonte: MDIC (2011).**

Com o aumento do volume negociado entre países e empresas, os fatores de competitividade tornaram-se mundiais. Stamer (1996) descreve os fatores de competitividade do IAD, Instituto Alemão para o Desenvolvimento, destacando os fatores de competitividade internacionais como: fatores internos, fatores externos e as variáveis macroeconômicas, conforme ilustrado na Figura 2. Nos Fatores Internos, as empresas buscam a excelência na flexibilidade, agilidade, qualidade, custos e produtividade, de forma a conseguirem transformar matéria-prima em produtos acabados, e fazer seu negócio se desenvolver. Nos fatores Externos, as cooperações da empresa com agentes externos tornam-se importantes para atingir níveis de competitividade maiores. O IAD denomina essa capacidade de interação como *entrelaçamento*, que pode variar dependendo do agente com que a empresa se relaciona, conforme segue:

- Entre Empresas: o IAD busca avaliar o grau de desverticalização, que é a capacidade da empresa de desenvolver e trabalhar com fornecedores externos, agindo na cadeia produtiva;
- Entre Empresas e Instituições de Suporte: que é a relação das empresas com as Instituições de P&D, formando parcerias estratégicas para o desenvolvimento de novas tecnologias, desenvolvimento de novos processos, realização de ensaios e testes, capacitação de profissionais e outros serviços especializados;
- Entre Empresas e Governo: que é a relação da empresa com o Estado, de forma a aperfeiçoar as políticas públicas e ampliar sua contribuição para o tecido econômico-social.

Nas variáveis macroeconômicas, a competitividade está na Política cambial do país, relações internacionais entre países, impostos, políticas públicas de desenvolvimento tecnológico, logística e infraestrutura, ente outros fatores.



**Figura 2 – Fatores de competitividade entre empresas (STAMER, 1996).**

Tubino (2007, p. 34) descreve como “critérios de desempenho” os “Fatores Internos” destacados pelo IAD. Para Tubino, os critérios de desempenho são:

- Custo: produzir bens/serviços a um custo mais baixo do que a concorrência;
- Qualidade: produzir bens/serviços com desempenho de qualidade melhor que a concorrência;
- Desempenho de entrega: ter confiabilidade e velocidade nos prazos de entrega dos bens/serviços melhores que a concorrência;
- Flexibilidade: ser capaz de reagir de forma rápida a eventos repentinos e inesperados;

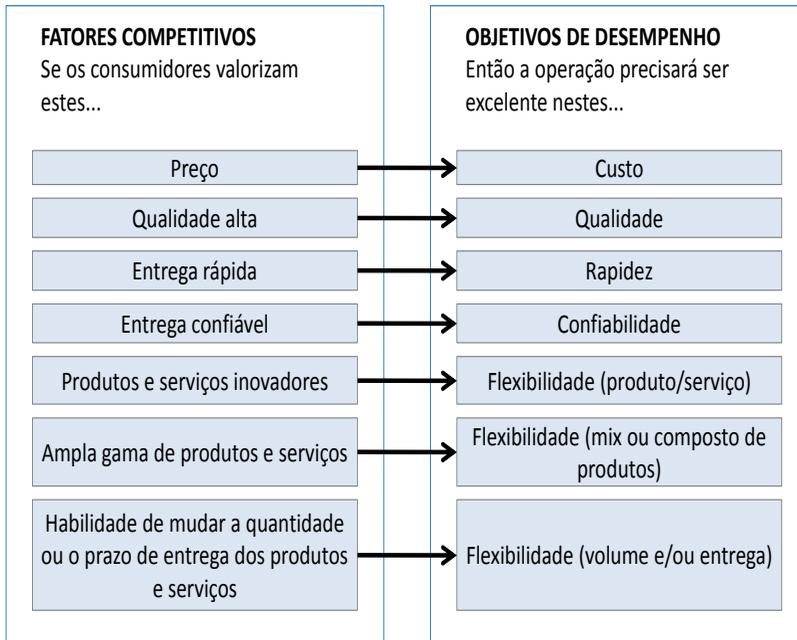
Slack et al (2006) definem os “critérios de desempenho”, destacados por Tubino (2007) como “objetivos de desempenho”, conforme ilustrado na Figura 3, que é a “vantagem competitiva baseada na produção”, conforme segue:

- Qualidade: fazer certo as coisas, com o foco no atendimento ao cliente externo e um aspecto interno que lida com a estabilidade e a eficiência da organização;
- Rapidez: significa quanto tempo os consumidores precisam esperar para receber seus produtos ou serviços. A rapidez neste contexto significa também a rapidez nas operações internas, com a rapidez na tomada de decisões, movimentação de materiais e das informações internas da operação, com benefícios complementares, como: redução de estoques e redução de riscos financeiros.
- Confiabilidade: significa fazer as coisas em tempo para os consumidores receberem seus bens e serviços quando forem prometidos, no qual pode ser julgado somente após o produto ou serviços ser entregue. A confiabilidade pode ser classificada como externa e interna, no qual a confiabilidade é observada

entre operações nos postos de trabalho, na entrega pontual de materiais e informações;

- Flexibilidade: onde a empresa deve ser capaz de mudar a operação de alguma forma. Permite alterar *o que fazer, como fazer e quando fazer*;
- Custo: o custo é o último objetivo a ser coberto, principalmente para as empresa que competem diretamente em preço.

O custo é afetado por todos os outros objetivos de desempenho e cabe à empresa criar maneiras de identificar e proporcionar um equilíbrio entre os objetivos segundo seus critérios.



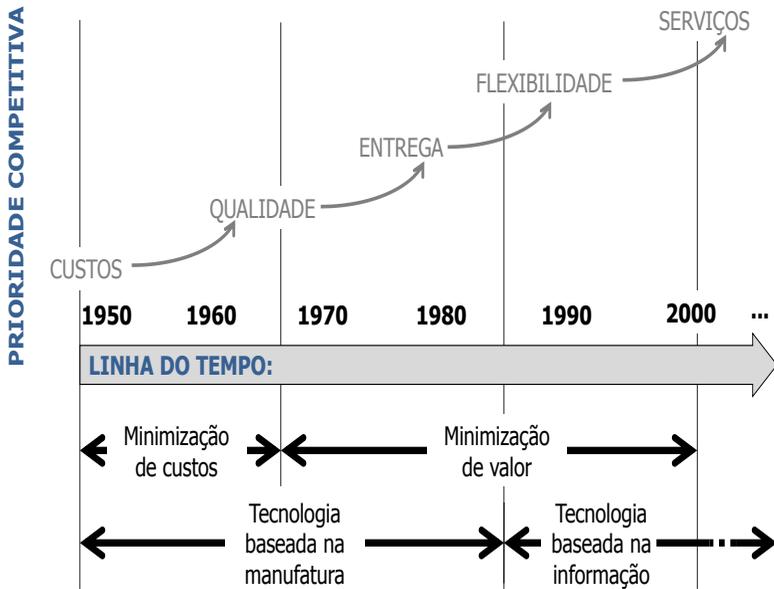
**Figura 3 – Diferentes fatores competitivos implicam diferentes objetivos de desempenho. Fonte: Slack et al (2006).**

Segundo Terry Hill (SLACK et al, 2006; DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001), as empresas precisam determinar a importância dos fatores competitivos nos seus negócios. Existem os fatores “ganhadores de pedido” e os “qualificadores”. Os critérios *ganhadores de pedido* são

os que direta e significativamente contribuem para a realização de um negócio, para conseguir um pedido. São considerados razões-chaves para comprar o produto ou o serviço. Os critérios *qualificadores* são aqueles que não ganham pedidos, mas se estiverem em um nível muito baixo podem provocar uma perda de clientes e impedem a conquista de novos.

Davis, Aquilano e Chase (2001), conforme ilustrado na Figura 4, definem como “objetivo de desempenho” as “prioridades competitivas”, conforme segue:

- Custos: dentro de cada mercado, costuma haver um segmento que compra estritamente com base em custo baixo, usando como fator determinante para fazer a compra. As empresas que adotam esta estratégia costumam traçar seus objetivos focados na produção e comercialização de grandes volumes de produção;
- Qualidade: a qualidade pode ser dividida em duas categorias: qualidade do produto e do processo. O nível de qualidade na elaboração de um produto irá variar com relação ao mercado específico de que ele almeja atender;
- Entrega: outra parte do mercado considera importante a velocidade de entrega como fator determinante da decisão de compra. A habilidade de uma empresa em fornecer entregas rápidas e consistentes permite a cobrança de um preço-prêmio por seus produtos;
- Flexibilidade: flexibilidade refere-se a habilidade de uma empresa oferecer uma ampla variedade de produtos a seus clientes. A flexibilidade é também uma medida da rapidez com que uma empresa pode converter seu processo a partir de uma linha antiga de produtos para uma nova;
- Serviço: estando os ciclos de vida cada vez mais curtos, os produtos tendem a ficar muito parecidos com os da concorrência. Para obter vantagem competitiva, as empresas estão oferecendo “valor agregado” em forma de serviços para os clientes, de maneira que possam ser diferenciados da concorrência.



**Figura 4 – A linha do tempo para estratégias de produção. Fonte: adaptado de Davis, Aquilano e Chase (2001).**

Para Herrmann (2008), são os objetivos clássicos da produção: custo, tempo (entrega), qualidade e flexibilidade, e o senso de produção enxuta é uma maneira de atingir estes objetivos. Ainda, segundo Herrmann (2008), outro objetivo importante que começa a ganhar relevância: o meio-ambiente. Para Fleischer et al (2008), estes objetivos clássicos da produção são denominados de *Indicadores Chave de Performance*: flexibilidade, qualidade, lead time, custos, produtividade. Dentre os autores citados, existem alguns fatores de competitividade em comum, conforme destacado na Figura 5. Flexibilidade, Qualidade e Custos aparecem entre todos os fatores citados.

Critérios de desempenho	Autores pesquisados					
	IAD (1996)	Tubino (2007)	Slack et al (2006)	Davis, Chase e Aquilano(2001)	Herrmann (2008)	Fleischer et al (2008)
Flexibilidade	X	X	X	X	X	X
Qualidade	X	X	X	X	X	X
Custos	X	X	X	X	X	X
Desempenho na entrega		X	X	X	X	
Produtividade	X					X
Agilidade	X					
Confiabilidade			X			
Serviço				X		
Meio ambiente					X	

**Figura 5 – Critérios de competitividade das empresas.**

Desta forma, as empresas buscam ampliar os critérios de competitividade para atingir mercados em um ambiente complexo. Para isso, torna-se necessário desenvolver um sistema produtivo que possa atingir estes objetivos e a Manufatura Enxuta (ME) aparece como uma alternativa interessante para atender critérios de competitividade mundiais.

## 1.2 A evolução da ME e sua importância

A Manufatura Enxuta (ME) atualmente é conhecida por muitos termos. Segundo Schonberger (1992<sup>1</sup>, p. 14-15), a partir da observação das empresas japonesas:

A ideia de fabricar e entregar produtos apenas a tempo de ser vendidos, submontá-los apenas a tempo de montá-los nos produtos acabados, fazer peças apenas a tempo de entrar nas submontagens e, finalmente, adquirir materiais apenas a tempo de ser transformados em peças fabricadas caracterizam o conceito de Just In Time (JIT).

---

<sup>1</sup> A primeira edição do livro “Técnicas Industriais Japonesas”, de Schonberger, foi editado nos EUA em 1982 e no Brasil em 1984.

A expressão “*just in time*” começou a ter emprego na indústria da construção naval do Japão desde a década de 60. Schonberger (1992) afirmava no início da década de 80 que:

Hoje o mundo conhece o JIT porque Taiichi Ohno se pôs a explicar a ideia em livros não publicados em inglês [...]. O Sistema JIT já era bastante empregado em numerosas empresas japonesas antes dessas publicações [...] o sistema JIT adotado pela Toyota parece mais evoluído e mais amplo do que os que foram introduzidos em outras empresas no Japão.

Roos, Jones e Womack (1990) referiram-se sobre este “sistema JIT mais evoluído” a primeira vez no livro “*A máquina que mudou o mundo*” como *Lean Manufacturing*, lançado nos EUA e reconhecido mundialmente por este termo. No Brasil o termo foi traduzido como *Manufatura Enxuta (ME)*. Monden (1984) descrevia a maneira como a Toyota gerenciava seu sistema produtivo como *Sistema Toyota de Produção (STP)*. Schonberger (1992) descrevia como *Sistema Toyota de Produção (STP)* ou *Fabricação Classe Universal*. Hall (1988) descrevia como *Excelência em Manufatura*. Harmon (1991) descrevia como *Fabricação Superior*. Black (1988) descrevia como *Sistema Produtivo de Manufatura Integrada (SPMI)*. Dennis (2008) descrevia como *Sistema Toyota de Produção (STP)* ou *Sistema Lean de Produção*. Portanto, o sistema desenvolvido na Toyota possui diversos sinônimos: Sistema Toyota de Produção (STP), Fabricação Classe Universal, Excelência em Manufatura, Fabricação Superior, Sistema Produtivo de Manufatura Integrada (SPMI), *Lean Manufacturing* e Manufatura Enxuta. Neste trabalho, serão utilizados os termos STP e ME.

“A ME pode ser considerada um sistema de gestão e operação da produção fundamentada numa filosofia de manufatura própria de racionalização das operações, instrumentado por um conjunto de ferramentas e técnicas que fornecem condições operacionais para suportar tal filosofia (DAL FORNO apud SLACK et al., 2006)”

A ME hoje se apresenta como uma estratégia importante para as empresas atingirem níveis maiores de competitividade. Os resultados atingidos por empresas automobilísticas nos EUA demonstraram que ME está se mostrando eficaz na busca pelo aumento da produtividade e eficiência na fábrica. Além de atuar na descoberta de desperdícios, a ME contribui de forma impactante no aumento da flexibilidade da empresa. Horbal et al (2008) destacam a importância do uso da ME, apresentando um estudo de caso na Polônia, onde destacam as vantagens do sistema de produção puxada para atender empresas que tem um mercado com alto mix de produção. De acordo com Jorgensen et al (2007), após a

implantação do ME em 12 empresas dinamarquesas, a sustentabilidade do sistema requer atenção especial tanto para a melhoria da performance quanto à capacidade de desenvolvimento. Este estudo evidencia a grande penetração da ME nos países europeus.

### 1.3 A importância do MFV na ME

A ME é tão relevante hoje para o Sistema Produtivo quanto foi a Produção em Massa no início do século 20, como se pode observar pela quantidade de publicações na Europa, EUA, América do Sul e Ásia. Segundo Ohno (1988) “ME é vastamente considerada o próximo grande passo na evolução da Manufatura além da produção em massa de Ford”. Ihando por este aspecto, contribuições para auxiliar empresas na prática de implantação/manutenção da ME possuem grande relevância, já que o tema se mostrou importante para as empresas. A ME, para que funcione adequadamente, precisa estar inserida em todos os níveis organizacionais da empresa. Para Chiavenato (1994), as empresas estão organizadas genericamente em três níveis: Institucional, Intermediária e Operacional (Figura 6).

Nível organizacional	Envolvidos	Conteúdo	Tempo	Amplitude
Institucional	Diretoria	Genérico e estratégico	Direcionado, longo prazo, planejamento dos recursos	Macroorientada, supraorganizacional
Intermediário	Gerência	Tático e gerencial	Médio prazo, planejamento e uso dos recursos	Orientada a unidade de negócio, ao setor
Operacional	Supervisão, Líderes e Operadores	Detalhado e de execução	Curto prazo, uso dos recursos	Pontual, relativo a cada operação

**Figura 6 – A organização e os diferentes níveis e responsabilidade. Fonte: adaptado de Chiavenato (1994).**

As empresas que trabalham com ME devem ter todos os três níveis organizacionais envolvidos e comprometidos. Quem deve liderar o processo e orientar estratégias para que a empresa utilize a ME como

Sistema Produtivo é a Diretoria, agindo no nível Institucional. Seibel (2004), Andrade (2007) e Dal Forno (2008) publicaram trabalhos relativos à avaliação do quanto as empresas se aproximavam da ME em relação ao uso das práticas e performances (resultados obtidos com o uso das práticas). Estes trabalhos tinham o objetivo de diagnosticar carências e auxiliar o nível Institucional das empresas na tomada de decisões e direcionamento estratégico, visando alcançar a excelência na ME. Essa avaliação foi denominada “Benchmarking Enxuto”, e segundo os autores deve ser executada antes de tomadas de ações no nível organizacional Intermediário e Operacional. No nível Intermediário, responsável pelas táticas gerenciais na empresa, são traçadas metas para definir o uso das práticas da ME, sendo o Mapeamento de Fluxo de Valor (MFV) uma das suas ferramentas mais importantes. O MFV é descrito como uma ferramenta utilizada para o diagnóstico, implantação e manutenção da ME. Sua função principal é identificar oportunidades de melhoria e eliminação de desperdícios, atividades que devem ser executadas com o apoio da equipe do nível Operacional.

Segundo a descrição de Ohno (1988) sobre o MFV:

“Tudo o que estamos fazendo é olhar para a linha do tempo desde o momento em que o cliente nos faz um pedido até o ponto quanto coletamos o pagamento. E estamos reduzindo essa linha do tempo, removendo as perdas sem valor agregado”.

O objetivo do MFV é observar o fluxo de material no tempo, desde o consumidor final até a matéria-prima, a fim de se identificar perdas no processo. Na Figura 7, está representada a aplicação do MFV desenvolvida por Rother e Shook (2003), representada por dois tipos de mapeamento: o mapa do estado atual (A), que levanta dados de como está o processo, e o mapa do estado futuro (B), utilizado para planejar melhorias após a identificação de desperdícios no processo.

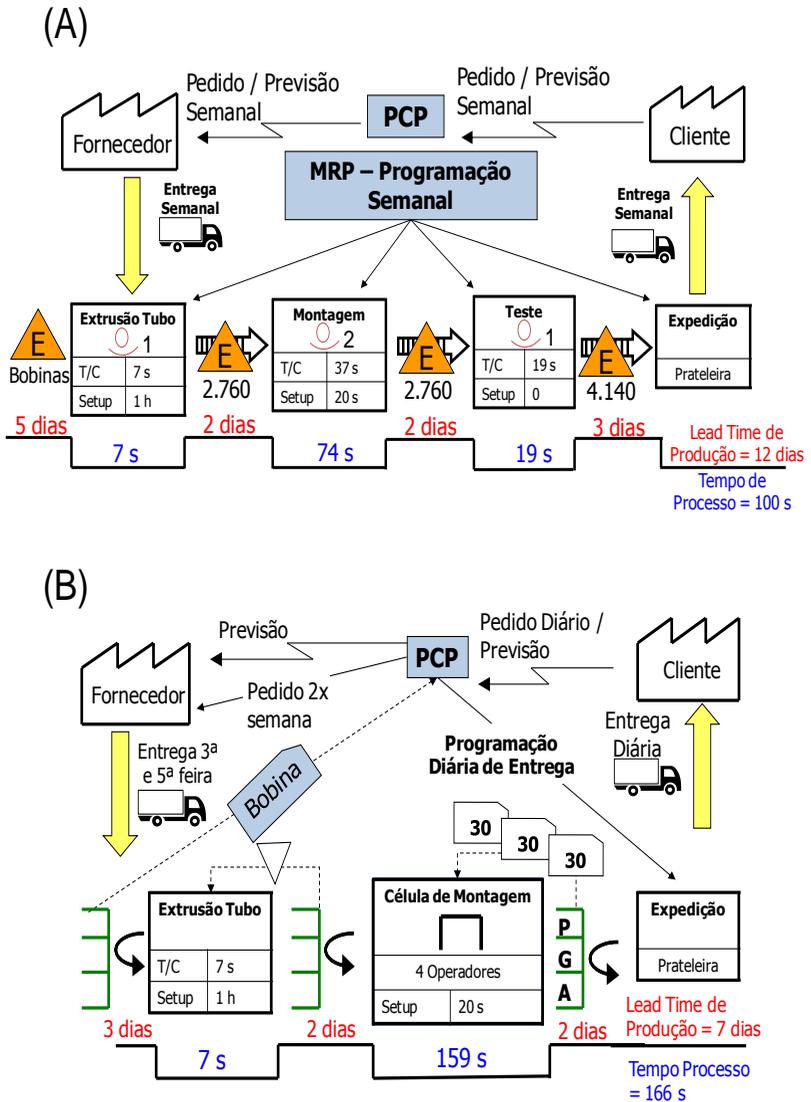


Figura 7 – Exemplo de mapeamento do estado atual (A) e mapeamento do estado futuro (B). Fonte: Rother e Shook (2003).

Muitos autores recomendam que a implantação de ME deva ser iniciada com a aplicação do MFV: Segundo Keyte e Locher (2004),

“Gerenciamento do Fluxo de Valor envolve um processo para medição, compreensão, e melhoria do fluxo e interações de todas as tarefas para manter o custo, serviço, e qualidade dos produtos e serviços da companhia tão competitivos quanto possível”.

Segundo Womack e Jones (2004),

“Atividades que não podem ser medidas não podem ser adequadamente gerenciadas, as atividades necessárias para criar, pedir e produzir um produto específico que não possam ser precisamente identificadas, analisadas e associadas não podem ser questionadas, melhoradas (ou inteiramente eliminadas) e, por fim, aperfeiçoadas [...] na verdade precisamos gerenciar fluxo de valor específicos para bens e serviços específicos”.

Segundo Dennis (2008),

“Uma das ferramentas valiosas para entendimento da situação atual e identificação de oportunidades de melhoria é o MFV”.

Segundo Liker e Meier (2007),

“O MFV é uma ferramenta útil para orientar melhorias com base em um plano cuidadosamente arquitetado. Os especialistas enxutos estão olhando para a operação sob uma perspectiva de fluxo de valor, sobre o “Desenvolvimento de um mapa do estado atual”, que é uma das etapas iniciais do MFV”.

Segundo Álvarez et al (2008),

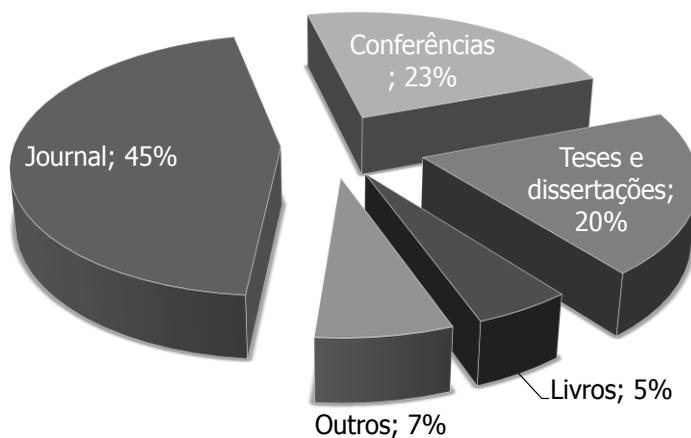
“A implantação de ME permite reforçar a sequência de fases que conduz a excelência operacional, a melhoria contínua, e a eliminação de atividades que não agregam valor. Dessa forma, a influência de práticas enxutas contribui substancialmente com o desempenho das plantas e o uso de ferramentas Enxutas amplifica estes resultados [...] a ferramenta de MFV é aplicada como um caminho para o progresso voltado para a ME é a forma para conduzir resultados de melhoria”.

Ampliar os conhecimentos em MFV, buscando desenvolver tecnologias que possam apoiar as empresas na elaboração dos seus mapas de fluxo justifica-se pela elevada importância no tema da ME, principalmente pela atuação estratégica unindo o nível Institucional com o nível Operacional na empresa.

### **1.3.1 Problemas, desafios e limitações do MFV**

A construção do MFV nem sempre é fácil. Para identificar as principais dificuldades e limitações do MFV foi realizada uma pesquisa

teórico-conceitual, através de uma busca com as palavras VSM e *Lean* (sigla em inglês para Mapa de Fluxo de Valor e a palavra traduzida em inglês para Manufatura Enxuta). Foram pesquisadas bases dados relevantes na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Na base Emerald Insight a pesquisa resultou em 180 trabalhos, que foram avaliados segundo o título e o resumo, restando apenas 21 trabalhos relevantes. Na base de dados Springerlink, foram listados 2.689 artigos, que posteriormente tiveram seus títulos e resumos avaliados, restando apenas 7 trabalhos relevantes. Esta redução significativa da quantidade de trabalhos deve-se ao uso da sigla VSM em outras áreas da química, física, ciência da computação, área de negócios e economia. Nas demais bases de dados (Scirus and Science Direct), restaram apenas 4 trabalhos. Ainda foram usados 3 artigos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), importante congresso da área no Brasil e 9 trabalhos do MIT, que possui um laboratório de referência na pesquisa da Manufatura Enxuta, chamado de *Lean Advancement Initiative*. Desta forma chegou-se a 44 trabalhos relevantes de MFV, percentualmente classificados conforme a Figura 8.



**Figura 8 – Classificação dos trabalhos analisados quanto ao tipo de publicação.**

Referente à classificação por atualidades, 41% dos trabalhos são atuais, ou seja, dos últimos 4 anos, 48% são da década de 2000 e as demais são consideradas antigas (11%).

O MFV deve ser realizado *in locu* dentro da fábrica, através do processo de aprender fazendo, sendo altamente dependente da habilidade de quem está construindo o MFV. Liker e Meier (2005) destacaram o perigo em tornar o MFV em um livro de receitas. Na Toyota as pessoas passam anos trabalhando em projetos de melhoria antes de se atingir o status de novato na ME. Há muito que aprender, e só é possível aprender fazendo. “O mapeamento faz com que as pessoas sintam que estão fazendo algo enxuto, mas é simplesmente um desenho. Deve-se ter um completo entendimento dos conceitos básicos e de como criar processos que se unem a eles. É nesse momento que se torna muito útil ter alguém que já tenha realizado o trajeto do fluxo de processo na fábrica. Essa pessoa não só já sabe para onde está indo, como também pode poupar várias horas que seriam desperdiçadas tomando-se o caminho errado” (LIKER and MEIER 2005).

Foram analisados e classificados em categorias de problemas os 44 trabalhos que utilizaram MFV, conforme segue (P1 até P10):

- Baixa/ falta de integração entre processos (P1): casos que demonstram dificuldades ou falta de integração entre processos, criando barreiras de integração dentro da fábrica;
- Baixa/falta de clareza dos processos (P2): casos onde os processos produtivos não são claros. Os materiais e as peças percorrem caminhos distintos dentro da linha de produção;
- Baixa/falta de modularidade dos produtos (P3): casos onde os produtos não são concebidos de forma modular, dificultando a fabricação;
- Baixa qualificação das pessoas (P4): casos onde a baixa qualificação de pessoas prejudica o entendimento e dificulta o uso da ferramenta;
- Baixa/falta de estabilidade dos processos (P5): casos onde há falta de padronização e estabilidade dos processos;
- Problemas/dificuldades para medir dados nos processos (P6): casos onde as medições de dados de tempo e quantidade são inviabilizadas devido a problemas de layout, complexidade de produto ou de tipo de processo;

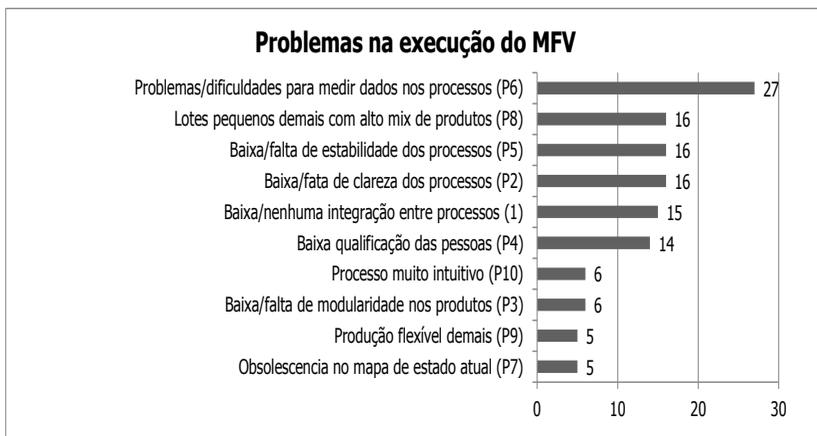
- Obsolescência do mapa de estado atual (P7): casos onde os processos sofreram mudanças, mas não existe nenhuma documentação a respeito;
- Lotes pequenos demais com alto mix de produtos (P8): casos onde a aplicação do MFV fica comprometida porque existem muitos tipos de produtos sendo montados na mesma infraestrutura e com programação de produção não nivelada (heijunka);
- Produção flexível demais (P9): casos onde a linha de produção é flexível demais, alterando-se a todo o momento para adaptar-se a mudanças de produtos e de mercados;
- Processo muito intuitivo (P10): casos onde o fluxo de processo é dependente do operador, que decide em tempo real o caminho que o produto deve percorrer na linha de produção;

Referente ao procedimento, o trabalho científico foi classificado como **teórico**, se feito a partir de revisões bibliográficas, ou **prático**, se feito a partir de aplicações práticas do MFV. Segundo a abrangência, se os trabalhos foram aplicados em **processos produtivos**, na cadeia de suprimentos (**SCM**), ou em **outras áreas** de abrangência. A Figura 9 apresenta essas classificações. De acordo com o levantamento realizado, 73% dos trabalhos são práticos e 27% são teóricos, significando que os pesquisadores estão utilizando a ferramenta para melhorias nas organizações. Quanto à área de aplicação, 62% dos trabalhos foram relacionados a chão-de-fábrica, 27% relacionados a outras áreas de aplicação e 11% relacionados à SCM. A Figura 4 ilustra o resultado da investigação das principais dificuldades relatadas em trabalhos sobre MFV. Muitos trabalhos demonstram que há mais de um tipo de problema relacionado.

REFERÊNCIA	METODOLOGIA	ÁREA	PROBLEMAS COM APLICAÇÃO DE MFV											
			P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10		
Alves, Tommelein and Ballard 2005	Prática	Produção		x				x	x		x	x		
Arbulu and Tomelein 2002	Prática	Produção		x				x	x					
Bauch 2004	Teórica	Outros	x	x		x	x	x						
Childerhouse and Towil 2004	Teórica	SCM	x	x	x			x	x		x			x
Chitturi, Glew and Paul 2007	Prática	Produção							x		x			
Domingo et al. 2007	Prática	Produção							x		x			
Eisler, Horbal and Koch 2007	Prática	SCM	x									x		
Erhart, Neumann and Gerhardt 2004	Prática	SCM								x				
Eswaramoorthi et al. 2010	Teórica	Produção										x	x	
Fargher 2006	Prática	Produção	x											
Fernandes 2001	Teórica	SCM	x	x	x			x	x					
Frenkel 2004	Prática	Produção	x	x		x	x	x				x		
Gidley 2009	Teórica	Produção	x		x						x	x		x
Goubergen et al. 2002	Prática	Outros										x		
Grewal and Singh 2009	Prática	Produção							x	x				
Grove et al. 2010	Teórica	Outros	x			x	x						x	x
Hines et al. 1999	Prática	Produção		x		x		x						x
Hines, Rich and Esain 1999	Prática	Produção				x								
Högfeldt 2007	Prática	Produção							x		x			
Horbal, Kagan and Koch 2008	Prática	Produção						x			x			
Jones et al. 1999	Teórica	Produção					x							
Khaswala and Irani 2001	Prática	Produção	x	x	x			x	x		x			x
Kato 2005	Prática	Outros		x				x	x	x				
Klotz and Horman 2007	Teórica	Outros							x					
Klotz, Horman and Bodenschatz 2007	Teórica	Outros	x	x										
Klotz et al. 2008	Prática	Outros		x		x		x						x
Lasa, Laburu and Vila 2008	Prática	Produção					x		x		x			
Mackenzie 2007	Prática	Outros							x					x
Mazur and Chen 2007	Prática	Outros						x	x					
McManus 2005	Teórica	Produção		x		x		x			x			
McManus and Millard 2002	Prática	Outros								x				
Patneaude 2002	Prática	Produção	x	x	x	x	x							
Pizzolo and Maestrelli 2004	Prática	Produção							x					
Queiroz, Rentes and Araujo 2004	Prática	Produção					x							
Saho, Singh and Tiwari 2007	Prática	Produção	x											
Salzman 2002	Prática	SCM	x	x				x	x	x	x			
Seth, Seth and Goel 2008	Prática	Produção					x					x		
Shen and Han 2007	Prática	Produção												
Singh, Garg and Sharma 2010	Teórica	Produção	x				x					x	x	
Sobczyc and Koch 2008	Prática	Produção		x						x				
Sondalini 2006	Teórica	Produção							x	x				
Soto 2007	Prática	Outros	x	x					x					
Stump and Badurdeen 2009	Prática	Produção					x			x				
Taylor 2005	Prática	Outros						x	x	x				

**Figura 9 - Classificação dos trabalhos de MFV analisados.**

A Figura 10 classifica os trabalhos segundo a frequência de ocorrência. O problema citado como “problemas/dificuldades para medir dados nos processos” apresenta a maior frequência de ocorrência. Como exemplos de problemas mapeados surgiram: “variação na medição de dados de uma pessoa para outra”, “falta de instrumento adequado para medição de dados nos processos” e “dificuldade para medir os dados nos processos”.



**Figura 10 - Frequência de problemas relatados em trabalhos sobre MFV.**

Além dos problemas relatados, a execução do MFV ainda passa por alguns desafios e limitações, conforme identificado nos trabalhos:

- Escolha do produto: o desenvolvimento de produtos é um meio essencial para o sucesso, sobrevivência e renovação para as organizações, particularmente para empresas dentro de mercados competitivos. Esta necessidade faz com que as empresas tenham um portfólio de produtos maior do que tinham há anos atrás. Os lotes estão cada vez menores e o mix de produto foi ampliado. A fábrica precisa se adaptar a esta realidade, o que faz aumentar a complexidade e necessidade de organização no processo produtivo. Do ponto de vista da ME, os mapas de processos são utilizados para eliminar perdas sob a ótica do cliente, por isso são relacionados a produtos. Os produtos por sua vez, podem percorrer caminhos diferentes em um mesmo processo produtivo. Portanto, a mudança de um processo para eliminar as perdas para um determinado produto

nem sempre elimina as perdas para outros produtos. Em alguns casos, pode até ampliar as perdas, dependendo de como está estruturado. Essa realidade torna a escolha do produto a ser analisado pelo mapa de processos difícil de ser feito (CARR et al. 2008, BELOVA and YANSONG 2008, FRENKEL 2004). Muitos autores indicam que este tipo de situação pode ser sanado com o uso de técnicas de agrupamento dos produtos em famílias (ALVES, TOMMELEIN and BALLARD 2005, ARBULU and TOMMELEIN 2002, BAUCH 2004, BELOVA and YANSONG 2008, CARR et al. 2008, CHITTURI, GLEW and PAUL 2007, DENNIS 2007, ERHART, NEUMANN and GERHARDT 2004, FARGHER 2006, FRENKEL 2004, GREWAL and SINGH 2009, IVOVENKO and BRADLEY 2004, KHASWALA and IRANI 2001). Porém, a prática do agrupamento funciona somente se os produtos utilizam os mesmos recursos de produção. Fargher (2006) sugere que é necessário analisar mais produtos da mesma família de forma a comprovar se a técnica do agrupamento de produtos em família foi realmente eficiente para classificação dos produtos.

- Processos produtivos com falta de estabilidade: processos que ainda não são estáveis são quase impossíveis de serem melhorados, pois o mapeamento não representa a situação real do processo, de tal forma que a cada dia o processo se comporta de uma maneira diferente. Por isso é tão importante para o processo produtivo ter padronização (SHINGO 1988, MONDEN 1998, SCHONBERGER 2007, TUBINO 2007, DENNIS 2007, NASH and POLING 2008, LIKER and MEIER 2005). Para fazer o mapeamento do estado atual, uma das primeiras etapas do MFV, é importante confirmar se existe estabilidade no processo. A estabilidade, neste caso, é ampla. Vai desde a estabilidade dos tempos de ciclo; do atendimento a procedimentos definidos; da utilização de máquinas com capacidade ( $C_p$  e  $C_{pk}$ ) adequada, buscando manter os níveis de qualidade especificados; das práticas de nivelamento da produção, de processos de setup adequados e reprodutíveis, de possuir pessoas capacitadas. Enfim, deve-se assegurar que o sistema produtivo se comportará da mesma forma em um dado período de tempo. A estabilidade de um processo pode ser avaliada a partir da confirmação da sua reprodutividade e reprodutibilidade. Segundo o BIPM (2008) repetitividade é o

grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição; e reprodutibilidade é o grau de concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição. Sob esta ótica, a realização de MFV frequentes para um mesmo produto pode ajudar na avaliação da estabilidade dos processos.

- Medições inadequadas de dados no processo produtivo: a falha na medição dos dados no processo produtivo pode levar a dados inconsistentes, que não representam a verdadeira realidade do processo. Os processos podem ser estáveis, mas se não forem medidos corretamente não corresponderão à realidade. Da mesma forma que a estabilidade no processo, a veracidade dos dados é algo de grande importância no MFV. Alguns autores citam a transparência como elemento fundamental no mapa do estado atual, entendida como a veracidade das informações coletadas na fábrica (SHEN and HAN 2007, KLOTZ, HORMAN and BODENSCHATZ 2007, SOTO 2007, BAUCH 2004, CHILDERHOUSE and TOWILL 2004, KLOTZ et al. 2008, KLOTZ and HORMAN 2007, ARBULU and TOMMELEIN 2002, BELOVA and YANSONG 2008).
- Necessidade de possuir dados do fluxo de processo que possam ser interpretados como dados econômicos: o principal foco da ME é reduzir custos e aumentar a produtividade (OHNO 1988, MONDEN 1998, SCHONBERGER 2007). Sendo assim, a medição adequada dos tempos e distâncias nos processos resulta em analisar o quanto do sistema produtivo está sendo utilizado para produzir um produto. Neste sentido, um mapa que permita a identificação e quantificação sistemática dos desperdícios de uma empresa é, sem dúvida, útil para auxiliar o processo de análise e melhoria da eficiência interna dos processos produtivos (SONDALINI 2006, QUI e TANNOCK 2010, LEOPOULOS et al. 2010), medidos através de avaliação dos custos do sistema. Para Sondalini (2006), com as informações de contribuições de custos, gerentes, contadores e engenheiros podem focar em novas reduções de custos, melhoria da produtividade e melhoria dos processos, retornando um valor financeiro maior para a empresa.

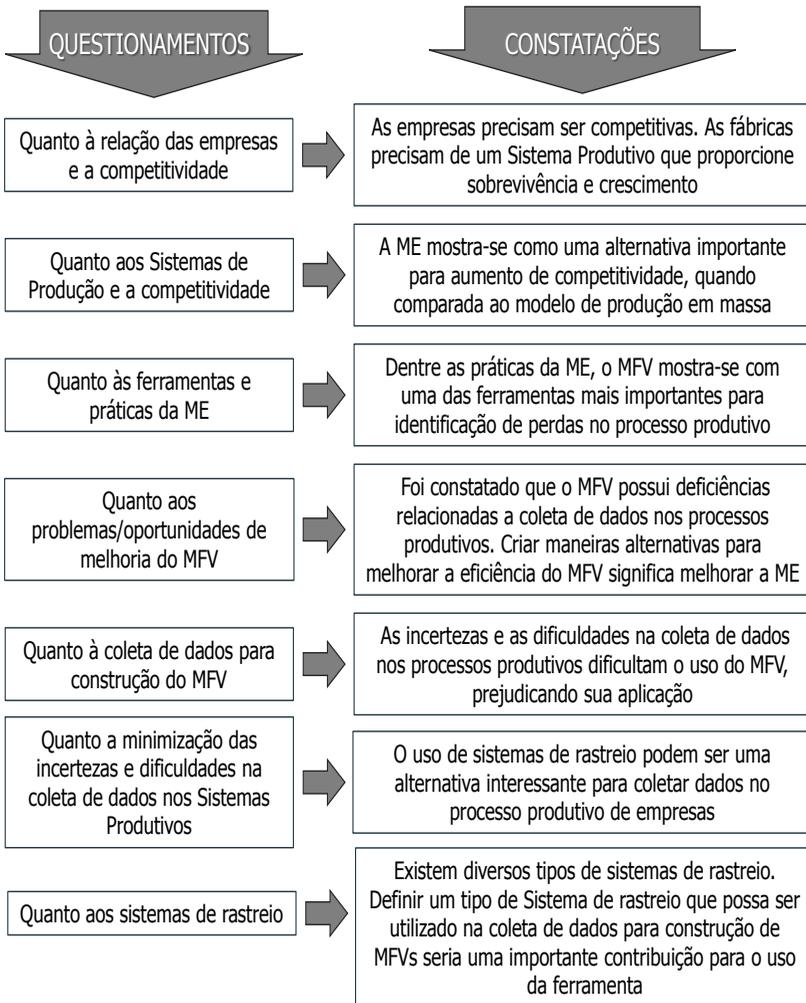
- Complexidade do produto: a complexidade do produto é o nível de dificuldade associado com a produção de uma peça, usualmente medido pela estimativa de produção total em homens/hora e a dificuldade necessária para finalizar as tarefas em série ou paralelas. Existe uma diferença menor entre as tarefas com valor agregado e sem valor agregado que podem ser vistas em um MFV de um produto complexo. Neste caso, é necessário maiores detalhes do processo para identificar atividades que não agregam valor (SALZMAN 2002). Segundo Fernandes (2001) a palavra “complexo” pode ser usada para descrever o nível de dificuldade associada com a fabricação ou montagem de uma peça. Complexidade é uma “dificuldade subjetiva” para descrever dentro do contexto da manufatura a representação de produtos complexos, processos complexos, montagens complexas, a complexidade inteira de um sistema produtivo ou a combinação de todos estes elementos. Identificar um produto complexo exige a medição de número de peças que compõe o produto, número de etapas do processo, tamanho da peça, quantidade necessária para finalizar a tarefa eficientemente, número de subsistemas envolvidos, entre outras coisas (FERNANDES, 2001). A complexidade dos produtos/processo a serem mapeados leva ao aumento da dificuldade para obtenção de dados para elaboração do MFV (BAUCH 2004, SALZMAN 2002, FERNANDES 2001, FRENKEL 2004, MCMANUS e MILLARD 2002, JONES et al. 1999, PATNEAUDE 2002, MAZUR e CHEN 2007, ARBULU e TOMMELEIN 2002, KALSAAS 2002, BELOVA e YANSONG 2008, POTTER, SCHMIDT e SIMONS 2003).
- Obsolescência do produto e dos processos: um dos princípios da ME é a melhoria contínua. Segundo Shingo (1988) as melhorias nos sistemas de produção são passíveis de serem construídas a partir de dois pontos: novas ideias e do repensar das noções básicas. Para Liker e Meier (2005) o modelo Toyota é um processo cíclico de conquista de estabilidade, padronização de práticas e contínua pressão sobre o processo, a fim de expor seus obstáculos. Martins e Laugeni (2006) destacam a importância da melhoria contínua, onde nenhum dia pode se passar sem que a empresa melhore sua posição competitiva. O MFV tem papel fundamental para que os processos sejam

mapeados, as perdas identificadas e as melhorias realizadas. Porém, muitas empresas não conseguem aplicar a ferramenta em intervalos de tempo compatível com as mudanças dos produtos e dos processos. O mapeamento, que deveria ser repetido com frequência, demora a ser feito. Com o ciclo de vida dos produtos cada vez mais curto, as informações coletadas logo se tornam obsoletas porque o sistema produtivo precisa se adaptar às mudanças do mercado e dos clientes (CHILDERHOUSE e TOWILL 2004, SAHOO, SINGH e TIWARI 2007, FERNANDES 2001, SALZMAN 2002, BAUCH 2004, ARBULU e TOMMELEIN 2002, MCMANUS and MILLARD 2005).

A partir da pesquisa teórico/conceitual foi possível identificar quais os principais problemas e dificuldades encontradas para construção do MFV. A partir da análise destes trabalhos foi possível identificar o problema de pesquisa, discutido no capítulo 1.4 deste trabalho.

#### **1.4 Planejamento da pesquisa e modelo adotado**

A pesquisa científica, segundo Cauchick Miguel et al (2010) parte de um problema/oportunidade, que é uma inquietação que merece concentrar recursos e esforços para ser estudada, entendida e respondida. Segundo Lakatos e Marconi (2001, p. 159) “o problema é uma dificuldade, teórica ou prática, no conhecimento de alguma coisa de real importância, para a qual se deve encontrar uma solução”. Baseado nestes conceitos procurou-se identificar elementos importantes que envolvessem a ampliação de competitividade nas empresas, Manufatura Enxuta e Mapa de Fluxo de Valor, temas relevantes estudados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. A Figura 11 ilustra questionamentos do projeto de pesquisa e as constatações realizadas durante a varredura horizontal.

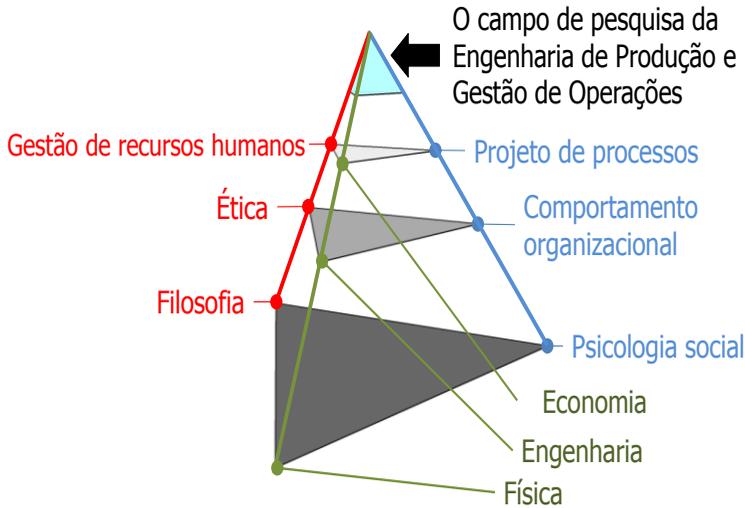


**Figura 11 – Identificação do problema de pesquisa.**

Fazer questionamentos sobre a situação das empresas, de sistemas produtivos, ME, MFV e seus problemas/opportunidades, levaram a algumas reflexões e constatações. Estas constatações foram importantes, porque ajudaram a definir uma oportunidade relevante para a pesquisa. A minimização da incerteza de medição e da dificuldade para coletar dados do processo produtivo podem criar condições para aperfeiçoar o uso do MFV na ME. Esta pesquisa busca criar uma

alternativa que possa aperfeiçoar o uso do MFV, comprovadamente uma importante ferramenta para a ME. Para isso que essa alternativa fosse criada, foi importante estabelecer parâmetros no trabalho, de maneira a distinguir senso comum da pesquisa científica.

Cauchick Miguel et al (2010) citam como exemplo o Sistema Toyota de Produção, “que tiveram a solução testada primeiramente na prática e depois se tornaram interesse da comunidade científica” (p.8). Para Alves (1995), conhecimento comum e ciência compartilham de várias semelhanças, com a diferença de que a ciência é regida pelo rigor e pela disciplina. Segundo Cauchick Miguel et al (2010) “o controle disciplinado se refere à aplicação rigorosa do método de solução de problema”. Segundo Cauchick Miguel et al (2010), a pesquisa na área da engenharia de produção e gestão de operações é um tanto mais complicada do que as demais áreas por ser uma área reconhecidamente interdisciplinar, trabalhando na fronteira do conhecimento com outras disciplinas. Tem como base conhecimentos e habilidades associadas às ciências físicas, matemáticas e sociais. A definição clássica para engenharia de produção e gestão de operações para Cauchick Miguel et al (2010) é: “a engenharia de produção trata do projeto, aperfeiçoamento e implantação de sistemas integrados de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia para a produção de bens e serviços, de maneira econômica, respeitando as condições sociais, culturais, éticas e ambientais”. Nos modelos construídos para estudar ciências naturais, com as quais a engenharia de produção tem uma ligação, é a variação dos níveis das variáveis de um modelo matemático que deve ser estudado. Nas ciências humanas, com as quais a engenharia de produção também possui ligação, não são, em sua maioria, compostos por equações matemáticas, mas por conceitos, e por isso a manipulação dos dados ocorre de maneira diferente (CAUCHICK MIGUEL, 2010). Essa possibilidade de coexistir tanto nas ciências naturais como nas ciências humanas, causa, de certa forma, uma confusão conceitual de qual metodologia científica uma pesquisa enquadrada na engenharia de produção e gestão de operações deve seguir. A Figura 12 ilustra “o posicionamento da engenharia de produção como a parte superior da pirâmide triangular cujas três arestas seriam campos de conhecimentos estabelecidos e consolidados” (CAUCHICK MIGUEL et al, 2010).



**Figura 12 – O campo de pesquisa na engenharia de produção (Fonte: Cauchick Miguel et al, 2010).**

Para entender melhor o posicionamento da engenharia de produção e gestão de operações como ciência, Cauchick Miguel et al (2010) realizaram uma ampla pesquisa visando classificar quais os tipos de pesquisa estavam sendo conduzidas na área. Os resultados dessa avaliação foram ilustrados na Figura 13.

Classificação de Filippini (1997), utilizada em Berto e Nakano (2000)	Classificação de Gupta et al. (2006)	Classificação utilizada para comparação
Modelagem	Modelagem e métodos analíticos	Modelagem e métodos analíticos
Simulação		
Survey	Pesquisa empírica	Pesquisa empírica
Estudo de caso		
Estudo de campo		
Experimento	Revisões de literatura Artigos conceituais	Teórico-conceitual
Teórico-conceitual		

**Figura 13 – Ajuste entre classificações para os tipos de pesquisas realizadas na área da engenharia de produção e gestão de operações (CAUCHICK MIGUEL et al, 2010, p. 68).**

Escolheu-se a Pesquisa Empírica para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa. A escolha foi baseada na classificação utilizada para os trabalhos na área da Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Além de pesquisas em referenciais teóricos na área, serão desenvolvidas pesquisas de campo e experimentos para validar a proposta da pesquisa.

#### 1.4.1 O problema de pesquisa

Sendo assim, se a dificuldade em acompanhar o fluxo de processo é uma verdade, utilizar uma tecnologia que possa auxiliar o acompanhamento do processo tornaria-se útil. Desta forma, o problema de pesquisa a ser tratado por este trabalho científico é:

**Sistemas de rastreamento, do ponto de vista técnico e operacional, podem ser utilizados como uma alternativa para coleta de dados no processo produtivo, visando à construção de MFVs?**

O MFV é construído através da observação dos caminhos por onde o material passou, quanto tempo levou em movimento, quanto tempo levou em esperas e quanto tempo levou para ser processado/montado/fabricado. As razões encontradas para que sistemas de rastreamento possam contribuir para a construção do MFV são:

- Alguns equipamentos para rastreamento são portáteis, não necessitam fios ou fontes de energia externas;
- Possuem capacidade para gravar pontos no espaço por onde passam. Cada ponto gravado possui a informação de posicionamento, expresso em coordenadas geográficas e o tempo em que ocorreu o evento;
- Os pontos podem ser facilmente recuperados e inseridos sobre a planta da fábrica, indicando o fluxo percorrido pelo material no tempo;

O tema justifica-se devido os seguintes fatos:

- Viabilidade: o uso de tecnologias para rastreamento, aplicados à elaboração do MFV podem ser validados por meio da construção de um método e da avaliação de dados em campo;

- Relevância – o problema de pesquisa é relevante, pois deverá trazer novos conhecimentos no campo da ME, corroborando para ampliar a confiabilidade da ferramenta;
- Novidade – Após a busca em publicações científicas de referencia na área, a ideia de fazer o MFV com tecnologias para rastreo com foco em Sistemas de Posicionamento Via Satélite, conhecidas como GNSS (*Global Navigation Satellite System*), surgiu em apenas três oportunidades:

A primeira foi na patente publicada nos EUA de n. 20070203768 – “*System and method for dynamically tracking and forecasting tagged entities*”, em que o inventor cita que o MFV pode ser feito por *RFID*<sup>2</sup>, é apresentada a solução completa via software e também por GPS (*Global Positioning System*). Porém, o inventor não descreve métodos, técnicas nem práticas de como deve ser feito com o GPS. A segunda oportunidade foi descrita por Nash e Poling (2008, p113), os quais citam em seu livro que o MFV *pode* ser feito com o auxílio do GPS, mas não descrevem *como* isso pode ser feito. A terceira oportunidade foi descrita por Sondalini (2006) em seu artigo, na qual descreve em um parágrafo que o MFV *pode* ser feito com o auxílio do GPS, mas não também descreve o *como*. Desta forma, a técnica de MFV por GPS é embrionária e não existe ainda no mundo uma solução que congregue o uso da prática de construção de mapas de processo com o auxílio do GPS.

#### 1.4.2 Objetivos geral e específico da pesquisa

Definiu-se como objetivo geral da pesquisa, utilizar sistemas de rastreo para construção de MFVs aplicados a processos produtivos, visando avaliar sua capacidade técnica e operacional para realização desta tarefa. Para alcance do objetivo desta pesquisa, alguns objetivos específicos deverão ser alcançados, como segue:

- Integrar, durante o desenvolvimento, conhecimentos para alcançar o objetivo geral, considerando os mapas para representar fluxos de processos e sistemas para rastreo;

---

<sup>2</sup> *RFID: Radio Frequency Identification*, tecnologia utilizada para rastreamento de produtos, peças ou pessoas através de radiofrequência.

- Aplicar em empresas para avaliar se estes tipos de sistemas podem auxiliar na coleta de dados em processos produtivos;

### **1.4.3 Relevância da pesquisa**

Do ponto de vista social, a ME possui relevância para o país. A economia de um país é formada por empresas. Cada empresa, de maneira individual, independentemente do tamanho, corresponde a uma fração desta economia. A economia de um país torna-se forte quando existem no país empresas inovadoras, consolidadas, e competitivas. Comprovadamente, o foco da ME é o resultado para o cliente. Isso torna as empresas competitivas, possibilitando mantê-las no negócio. Auxiliando as empresas a manter-se nos negócios, indiretamente a ME oportuniza a transformação de desenvolvimento econômico em desenvolvimento social, pois permite a geração de empregos e aumento de riqueza para o país. A ME possui elevada importância neste aspecto. Portanto, a contribuição com inovações neste campo contribui, para o desenvolvimento social do ambiente no qual as empresas estão inseridas.

Cientificamente este trabalho é importante, pois reforça o compromisso da comunidade acadêmica na busca por respostas às necessidades das empresas, principalmente na disseminação de novas tecnologias. Quando se compara a relação entre universidade-empresa em países desenvolvidos, percebe-se que no Brasil ainda há muito por fazer neste sentido.

Como contribuição científica, este trabalho visa avaliar a viabilidade de utilizar tecnologias de rastreamento como instrumentos de coleta de dados no processo produtivo para elaboração do Mapa de Estado Atual.

### **1.5 Delimitações do trabalho**

Esta pesquisa possui algumas delimitações. Algumas delas por conta de restrições de orçamento e tempo, outras pelo tamanho do universo da pesquisa, quando se refere a um método desenvolvido para empresas de manufatura e produção industrial. As delimitações no desenvolvimento deste trabalho foram as seguintes:

- Este trabalho objetiva avaliar a possibilidade de aplicação de métodos para rastreamento aplicados à construção de MFVs. O

trabalho **não** pretende propor a substituição de métodos tradicionais para coleta de dados em processos industriais, mas criar uma maneira alternativa, viável em algumas condições;

- Este trabalho tem visa criar um método para que seja possível utilizar equipamentos de rastreo para coleta de dados no processo produtivo. As aplicações em estudo simulado e em empresas servirão para aperfeiçoar o método e avaliar se poderá vir a ser foco de novas pesquisas e estudos;
- Serão feitas análises sobre a aplicação do método com foco nos ambientes em que foram realizadas as aplicações. Os resultados e conclusões servirão para estas empresas, e não poderão ser generalizados para toda uma população (de empresas). Caso o método de coleta de dados por métodos de rastreo se mostrar viável, novas pesquisas precisarão ser feitas para que se possam fazer generalizações a respeito;
- O capítulo que trata do referencial teórico sobre tecnologias de rastreo não tem o objetivo de desenvolver tecnologias de rastreo, mas criar entendimentos sobre seu funcionamento, de forma simplificada, provendo subsídios para que seja desenvolvido um método para aplicação em empresas.

## **1.6 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em sete capítulos. No primeiro capítulo foram apresentados os fatores de competitividade presentes no ambiente globalizado atual, caracterizado pela competição entre empresas na busca pela excelência em flexibilidade, custos, qualidade e desempenho na entrega. Fazendo parte deste cenário competitivo, apresentou-se a evolução da ME e qual a sua contribuição para que as empresas melhorem seus critérios de competitividade. Ainda neste capítulo, observou-se que o MFV é uma das práticas mais importantes da ME, e que existem problemas, desafios e limitações a serem vencidos. Por fim definiu-se e classificou-se o trabalho de pesquisa segundo critérios acadêmicos, a fim de torná-lo apto a ser aceito como pesquisa científica na área de Engenharia e Gestão de Operações.

No segundo capítulo é apresentado o referencial teórico sobre MFVs utilizados para documentar processos industriais, suas particularidades e

restrições. No final do capítulo são apresentadas conclusões sobre os problemas e as oportunidades na execução dos mapas.

No terceiro capítulo apresenta-se o referencial teórico sobre tecnologias de rastreamento, de maneira simples e sob a ótica do usuário, destacando suas características, particularidades e restrições. Ao final do capítulo são realizadas conclusões sobre o potencial de uso da tecnologia para apoiar as empresas na execução de MFVs.

No quarto capítulo apresenta-se o desenvolvimento de um método para construção de MFVs apoiado por métodos de rastreamento. Neste capítulo são realizadas aplicações práticas em campo, que posteriormente são analisadas e discutidas, visando simular situações reais em fábricas. Por fim, o método desenvolvido é ilustrado através de um fluxograma de processos, que trata das características técnicas voltadas aos equipamentos de medição e das características gerenciais, voltadas a coleta de dados no processo produtivo e construção de MFVs.

No quinto capítulo são desenvolvidas as aplicações práticas em empresas para avaliação do método proposto. Neste capítulo os resultados encontrados são avaliados e discutidos. São realizados encaminhamentos sobre o tema.

No sexto capítulo estão apresentadas as conclusões da pesquisa, com destaque para os resultados obtidos, se os objetivos foram alcançados e o problema de pesquisa resolvido. Foram destacadas as vantagens da utilização de sistemas de rastreamento para construção de MFVs e discutidos os aspectos relacionados com o uso da tecnologia, com destaque para aplicação em campo. Ao final do capítulo apresentaram-se tendências e oportunidades de futuro relacionadas com o tema.

No sétimo capítulo apresentam-se as referências bibliográficas, utilizadas para fundamentar todos os capítulos anteriores.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE MAPEAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Neste capítulo são apresentados os principais mapas para representação de Mapas de Fluxos de Valor (MFVs), com seus objetivos, sua forma de construção e suas limitações. Além dos mapas tradicionais, são mostrados mapas desenvolvidos com propósitos específicos, alguns para ampliar as funcionalidades dos mapas existentes e outros para aplicações em seguimentos diferenciados. Na última parte do capítulo é apresentada uma análise das restrições que dificultam a construção de MFVs, destacando suas limitações e como tecnologias de rastreo podem auxiliar na sua construção e manutenção.

### 2.1 Mapas para documentar fluxos de processos

O mapeamento de processos industriais foi utilizado pela primeira vez por Frederick Taylor e Frank Gilbreth no início do século 20 (MARTINS e LAUGENI, 2006; LEE e SNYDER, 2006). Ohno (1997) e Shingo (1996) utilizaram esta prática no STP para identificação de perdas, com foco na melhoria contínua. Com a popularização da ME, o MFV vem ganhando atenção especial e Atualmente é considerado um meio importante para eliminação de perdas. Essa abrangência não está mais limitada apenas a processos no chão-de-fábrica e a indústria automotiva, mas em outras áreas da empresa e outros seguimentos (capítulo 1).

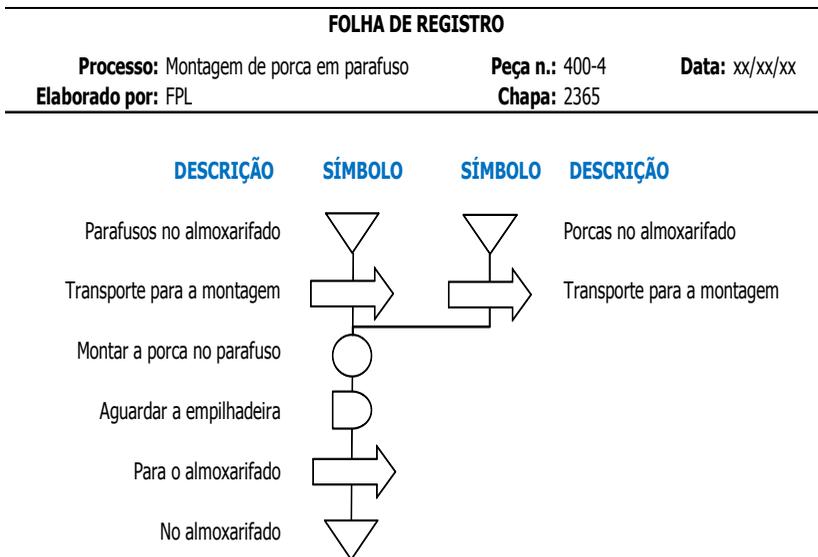
Atualmente existe um número considerável de tipos mapas para documentar processos industriais, cujo objetivo comum é a representação de fluxos de processos. Essa representação deve proporcionar uma visão holística das operações, colocando no papel o que está acontecendo na prática. Os mapas possuem aplicações amplas, desde proposição de melhorias, análise de projetos, de produtos, de tempos de processo, de custos, análise de *layout*, realização de capacitações de profissionais, entre outras.

Muitos mapas de processos encontrados na bibliografia recente derivam de algum mapa desenvolvido no passado. Possuem melhorias incrementais que os torna diferentes em alguma característica dos mapas originais. Alguns outros têm sua lógica transferida para *softwares*, com o propósito de tornar sua utilização mais fácil. Essa evolução é inevitável, natural e bem vinda, pois é desta forma que a ciência evolui. Porém, essa prática torna o estudo sobre MFV mais vasto do que

realmente é. No decorrer deste capítulo são descritos mapas de processo com o foco voltado para processos industriais (montagem ou fabricação) e suas variações incrementais, algumas vezes aplicados em outras áreas da empresa. MFVs específicos para o desenvolvimento de software não foram abordados neste trabalho, pois seus objetivos estão fora do escopo deste trabalho.

### 2.1.1 Fluxograma de processo

O Fluxograma de Processo (FP) é um diagrama utilizado para descrever processos industriais (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2001), proporcionando visualização ampla para todas as etapas (atividades). O FP possui simbologia própria para descrever as atividades desenvolvidas em processos industriais, mostrando ações de: operação, inspeção, espera, transporte, armazenamento atividades combinadas, entre outras, conforme ilustrado na Figura 14 (MILLARD, 2001; MARTINS e LAUGENI, 2006).



**Figura 14 – Exemplo de Fluxograma de Processo (FP). Fonte: adaptado de Martins e Laugeni (2006).**

Slack (2006) descreve o FP como “diagramas de entrada-saída”. O FP dá uma compreensão detalhada das partes do processo onde algum tipo de fluxo ocorre, registrando estágios de passagem de informação, produtos, trabalho ou consumidores. Segundo Slack (2006) a técnica pode tornar claras as oportunidades de melhoramentos e esclarecer a mecânica interna ou a forma de trabalhar de uma operação.

A partir da ideia inicial do FP, foram criadas muitas outras maneiras de mostrar processos produtivos. Foram utilizadas novas figuras ilustrativas, simbologias próprias para descrever detalhes do processo, adição de informações a respeito do tempo de duração da tarefa, distâncias percorridas entre as operações, delimitações do layout, entre outros aspectos. O FP pode ser utilizado para descrever fluxos de informações, processos de montagem/fabricação ou ambos em um mesmo diagrama. É um diagrama versátil e muitos outros diagramas derivam deste em especial. O MFV idealizado por Rother e Shook (2003) possui é uma evolução deste diagrama. Monden (1984) utilizou um destes recursos para demonstrar o fluxo do kanban do cliente e kanban em processo. A Figura 15 demonstra a ampla utilização do Fluxograma de Processos para representar seqüências de atividades.

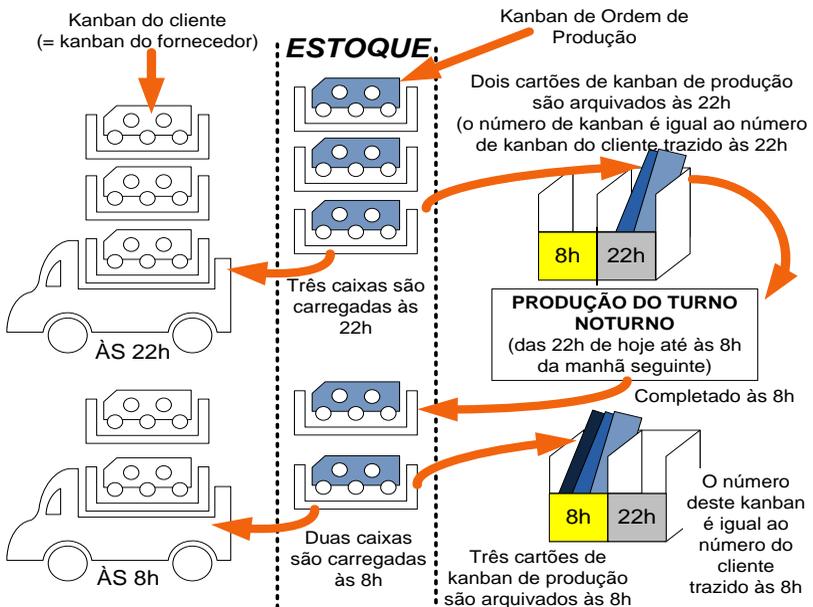


Figura 15 – Fluxo do kanban do cliente e kanban em processo. Fonte: Monden (1984, p.22).

### 2.1.2 Gráfico de gantt

O gráfico de gantt é uma ferramenta de planejamento utilizada para exibir a sequência de atividades no tempo (DAVIS, AQUILANO e CHASE, 2001) e uma série de informações relacionadas, como: as datas de início e fim, a duração, os custos, os recursos necessários (máquinas, pessoas, matéria-prima) e o caminho crítico, entre outras informações.

Este tipo de representação de processos normalmente é usado em projetos com tarefas inter-relacionadas ou quando há recursos compartilhados, onde a visualização é dificultada. No gráfico de gantt, cada linha representa uma atividade ou operação, que deve possuir uma barra horizontal que representa a atividade no tempo, conforme as colunas que representam o tempo (Figura 16).

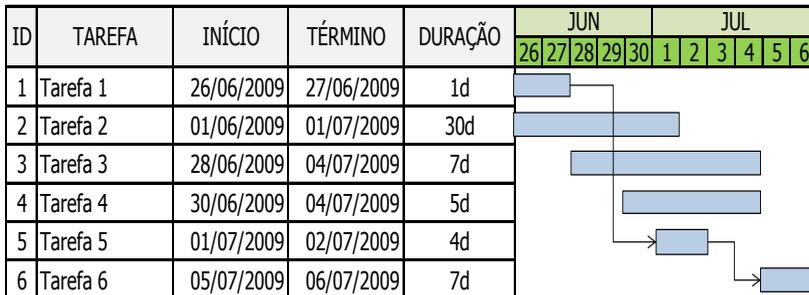


Figura 16 – Exemplo de gráfico de gantt.

Processos industriais podem ser representados através do gráfico de gantt. Porém, este tipo de representação possui limitações quanto sua capacidade para ilustrar processos. *Lead time* e tempo de ciclo, por exemplo, são difíceis de demonstrar a partir do gráfico de gantt. Este tipo de mapa é mais apropriado para representar projetos de desenvolvimento pouco complexos.

Atualmente existem softwares baseados no conceito do gráfico de gantt para planejamento e demonstração de atividades.

### 2.1.3 PERT/CPM

Segundo Davis, Aquilano e Chase (2001), a ideia básica do PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e do CPM (*Critical Path Method*) é relacionar atividades e estimá-las em relação à duração de tempo para sua execução (pessimista, otimista e provável). No princípio,

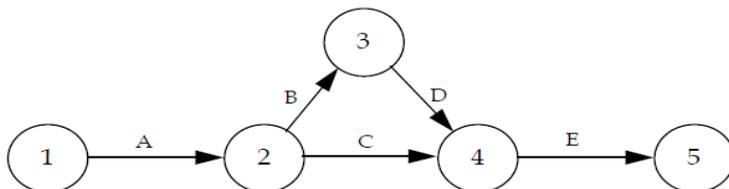
o PERT utilizava *flechas* para representar as atividades, enquanto que o CPM utilizava *nós* para esta representação. O PERT era utilizado para projetos mais científicos, caracterizados pela incerteza, enquanto que o CPM era utilizado para programar atividades de rotina de manutenção nas empresas. Enquanto o PERT observava as questões relacionadas a tempo, o CPM observava questões relacionadas a custos. Mais tarde essas as técnicas fundiram-se e atualmente são conhecidas como PERT/CPM.

As técnicas de PERT/CPM são muito parecidas com gráfico de gantt, com um diferencial que são mais práticas para representação de processos que possuem mais de 30 atividades, pois indicam o caminho crítico com mais facilidade que o gráfico de gantt (DAVIS, CHASE e AQUILANO, 2001). O PERT/CPM considera regras probabilísticas para estimar quando as tarefas estarão finalizadas.

Normalmente o PERT/CPM é analisado em rede, exigindo que se conheça:

- A lista das tarefas que devem ser executadas para a conclusão do projeto, ou seja, as atividades propriamente ditas;
- A definição das tarefas precedentes e as subsequentes, ou seja, a ordem de execução das atividades;
- Os tempos de execução de cada tarefa, ou seja, a duração das atividades.

Para elaborar a rede PERT/CPM, o planejador precisa fazer uma lista das atividades que irão compor o seu projeto/processo e determinar as inter-relações entre elas. Esta regra inicial é muito parecida com a construção do Gráfico de Gantt. Após o reconhecimento das atividades e das sequencias, a composição da rede não oferece grandes dificuldades.

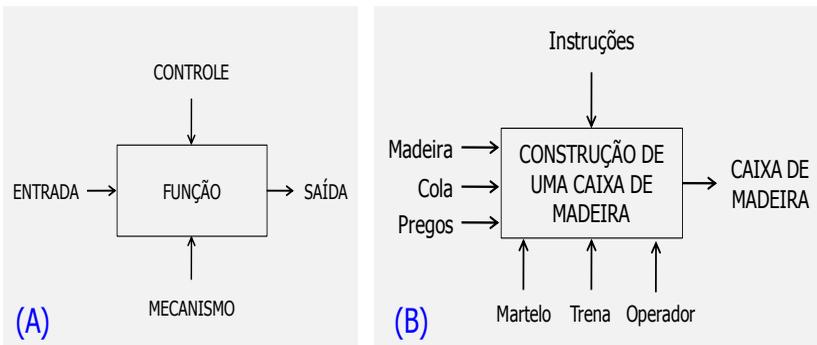


**Figura 17 – Diagrama PERT/CPM suas respectivas atividades e nós. Fonte: UFSC (2002).**

O PERT/CPM pode ser uma maneira eficiente para representação de processos industriais, onde os caminhos críticos de um sistema produtivo precisam ser reconhecidos. De outra forma, assim como o gráfico de gantt, o PERT/CPM possui limitações para representar todas as variáveis envolvidas em um processo industrial, dificultando a visualização de características relevantes para identificação de perdas.

## 2.1.4 IDEF0

O *Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) DEFinition Method (IDEF)* é considerado um método de engenharia para desenhar e analisar sistemas complexos (SANVIDO et al, 1990). O IDEF0 suporta múltiplas visões do sistema, e permite que seja modelado em três perspectivas: funcional, informacional e dinâmico. Cada caixa dentro do diagrama representa uma função no qual a atividade, ação, processo, operação ou transformação são executados (SANVIDO, 1990). As entradas são transformadas em saídas, usando controles e mecanismos. Os dados podem ser qualquer informação ou objeto físico, transformado em restrição, função, ou resultados da função (Figura 18).



**Figura 18 – Diagrama esquemático de uma caixa de função: (A) conceito e (B) exemplo. Fonte: adaptado de Sanvido (1990).**

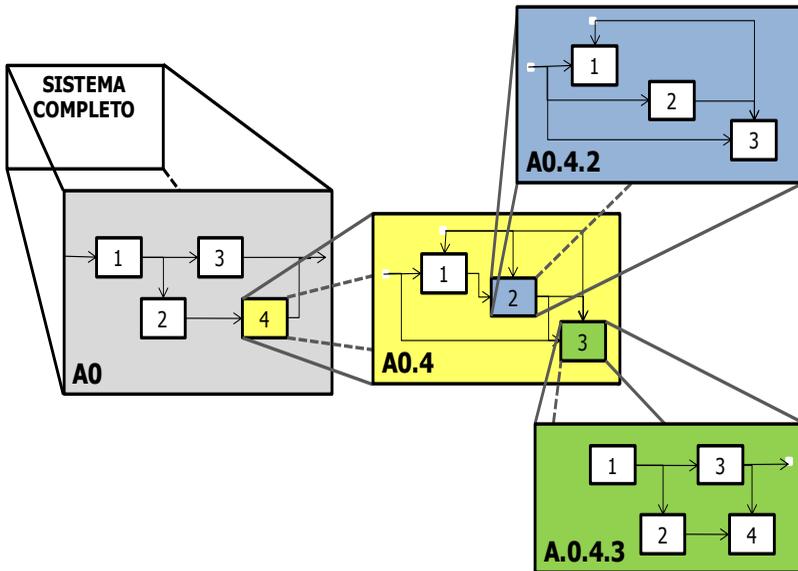
As cinco características utilizadas para modelar o IDEF0 são: função, entrada, saída, controle e mecanismo:

- **Função:** uma atividade, ação, processo, operação ou transformação. É descrita por um verbo ativo e um objeto da função. A função é mostrada dentro da caixa no diagrama.

- Entrada: uma entrada é uma entidade no qual sofre um processo ou operação, sendo tipicamente transformada. Ela entra no lado esquerdo da caixa, podendo ser qualquer informação ou recursos materiais;
- Saída: mostrada no lado direito da caixa, as saídas incluem entidades ou dados de um processo, criadas por uma função;
- Controle: elementos de controle são entidades que influenciam ou determinam processos de entrada que são convertidos em saídas. Os controles podem limitar a atividade ou permitir que a atividade ocorra sem ser afetada por ela mesma. Os controles são representados na parte superior da caixa;
- Mecanismos: mostrados na parte inferior da caixa, os mecanismos são entidades, que podem ser uma pessoa ou máquina, que realizam um processo ou uma operação.

O IDEF0 representa um sistema por meio de um modelo composto de diagramas e textos. O início da construção do diagrama inicia-se com uma representação de uma simples caixa com setas que indicam interfaces com o ambiente externo do sistema. Esta caixa é decomposta em mais funções, e cada uma destas funções pode ser decomposta em mais subprocessos. Esta decomposição de processo *top-down* pode ser detalhada em mais diagramas, gerando mais “filhos”, com seus respectivos diagramas detalhados para cada nova função. A decomposição da função é descontinuada quando se entende que os detalhes apresentados são suficientes para representação do processo (Figura 19).

Quanto à modularidade, quando a caixa é decomposta, o escopo da função e sua interface criada abrigam um contexto de subfunções. O escopo do diagrama detalhado deve ser colocado dentro de uma função.



**Figura 19 – Diagramas do IDEF0. Fonte: adaptado de Sanvido (1990).**

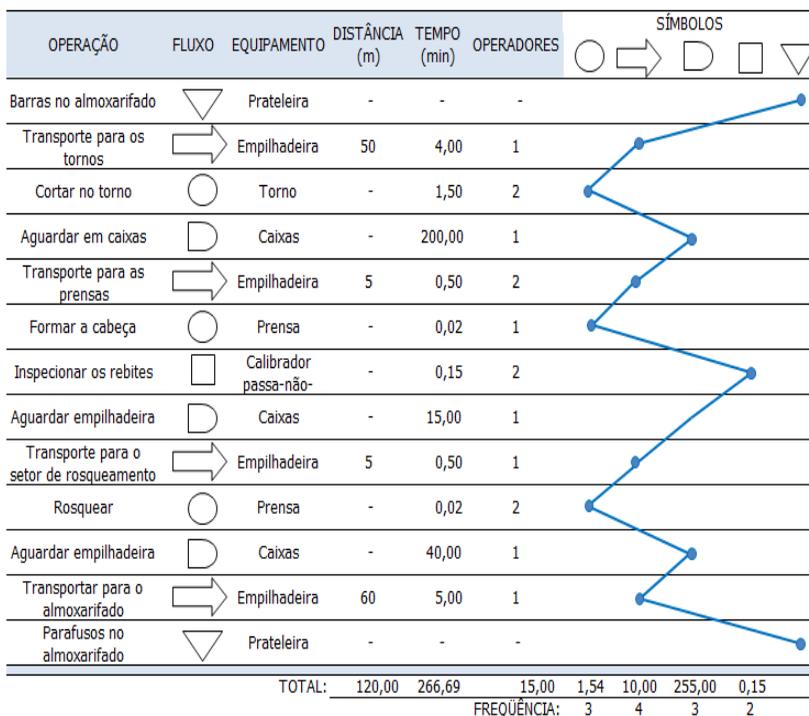
O IDEF0 possui algumas limitações para mapeamento de processos, segundo Sanvido (1990). São as seguintes:

- O diagrama não fornece valores e nem define prioridade para as tarefas. Ele mostra cada tarefa como sendo de igual importância para o projeto;
- Ele não mostra o tempo nem mostra a inter-relação entre as tarefas;
- O diagrama modelado é muito complexo – ficando difícil para acompanhamentos de projetos com muitas pequenas atividades;

De qualquer forma, Sanvido (1990) destaca que estas limitações podem ser resolvidas utilizando outros modelos em conjunto com este método.

## 2.1.5 Mapeamento de Atividades do Processo

O Mapeamento de Atividades do Processo<sup>3</sup> (MAP) é citado entre por Hines e Rich (1997) para análise de processos industriais e identificação de perdas no processo. Usualmente é utilizada para documentar o *lead time* e mapear oportunidades de produtividade para os fluxos de produto e informação, tanto no chão-de-fábrica como em outras áreas da empresa.



**Figura 20 – Mapeamento de Atividades no Processo da fabricação de um parafuso.**

Este tipo de mapa é uma derivação do fluxo de processos, misturado com técnicas utilizadas pelo CPM, porém conta com a possibilidade de comportar informações relevantes sobre processos industriais.

<sup>3</sup> Em inglês significa *Process Activity Mapping*.

O diagrama, mostrado em forma de tabela, tem capacidade para ilustrar uma grande quantidade de informações do processo, como atividades, simbologia, equipamentos/recursos utilizados, distâncias percorridas entre atividades, tempo gasto para execução das atividades, trajetória percorrida, frequência de realizações de cada função e somatório de tempos de cada um dos processos.

### 2.1.6 Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos

A Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos<sup>4</sup> (MRCS) é outra ferramenta citada por Hines e Rich (1997) para mapeamento de processos industriais, porém sua maior aplicação é na construção de mapas de inventários e documentação do *lead time* na cadeia de suprimentos, identificando tempos elevados no estoque de produtos. O MRCS permite que seja avaliada a necessidade de estoque dentro do contexto de *lead time* de reabastecimento. O objetivo principal do MRCS é melhorar ou manter o nível de serviço da cadeia de suprimentos a um baixo custo.

O eixo horizontal representa o *lead time* acumulado para planejar e transferir produtos através da cadeia de suprimentos. O eixo vertical do gráfico representa o inventário acumulado para cada etapa da cadeia de suprimentos (Figura 21).

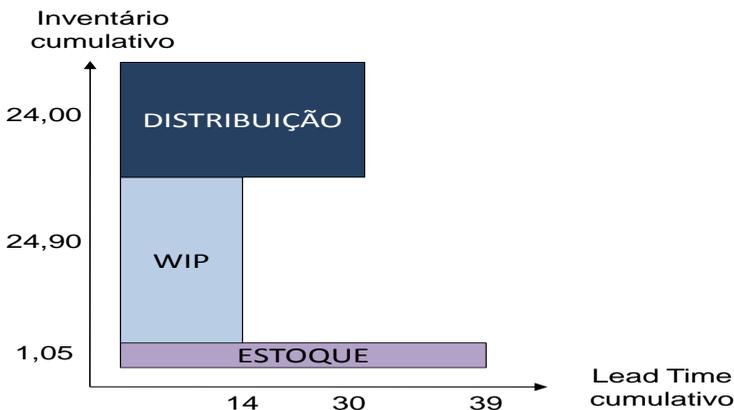


Figura 21 – Uso do MRCS em uma fábrica de transformadores elétricos. Fonte: Rahmanto (2003).

<sup>4</sup> O termo em inglês é: Supply Chain Response Matrix.

O MRCS é um gráfico que ilustra os tempos que o produto/peça/componente leva para percorrer o processo produtivo, ou mesmo toda a cadeia de suprimentos. O seu benefício enquanto ferramenta de mapeamento é questionável, dadas as suas limitações para demonstrar informações. Hines e Rich (1997) sugerem a aplicação conjunta com outros tipos de ferramentas de mapeamento.

### 2.1.7 Matriz de Estrutura de Projeto

A Matriz de Estrutura de Projeto<sup>5</sup> (MEP) é uma ferramenta voltada ao gerenciamento de informações. O MEP organiza as atividades, destacando suas relações de interdependência física e de fluxos de informação. Foi, durante muitos anos, tida como ferramenta de avaliação de sistemas complexos, utilizada para otimizar sistemas técnicos, arquiteturas de produtos e organizações densamente inter-relacionadas com processos e mercado. Considerado um sistema de análise e uma ferramenta de gerenciamento de projeto, o MEP (*Design Structure Matrix*) também é conhecido como: Matriz de Estruturas Dependentes, Matriz de Resolução de Problemas e Matriz de Precedência de Projetos. O MEP pode ser utilizado pra diferentes utilidades. A Figura 22 ilustra os tipos de MEP existentes com suas respectivas aplicações.

TIPOS DE DSM	REPRESENTAÇÃO	APLICAÇÃO	MÉTODO DE ANÁLISE
Componente-base	Relação entre multicomponentes	Sistemas de arquitetura, engenharia e projetos	Em grupo
Time-base	Características de interface multi-pessoal de projeto	Desenhos organizacionais, gerenciamentos de interface e integração de pessoas	Em grupo
Atividade-base	Relação entre atividades com entrada/saída	Cronograma de projeto, sequenciamento de atividades e redução de tempos de ciclo	Sequenciar e particionar
Parâmetro-base	Parâmetros de pontos de decisão e precedência necessária	Baixo nível de seqüenciamento e processo de construção	Sequenciar e particionar

**Figura 22 – Tipos de MEP existentes. Fonte: adaptado de Cho and Eppinger (2005).**

<sup>5</sup> Em inglês possui o nome é *Design Structure Matrix* (DSM).

O tipo de MEP apropriado para mapa de processos é o analisa as Atividades-base. Na matriz existem três tipos de interações entre tarefas que podem ser observados na matriz. A Figura 23 demonstra um exemplo de uso da matriz, com atividades de 1 a 9. As atividades 1 e 2 são independentes, ou seja, não existe qualquer relação entre elas, nem de informação (A) nem fluxo físico (B). Estas tarefas podem ser executadas simultaneamente (em paralelo) sem qualquer tipo de relação. As tarefas 2, 3, 4 e 5 estão dispostas em uma sequência de atividades (C), por isso são consideradas dependentes. Tipicamente devem ser consideradas em série. As tarefas 7 e 8 são dependentes mutuamente de informações (D), mas não de fluxo físico.

		ATIVIDADES/TAREFAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
ATIVIDADES/TAREFAS	1	1								
	2		2							
	3		X	3						
	4	X	X	X	4					
	5		X		X	5				
	6		X				6	X		
	7					X		7	X	X
	8			X				X	8	
	9						X			9

Figura 23 – Exemplo de matriz de relações de Atividades-base. Fonte: adaptado de Cho and Eppinger (2005).

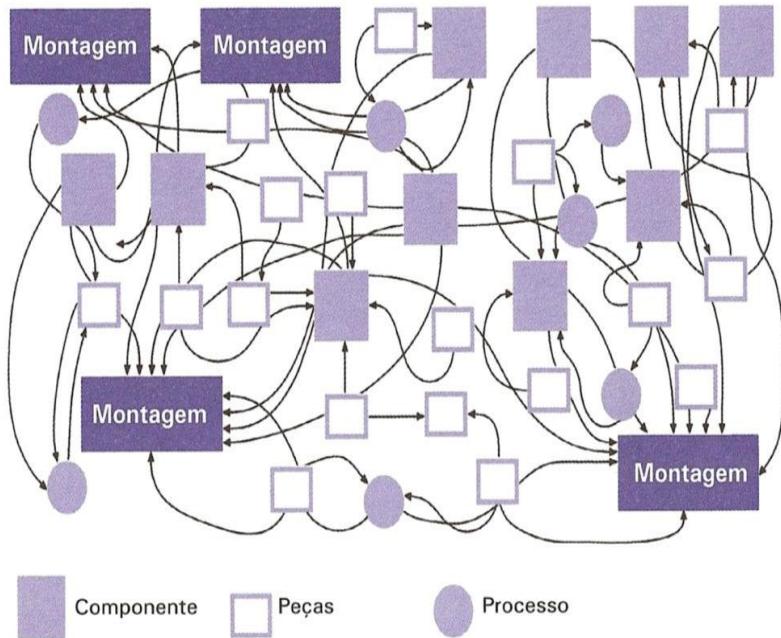
Um número de algoritmos tem sido desenvolvido (CHO e EPPINGER apud WARFIELD, 1973; CHO e EPPINGER apud STEWARD, 1981) para minimizar tais interações (células marcadas em diagonal) por rearranjos e sequência de tarefas no processo. A vantagem da matriz é poder identificar as interações, e, de forma simples, mudar a sequência de atividades de forma a agrupá-las pelas que necessitam ser executadas em série.

O MEP utiliza uma simples representação binária para demonstrar a existência de uma dependência entre as tarefas, sem prover informações adicionais da natureza da interação. Avanços têm sido

feitos para utilizar o MEP para capturar fatos adicionais no desenvolvimento de processos. Versões mais modernas do MEP adicionam a duração das atividades nos elementos diagonais, e marcam estes números na célula representando o grau de dependência entre as tarefas (DSM apud BROWING, 1998; DSM apud YASSINE, 1999). Mesmo com estas iniciativas para deixar o MEP mais funcional para análise de processos industriais, a ferramenta é considerada possui poucos recursos para análise e proposição de melhorias. Alguns autores recomendam a sua utilização para seleção dos produtos para análise de MFV (ALVES, TOMMELEIN e BALLARD, 2005; ARBULU e TOMMELEIN, 2002; BAUCH, 2004; BELOVA e YANSONG, 2008; CARR, 2007; CHITTURI, GLEW e PAULL, 2007; DENNIS, 2008; ERHART, NEUMANN e GERHARDT, 2004; FARGHER, 2006; FRENKEL, 2004; GREWAL e SINGH, 2006; IVOVENKO e BRADLEY, 2004; KHASWALA e IRANI, 2002).

### **2.1.8 Diagrama de Fluxo**

Os Diagramas de Fluxo (DF), também conhecidos como “Diagrama de Espaguete”, são utilizados para o estudo do movimento de pessoas e de materiais visando uma descrição dos fluxos e análise de melhorias (CORRÊA e CORRÊA, 2007; NUMA, 2007).



**Figura 24 – Exemplo de Diagrama de Fluxo. Fonte: LEI (2007).**

O diagrama ilustra o caminho percorrido por um produto na medida em que ele se movimenta ao longo de um fluxo de valor (LEI, 2007, p. 15). Sua construção é realizada com base no layout verdadeiro da fábrica. O mapa construído desta forma facilita a visualização dos desperdícios relacionados com a disposição das máquinas e permite que o caminho percorrido pelos produtos no processo seja visto da forma real.

Uma das limitações do DF é que não mostra o fluxo de informações e nem o tempo gasto para percorrer cada distância. De qualquer forma, é uma ferramenta poderosa para trabalhar com a equipe de chão-de-fábrica, pois seu entendimento é simples em relação a diagramas como IDEFO ou DSM. O diagrama caracteriza o layout da fábrica, ficando muito mais fácil para as pessoas conseguirem contribuir para a análise e introdução de melhorias.

### 2.1.9 Carta de Atividades Múltiplas

A Carta de Atividades Múltiplas (também conhecidas como Gráfico Homem-máquina, ou Diagrama de Carga do Operador) é utilizada para o estudo e o melhoramento da utilização de operador e recursos ou suas combinações (Figura 25), podendo existir graus distintos de complexidade. São muito utilizadas para registrar o trabalho de um operador controlando várias máquinas, para verificar a carga de trabalho envolvida (MARTINS e LAUGENI, 2006; CORRÊA e CORRÊA, 2007).

A carta de atividades, assim como os outros mapas de processos, possui simbologia própria para cada tipo de atividade. As atividades devem ser representadas da seguinte forma, segundo Martins e Laugeni (2006):

- **Atividade independente:** a atividade que o operador executa sem necessitar da máquina ou de outro operador. Por exemplo, enquanto a máquina processa um produto o operador está arrumando as peças prontas em uma caixa;
- **Atividade combinada:** a atividade desenvolvida necessita do operador e da máquina para ser realizada. A alimentação de matéria-prima na máquina é um exemplo de atividades combinadas;
- **Espera:** o operador está parado aguardando o término do processo ou a máquina está parada aguardando o operador.

### CARTA DE ATIVIDADES MÚLTIPLAS

Processo: Lavar e secar roupas

Data: xx/xx/xx

Elaborado por: FPL

DESCRIÇÃO	O	LAVADORA	L	SECADORA	S
1 - Pegar a roupa do cliente		Parada		Parada	
2 - Colocar a roupa e o sabão e ligar a lavadora				Parada	
3 - Executar outras atividades		Lavar a roupa		Parada	
4 - Descarregar a lavadora				Parada	
5 - Carregar a secadora e ligar		Parada			
6 - Colocar a roupa e o sabão e ligar a lavadora				Secar	
7 - Aguardar clientes		Lavar a roupa		Secar	

LEGENDA:

O --> Operador

L --> Lavadora

S --> Secadora

	Atividade independente
	Atividade combinada
	Espera

**Figura 25 – Exemplo de utilização do diagrama de Cartas de Atividades Múltiplas. Fonte: MARTINS e LAUGENI (2006).**

A Carta de Atividades Múltiplas é uma excelente ferramenta para analisar processos onde o operador precisa desempenhar várias funções em um mesmo ambiente de trabalho. Esta situação ocorre quando o setor possui máquinas automáticas controladas pelo mesmo operador, como o carregamento e descarregamento das máquinas, por exemplo. Fora este tipo de aplicação, a Carta de Atividades Múltiplas possui informações pobres para análise de perdas nos processos.

#### 2.1.10 Rotinas de Operações Padrão

A Rotina de Operações Padrão (ROP) é um mapa que demonstra a sequência de ações que cada operador deve executar dentro de um dado tempo de ciclo (MONDEN, 1984; TUBINO, 2007). Este tipo de rotina tem dois propósitos: primeiro, fornece ao operador a ordem de sequência ou rotina para apanhar a peça, colocá-la na máquina e retirá-la após o processamento. Segundo, fornece a sequência de operação para um operário multifuncional que executa operações em diversas máquinas dentro de um ciclo de tempo.

O procedimento para preparação da ROP é o seguinte:

- O tempo de ciclo deve ser calculado e identificado na coluna da linha do tempo;
- A sequência aproximada de processos que um operador pode manusear deve ser predeterminada. O tempo total das operações deve estar próximo ao tempo de ciclo identificado com a linha vermelha;
- Os tempos das operações manuais e o da máquina de processamento devem ser descritos na folha;

A ROP deve seguir esta sequência até que toda a rotina de operações esteja finalizada.

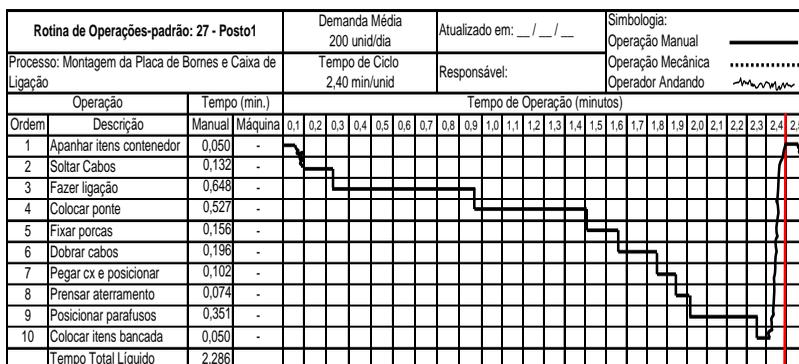


Figura 26 – Folha de Rotina de Operações Padrão. Fonte: Tubino (2007).

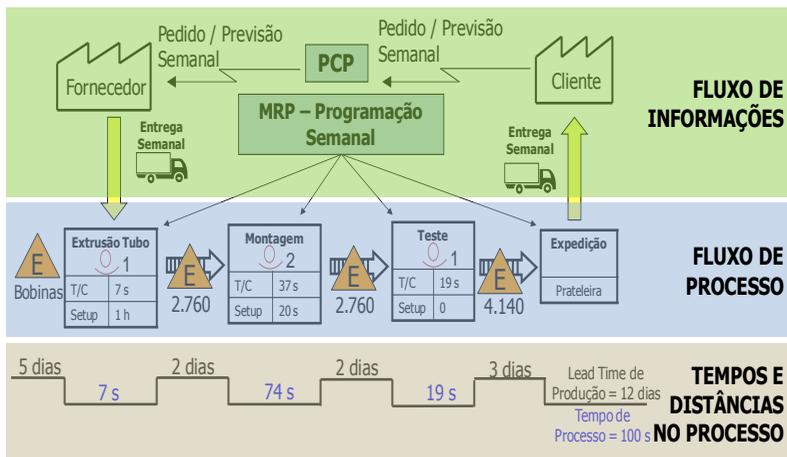
A ROP é uma ferramenta interessante para comparar os tempos de operações em células de produção, pois permite realizar balanceamentos do sequenciamento na célula com mais de um operador. Porém, possui limitações para ilustrar processos de informação e as perdas relacionadas às distâncias entre operadores.

### 2.1.11 Mapa de Fluxo de Valor

Consideradas uma das ferramentas mais populares para mapear processos industriais e ajudar na identificação de perdas, o MFV desenvolvido por Rother e Shook (2003) é um dos diagramas mais utilizados no contexto da ME. Entre os trabalhos pesquisados envolvendo mapas de fluxo de processo, a maioria, cerca de 300

aplicações, foi realizada com o este tipo de MFV (Figura 27). Essa grande aceitação da ferramenta deve-se ao fato da ampla difusão da ME nos EUA através dos livros editados pelo *Lean Enterprise Institute*, pela facilidade na documentação de processos e pelo fato de ser uma evolução do Fluxograma de Processos, considerado fácil de usar e amplamente conhecido. Por esta característica, a técnica criada por Rother e Shook (2003) ficou conhecida como sinônimo de MFV, quando na verdade, todos os mapas para representar diagramas de fluxo são MFV.

A técnica criada por Rother e Shook (2003), é um diagrama com figuras e caixas, utilizado para representar um processo ou um fluxo de produção. O diagrama é dividido em três partes básicas: fluxo de informação, fluxo de processo e os tempos de processo (Figura 27). O MFV evoluiu, e hoje as distâncias entre os processos são representadas no próprio diagrama (NASH e POLING, 2008).



**Figura 27 – Partes do mapa de estado atual. Fonte: adaptado de Nash e Poling (2008).**

Na Figura 7 estão representadas as duas fases do MFV: o estado atual, baseado na representação do processo na ocasião do mapeamento, e o estado futuro, que é uma proposição de melhorias realizadas a partir da análise da agregação de valor e da capacidade da empresa para implantá-las (FERNANDES, 2001; SALZMAN, 2002).

O Fluxo de Informações e o Fluxo de Processo são construídos a partir de um Fluxo de Processo (FP) comum, com a diferença que o

MFV utiliza uma simbologia própria. Carr (2005) aplicou o método MFV em uma empresa que faz peças de borracha, utilizando as informações do ERP<sup>6</sup> para construir o Fluxo de Processos. Essa facilidade pode ser utilizada quando as informações do Sistema da empresa estão atualizadas. Salzman (2002) destacou os problemas que as empresas enfrentam quando utilizam dados errados vindos do ERP. Assim como as outras ferramentas para mapeamento de processos, o MFV também possui limitações que serão discutidas no decorrer do capítulo 2.

### 2.1.12 Outros mapas de fluxo de processos

Além dos mapas apresentados, são apresentados na sequência outros mapas para documentar fluxos de informação e processos.

A TRIZ, *Theory for Inventive Problem Solving*, é a versão utilizada pela Kawasaki, tradicional empresa japonesa que produz motocicletas, para realização das funções propostas pelo MFV do STP (mapeamento do estado atual, análise de desperdícios e mapeamento do estado futuro). O TRIZ possui um conjunto de métodos analíticos baseado em metodologias integradas: ITD, TRIZ *plus* e I-TRIZ. De certa forma, o TRIZ *plus* e o Mapa Atividades no Processo, são os métodos que mais se assemelham ao MFV criado por Rother e Shook (2003). A TRIZ *plus* possui cinco elementos em destaque: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e a perfeição combinada (IVOVENKO e BRADLEY, 2004). Das 80 publicações pesquisadas sobre mapas de fluxo, somente um trabalho relatou o uso do TRIZ.

Shen e Han (2007) utilizaram o MFV denominado *Material and Information Flow Analysis* – MIFA (Análise de Fluxos de Material e Informação) para um estudo de caso em empresas montadoras de produtos e placas eletrônicas. Trata-se da mesma técnica utilizada por ROTHER e SHOOK (2003) para o MFV.

Horbal et al (2008) propõe em seu trabalho uma variação do MFV denominado *Extended Value Stream Mapping* - eMFV (Mapeamento de Fluxo de Valor Estendido), focado na reorganização sincronizada de sistemas de produção de empresas, processos de logística externa entre empresas e fornecedores de processos produtivos. A prática é similar ao MFV de Rother e Shook (2003).

---

<sup>6</sup> ERP: *Enterprise Resource Planning*, software que as empresas utilizam para controle de informações e gerenciamento da fábrica.

Sobcsyc e Koch (2008), baseado no trabalho de Maskell e Baggaley realizado em 2003, propuseram um método para monitorar o desempenho e a estimativa de ganhos a partir das proposições realizadas no mapa de estado futuro. Este método foi chamado de *Value Stream Cost Map* – VSCM (Mapa de Fluxo de Valor e Custos). O método é parecido com o MFV de Rother e Shook (2003), porém conta com informações de dados relativos aos custos em cada etapa de processo.

Sondalini (2006) propõe um método parecido com o método desenvolvido por Sobcsyc e Koch, denominado *Profit Contribution Stream Mapping* – PCSM (Mapa de Fluxo de Contribuição de Lucros), com a diferença que a cada etapa são colocados os valores relativos aos investimentos (material e mão-de-obra) e as informações econômicas das perdas.

O consórcio LAI, *Lean Advanced Initiative*, foi pioneiro em aplicar o MFV ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). Congrega várias ferramentas de mapeamento, e foi denominado de PDMFV (*Product Development Value Stream Mapping*). MacManus e Millard (2002) utilizaram o PDMFV em aplicações práticas, ressaltando as seguintes ferramentas para mapeamento:

- Gráfico de Gantt;
- *Ward/LEI Map*, no qual a *Ward Synthesis* em conjunto com o *Lean Enterprise Institute* avançaram em uma ferramenta que analisa o caminho crítico em processos de P&D;
- Mapa de Fluxo de Processos;
- MFV (ROTHER e SHOOK, 2003);
- *Systems Dynamics* (Sistemas Dinâmicos), que utiliza a modelagem de fatores críticos através de estoques e fluxos, para análises computacionais complexas em tempo real;

Frenkel (2004) destacou a ferramenta de MFV aplicado entre empresas, denominando-o de *Enterprise Value Mapping* (EVM). Utiliza a mesma lógica do MFV de Rother e Shook (2003).

Nowosielski (2002) desenvolveu o *Value Stream Risk Assessment* - VSRA (Avaliação de Risco do Fluxo de Valor) para identificar, quantificar, priorizar e investigar o risco do Fluxo de Valor. O sistema

integra ME, 6 sigma e processos de auditoria de qualidade para avaliar o processo o fluxo de informações e processos industriais. Utiliza a mesma ideia do método de MFV apresentado por Rother e Shook (2003).

Taylor (2005) desenvolveu a *Value Chain Analysis* – VCA (Análise de Cadeia de Valor), cujo objetivo é avaliar o desempenho da cadeia de suprimentos. Baseia-se no conceito de Rother e Shook (2003).

Hines e Rich (1997) dentro do programa “*Supply Chain Development Program* – SCDP” desenvolveram o VALSAT, no qual consiste na utilização simultânea de sete ferramentas de mapeamento que se interagem e se complementam, de forma a realizarem identificação completa das perdas e oportunidades de melhorias em processos de informação e produtivo. As ferramentas são as seguintes:

- *Process activity mapping* (Mapeamento de Atividades do Processo);
- *Supply Chain Response Matrix* (Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos);
- *Production Variety Funnel* (Funil de Variedades de Produto) destinado a mapear produtos para identificação de perdas;
- *Quality Filter Mapping* (Mapa de Filtro da Qualidade), destinado a identificação de perdas (internas e externas) por qualidade;
- *Demand Amplification Mapping* (Mapa de Amplificação da Demanda), cujo objetivo é relacionar as demandas de mercado, os estoques de material e fluxo de material;
- *Decision Point Analysis* (Análise de Ponto de Decisão) é um particular uso de plantas em “T” para cadeias de suprimentos que exibem características similares. O ponto de decisão dentro da cadeia de suprimentos onde a demanda atual puxada prepara o caminho para a programação empurrada na cadeia de suprimentos;
- *Physical Structure: volume and value* (Estrutura Física: volume e valor) é uma ferramenta utilizada para compreender a cadeia

de suprimentos de uma forma macro. Este conhecimento ajudar dentro de proporciona uma compreensão de como a cadeia opera, objetivando dirigir atenção para áreas que não recebem atenção devida.

Hines et al (1999) descreveram o *Value Stream Management* (MFV) como “uma nova abordagem estratégica para captura de dados, análise, planejamento e implantação de mudanças efetivas dentro de uma competência multifuncional e multiempresarial para executar o *Lean Enterprise*”. Esta nova visão envolve uma revisão estratégica dos negócios, atividades da cadeia de suprimentos, delimitação dos processos-chave e o mapeamento destes processos. Baseia-se na abordagem do MAP, porém expandido a outras áreas da empresa.

Thumala (2004) aplicou MFV para o desenvolvimento de software. Este mapeamento, baseado no desenvolvimento realizado por Rother e Shook (2003) foi chamado de *Value Stream Management* (Gerenciamento do Fluxo de Valor).

Khaswala e Irani (2006) desenvolveram o *Value Network Mapping* (VNM) para eliminar as limitações do MFV desenvolvido por Rother e Shook (2003), onde fazer a escolha dos produtos para aplicação do MFV em *job shop*<sup>7</sup> é difícil. O VNM utiliza algoritmos para agrupamento de rotas semelhantes de fabricação, concepção de *layouts* e esquemas para identificar produtos nas famílias de produtos. Segundo Khaswala e Irani (2006), essa identificação de um produto que represente toda uma família de produtos reduz a quantidade de MFVs para análise de perdas (no capítulo 2.2 são discutidas as limitações da aplicação do MFV em relação a escolha de produtos).

Adra (2005) apresentou um software para desenvolvimento de MFV dinâmico, com coletas de dados de tempos e localização de produtos/peças/componentes em tempo real com tecnologia de rastreamento por *RFID*<sup>8</sup> (capítulo 1), denominado *Dynamics Value Stream Mapping* (DMFV). O mapa é uma variação automatizada do MFV criado por Rother e Shook (2003).

---

<sup>7</sup> *Job shop* é um termo que designa um sistema produtivo onde os produtos não possuem a mesma sequência de fluxo de processos, normalmente produzidas em pequenas quantidades e com alto *mix* de produtos.

<sup>8</sup> Maiores detalhes sobre o uso de tecnologia de *RFID* serão discutidas no capítulo 3.

A Figura 28 ilustra o resumo das ferramentas para elaboração de MFV para processos industriais. Os MFVs foram avaliados segundo critérios qualitativos, classificados em Alto (A), Médio (M), Baixo (B) e Nenhum (N), pesquisados nas bibliografias de referência.

Item	Mapa	Sigla	Capacidade de representação visual do processo	Capacidade para sequenciar as atividades	Capacidade para definir relacionamento entre atividades	Facilidade de uso	Informações sobre tempo de ciclo e lead time	Procedência
1	Fluxo de Processo	FP	A	M	M	A	N	--
2	Gráfico de Gantt	GG	B	A	M	A	B	--
3	PERT/CPM	PC	A	A	A	M	B	PERT e CPM
4	IDeFO	IDF	A	M	B	B	N	SADT
5	Mapeamento de Atividades no Processo	MAP	M	M	M	A	A	FP
6	Matriz de Resposta da Cadeia de Suprimentos	MRCS	B	B	B	A	N	--
7	Matriz de Estrutura de Projetos	MEP	B	A	A	B	N	--
8	Diagrama de Fluxo	DF	M	B	B	A	N	--
9	Carta de Atividades Múltiplas	CAM	B	M	A	A	B	--
10	Rotinas de Operação Padrão	ROP	M	A	M	A	A	--
11	Mapeamento de Fluxo de Valor	MFV	A	B	M	A	A	FP
12	TRIZ plus	TP	A	B	M	A	A	FP
13	Análise de Fluxo de Material e Informação	AFMI	A	B	M	A	A	MFV
14	Mapeamento de Fluxo de Valor Estendido	eMFV	A	B	M	A	A	MFV
15	Mapa de Fluxo de Valor e Custos	MFVC	A	B	M	A	A	MFV
16	Mapa de Fluxo de Contribuição de Lucros	(MFCL)	A	B	M	A	A	MFV
17	WARD/LEI	WL	B	B	M	M	N	--
18	Sistemas Dinâmicos	SD	B	A	A	B	N	IDF
19	Mapeamento de Fluxo de Valor entre Empresas	MFVE	A	B	M	A	A	MFV
20	Avaliação de Risco do Fluxo Valor	ARFV	A	B	M	A	A	MFV
21	Análise de Cadeia de Valor	ACV	A	B	M	A	A	MFV
22	Funil de Variáveis do Produto	FVP	N	N	N	M	N	--
23	Mapa de Filtro da Qualidade	MFQ	N	N	B	M	N	--
24	Mapa de Amplificação de Demanda	MAD	N	N	N	M	A	--
25	Análise de Ponto de Decisão	APD	B	B	M	B	M	--
26	Estrutura Física: volume e valor	EF	B	B	B	A	B	MFV
27	Gerenciamento de Fluxo de Valor (1)	GFV1	A	B	M	A	A	MFV
28	Gerenciamento de Fluxo de Valor (2)	GFV2	A	B	M	A	A	MFV
29	Mapeamento de Fluxo de Valor Dinâmico	MFVD	A	B	M	A	A	MFV

**Figura 28 – Resumo das características dos MFV para processos industriais.**

## 2.2 Desafios na elaboração do mapeamento de processos

A função principal de um MFV, conforme já mencionado, é documentar processos, de tal forma que possam expressar exatamente a realidade do que está acontecendo na prática. Somente desta maneira os processos podem ser analisados, as perdas reais identificadas e as melhorias executadas. Sob este ponto de vista, a escolha do MFV está vinculada ao propósito do uso da informação. Cada mapa possui sua particularidade, suas facilidades e suas limitações, conforme apresentado na Figura 28. Sendo assim, de uma forma geral, não existe um mapa melhor do que o outro. Os mapas devem ser escolhidos levando em conta os objetivos do mapeamento. Alguns autores sugerem a utilização conjunta de mapas que se complementam mutuamente para tomadas de decisão, como é o exemplo do VALSAT e do PDMFV. Embora úteis para visualização de processos industriais, a elaboração do MFV enfrenta alguns desafios em comum:

### 2.2.1 Escolha do produto

Segundo Bronw e Eisenhardt (1995), o desenvolvimento de produtos é um meio indiscutível para sobrevivência das empresas (p. xlvii). Diante destas colocações, cabe uma discussão importante acerca dos objetivos do MFV com relação à escolha do produto a ser mapeado. A proposta deste trabalho é classificar as perdas em duas categorias:

- “*Perdas Específicas*”, caso o objetivo do MFV seja a realização de melhorias no processo produtivo de um *produto* específico. Neste caso a escolha é simples e direta, pois o foco será dado no caminho percorrido do produto em questão, e as perdas e as possíveis melhorias realizadas serão genuinamente aplicadas a este produto;
- “*Perdas Sistemáticas*”, caso o objetivo do MFV seja identificar perdas no *processo produtivo*, a escolha do produto a ser aplicado o MFV deve ser feita levando-se em conta a capacidade do produto em representar a família de produtos na qual está classificado. De tal modo que fazendo o mapeamento para este produto, tem-se um retrato das perdas para todos os produtos considerados da mesma família. As perdas podem ser correlacionados com perdas financeiras ou de produtividade.

Este tipo de abordagem leva a uma escolha mais apropriada dos objetivos do MFV. Fábricas que possuem um sistema produtivo mais maduro normalmente precisam descobrir perdas associadas a produtos, pois o seu processo produtivo já está consolidado. Fábricas com o processo produtivo menos maduro, precisam descobrir perdas associadas aos seus processos produtivos, pois ainda existem grandes oportunidades de melhoria nesta área.

As tecnologias para rastreamento têm potencial para ajudar na atividade de agrupamento dos produtos em famílias, ou mesmo na validação dos resultados encontrados com a aplicação de técnicas utilizadas para esta finalidade, como o DSM e outras práticas similares (Matriz de Estruturas Dependentes, Matriz de Resolução de Problemas e Matriz de Precedência de Projetos). As tecnologias para rastreamento poderão acelerar o processo de coleta de dados e auxiliar nas análises relacionadas ao trajeto percorrido por cada produto na fábrica. Desta forma, as análises teóricas serão validadas e por um processo comprobatório prático.

### **2.2.2 Falta de estabilidade do processo produtivo**

Processos instáveis podem levar a erros de medição importantes (p. 38). Sob esta ótica, a realização de MFV frequentes para um mesmo produto pode ajudar na avaliação da estabilidade dos processos. A tecnologia de rastreamento pode ser utilizada para coletar dados de processos industriais, posteriormente utilizados para análises estatísticas a fim de comprovar a estabilidade dos processos. Estes dados podem ser analisados sob aspectos quantitativos, como tempos de ciclo, *lead time* e distâncias percorridas, e sob como aspectos qualitativos, como caminho percorrido, equipamentos utilizados, entre outros.

### **2.2.3 Falhas na medição de dados no processo produtivo**

A falha na medição dos dados no processo produtivo pode levar a análise equivocada das reais condições do processo produtivo. Alguns autores citam a transparência<sup>9</sup> como elemento fundamental no mapa do estado atual (SHEN e HAN, 2007; KLOTZ e HORMAN e BODENSCHATZ, 2007; SOTO, 2007; BAUCH, 2004; CHILDERHOUSE e TOWILL, 2004; KLOTZ, HORMAN, BI e

---

<sup>9</sup> A veracidade das informações coletadas na fábrica.

BECHTEL, 2008; KLOTZ e HORMAN, 2007; ARBULU e TOMMELEIN, 2002; BELOVA e ZHU, 2008; CARDIFF, 2006; WALTON, 1999; MAROPOULOS, CHAUVE e CUNHA, 2008).

NASH e POLING (2008) descrevem a importância da medição dos dados no processo destacando técnicas para medir as distâncias entre operações: utilizando uma “roda”, relacionando o número de voltas e o perímetro; utilizando um pedômetro<sup>10</sup>; contagem manual de passos; hodômetros (caminhões, empilhadeiras, tratores, outros); fitas métricas e GPS<sup>11</sup>.

As tecnologias para rastreamento têm grande potencial para minimização dos erros na coleta de dados no processo produtivo, uma vez que na ME o foco não está na medição e redução de micro tempos no processo produtivo, mas no tempo gasto do processo global. A redução de micro tempos no processo é interessante, pois pode afetar diretamente na diminuição do tempo de ciclo das operações, mas não é garantia de redução do *lead time* produtivo, que na verdade é o que faz a diferença na redução de custos e melhoria da produtividade. Em produtos complexos, processos convencionais para medições de *lead times* produtivos não garantem confiabilidade dos dados, principalmente quando:

- O processo não possui fluxo contínuo, pois existirão peças em estoques intermediários entre processos, tornando a medição de tempo mais complexo;
- O processo está orientado a grandes lotes, devido aos tempos de espera para processamento;
- O processo não está padronizado, pois gera variações de tempos ocasionados pela variação das operações, tornando complexa a comparação de dados e análises estatísticas;
- O processo não está nivelado, pois os operadores precisam reaprender o processo de manufatura devido ao grande intervalo de tempo entre um lote e outro, fazendo com o que o processo fique fora de padrão;

---

<sup>10</sup> Pedômetro é um dispositivo eletrônico que, acoplado a um calçado comum, conta os passos.

<sup>11</sup> GPS é a sigla para *Global Positioning System*.

Desta forma, as tecnologias de rastreamento podem significar um avanço na coleta de dados relacionados ao *lead time* produtivo, pois seguem a peça/componente/parte a ter seus dados coletados considerando todos os eventos ao longo da cadeia de manufatura na fábrica.

#### **2.2.4 Necessidade de possuir dados do fluxo de processo que possam ser interpretados como dados econômicos**

O principal foco da ME é reduzir custos e aumentar a produtividade (OHNO, 1997; MONDEM, 1984; SCHONBERGER, 1992). A medição adequada dos dados nos processos produtivos, é útil para auxiliar o processo de análise e melhoria da eficiência interna dos processos produtivos, pois o que não pode ser medido não pode ser melhorado (BORNIA, 2002; SONDALINI, 2006; SONDALINI, 2009). Para Sondalini (2006), com as informações de contribuições de custos, gerentes, contadores e engenheiros podem focar em novas reduções de custos, melhoria da produtividade e melhoria dos processos, retornando um valor maior para a operação (negócios da empresa).

Os processos mapeados por tecnologias de rastreamento poderão ser analisados sob o ponto de vista de local e tempo de processamento. Esse registro facilita o processo de rateios para centros de custos, facilitando análises de redução de custos.

#### **2.2.5 Complexidade do produto**

Para Salzman (2002), a complexidade do produto é o “nível de dificuldade associado com a produção de uma peça”. Usualmente medido pela estimativa de produção total em homens/hora e a dificuldade necessária para finalizar as tarefas em série ou paralelas. Existe uma quantidade menor de diferença entre as tarefas com valor agregado e sem valor agregado podem ser vistas em um MFV de um produto complexo [...] neste caso, são necessários maiores detalhes do processo para identificar atividades que não agregam valor”.

Para Fernandes (2001), identificar um produto complexo exige a medição de número de peças que compõe o produto, número de etapas do processo, tamanho da peça, quantidade necessária para finalizar a tarefa eficientemente, número de subsistemas envolvidos, entre outras coisas. A complexidade dos produtos/processo a serem mapeados leva

ao aumento da dificuldade para obtenção de dados para elaboração do MFV (BAUCH, 2004; SALZMAN, 2002; FERNANDES, 2001; FRENKEL, 2004; MACMANUS e MILLARD, 2002; JONES et al, 1999; PATNEAUD, 2002; MAZUR e CHEN, 2007; ARBULU e TOMMELEIN, 2002; KALSAAS, 2002; BELOVA e YANSONG, 2008; POTTER, SCHMIDT e SIMONS, 2003; MAROPOULOS, CHAUVE e CUNHA, 2008).

A dificuldade para mapeamento dos processos por tecnologias de rastreamento desconsideram a complexidade do produto na coleta de dados. Como os dados são coletados indefinidamente ao longo do tempo, pouco importa o caminho percorrido e por quantos setores o produto passou durante a fabricação.

### **2.2.6 A dificuldade na realização de melhoria contínua**

O MFV tem papel fundamental para que os processos sejam mapeados, as perdas identificadas e as melhorias realizadas (p. 40). Como o processo de execução de mapas de processos exige pessoas qualificadas e consome tempo para execução, métodos para auxiliar a construção do MFV são importantes para que as empresas adotem a revisão do mapa de fluxo como estratégia de melhoria contínua. As tecnologias de rastreamento deverão facilitar o processo de coleta de dados. O MFV é uma das práticas mais importantes para a ME (capítulo 1), pois auxilia na descoberta de oportunidades de melhoria e na identificação de desperdícios. Porém, para que a prática funcione de maneira adequada, é necessário conhecer as limitações que envolvem a construção de MFVs, descritas neste capítulo.

## **2.3 Resultados de análise do referencial teórico sobre Mapeamento de Processos Industriais**

Na primeira parte do capítulo foram apresentados mapas para documentação de processos industriais, destacando detalhadamente aspectos construtivos e suas limitações. Na sequência, foram destacados mapas com nomenclaturas diferentes, aplicados em trabalhos científicos realizados em teses, dissertações e artigos internacionais. No tocante aos mapas para documentação de processos industriais, pode-se afirmar que não existe um mapa melhor do que o outro. Um

mapa é tão bom quanto a sua capacidade para evidenciar os desperdícios no processo produtivo. Essa característica está vinculada à capacidade de adaptação ao uso e da qualificação dos envolvidos na elaboração do mapa, consideradas neste trabalho elementos-chave para uma boa documentação de processos. Equipes com boa capacidade técnica podem criar seus próprios mapas para descoberta de desperdícios no processo, utilizando variações do fluxograma de processo, por exemplo, como fizeram Rother e Shook (2003). O elemento-chave não está no formato do mapa, nem nas figuras ou ícones que utiliza. Está na capacidade para representar os dados coletados, na capacidade para identificar desperdícios/oportunidades, e, por fim, na capacidade da equipe (e da empresa) para fazer as mudanças evidenciadas pela análise documentada através do mapa.

Após a leitura de trabalhos na área, destacaram-se trabalhos de aplicações de mapas em várias partes do mundo: EUA (Massachusetts, Wisconsin, Pensilvânia, Berkeley e Indiana), Reino Unido (Cardiff), Polônia (Wroclaw), Espanha (Madrid), China (Shanghai), Noruega (Jönköping) e alguns outros, com grande destaque para trabalhos realizados no MIT (trabalhos de mestrado e doutorado) e para Universidade de Tecnologia de Wroclaw (bons artigos de aplicações da técnica). A Alemanha está desenvolvendo atividades relacionadas com ME e sustentabilidade ambiental (Munique e Karlsruhe), mas ainda em caráter embrionária, necessitando avanços.

O Brasil ainda faz muito pouco na área da ME. As aplicações técnicas dos métodos de MFV são pobres e focam-se apenas no uso da tecnologia sem compromisso acadêmico de avanços na fronteira tecnológica. Possuem o grande defeito em não destacar limitações, problemas encontrados, dificuldades e sugestões de melhoria. Limitam-se apenas à sugestão de reaplicação do mapeamento para checar se a empresa conseguiu implantar os itens destacados no mapa do estado atual sem descrever a experiência que fez parte da aplicação. Isso é muito pobre. Já existem aplicações suficientes no Brasil (e no mundo) para comprovar que os mapas funcionam de fato, portanto artigos com este tipo de conteúdo não agregam valor para a pesquisa científica.

Na segunda parte do capítulo foram apresentados problemas/limitações que ocorrem em *todos* os processos de construção de MFVs, que impactam de uma maneira expressiva nos resultados do mapeamento, prejudicando a identificação de oportunidades e a eliminação de desperdícios. Desta forma, é importante que o líder de projeto (se possível, a equipe inteira) conheça as limitações encontradas

e saiba como agir para minimizá-las ou até mesmo reduzir seus impactos no processo de elaboração do MFV.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE TECNOLOGIAS PARA RASTREIO

Neste capítulo estão apresentadas as soluções existentes para rastreo, de maneira que se possa criar o entendimento do que existe atualmente e o que pode ser utilizado para acompanhar o caminho percorrido de peças e produtos em linhas produção. Este referencial teórico não tem como objetivo buscar aprofundamentos técnicos complexos sobre tecnologias para rastreo. A proposta não é criar um método de cálculo ou desenvolver dispositivos físicos para identificação de posicionamento em ambientes de fábrica, mas buscar tecnologias comerciais de GNSS que possam ser aplicadas para apoiar empresas na construção de MFVs.

Este capítulo está organizado em três partes distintas. Na primeira parte é apresentada a arquitetura<sup>12</sup> das tecnologias existentes para rastreo, seus elementos funcionais e de que forma interagem e suas restrições. Tem o objetivo de identificá-las e avaliá-las sob o ponto de vista de usuário, com foco em aspectos que envolvem precisão de posicionamento e infraestrutura necessária para utilização da tecnologia. Na segunda parte deste capítulo são apresentadas duas formas de rastreo, utilizadas para georreferenciamento. Uma das formas de rastreo utiliza GNSS pelo método **RTK** (*Real Time Kinematic*) e a outra forma utiliza uma solução utilizada para topografia pelo método de **Estação Total**. No final do capítulo são apresentadas conclusões sobre o potencial das tecnologias para rastreo que deverão ser utilizadas para apoiar empresas na construção de MFVs e um direcionamento de qual tecnologia será utilizada para avaliar se o GNSS pode contribuir na construção de MFVs.

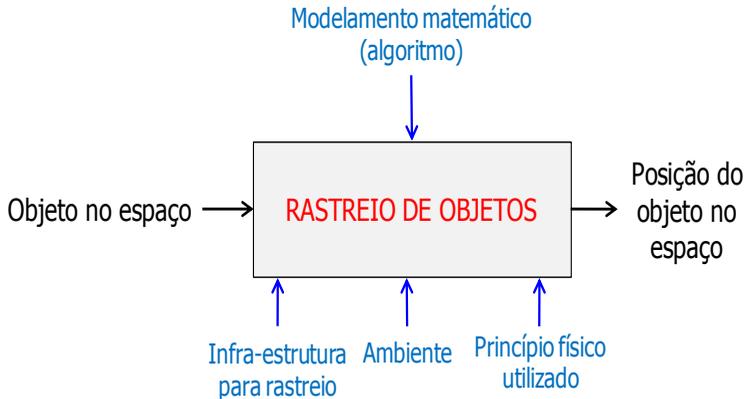
#### 3.1 Arquitetura de tecnologias para rastreo

Segundo Pandey e Agrawal (2006), os sistemas de localização, do ponto de vista de arquitetura de produto, podem ser organizados segundo algumas características: ambiente, infraestrutura, modelamento matemático e princípio físico utilizado. A Figura 29 apresenta uma proposta dos elementos determinantes para as tecnologias de rastreo,

---

<sup>12</sup> Arquitetura de produto é um esquema no qual os elementos funcionais são arranjados, e como estas partes se interagem (ROZENFELD et al, 2006).

baseada em trabalhos de Pandey e Agrawal (2006), Want et al (1992), Priyantha et al (2000), Ward et al (1997), Savvides et al (2001), Dutta e Bergebrieter (2003), Whitehouse (2002), Guard (1996), Bahl e Padmanabhan (2000) e Caffrey e Stber (1998).



**Figura 29 – Modelo de arquitetura de sistemas para rastreamento.**

Neste modelo proposto (SANVIDO, 1990), o processo a ser analisado é o rastreamento de objetos, que tem como elemento de entrada, a localização de um objeto no espaço. O processo de rastreamento possui um controle, que é o modelamento matemático (algoritmo) responsável pelos cálculos para encontrar o posicionamento do objeto a partir dos mecanismos existentes: infraestrutura para rastreamento, ambiente e o princípio físico utilizado. Como resultado deste processo, tem-se a posição do objeto no espaço.

### 3.1.1 Ambiente

Uma das características determinantes para escolha das tecnologias de rastreamento é o ambiente de utilização. O ambiente de uso pode restringir a aplicação de algumas tecnologias e privilegiar a utilização de outras. Existem dois tipos de ambientes para aplicações de tecnologias para rastreamento: *indoor* e *outdoor* (GIAGLIS et al, 2002).

- Ambiente Indoor:

O ambiente *indoor* diz respeito à ambientes fechados, com obstáculos, como: paredes, vigas, muros, telhados, grandes equipamentos, entre outras restrições (PANDEY e AGRAWAL, 2006). Segundo Giaglis et al (2002 p. 416) as tecnologias *indoor* têm potencial para uma larga aplicação em áreas como: livrarias, museus, feiras e supermercados, onde conhecer posições pode ser crucial para uma qualidade superior dos serviços. Esse conhecimento é derivado da habilidade de poder localizar pessoas ou objetos com uma considerável precisão de tempo e locação espacial. Segundo Giaglis apud Held (2002) as tecnologias *indoor* possuem algumas restrições para lugares cobertos, como prédios e outras áreas confinadas.

- Ambiente Outdoor:

O ambiente *outdoor* diz respeito aos demais ambientes possíveis de utilização de tecnologias para rastreo, com exceção dos ambientes *indoor*. Este trabalho tem o objetivo de identificar tecnologias voltadas a processos industriais, estritamente realizados dentro de fábricas. Desta forma, as tecnologias para aplicação *outdoor* não são foco deste trabalho.

### 3.1.2 Infraestrutura

A infraestrutura deve ser escolhida em função do ambiente de utilização, e determina quais princípios físicos podem ser utilizados para as técnicas de rastreo. Existem, para sistemas de rastreo, quatro tipos de infraestruturas: *network-based*, *handset-based*, híbrido e o *device-dependent*.

- Sistemas *network-based* ou *network-dependent*:

Os sistemas *network-based* (rede-base), também chamados de *network dependent* (dependente de rede), dizem respeito às tecnologias que dependem da habilidade de um dispositivo móvel para receber sinal vindo de uma rede móvel cobrindo uma determinada área. Para isso, utiliza-se de tecnologias *wireless*<sup>13</sup> em ambiente fechado (quando em ambiente *indoor*) para transmissão de dados. As tecnologias mais

---

<sup>13</sup> *Wireless* é uma palavra de origem inglesa para designar tipos de transmissão de dados “*sem fio*”.

populares que utilizam estes sistemas são: *Cell Identification* (Cell-ID), *Time of Arrival* (TOA), *Observed Time Difference* (OTD) (GIAGLIS et al, 2002).

- Sistemas handset-based:

Os sistemas *handset-based* (microtelefone-base), também chamados de *network independent* (independentes de rede), podem prover informação de identificação de localização mesmo na ausência de cobertura de rede móvel. A solução mais importante neste tipo de aplicação é o GPS (GIAGLIS et al, 2002).

- Sistemas híbridos:

Os sistemas híbridos utilizam uma combinação dos sistemas *network-based* e *handset-based*. O sistema funciona como uma versão diferenciada do GPS, chamado A-GPS (*Assisted Global Positioning System*). Na obstrução de detecção dos sinais de satélites, uma rede móvel auxilia na identificação da posição de localização (GIAGLIS et al apud BURNHAM, 2002; PANDEY e AGRAWAL, 2006).

- Sistemas device-dependent:

Os sistemas *device-dependent* (dependentes de dispositivo) são sistemas utilizados em locais onde os sistemas convencionais de GNSS não funcionam por causa da baixa capacidade de penetração dos sinais em ambientes *indoor* (GIAGLIS et al apud CHEN et al, 2002). Neste caso, o sinal é gerado por um número de *pseudosatélites* instalados no prédio, de maneira que possam gerar sinais similares aos sinais de GPS, sendo recebidos por receptores de GPS, telefones móveis e *palmtops*. Este tipo de dispositivo, que combina baixo consumo de energia e baixo custo de aquisição, tem-se mostrado como uma ótima alternativa para aplicações indoor (GIAGLIS et al, 2002).

A Figura 30 ilustra a relação entre o ambiente, infraestrutura e as tecnologias comerciais disponíveis para aplicações em sistemas de rastreamento.

AMBIENTE	INFRA-ESTRUTURA	TECNOLOGIAS COMERCIAIS
OUTDOOR	Network-based	Cell-ID
		Time of Arrival (TOA)
		Observed Time Difference (OTD)
	Handset-based	Global Positioning System (GPS)
	Network-based + Handset-based	Assisted GPS (A-GPS)
INDOOR	Network-dependent	Sensor Infravermelho
		Tecnologia por ultrassom
		Wireless LANs (WLANs)
		Bluetooth
	RF-ID	
	Device-dependent	Indoor GPS

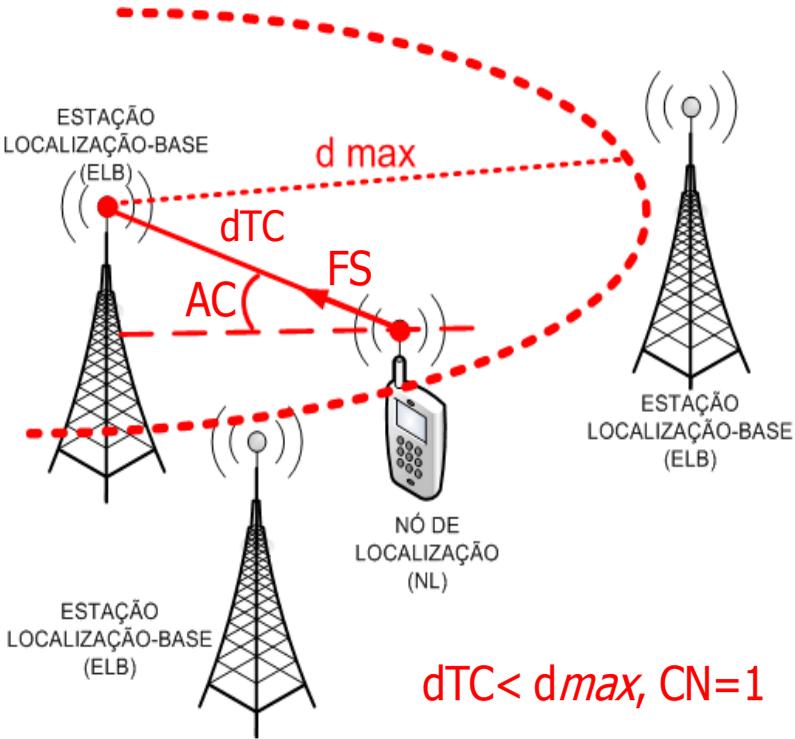
**Figura 30 – Ambientes, infraestrutura requeridas e tipos de tecnologias comerciais. Fonte: Giaglis et al (2002).**

### 3.1.3 Modelamento matemático

O modelamento matemático refere-se ao algoritmo utilizado para determinação da posição do objeto a ser rastreado. Esse cálculo é complexo e leva em conta uma série de características do sistema de posicionamento. Este trabalho não tem como objetivo desenvolver um algoritmo próprio para cálculo de posicionamento, desta forma, limita-se apenas a apresentar algumas das variáveis consideradas importantes, segundo os autores pesquisados, para a precisão de posicionamento das tecnologias para rastreamento.

- Parâmetro de medição:

Segundo Pandey e Agrawal (2006) o parâmetro de medição refere-se às características de medição que o sistema utiliza para estimar a posição do objeto (nó de Localização). Para determinar a posição de um objeto, o sistema de rastreamento utiliza um método de equacionamento matemático complexo, onde um conjunto de variáveis importantes é considerado: força do sinal (FS), tempo de chegada do sinal (dT<sub>C</sub>), conectividade (CN), ângulo de chegada (AC) e alcance da estação localização-base ( $d_{max}$ ), conforme apresentado na Figura 31.



**Figura 31 – Parâmetros de medição para estimativa de posicionamento de objeto. O modelo considera que as ELBs e o NL estão no mesmo plano. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006).**

- Técnicas para estimativa de posicionamento:

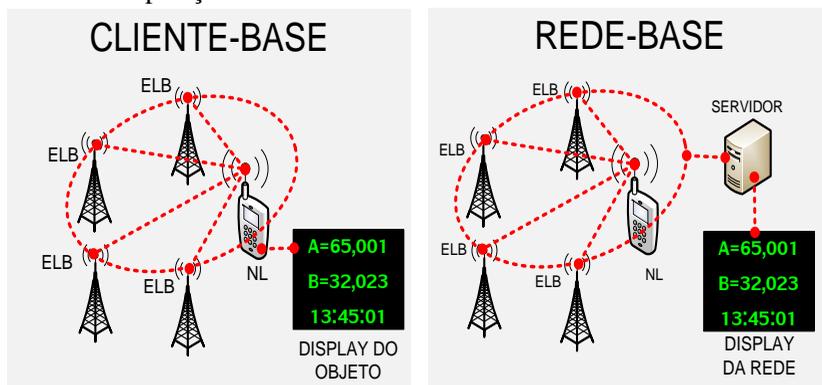
Dois técnicas estimativas (PANDEY e AGRAWAL, 2006) são utilizadas para calcular a posição do objeto: estimativas determinísticas (BAHL e PADMANABHAN, 2000; GUARD, 1996; PANDEY e AGRAWAL apud LAITINEN et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud SAKAGAMI et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud SWALES et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud LARDER, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud MOEGLEIN e KRASNER, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud NAJAR et al, 2006;) e estimativas probabilísticas (HAEBERLE et al, 2004; PANDEY e AGRAWAL apud TAO et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud CASTRO et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud YOUSSEF e AGRAWALA, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud MADIGAN et al). A escolha da técnica deve levar

em conta o ambiente do local da medição (*Indoor e Outdoor*) e os obstáculos existentes. Estas características influenciam a incerteza da medição<sup>14</sup> (INMETRO, 2000), impactando diretamente na exatidão do instrumento (*accuracy* em inglês). A escolha do tipo de técnica estimativa depende da configuração do ambiente.

- Localização de entidade:

Outra classificação para determinação do modelamento matemático é o sistema utilizado para localização de um objeto. Existem dois tipos: base-cliente e rede-base. Esta variável influencia de uma forma significativa a precisão de posicionamento (PANDEY e AGRAWAL, 2006)

No sistema base-cliente, conforme ilustrado na Figura 32, quem determina o posicionamento é o objeto (NL) em relação às ELBs (PRIYANTHA et al, 2000; GUARD, 1996; SAVVIDES, 2001). No sistema rede-base, é a rede quem capta a posição do objeto (NL) e calcula sua posição relativa.



**Figura 32 – Representação esquemática de funcionamento de sistemas cliente-base e rede-base.**

<sup>14</sup> Incerteza de medição, parâmetro que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando (INMETRO, 2000).

### 3.1.4 Princípio físico utilizado

Os princípios físicos referem-se ao tipo de tecnologia utilizada para gerar um sinal (emissor) que possa ser detectado (receptor) e medido (sistema computacional para processar os cálculos do modelamento matemático), a fim de estimar o posicionamento de um objeto. Existem três princípios físicos básicos para geração de sinais detectáveis: radiofrequência (GUARD, 1996; BAHL e PADMANABAHN, 2000) ultrassom (PRIYANTHA et al, 2000; WARD et al, 1997; SAVVIDES et al, 2001; DUTTA e BERGBRIETER, 2003; WHITEHOUSE, 2002) e luz infravermelha (WANT et al, 1992).

Radiofrequência e infravermelho são fenômenos físicos que utilizam **energia eletromagnética**, invisíveis para o olho humano. Ultrassom é um princípio mecânico, que acontece quando há deslocamento de massa de ar no espaço. As duas energias eletromagnéticas estão classificadas segundo sua frequência e velocidade do ar, na Figura 33. Todas as tecnologias existentes atualmente para rastreamento se encaixam em um dos três princípios físicos apresentados, apresentados na sequência deste capítulo.

	INFRAVERMELHO	ULTRASSOM	RADIO-FREQÜÊNCIA
FREQÜÊNCIA (Hz)	3000G	20k a 40k	3k a 300G
VELOCIDADE NO AR (m/s)	$3 \times 10^8$	343 (20°C)	$3 \times 10^8$

**Figura 33 – Parâmetros físicos e suas características. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006).**

- Radio frequência:

A radiofrequência é um dos princípios físicos mais utilizados para tecnologias de rastreamento. A onda de rádio é uma onda eletromagnética que se propaga no ar. As tecnologias comerciais que utilizam radiofrequência são diversas, conforme apresentado na sequência deste capítulo.

A tecnologia **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) é um sistema de comunicação móvel celular considerada como de 1ª geração, utilizada para determinação de posicionamento utilizando sistemas do tipo híbrido (*network-based* e *handset-based*) (PANDEY e AGRAWAL apud SWALES et al, 2006). A tecnologia TDMA opera na faixa de frequência de 800Mhz e 1.900MHz (BRASIL, 2009). Através de um

modelo matemático que considera a intensidade de sinal detectada pelas estações rádio base (ELBs), a posição do objeto é determinada.

A tecnologia **GSM** (*Global System for Mobile Communications*), também denominada de Sistema Global para Comunicações Móveis, é um padrão utilizado para telefonia móvel considerado de 2ª geração. Da mesma forma que o TDMA, o GSM utiliza um sistema híbrido para tecnologia de posicionamento e um sistema similar para cálculo do posicionamento (PANDEY e AGRAWAL apud LARDER, 2006). A tecnologia GSM opera na faixa de frequência de 900MHz e 1.800MHz (BRASIL, 2009).

O sistema **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*) é uma tecnologia para operação em telefonia móvel celular considerada de 3ª geração. Possui um princípio de funcionamento próximo às tecnologias de TDMA e GSM. Seu princípio de funcionamento como tecnologia para rastreamento foi desenvolvida por Najjar et al em 2004 (PANDEY e AGRAWAL, 2006). As frequências de funcionamento da tecnologia UMTS variam nos EUA (850 e 1.900MHz), Europa (900 e 2.100MHz) e Brasil (850 e 2.100MHz).

A tecnologia de rastreamento por satélite é chamada de GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e possui seis versões no mundo: o sistema americano **GPS** (*Global Positioning System*), o russo **GLONASS**, o europeu **GALILEO** e o chinês **COMPASS**, conhecido na China como Beidou-2, o japonês **QZSS** (*Quase-Zenith Satellite System*) e o indiano **IRNSS** (*The Indian Regional Navigation Satellite System*) (YANG et al, 2011). O sistema mais popular e acessível Atualmente é o GPS, desenvolvido pelo departamento de defesa dos EUA no início da década de 60, sob o nome de “projeto NAVSTAR”. O Sistema de GPS possui uma rede de 24 satélites interligados que orbitam a terra a 20.200 km, emitindo simultaneamente sinais de rádio codificados (GORGULHO, 2004). Estes sinais são recebidos por equipamentos portáteis em tempo real e decodificados, apresentando a sua posição tridimensional (latitude, longitude e altitude) em relação a um sistema de coordenadas (PANDEY e AGRAWAL, 2006). O GPS opera na frequência de 1.575MHz (BRASIL, 2009).

A tecnologia **IEEE 802.11**, também chamada de Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) ou *wireless*, é um padrão de tecnologia de rede sem fio, que opera nas frequências de 5GHz e 2,4GHz (BRASIL, 2009), dando origem a uma série de versões da mesma tecnologia, que podem

alcançar altas taxas de transmissão (600Mbps<sup>15</sup>) para o padrões atuais. Segundo Pandey e Agrawal (2006) a tecnologia *Wi-Fi* é uma das tecnologias mais promissoras para estimar posição de objetos. Diversos trabalhos têm utilizado esta tecnologia para rastreamento de objetos (PANDEY e AGRAWAL apud ANJUN et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud GANU et al, 2006; PANDEY e AGRAWAL apud GWON et al, 2006; BAHL e PADMANABAHAN, 2000; PANDEY e AGRAWAL apud LADD et al, 2006). A tecnologia *Wi-Fi* não precisa conectar os sensores emissores aos sensores receptores, por fazer esta comunicação sem fio, mas precisa ter estações rádio-base (ELBs) conectadas entre si, formando uma rede.

A tecnologia **Bluetooth** utiliza uma frequência de rádio de curto alcance, operando na faixa de 2,45GHz (BRASIL, 2009). Assim como a IEEE 802.11, também é considerado um padrão de comunicação. Este tipo de tecnologia possui capacidade para rastreamento, conforme avaliado por Gwon et al em 2004 (PANDEY e AGRAWAL, 2006), porém é uma tecnologia que opera com alcances curtos (1; 10 e 100m). Também necessita de rede e ELBs para funcionar.

tecnologia de **RFID** (*Radio Frequência Identificação*) é um sistema que identifica objetos utilizando radiofrequência em dois tipos de faixas: baixa frequência (30 a 500KHz) e alta frequência (850 a 950MHz e 2,4 a 2,5GHz) (BRASIL, 2009). Segundo Silva (2008) o uso do RFID em ambientes *indoor* é uma tarefa desafiadora, devido à inconsistência nos sinais eletromagnéticos provocada por atrasos e distorções nos receptores, fazendo com que seu desempenho seja reduzido. Diversos trabalhos têm sido feitos para definir um método matemático que possa minimizar os efeitos de inconsistência nos sinais (BAHL e PADMANABHAN, 2000; SILVA apud KRISHNAN et al, 2008; SILVA apud NI et al, 2008; SILVA apud ROSS et al, 2008; SILVA apud YOUSSEF e AGRAWALA, 2008). Da mesma forma que os sistemas IEEE 802.11 e Bluetooth, precisam de uma rede e ELBs interconectadas.

Sonnenschein e Rosenthal (2007) desenvolveram e patentearam um método que prevê a utilização de tecnologia RFID para identificação de objetos em ambientes *indoor*, de maneira que possam utilizar os resultados de medição de posicionamento para fazer MFVs. Os autores

---

<sup>15</sup> Mbps, corresponde a unidade de taxa de transmissão de dados (mega byte por segundo).

utilizam um modelo matemático determinístico para poder estimar o posicionamento de objetos.

Outra aplicação utilizando o RFID para localização de objetos foi definida pelo CONTRAN<sup>16</sup>. O sistema de RFID será utilizado para checar informações sobre veículos em tempo real (número de série, placa, chassi e RENAVAM), de maneira que órgãos de trânsito possam identificar roubos, rodízio de placas<sup>17</sup> e velocidade de veículos (CONTRAN, 2006).

- Ultrassom:

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para determinação de posicionamento utilizando tecnologia por ultrassom. Priyanta et al (2003) desenvolveram o sistema CRICKET. Ward et al (1997) desenvolveram o método BAT. Savvides et al (2001) desenvolveram o método AHLoS. Dutta e Bergbrieter (2003) desenvolveram o método MobiLoc. O ultrassom funciona na faixa de frequência de 20 a 40kHz (BRASIL, 2009). Da mesma forma que alguns dispositivos de radiofrequência, também precisam de redes e ELBs para detecção de posicionamento.

- Luz infravermelha:

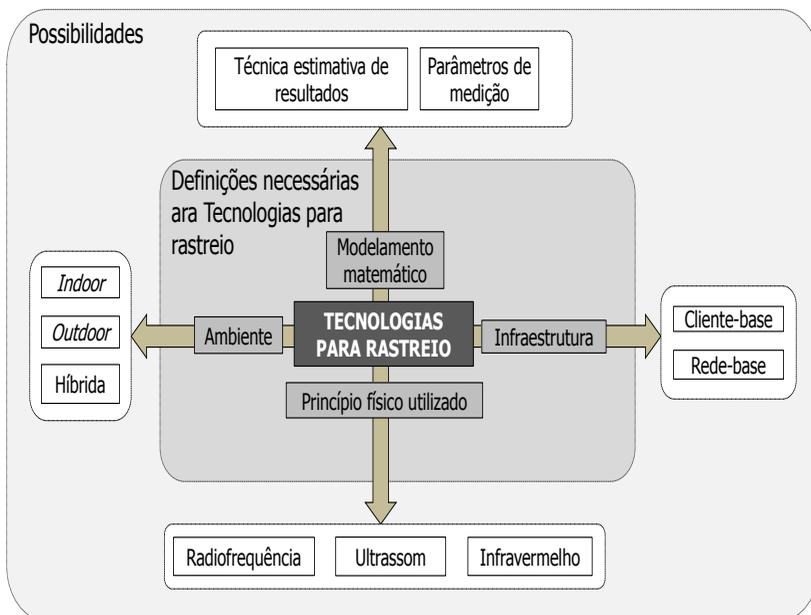
A luz infravermelha é uma pequena fração de radiação eletromagnética, que é o conjunto de todas as luzes existentes no universo. O olho humano não tem capacidade para enxergar a luz infravermelha, sendo capaz apenas de enxergar uma pequena parcela de radiação eletromagnética, ou seja, apenas uma pequena faixa de comprimento de onda chamada de luz visível. A radiação infravermelha encontra-se no maior comprimento de onda existente, na faixa dos 700nm (INPE, 2005). Segundo Pandey e Agrawal (2006) o infravermelho possui limites relacionados com o bloqueio da luz invisível emitida pelo emissor, sendo raramente utilizada para localização de objetos pelas suas limitações de captação da luz.

---

<sup>16</sup>CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito, órgão do governo federal que regulamenta leis de trânsitos.

<sup>17</sup> Sistema aplicado em São Paulo para diminuir o trânsito de veículos das ruas. Os veículos podem trafegar somente em certos dias e horários da semana.

Resumidamente, sistemas para rastreamento são definidos conforme quatro critérios específicos: ambiente, modelamento matemático, infraestrutura e princípio físico utilizado. Estas definições deverão influenciar de forma importante a precisão de posicionamento conforme o tipo de aplicação requerida. A Figura 34 ilustra de forma esquemática como a arquitetura das tecnologias para rastreamento se apresentam.



**Figura 34 – Composição da arquitetura de tecnologias para rastreamento e suas diversas possibilidades.**

### 3.1.5 Trabalhos realizados e precisão de posicionamento alcançada

Pandey e Agrawal (2006) apresentaram no artigo “*A survey on localization techniques for wireless networks*”, um levantamento estruturado da combinação de arquiteturas propostas para tecnologias para rastreamento, envolvendo parâmetros de aplicação, meios físicos, técnicas de estimativas, tipologia de sistemas e precisão de posicionamento, apresentado na Figura 35.

Projeto de localização	Área de aplicação	Parâmetros Físicos	Técnica de estimativa	Entidade	Erro máximo de posicionamento
GPS Guard (1996)	outdoor	RF	Determinístico	cliente-base	1,00 à 6,00m em média
Sakagami et al (1992)	outdoor	RF	Determinístico	rede-base	200,00m em média
DCM Laitinen et al (2001)	outdoor	RF	Determinístico	rede-base	90,00m (90%)
TeleSentinel Swales et al (1999)	outdoor	RF (TDMA)	Determinístico	rede-base	89,00m (90%)
Cursor Larder (2001)	outdoor	RF (GSM)	Determinístico	rede-base	125,00m (67%)
SnapTrack Moeglein e Krasner (1998)	outdoor	RF	Determinístico	cliente-base	4,00m (68%)
Najar et al (2004)	outdoor	RF (UMTS)	Determinístico	rede-base	60,00m (90%)
HTA Venkatraman e Caffery (2004)	outdoor	RF	Determinístico	rede-base	225,00m (90%)
Chen (1999)	outdoor	RF	Determinístico	cliente-base	125,00m (50%) em média
TRaVarSel Anjun et al (2005); PANDEY et al (2005)	indoor	RF (802.11)	Determinístico	rede-base	Deteção de presença
Cricket Priyantha et al (2005)	indoor	US	Determinístico	cliente-base	0,30m (99%)
BAT Ward et al (2005)	indoor	US	Determinístico	rede-base	0,08m (95%)
Active Badge Want et al (1992)	indoor	IR	Determinístico	rede-base	Deteção de presença
RADAR Bahl e Padmanachan (2000)	indoor	RF (802.11)	Determinístico	rede-base	2,94m (50%)
SELFLOC Gwon et al (2004)	indoor	RF (802.11 e Bluetooth)	Determinístico	rede-base	1,60m (50%)
LEASE Krishnan et al (2004)	indoor	RF (802.11)	Determinístico	rede-base	3,08m (50%)
Difference Method Tao et al (2003)	indoor	RF (802.11)	Probabilístico	rede-base	2,00m (61%)
Nibble Castro et al (2001)	indoor	RF (802.11)	Probabilístico	cliente-base	Deteção de presença
HORUS Youssef e Agrawala (2005)	indoor	RF (802.11)	Probabilístico	cliente-base	0,86 a 1,32m (90%)
Madigan et al (2005)	indoor	RF (802.11)	Probabilístico	rede-base	6,10m
SPINE Capkun e Hubaux (2005)	outdoor + indoor	Qualquer um	Determinístico	rede-base	sem informação
SeRLoc Lazos e Poovendran (2004)	outdoor + indoor	Qualquer um	Determinístico	rede-base	sem informação
DV-Hop Nicolescu e Nath (2001)	outdoor + indoor	RF	Determinístico	cliente-base	sem informação
APIT He et al (2003)	outdoor + indoor	RF	Determinístico	cliente-base	sem informação
SPA Capkun et al (2001)	outdoor + indoor	RF	Determinístico	cliente-base	sem informação
AHLoS Savvides et al (2001)	outdoor + indoor	US	Determinístico	cliente-base	sem informação
Biswas e Ye (2004)	outdoor + indoor	Qualquer um	Determinístico	rede-base	sem informação
AFL Priyantha et al (2003)	outdoor + indoor	Qualquer um	Determinístico	cliente-base	sem informação
MobiLoc Dutta e Bergbrieter (2003)	outdoor + indoor	US	Determinístico	cliente-base	sem informação

**Figura 35 – Erro máximo de posicionamento alcançado e classificação das tecnologias desenvolvidas para rastreamento. Fonte: adaptado de Pandey e Agrawal (2006).**

## 3.2 Aspectos conclusivos sobre as tecnologias para rastreo

### 3.2.1 Restrições impostas pela tecnologia atual

A aplicação de tecnologias para rastreo é vasta. Podem ser aplicadas não só para atividades relacionadas à logística e registro de dados no chão-de-fábrica, mas para um campo vasto de aplicações, como a autonomia de máquinas, a localização de equipamentos móveis para manutenção, uso em museus, bibliotecas e feiras, acompanhamento de rebanhos, entre outras coisas. Segundo o IDC<sup>18</sup> (2009), isso acontece devido às necessidades de redução de custo, conforme relata:

*“a redução de custos esteve sempre presente, os ganhos em flexibilidade e em capacidade de resposta e execução em tempo real continuam sendo as grandes prioridades em setores de matéria-prima, indústria, transportes e serviços. Neste contexto, uma nova geração de tecnologias de mobilidade e rastreo vem colocar ao alcance das empresas que souberem investir, novos ganhos em matéria de redução de custos, mas, sobretudo, ganhos de competitividade derivados de uma capacidade de resposta e de colaboração acrescidas ao longo das cadeias logísticas”.*

Esta possibilidade de redução de custos e aumento de produtividade é foco também da ME (OHNO, 1997; MONDEN, 1984). Todas essas oportunidades de uso, além da grande ampliação das redes de internet, fizeram com que houvesse investimento para desenvolver tecnologias e padrões voltados às possibilidades wireless. Porém, pelo que foi visto nos trabalhos pesquisados, o que têm levado inúmeras engenharias no mundo a pesquisar tecnologias para rastreo, é a minimização do erro de posicionamento. Essas pesquisas buscam trabalhar com as variáveis envolvidas no processo de rastreo (ambiente, método de cálculo, infraestrutura e princípio físico), de maneira que possa ser encontrada a melhor combinação de fatores e um algoritmo que proporcione melhores resultados da estimação de posicionamento de objetos. Porém, a maioria dos trabalhos e tecnologias apresentadas são modelos e não estão disponíveis para aplicações comerciais.

---

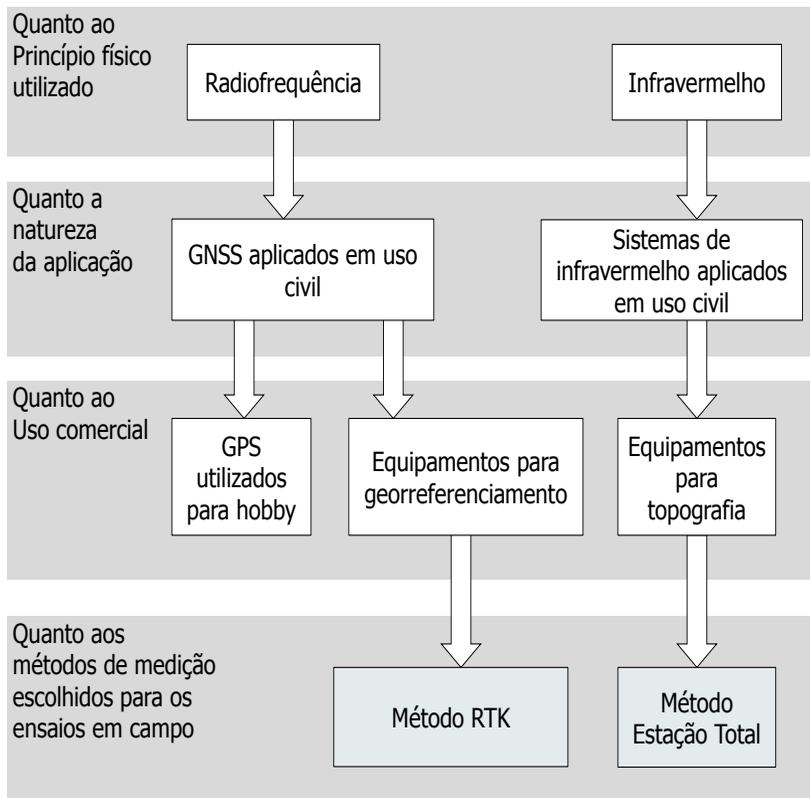
<sup>18</sup> A IDC é uma empresa mundial na área de "market intelligence", serviços de consultoria e organização de eventos para os mercados das Tecnologias de Informação, Telecomunicações e Eletrônica de Consumo.

Encontrar meios para minimizar os erros de posicionamento, mesmo que complexos, têm elevada importância, e os trabalhos deverão continuar a evoluir neste sentido nos próximos anos. A utilização do rastreamento em ambiente *indoor*, ou seja, dentro de prédios e galpões ainda é um desafio. Prédios que abrigam fábricas possuem obstáculos (paredes, divisórias, muros, telhados, grandes equipamentos, produtos em processos, bancadas, entre outros), aumentam as chances de erros de posicionamento.

Outra restrição das tecnologias para rastreamento é a exigência de existir uma rede-base congregando várias ELBs (estações rádio base), além de unidades para processar o algoritmo para estimação de posicionamento. Muitas empresas não têm redes preparadas para coleta de dados no processo produtivo e uma instalação deste porte implica em altos investimentos. O sistema inventado por Sonnenschein e Rosenthal (2007), e posteriormente registrado em patente, necessita de instalação de uma rede-base com diversas ELBs para detecção de posicionamento, aplicando o RFID para coletar dados e fazer o MFV. Esta solução é complexa, e não atende os requisitos de simplicidade e facilidade de operação da ME. Desta forma, para atingir os resultados esperados neste projeto, estão descartadas tecnologias que utilizam redes-base.

### **3.2.2 Escolha da tecnologia para rastrear processos industriais**

A proposta deste trabalho foi construída através de uma série de questionamentos e constatações (Figura 11) realizadas sobre o tema da ME, MFV e sobre rastreamento. No capítulo 2 foram apresentados os tipos de mapas para ilustrar processos industriais existentes. No capítulo 3 foi apresentada a arquitetura de sistemas de rastreamento, apontando caminhos e destacando restrições para o uso da tecnologia, com ênfase para a necessidade de utilização de sistemas portáteis e de baixo custo. A partir destes argumentos, entendeu-se que a tecnologia comercial viável para aplicação no trabalho, conforme ilustrado na Figura 36, dependeu diretamente do princípio físico utilizado, da natureza da aplicação, da existência de equipamentos no mercado e dos meios de medição disponíveis para os ensaios em campo.



**Figura 36 – Métodos de medição selecionados para realização de ensaios em campo.**

Quanto ao princípio físico escolhido, decidiu-se por dois tipos, radiofrequência e infravermelho. Ambos foram escolhidos por serem equipamentos portáteis, fáceis de utilizar, sem fios e com bateria de longa duração. A diferença entre eles é que os equipamentos que funcionam por radiofrequência dependem da qualidade da recepção de sinais. Os equipamentos por infravermelho dependem da visualização entre a estação-base e o espelho reflexivo, que recebe e emite a luz enviada pela estação-base utilizada para cálculo do posicionamento.

Quanto à natureza da aplicação, optou-se por Sistemas de Posicionamento Via Satélite (GNSS), devido à desnecessidade de

infraestruturas pré-instaladas na fábrica e por ser encontrado comercialmente<sup>19</sup>, assim como as tecnologias que usam infravermelho.

Quanto ao uso comercial, o GNSS pode ser classificado conforme sua precisão de posicionamento: GPSs utilizados para hobby e equipamentos para georreferenciamento. Os equipamentos utilizados para topografia utilizam tecnologia de infravermelho são acessíveis e fáceis de encontrar comercialmente, e por isso foram escolhidos para serem testados. Os equipamentos de GPS utilizados para *hobby* foram descartados porque os resultados dos ensaios realizados provaram que o desvio-padrão de posicionamento ficou muito acima dos valores necessários para mapeamentos em processos (ver itens 4.1.1 e 4.1.2).

Quanto aos métodos de medição utilizados para aplicação em campo foi escolhido o **método RTK**, utilizado para georreferenciamento, devido à boa precisão de posicionamento, facilidade de uso, portabilidade e disponibilidade, e o **método Estação Total**, devido às mesmas qualidades destacadas para o método RTK.

---

<sup>19</sup> Equipamentos de GNSS são classificados quanto ao uso, podendo ser aplicados em usos civis e militares.



## **4 DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA CONSTRUÇÃO DE MFVs APOIADOS POR EQUIPAMENTOS PARA RASTREIO**

Neste capítulo será apresentado um método para construção de MFVs apoiado por sistemas de rastreo, a fim de buscar respostas para o problema de pesquisa. O desenvolvimento do método foi dividido em duas partes. A primeira parte aborda o estudo sobre o uso de equipamentos para georreferenciamento aplicados à coleta de dados em processos produtivos e a segunda parte, considerada gerencial, tratará dos procedimentos necessários para transformar os dados obtidos pelos equipamentos (coordenadas geográficas e tempo) em MFVs.

### **4.1 Equipamentos para rastreo voltados à construção de MFVs**

Foram escolhidas duas tecnologias para rastreo para execução dos testes: infravermelho e sinais de radiofrequência, gerada por GNSS (Figura 36). Para analisar a potencialidade destas duas tecnologias, decidiu-se dividi-las sob a ótica da aplicação, caracterizada como “tecnologias utilizadas para *hobby*” e “tecnologias de uso profissional”. Os resultados encontrados são apresentados nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3

#### **4.1.1 Ensaios com equipamentos de GNSS utilizados para *hobby***

A proposta inicial deste trabalho era construir MFVs a partir de dados coletados no processo produtivo, através de pontos medidos por equipamentos de GPSs de baixo custo, normalmente utilizados para *hobby*. Para avaliar a viabilidade desta proposta realizaram-se ensaios. Foram testados diversos dispositivos eletrônicos com capacidade para receber e processar sinais de GPS (GPSs automotivos, aparelhos de celulares e GPSs portáteis). Os resultados encontrados foram considerados ruins para a precisão de posicionamento necessária para aplicá-las em processos industriais. Os resultados obtidos permitem conhecer o posicionamento do objeto rastreado em um raio de 20m, ou seja, o objeto a ser rastreado pode estar em qualquer lugar em uma área produtiva com área de 20 X 20 (m), inviáveis para mapeamento de processos que possuem pontos a serem coletados em uma área deste tamanho.

A partir dos dados obtidos pelos equipamentos de uso comum, importantes para que o trabalho pudesse prosseguir, decidiu-se procurar

alternativas de equipamentos de GPS que pudessem fornecer dados melhores. A estratégia adotada foi buscar por tecnologias de última geração, de modo que fosse possível atender as necessidades deste trabalho. Depois de muitos contatos, encontrou-se uma empresa em São Paulo, a SmartCore<sup>20</sup>, que representa a u-blox, que comercializa um *chips* de última geração para fabricar equipamentos de GPS. Para divulgar o produto e demonstrar suas potencialidades, a empresa disponibiliza um kit de desenvolvimento que contém uma placa eletrônica (*chip*) com antena, software, fontes e cabos de interface (ilustrados na Figura 37). Testando este kit, é possível avaliar as qualidades e potencialidades do produto (*chip*). Conseguiu-se o kit emprestado para realização de ensaios de avaliação de desempenho na coleta de dados em processos produtivos.

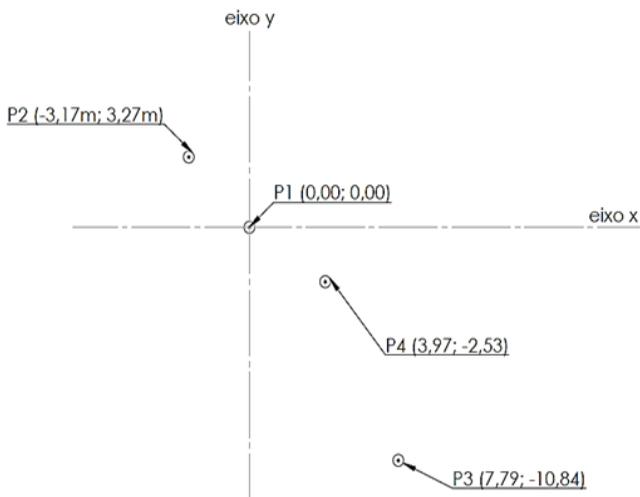
---

<sup>20</sup> Agradecimento ao Sr. Ricardo Adulis, gerente de vendas da empresa SmartCore, pelo empréstimo do kit GSM+GPS utilizado nos ensaios realizados com o equipamento de GPS.



**Figura 37 – Kit GSM+GPS para demonstração do *chip* eletrônico utilizado para fabricação de equipamentos de GPS.**

Foram realizados ensaios utilizando o kit GSM+GPS em campo aberto, visando identificar qual a precisão de posicionamento possível de ser alcançada. Foram coletados valores em quatro pontos distintos (Figura 38), a partir da variação da taxa de aquisição (número de pontos coletados por minuto).



**Figura 38 – Pontos coletados a partir do equipamento de GPS.**

Os valores com menor variação encontrada para o posicionamento foram com a taxa de aquisição regulada para coletar 100 pontos por minuto. O valor máximo de desvio-padrão obtido nos pontos foi de 2,37m em área totalmente aberta. A Figura 39 ilustra os resultados compilados dos ensaios realizados com o kit de desenvolvimento cedido para realização dos ensaios.

Nome	Pontos	Y (m)	X (m)	Desv Padrão X (m)	Desv Padrão Y (m)	Desv Padrão combinado X e Y (m)	Distância (m)
Área 1	1	-	-	0,88	1,71	1,92	-
	2	3,27	- 3,17	0,22	0,25	0,33	4,55
	3	- 10,84	7,79	2,13	1,03	2,37	13,35
	4	- 2,53	3,97	0,86	1,79	1,99	4,71

**Figura 39 – Compilação dos ensaios realizados com o kit GSM+GPS cedido pela SmartCore, com nível de confiança de 95% segundo fabricante.**

Os resultados publicados na Figura 39 foram compilados para poder expressar os valores dos desvios-padrão de posicionamento, por isso resumem-se em uma simples tabela. Apesar dos resultados serem

considerados melhores, quando comparados tecnologias mais antigas, existiram variáveis fora de controle que aumentaram os valores do desvio-padrão em situações imprevistas, como por exemplo, medições perto de árvores e quando o céu fica nublado. Estas variações prejudicam o uso deste tipo de equipamento para coletar dados em processos produtivos. Os resultados obtidos por estes equipamentos sinalizaram a necessidade de buscar outros métodos de rastreamento, que pudessem oferecer maiores precisões de posicionamento e proporcionar resultados de medição mais confiáveis.

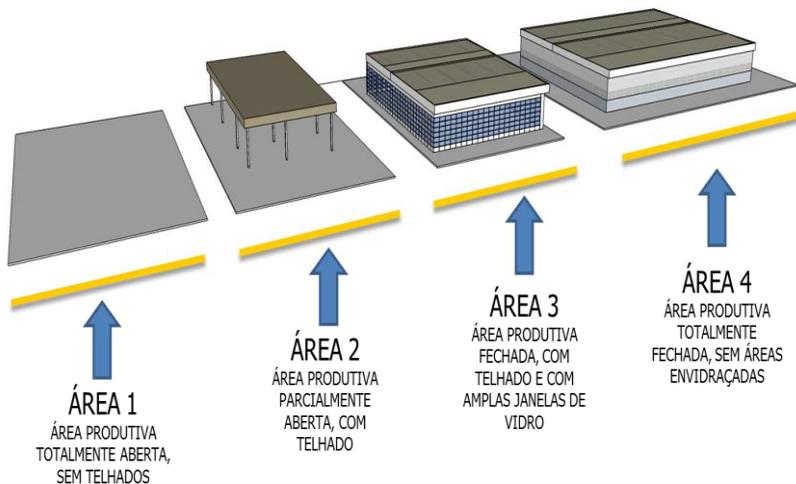
#### **4.1.2 Ensaios realizados por equipamentos de uso profissional**

Depois verificar o emprego de equipamentos de GPS utilizados para hobby na coleta de pontos em processos produtivos, o desafio foi buscar alternativas para realização deste trabalho. Depois de estudos a respeito, descobriu-se a possibilidade de utilização de equipamentos de GNSS e infravermelho para usos profissionais, aplicados à georreferenciamento<sup>21</sup>. A potencialidade mais explorada por equipamentos para georreferenciamento é a sua capacidade para realizar medições em ambientes de céu aberto, denominadas *outdoor*. Equipamentos para georreferenciamento são construídos essencialmente para esta finalidade e apresentam resultados com incerteza de medição de alguns milímetros. Porém, em medições realizadas sob telhados, debaixo de árvores e em meio a prédios, sabe-se que os sinais dos satélites são atenuados e a precisão de posicionamento piora. Uma das dúvidas recorrentes é até que ponto os resultados, mesmo coletados por equipamentos com os sinais atenuados, podem ser utilizados para construir MFVs.

Para auxiliar na identificação das possíveis situações onde os dados para construção de MFVS podem ser coletados, quais equipamentos podem ser utilizados e quais predefinições devem ser realizadas antes das medições, elaborou-se um guia com quatro tipos de ambientes segundo a possibilidade de recepção de sinal, ilustrado na Figura 40.

---

<sup>21</sup> Agradecimento ao Prof. Francisco Oliveira, da UDESC, pela cessão dos equipamentos e para o Msc. Eng.<sup>a</sup> Flavio Boscato, pela disponibilidade para operar os equipamentos nas coletas de dados em campo e pelo tempo cedido para discussão dos resultados obtidos.



**Figura 40 – Áreas de sistemas produtivos classificados segundo possibilidades para visualização de satélites para georreferenciamento.**

A Área 1 é o exemplo de uma área totalmente aberta, utilizada para produções que são feitas a céu aberto. A Área 2 é uma área coberta, mas sem paredes laterais. A Área 3 é uma área coberta, mas com amplas janelas de vidro, que poderão em alguns casos permitir a visualização do céu (e dos satélites). A Área 4 é de um prédio fechado e com poucas janelas. Pode ser um edifício de vários andares, por exemplo.

- **Execução dos ensaios em campo**

Escolheu-se como local de ensaio, um posto de gasolina em Florianópolis/SC. Este local foi escolhido (figura 41) porque reproduz as Áreas 1 e 2 (área totalmente aberta e área com cobertura).



**Figura 41 – Local de realização da coleta de dados com equipamento de georreferenciamento e estação total.**

Inicialmente foram realizadas medições em céu aberto (área 1), que reproduzem medições realizadas em áreas produtivas que funcionam fora de galpões. Para simular área produtiva foi utilizado primeiro o equipamento que faz medições pelo método RTK. A figura 42 ilustra a montagem do equipamento RTK para medições em céu aberto.



**Figura 42 – Montagem do equipamento RTK para medições em céu aberto.**

As medições pelo método RTK são feitas por um equipamento composto por duas estações com antenas que captam sinais de satélites GPS e GLONASS e um coletor de dados chamado RTK. Uma das antenas (antena 1) fica montada em um tripé (ilustrado na

**Figura 43)**, nivelado, que determina o ponto de referência da medição. A outra antena (antena 2) fica montada em outra haste, que também serve para fixar o RTK. A haste é levada em cada ponto de medição, e serve para demarcar o ponto exato a ser medido. O coletor de dados se comunica com as antenas por sinal de rádio, e serve para capturar a posição de latitude, longitude, altitude e a hora, através da triangulação realizada a partir da comunicação entre os satélites e as antenas. Quando o ponto a ser coletado está na posição que interessa, o operador dispara um comando. A partir deste comando, o equipamento começa a adquirir sinais repetidos de posicionamento em frações de segundos. O equipamento coleta os pontos e calcula automaticamente a média e o desvio-padrão das medições de posicionamento. Quando o desvio-padrão do posicionamento adquire valor inferior a um valor pré-definido, o equipamento registra a informação. Os resultados dos valores de posicionamento apresentados pelo equipamento (latitude, longitude e altitude) são sempre acompanhados pelo desvio padrão, com

exceção do horário de coleta, informado pelo relógio eletrônico dos satélites.



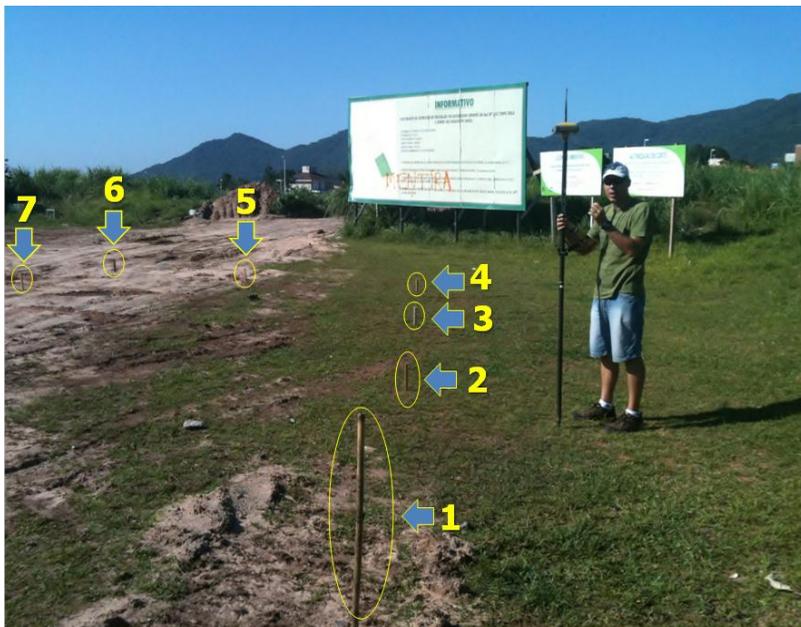
**Figura 43 – Montagem da antena 1 no tripé.**

A antena 2 e coletor de dados ficam montados na haste de medição, e são levados em cada ponto a ser medido (Figura 44).



**Figura 44 – Equipamento para coleta de dados: haste de medição, coletor de dados RTK e antena 2.**

Para fazer as medições em céu aberto demarcaram-se com estacas fixadas no chão os pontos que simulam uma sequência de postos de trabalho em uma linha de produção, que serviu de referência para entender a dinâmica de percorrer uma linha de produção, mesmo que simulada, com o equipamento RTK. A “linha de produção” definida tem sete postos de trabalho, formando um layout tipo “L” (Figura 45).



**Figura 45 – Áreas demarcadas para simular uma linha de produção.**

Os pontos foram coletados pelo método RTK e pelo método de estação total, ambos emulando uma linha produção demarcada no chão tal qual ilustrado na Figura 45. A Figura 46 ilustra o início dos trabalhos com a medição do primeiro posto de trabalho simulado, seguido pelas medições realizadas sob a cobertura do posto de gasolina, simbolizando a área 2.



**Figura 46 – Início do trabalho com a coleta de dados no primeiro ponto da “linha de produção” e a medição debaixo da estrutura do posto de gasolina, que simula a condição da ÁREA 2 (Figura 40).**

Depois das medições realizadas pelo método RTK, foram realizadas medições através do Método de Estação Total, utilizando o mesmo ambiente de ensaios, delimitado pela Área 1 e Área 2 (Figura 40).



**Figura 47 – Setup da Estação Total e medição do segundo ponto que simula a linha de produção em céu aberto.**

- **Planejamento dos ensaios**

Foram realizados diversos tipos de ensaios e medições, com o objetivo de entender os equipamentos e observá-los sob a ótica da construção de MFVs, visando elaborar um método que pudesse ser utilizado para coletar dados nos processos produtivos. Os ensaios realizados através dos métodos RTK e Estação Total foram resumidos na Figura 48.

Método de medição	Ensaio	Tempo para que o equipamento colete os dados (segundos)	Tipo de solução	Tipo de área ensaiada	Nº de pontos coletados
RTK	<b>Ensaio 1:</b> 1,0 segundo para coleta, em área aberta, em 07 pontos de coleta; solução Fixa e Diferencial de fase	1	Fixo e Diferencial de fase	ÁREA 1 (ABERTA)	7
	<b>Ensaio 2:</b> 3,0 segundos para coleta, em área aberta, em 07 pontos de coleta; solução Fixa e Diferencial de fase	3			7
	<b>Ensaio 3:</b> 15,0 segundos para coleta, em área aberta, em 07 pontos de coleta; solução Fixa e Diferencial de fase	15			7
	<b>Ensaio 4:</b> 1,0 segundo para coleta, em área semi-aberta, em 03 pontos de coleta; solução Flutuante e Diferencial de fase	1	Flutuante e Diferencial de fase	ÁREA 2 (SEMI-ABERTA)	3
	<b>Ensaio 5:</b> 5,0 segundos para coleta, em área semi-aberta, em 03 pontos de coleta; solução Flutuante e Diferencial de fase	5			3
	<b>Ensaio 6:</b> 15,0 segundos para coleta, em área semi-aberta, em 03 pontos de coleta; solução Flutuante e Diferencial de fase	15			3
	<b>Ensaio 7:</b> Tempo decidido de forma autônoma pelo equipamento, em área semi-aberta, em 03 pontos de coleta; solução Flutuante e Diferencial de fase	Autônomo, decidido pelo equipamento	Autônomo		3
ESTAÇÃO TOTAL	<b>Ensaio 8:</b> Tempo dependente dos operadores da estação; em área aberta, em 07 pontos de coleta	Flutuante, dependente dos operadores da estação	Não aplicável	ÁREA 1 (ABERTA)	7
	<b>Ensaio 9:</b> Tempo dependente dos operadores da estação, em área semi-aberta, em 07 pontos de coleta	Flutuante, dependente dos operadores da estação	Não aplicável	ÁREA 2 (SEMI-ABERTA)	7

**Figura 48 – Ensaios realizados na região do Posto BR na Lagoa da Conceição em Florianópolis/SC.**

- **Ensaio pelo Método RTK:**

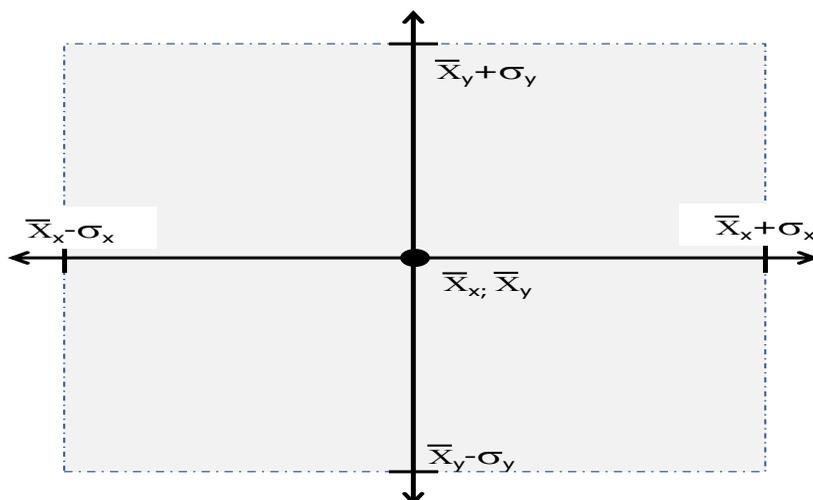
Os Ensaio 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 foram realizados pelo Método RTK. A Figura 49 ilustra os resultados obtidos pelo equipamento.

Nome	Pontos	Y (m)	X (m)	Desv Padrão Y (m)	Desv Padrão X (m)	Desv Padrão combinado X e Y (m)	Hora Início	Distância (m)
Ensaio 1	1	2,6854	-1,3243	0,0057	0,0058	0,0081	20/12/2011 11:09	3,0119
	2	6,9132	0,5899	0,0062	0,0076	0,0098	20/12/2011 11:10	6,9446
	3	9,9748	1,9646	0,0060	0,0078	0,0098	20/12/2011 11:10	10,1716
	4	13,0841	3,3264	0,0080	0,0104	0,0131	20/12/2011 11:10	13,5032
	5	15,0740	1,0377	0,0051	0,0051	0,0074	20/12/2011 11:11	15,1112
	6	16,4557	-1,0309	0,0060	0,0055	0,0081	20/12/2011 11:11	16,4914
	7	14,0334	-2,5258	0,0057	0,0052	0,0077	20/12/2011 11:11	14,2639
Ensaio 2	1	2,7288	-1,3123	0,0025	0,0029	0,0038	20/12/2011 11:12	3,0455
	2	6,8918	0,5878	0,0034	0,0045	0,0056	20/12/2011 11:12	6,9237
	3	9,9815	1,9724	0,0025	0,0028	0,0038	20/12/2011 11:12	10,1794
	4	13,0641	3,2720	0,0031	0,0033	0,0045	20/12/2011 11:13	13,4705
	5	15,0769	1,0251	0,0033	0,0035	0,0048	20/12/2011 11:13	15,1139
	6	16,4390	-1,0205	0,0025	0,0025	0,0035	20/12/2011 11:13	16,4741
	7	14,0122	-2,4701	0,0030	0,0034	0,0045	20/12/2011 11:13	14,2331
Ensaio 3	1	2,7260	-1,3144	0,0017	0,0015	0,0023	20/12/2011 11:14	3,0438
	2	6,8937	0,5909	0,0020	0,0025	0,0032	20/12/2011 11:15	6,9256
	3	9,9402	1,8747	0,0019	0,0026	0,0032	20/12/2011 11:15	10,1202
	4	13,0909	3,3354	0,0017	0,0020	0,0026	20/12/2011 11:15	13,5121
	5	15,0827	0,9902	0,0014	0,0014	0,0020	20/12/2011 11:16	15,1173
	6	16,4490	-1,0190	0,0016	0,0016	0,0023	20/12/2011 11:17	16,4839
	7	14,0096	-2,4578	0,0016	0,0014	0,0021	20/12/2011 11:17	14,2283
Ensaio 4	1	29,3505	-28,8106	1,4549	0,6126	1,5786	20/12/2011 11:22	45,2935
	2	40,1667	-34,6589	1,2723	2,0763	2,0941	20/12/2011 11:22	53,0596
	3	47,8262	-56,5183	1,1837	9,1477	9,2240	20/12/2011 11:22	74,0154
Ensaio 5	1	29,0157	-31,7756	0,2014	0,1162	0,2325	20/12/2011 11:26	43,7556
	2	40,0975	-39,4584	0,4354	0,8154	0,9244	20/12/2011 11:26	57,2465
	3	47,0579	-54,7312	0,2677	1,7145	1,7353	20/12/2011 11:27	72,1612
Ensaio 6	1		-30,7188	0,1122	0,0923	0,1453	20/12/2011 11:28	43,1384
	2	37,5847	-40,9506	0,0738	0,9425	0,9454	20/12/2011 11:30	59,5725
	3	48,5480	-48,5371	0,0878	0,1125	0,1427	20/12/2011 11:31	68,6791
Ensaio 7	1	31,4905	15,3860	5,5398	5,5241	7,8234	21/12/2011 11:34	35,0001
	2	42,1296	-30,4464	0,6411	0,6393	0,9054	22/12/2011 11:35	51,8952
	3	23,2049	-18,2135	0,6621	0,6671	0,9399	23/12/2011 11:36	29,5098

**Figura 49 – Resultados dos ensaios realizados pelo Método RTK na Área 1 (aberta) e Área 2 (semiaberta).**

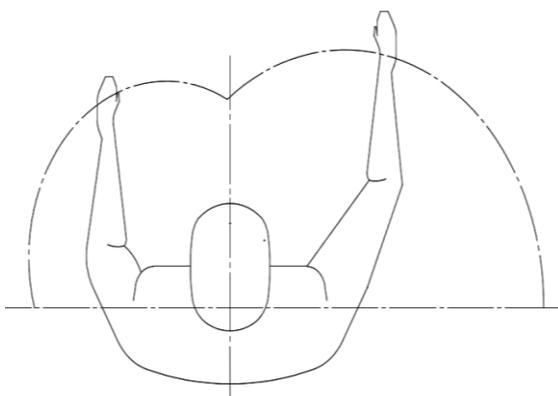
Os equipamentos para rastreamento fornecem resultados de latitude, longitude e altitude, respectivamente valores nos eixos X, Y e Z. Pontos formados por estas três dimensões formam um ponto tridimensional (3D). Para construção de MFVs interessa somente pontos bidimensionais, que servem para fazer um layout de produção utilizando a planta da fábrica. Assim, descartaram-se os resultados da altitude (eixo Z) para análise da precisão de posicionamento (desvio-padrão). A partir desta simplificação de resultados fez-se a análise de cada ponto obtido, a fim de se construir uma tabela que determina a cada uma das posições medidas. O equipamento calcula e apresenta o desvio-padrão de posicionamento a partir dos pontos coletados, a partir das repetições de medições em um mesmo ponto coletado.

A Figura 50 ilustra o resultado de medição típico do equipamento que mede pelo método RTK. No centro do gráfico posicionam-se as médias das medições em X e Y, coletadas em um intervalo de tempo pré-programado pelo operador antes de iniciar as medições. Os desvios-padrão são apresentados em torno do valor médio em cada um dos eixos. Em tese, o valor medido pode estar em qualquer lugar na área delimitada pelo quadrado, formado pelos valores máximos (média + desvio-padrão) e mínimos (média - desvio-padrão) obtidos nas duas direções, fornecidos pelo próprio equipamento de medição, a partir de um nível de confiança de 95%.



**Figura 50 – Valores das médias no eixo X e Y e seus respectivos desvios-padrão plotados no gráfico.**

**A Erro! Autoreferência de indicador não válida.** Figura 51 ilustra os resultados dos ensaios 1, 2 e 3 na Área 1 (conforme definido na Figura 40, área aberta), comparados a um operador em um posto de trabalho típico. Os três quadrados diminutos ilustram a variação nos eixos x e y de cada medição (ver Figura 50) efetuada. A figura foi construída com software de CAD e está perfeitamente em escala, considerando-se as dimensões do operador e os valores dos desvios-padrão. Os quadrados são tão pequenos porque os “tamanhos” da sua variação em relação ao operador são ínfimos.



**Ensaio 3:**

- Área 1 (aberta)
- Coleta de dados em 15 segundos;
- Fixo, com diferencial de fase;
- Desvio padrão combinado de X e Y;
- Desvio padrão médio de 7 pontos coletados;
- Desvio padrão encontrado: 0,003m;

**Ensaio 1:**

- Área 1 (aberta)
- Coleta de dados em 1 segundo;
- Fixo, com diferencial de fase;
- Desvio padrão combinado de X e Y;
- Desvio padrão médio de 7 pontos coletados;
- Desvio padrão encontrado: 0,009m;

**Ensaio 2:**

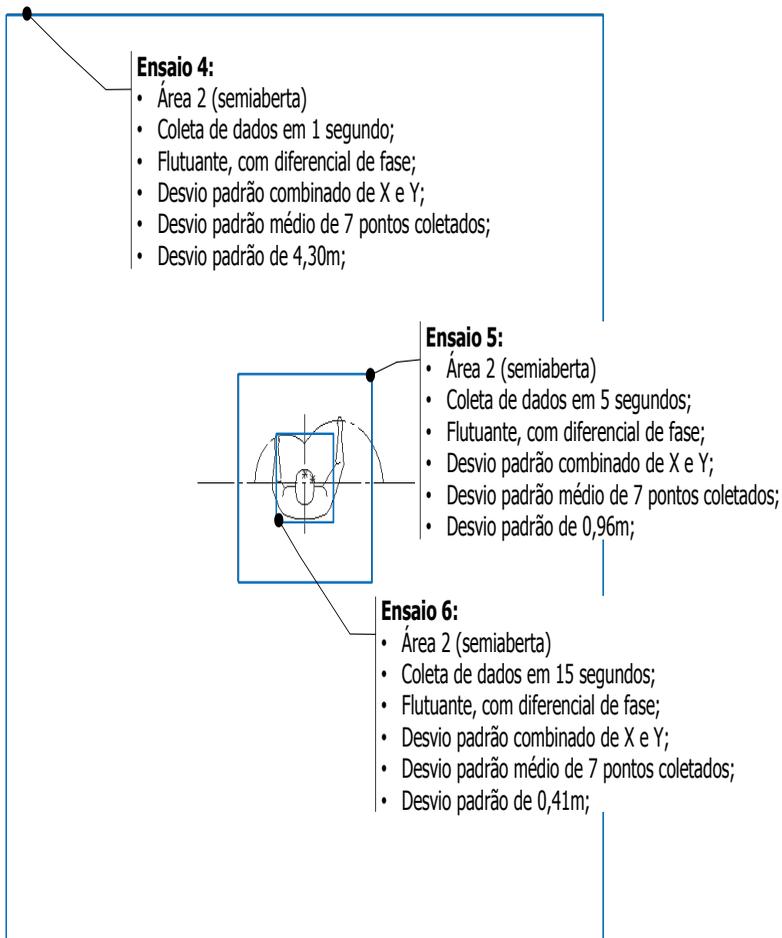
- Área 1 (aberta)
- Coleta de dados em 3 segundos;
- Fixo, com diferencial de fase;
- Desvio padrão combinado de X e Y;
- Desvio padrão médio de 7 pontos coletados;
- Desvio padrão encontrado: 0,004m;

**Figura 51 – Comparação gráfica, em escala, da média do desvio-padrão encontrado nos Ensaios 4, 5 e 6 com um posto de trabalho típico.**

A variação na coleta de dados foi o tempo pré-definido para que o equipamento calculasse o desvio-padrão do ponto medido. Pelos resultados apresentados, pôde-se perceber que quanto maior o tempo de coleta de dados, maior a precisão de posicionamento. Os dados do **Ensaio 1, Ensaio 2 e Ensaio 3** foram coletados em 1, 3 e 15 segundos, respectivamente. Em termos de escala, os dados obtidos em 15 segundos de coleta foram melhores que os dados obtidos em um segundo de coleta. Porém, todos os desvios padrão encontrados ficaram abaixo dos 10 mm, ou seja, perfeitamente possíveis de serem utilizados para medições em processos industriais que funcionam em áreas abertas (Área 1).

Nas medições em áreas semiabertas (área 2) os resultados obtidos apresentaram comportamento bem diferente, quando comparados com as medições na Área1. A Figura 52 ilustra os resultados do **Ensaio 4, Ensaio 5 e Ensaio 6**, com o tempo de coleta de tempo de coleta de 1, 5 e 15 segundos, respectivamente. Ambos foram comparados com um operador de trabalho típico, o mesmo exibido na Figura 51.

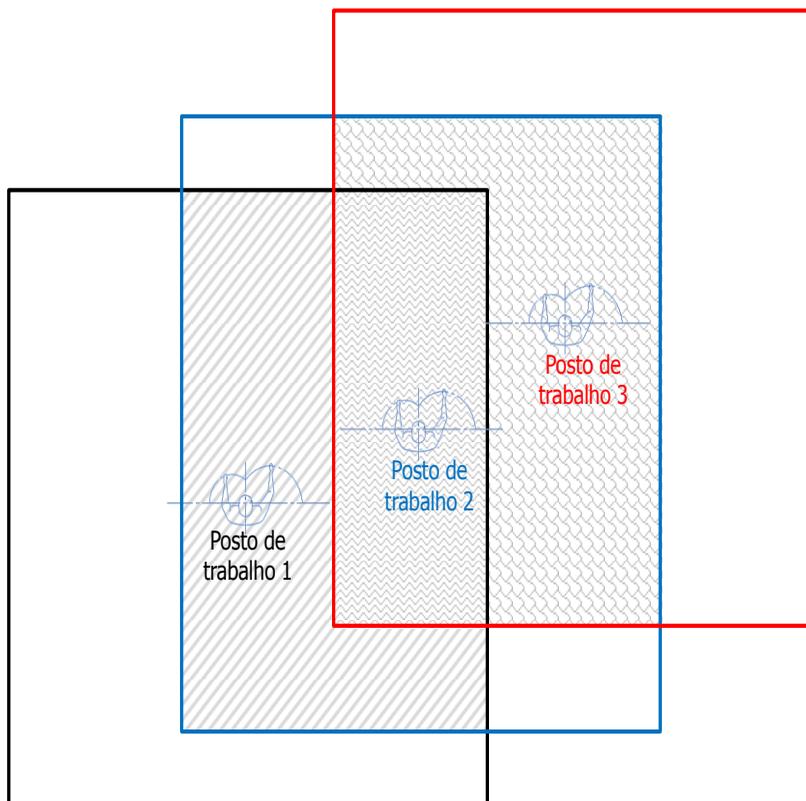
O **Ensaio 7** foi descartado, pois o tempo que o equipamento fica coletando os dados é flutuante, decidido pelo próprio equipamento através de um algoritmo desconhecido. Essa falta de controle e possível variação no tempo de pode prejudicar a coleta de dados.



**Figura 52 – Comparação gráfica, em escala, dos desvios-padrão obtidos pelos ensaios 4, 5 e 6 na área 2 (semiaberta).**

Em áreas semiabertas (Área 2, conforme Figura 40), a coleta de dados com tempo de processamento abaixo dos 5 segundos pode inviabilizar a construção de MFVs, pois a incerteza do posicionamento medido em um posto de trabalho pode interceptar o posto adjacente,

- Desvio-padrão da medição no Posto de trabalho 3
- Desvio-padrão da medição no Posto de trabalho 2
- Desvio-padrão da medição no Posto de trabalho 1
- ▨ Área de dúvida na medição entre o posto de trabalho 3 e 2
- ▨ Área de dúvida na medição entre o posto de trabalho 3, 2 e 1
- ▨ Área de dúvida na medição entre o posto de trabalho 1 e 2



criando dúvida na medição (Figura 53). As áreas hachuradas representam regiões de dúvidas no posicionamento.

**Figura 53 – Ilustração do que pode acontecer quando o tempo de medição for inferior a 5 segundos em locais semiabertos, combinada com postos de trabalho a uma distância inferior a 2 m entre si.**

A partir da realização dos ensaios e da análise dos resultados, foi possível entender como o equipamento funciona e qual a melhor combinação de variáveis para as Áreas 1 e 2. Em Áreas tipo 1, abertas,

pode-se utilizar o tempo para coleta de dados inferior a 1 segundo. Isso significa que o gargalo do sistema para realização da coleta de dados está associado à velocidade de deslocamento do operador do equipamento e não associada à velocidade de coleta de dados realizada pelo equipamento. Em áreas tipo 2, semiabertas, o gargalo do sistema está na velocidade de coleta de dados realizada pelo equipamento. Tempos de coleta inferior a 5 segundos têm desvio-padrão quase 5 vezes maior que a área ocupada por um posto de trabalho, gerando incerteza no posicionamento e inviabilizando o uso de GNSS para coleta de dados em áreas 2.

- **Ensaio pelo Método de Estação Total:**

Os ensaios pelo Método de Estação Total foram realizados no mesmo ambiente de testes utilizados para avaliar o Método RTK. A coleta não depende de sinais de satélite, nem qualquer outro tipo de sinal externo. Basta que o operador da estação-base localize o alvo (uma superfície reflexiva e multifacetada, que reflete a luz infravermelha emitida pela estação-base) e dispare um comando. A luz infravermelha sai do equipamento, reflete no alvo e volta para o equipamento. A diferença de tempo entre a emissão e a recepção da luz infravermelha determina a distância do ponto. A estação-base possui três transferidores eletrônicos e calcula os ângulos do ponto medido. A partir destes dados o equipamento gera as coordenadas do ponto medido.

No caso do equipamento utilizado para os ensaios foram necessários dois operadores para coleta dos pontos. Um dos operadores fica na estação-base e o outro operador fica responsável por posicionar o alvo no ponto que se quer medir, dando um sinal para que o operador da estação-base colete o ponto. Existem outras opções de equipamentos mais modernos, com estação-base motorizada, por exemplo, que encontra o alvo de forma automática, sem a necessidade de um operador na estação-base. Estes equipamentos serão apresentados e discutidos no capítulo de conclusões.

A Figura 54 ilustra os resultados dos ensaios realizados pelo Método de Estação Total nas Áreas aberta e semiaberta.

Nome	Pontos	Y (m)	X (m)	Desv Padrão combinado X e Y (m)	DATA	HORA	Distância (m)
Área 1 (aberta)	1	3,01	-0,46	0,000008	20/12/2011	09:58:25	3,044
	2	5,33	-4,31	0,000008	20/12/2011	09:58:44	6,855
	3	7,13	-7,22	0,000008	20/12/2011	09:58:59	10,147
	4	8,91	-10,07	0,000008	20/12/2011	09:59:14	13,445
	5	11,90	-9,30	0,000008	20/12/2011	09:59:27	15,102
	6	14,18	-8,37	0,000008	20/12/2011	09:59:40	16,466
	7	13,00	-5,83	0,000008	20/12/2011	09:59:55	14,247
Área 2 (semiaberta)	8	43,73	6,02	0,000008	20/12/2011	10:00:54	44,142
	9	54,15	8,56	0,000008	20/12/2011	10:01:16	54,822
	10	65,83	1,82	0,000008	20/12/2011	10:01:57	65,086
	11	65,66	-1,78	0,000008	20/12/2011	10:02:12	65,684
	12	55,78	-1,95	0,000008	20/12/2011	10:02:28	55,814
	13	52,92	-1,50	0,000008	20/12/2011	10:02:43	52,941
	14	45,63	-2,09	0,000008	20/12/2011	10:03:00	45,677

**Figura 54 - Resultados dos ensaios realizados pelo Método de Estação Total na Área 1 (aberta) e Área 2 (semiaberta).**

Como o princípio de medição utilizado é a luz, variações de poucas centenas de metros não são suficientes para aumentar os valores do desvio-padrão, por isso foram os mesmos para todas as medições efetuadas. Os resultados entregues pelo equipamento são expressos em ppm (partes por milhão). No caso das medições realizadas, o desvio-padrão encontrado foi de 8 ppm, que significa 0,000008 m. O tipo de área – aberta ou semiaberta, também não influencia os resultados de medição. Desde que seja possível a Estação-Base enxergar o espelho reflexivo, os dados poderão ser coletados. Este método de trabalho se mostrou de grande aplicação para construção de MFVs, desde que haja uma forma para fazer a Estação-Base enxergar o espelho reflexivo sem que haja pessoas, máquinas, ou qualquer outro obstáculo impedindo a estação-base de enxergar o alvo e registrar o ponto de medição.

#### **4.1.3 Compilação e análise dos resultados obtidos pelos equipamentos**

Os ensaios realizados foram importantes, porque a partir deles foi possível entender como os equipamentos funcionam e quais as variáveis envolvidas no processo de medição. O desenvolvimento do método será

beneficiado por estes resultados, já que foram mapeadas quais as condições em que o uso de um equipamento é mais recomendado do que outro. Tem-se como exemplo desta afirmação o uso de equipamentos de GPS utilizados para *hobby*, cujos resultados obtidos fizeram com que se descartasse seu uso na coleta de dados em processos produtivos. A Figura 55 apresenta os resultados dos ensaios realizados em campo na área 1 e área 2, relacionando-as com as distâncias entre postos de trabalho e métodos de medição.

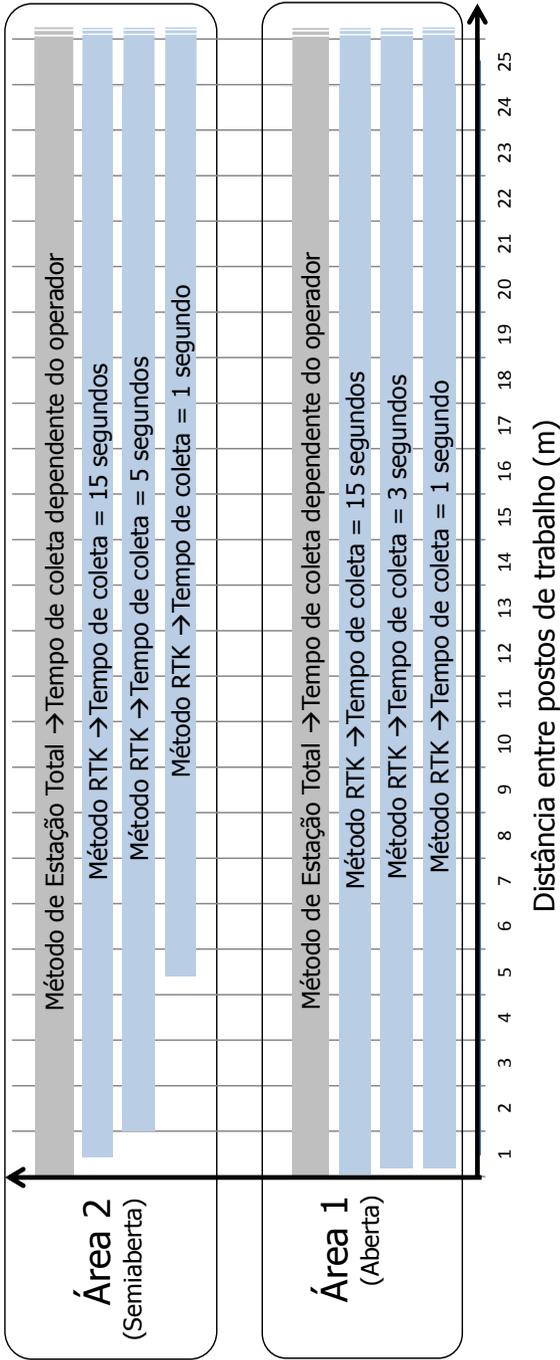


Figura 55 – Tipos de áreas de processos produtivos, métodos de medição, resultados de desvio-padrão e distâncias entre postos de trabalho (m).

A partir da análise da Figura 55 pode-se chegar a algumas conclusões importantes:

- Mesmo em áreas abertas, GPSs utilizados para *hobby* têm dificuldades para medir dados em processo produtivos. Variações imprevisíveis podem ocorrer, como por exemplo, a condição atmosférica, ampliando os valores do desvio-padrão de posicionamento para valores desconhecidos;
- Em áreas abertas (Área 1), os equipamentos que utilizam o método RTK e método de Estação Total, funcionaram de maneira satisfatória. Equipamentos que utilizam método RTK são mais práticos usar, porque não precisam de dois operadores e porque não dependem da visualização mútua entre as estações, como nos equipamentos que utilizam infravermelho. Porém equipamentos que utilizam o método RTK são mais caros (cerca de 4 vezes) do que equipamentos de Estação Total;
- Em áreas semiabertas (Área 2) os equipamentos que utilizam método RTK funcionam para medições realizadas a partir de 5 segundos de coleta de dados. Porém, a recepção de sinal está intimamente ligada a outras variáveis, como por exemplo, a existência de prédios vizinhos que impeçam a visada do céu aberto pelas laterais do galpão, entre outros obstáculos que possam prejudicar que as antenas 1 e 2 enxerguem o céu aberto. Neste caso, recomenda-se a realização de ensaios preliminares para avaliação dos erros de medição de um mesmo ponto a fim de certificar que os resultados poderão ser aproveitados;
- Em áreas semiabertas, as medições realizadas pelo método de Estação Total mostraram-se viáveis, e apresentaram resultados de desvio-padrão considerados excelentes para a aplicação estudada. A recomendação sobre visualização entre estação-base e alvo deve ser levada em conta;
- Considerando que este equipamento não necessita de sinais externos para funcionar, o método de Estação Total pode ser utilizado para realizar medições nas **Áreas 1, 2, 3 e 4** (Figura 40), ou seja, em processos produtivos que funcionam em

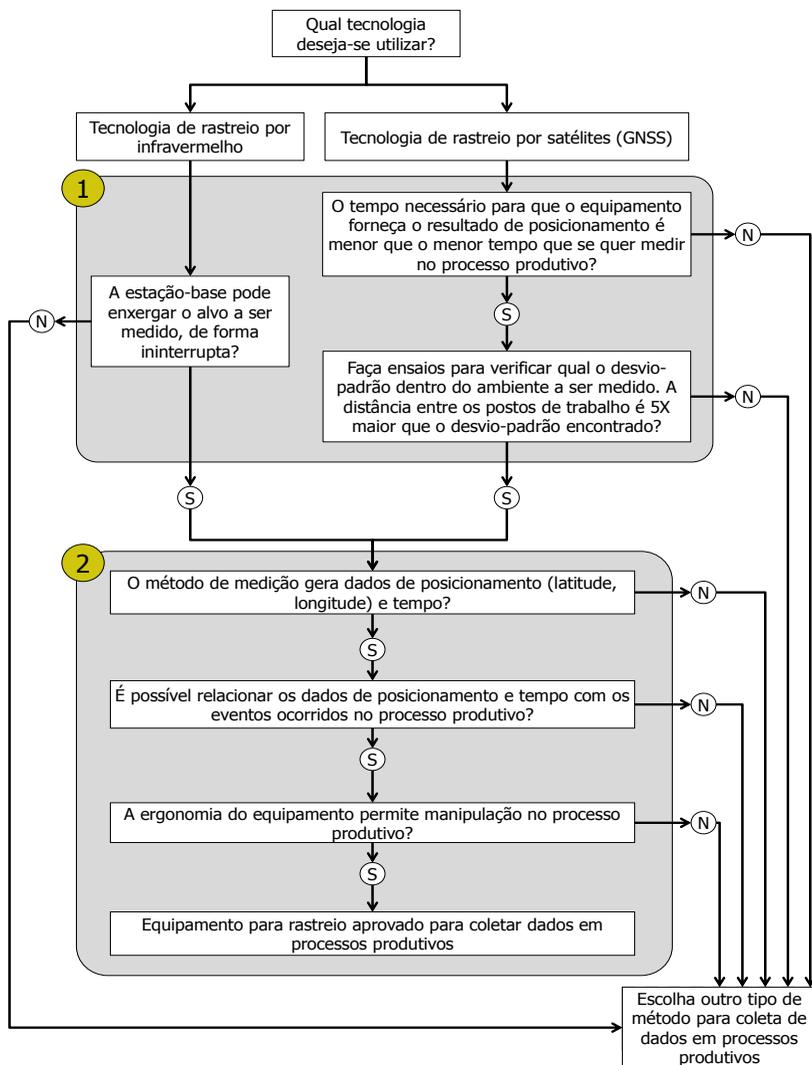
ambientes fechados e em prédios. A recomendação sobre visualização entre estação-base e alvo deve ser levada em conta;

## **4.2 Método para coleta de dados e construção de MFVs apoiado por sistemas de rastreamento**

O método proposto para coleta de dados em processos produtivos foi dividido em duas etapas. A primeira delas trata-se da seleção dos equipamentos para rastreamento utilizados na coleta de dados em processos produtivos, a partir dos resultados apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2 e 4.1.3. A segunda etapa trata-se do método de coleta de dados no processo produtivo a partir destes equipamentos, considerando como os dados são coletados, como os eventos são relacionados aos dados, como extraí-los do equipamento, entre outros aspectos importantes. O método foi desenvolvido através da execução consecutiva de medições e testes realizados em campo, descritos no capítulo 4.1.

### **4.2.1 Etapa 1: seleção dos equipamentos para rastreamento**

A seleção dos equipamentos utilizados neste trabalho concentra-se em dois sistemas distintos utilizados para rastreamento. Um deles baseia-se na tecnologia de GNSS, e o outro na tecnologia por infravermelho. São chamados de “métodos” para rastreamento porque contemplam um conjunto definidos de características (modelamento matemático, infraestrutura, princípio físico e ambiente de operação). Cada fabricante desenvolve o seu método, que nada mais é do que a melhor combinação entre o hardware (placas eletrônicas, antenas, gabinetes, entre outros) e o software. Esta combinação de soluções é projetada para se obter os melhores resultados possíveis de precisão de posicionamento em determinadas condições. Isso é feito de forma controlada em laboratório. Ao usuário final interessa avaliar um conjunto de características importantes que definem se o equipamento pode ser utilizado para coleta de dados em processos produtivos. Este processo de análise, ilustrado na Figura 56, foi construído a partir da consolidação dos conhecimentos adquiridos a partir do referencial teórico sobre tecnologias para rastreamento (capítulo 0) e a partir dos ensaios realizados em campo (item 4.1.2).



**Figura 56 – Processo de análise do equipamento de medição utilizado para coleta de dados no processo produtivo, visando à construção de MFVs.**

A Figura 56 ilustra o processo de avaliação da viabilidade técnica de utilizar os equipamentos para rastreamento na coleta de dados no processo produtivo com a finalidade de construir MFVs. A análise de viabilidade

dos equipamentos pode servir para tecnologias que utilizam GNSS e tecnologias que utilizam infravermelho. Foi subdividida em duas partes para facilitar o entendimento. A parte 1 é relativa às características particulares de cada tecnologia e a parte 2 são as características comuns às duas tecnologias. As características avaliadas em cada uma das partes são as seguintes:

- **Parte 1:**

A tecnologia por infravermelho tem a necessidade de que a estação-base “enxergue” o alvo de forma ininterrupta, de maneira que o alvo nunca possa deixar de ser visto pela estação-base. Caso isso não ocorra, corre-se o risco de “perder” o evento. Caso um corpo estranho passe entre o alvo e a estação-base no momento exato da coleta de dados, a luz emitida pela estação-base não chegará até o seu destino. O objeto ou corpo que cruzou o caminho no momento da gravação do ponto servirá como alvo. O ponto será coletado no tempo correto, mas na posição errada. Caso a superfície não tenha capacidade de refletir a luz, o ponto não será gravado. No caso da tecnologia por infravermelho, a avaliação do desvio-padrão e tempo de coleta pode ser desprezada. O desvio-padrão desta tecnologia fica abaixo dos 5 mm e o tempo fica em frações de segundos, devido à velocidade da luz.

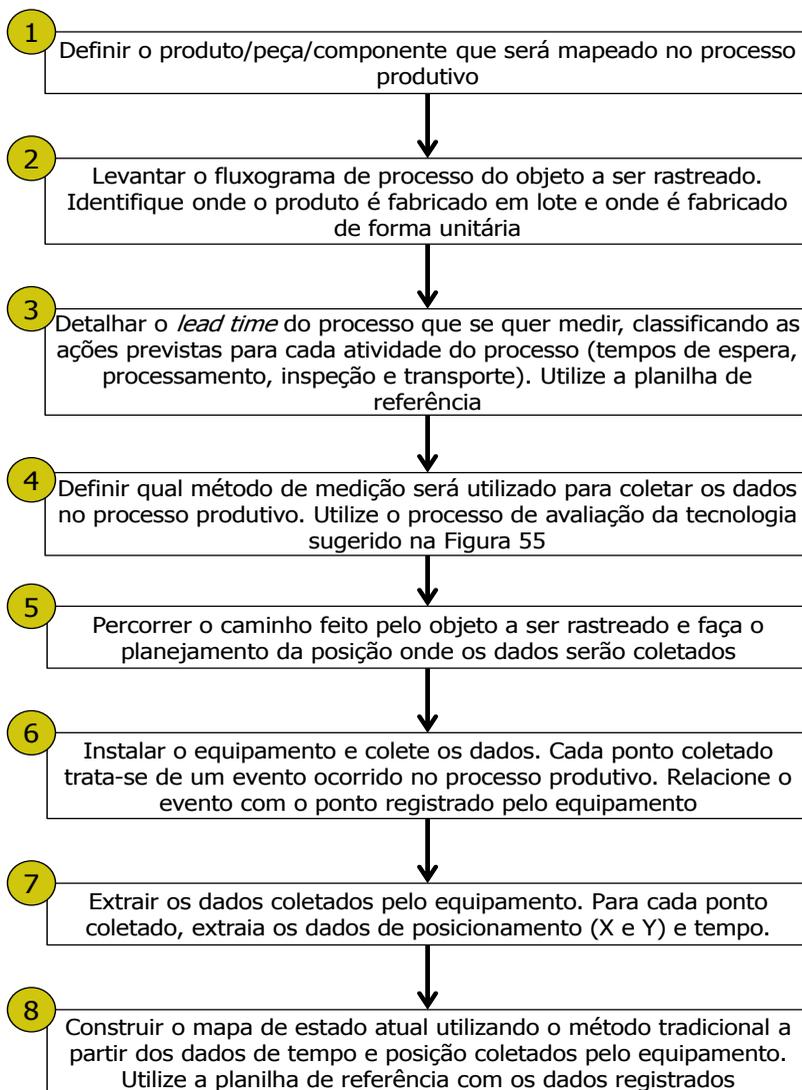
A tecnologia de rastreamento por satélites (GNSS) necessita de dois tipos de análise. A primeira delas é o tempo necessário para que o equipamento processe os dados e forneça a precisão de posicionamento. Em áreas abertas isso não é problema, pois os sinais dos satélites são pouco atenuados e o equipamento é capaz de calcular a precisão de posicionamento rapidamente (em até 1 segundo). Em áreas semiabertas os sinais são atenuados e o equipamento necessita de mais tempo para calcular a sua posição. Em casos onde os eventos acontecem em intervalos de menos de 5 segundos isso pode ser um problema, pois o equipamento não será capaz de acompanhar a velocidade do evento. A outra análise está ligada ao desvio-padrão de posicionamento calculado pelo equipamento. A distância entre os eventos precisam ser pelo menos 5 vezes maior que o desvio-padrão calculado. Recomenda-se esta margem de segurança porque o erro máximo que pode ser obtido entre dois pontos coletados equivale a 4 desvios-padrão somados aos possíveis erros de arredondamento de valores. Esta característica é importante para não gerar dúvidas de posicionamento entre dois eventos consecutivos.

- **Parte 2:**

A parte 2 é comum às duas tecnologias de medição, por isso apresentam-se de forma compartilhada. Normalmente os equipamentos para rastreamento fornecem dados de posicionamento e tempo. Porém, em alguns equipamentos estes dados não são gravados ou não é permitido o acesso aos pontos coletados. Estes tipos de equipamentos não servem. É necessário que os equipamentos para rastreamento gerem pontos que possam ser relacionados aos eventos no processo produtivo. Gravar pontos que não podem ser rastreados não interessa ao método. Os equipamentos para rastreamento precisam de mobilidade para manipulação em processos produtivos. Isso é importante para que não se perca o evento desejado. A partir destes aspectos o equipamento para rastreamento é considerado apto a ser utilizado em processos produtivos.

#### **4.2.2 Etapa 2: coleta de dados e montagem do MFV**

É necessário planejar as ações antes de medir os dados no processo produtivo. Caso isso não seja feito, corre-se o risco de coletar dados que não representam a real situação do processo produtivo. Ou ainda, corre-se o risco de coletar dados (eventos) a menos ou coletar pontos que não interessam. O método desenvolvido possui 8 etapas. A Figura 57 ilustra quais são as etapas previstas para que se possa construir o mapa de estado atual.



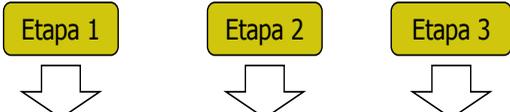
**Figura 57 – Sequência de atividades definidas para construir o Mapa de Estado Atual utilizando equipamentos para rastreamento.**

A primeira etapa prevista no método é a definição de qual produto, peça ou componente será realizado o mapeamento. No item 1.3.1 relataram-se alguns problemas e limitações da utilização do MFV para mapeamento de processos industriais. Alguns dos problemas

identificados são relacionados à escolha inadequada do produto, peça ou componente que se quer aplicar a ferramenta de MFV. Recomenda-se a leitura deste item caso haja dúvidas sobre qual produto escolher.

A segunda etapa do método refere-se ao reconhecimento do fluxograma de processo do objeto que se quer rastrear. Antes de fazer o MFV é necessário identificar quais são as atividades realizadas no processo produtivo para que se possam planejar as medições. Além disso, é importante identificar se a produção é feita de maneira unitária ou em lote para cada uma das atividades realizadas. Deve-se identificar caso a caso na planilha de referência (Figura 58). Durante a medição, se o objeto estiver sendo processado por uma etapa (atividade) definida como sendo produzido em lote, o operador do equipamento deverá registrar os tempos do lote e não das peças individualmente.

A terceira etapa detalha cada atividade que se quer mapear, identificando quando há eventos de esperas, processamento, inspeção e transporte. É possível que as atividades mapeadas no fluxo de processo sejam desdobradas em mais etapas (eventos). Cabe à tecnologia para rastreo registrar os pontos no processo produtivo, de maneira que possam ser transformados em eventos. A Figura 58 ilustra um exemplo de planilha de referência sendo preenchida para planejar os eventos a serem mapeados no processo produtivo.



Atividade	Tipo de processamento	Eventos	Nº do evento
Estampar a peça	lote	Espera do lote	1
		Processamento do lote	2
		Inspeção do lote	3
		Transporte do lote	4
Rebarbar a peça manualmente	unitária	Espera na fila	5
		Processamento	6
		Transporte	7
Estocar	lote	Espera do lote	8
		Transporte	9

**Figura 58 – Exemplo de planilha de referência utilizada para definir os eventos a serem medidos no processo produtivo.**

A quarta etapa refere-se ao tipo de equipamento utilizado para rastrear os dados no processo produtivo. Deve-se fazer a definição conforme previsto no item 4.2.1, Figura 56, pág. cxxxviii.

Na quinta etapa é prevista uma visita ao processo produtivo para que seja realizado o reconhecimento dos pontos a serem medidos pelo equipamento de medição (entender onde ocorre cada evento a ser medido no layout físico). Para os equipamentos que utilizam infravermelho, podem-se colar etiquetas reflexivas nos equipamentos/bancadas para definir os pontos exatos de coleta. Caso não haja esta possibilidade, podem-se marcar no chão os pontos de coleta utilizando fita adesiva apropriada. Caso o processo produtivo seja ao ar livre, direto no solo, podem-se colocar estacas de madeira no chão para demarcar o ponto a ser coletado. Outros artifícios poderão ser utilizados para demarcar os pontos exatos a serem mapeados no processo produtivo, desde que possam auxiliar o operador na identificação dos pontos a serem coletados. Escrever o número do evento nos marcos (etiquetas, estacas, fita adesiva, entre outros) pode facilitar na identificação dos pontos exatos para coleta de dados.

A sexta etapa é a coleta de dados por equipamentos utilizados para rastreio. Para isso, utiliza-se a planilha de referência com os eventos a serem registrados e vai-se percorrendo o processo produtivo ponto a ponto, obedecendo à marcação realizada nos pontos onde existem coletas previstas, até que todos os dados (eventos) sejam coletados pelo equipamento. Cabe ao operador identificar cada um dos pontos no equipamento no momento da coleta, de maneira que se possam recuperar os dados de maneira fácil. Isso é feito digitando o número do evento antes da coleta de dados.

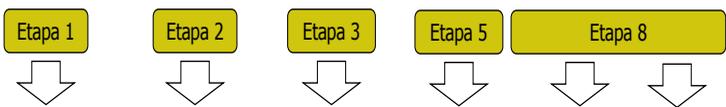
A sétima etapa é a extração dos dados. Cada equipamento possui a sua interface para descarregar os dados coletados. Alguns fornecem os dados coletados em DWG, possíveis de serem abertos diretamente em softwares de CAD, outros fornecem em arquivos TXT, outros em arquivos Excel. Cada fabricante define como pretende apresentar os dados. O equipamento “descarrega” uma série de informações que devem ser avaliadas. Os dados que não interessam são descartados. A Figura 59 exemplifica como os dados extraídos pela Estação Total são fornecidos. A maior parte das informações geradas pela Estação Total foi descartada. As únicas informações utilizadas foram colocadas em destaque, sendo “PV” o nome do evento, “E” os valores de posicionamento em x, “N” os valores de posicionamento em y, e a hora da coleta do ponto.

OBRA:FERNANDZ	OPERADOR:-----	DATA:24/01/12	HORA:08:05:06	INSTRUMENTO:TS02power-	NUMERO_DE_SERIE:1313451	DATA:24/01/12	HORA:8:27:01		
PV :MP	HZ=254.2422	VT= 91.3632	DI= 8.444	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 991.868	N= 1997.730	H= 8.313
PV :S110s	HZ=342.1057	VT= 87.2531	DI= 36.304	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 988.899	N= 2034.538	H= 10.181
PV :3	HZ=341.2748	VT= 87.4520	DI= 29.470	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 990.642	N= 2027.909	H= 9.703
PV :4	HZ=341.2747	VT= 87.4521	DI= 29.477	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 990.635	N= 2027.928	H= 9.704
PV :5	HZ=348.1348	VT= 81.3603	DI= 27.897	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 994.369	N= 2027.026	H= 14.075
PV :6	HZ=348.2330	VT= 81.1041	DI= 28.008	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 994.429	N= 2027.119	H= 14.295
PV :7	HZ=350.2059	VT= 87.0754	DI= 27.110	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 995.406	N= 2026.701	H= 11.357
PV :8	HZ=349.3847	VT= 86.5104	DI= 22.079	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 996.037	N= 2021.693	H= 9.763
PV :81	HZ=340.5350	VT= 88.0133	DI= 30.967	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 989.868	N= 2029.256	H= 9.616
PV :82	HZ=340.5349	VT= 88.0135	DI= 28.501	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 989.868	N= 2029.253	H= 9.616
PV :83	HZ=348.0412	VT= 81.4419	DI= 28.305	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 994.202	N= 2027.604	H= 14.095
PV :84	HZ=348.0412	VT= 81.4417	DI= 28.335	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 995.570	N= 2026.667	H= 14.072
PV :85	HZ=350.2634	VT= 87.0214	DI= 27.071	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 995.570	N= 2026.667	H= 14.072
PV :86	HZ=350.3713	VT= 86.5343	DI= 26.854	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.739	N= 2024.999	H= 12.331
PV :87	HZ=354.4957	VT= 84.4135	DI= 25.202	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.739	N= 2024.999	H= 12.331
PV :88	HZ=354.4957	VT= 84.4135	DI= 25.202	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 996.804	N= 2022.400	H= 10.700
PV :89	HZ=341.5329	VT= 88.1345	DI= 30.818	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 989.859	N= 2029.092	H= 9.615
PV :C1	HZ=340.4653	VT= 88.0112	DI= 28.012	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 994.436	N= 2027.123	H= 14.307
PV :C2	HZ=348.2426	VT= 81.0919	DI= 26.839	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 995.065	N= 2026.363	H= 9.748
PV :C3	HZ=349.2349	VT= 87.2627	DI= 26.839	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 990.012	N= 2029.183	H= 9.613
PV :D1	HZ=341.0624	VT= 88.0135	DI= 30.854	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 994.374	N= 2027.116	H= 14.307
PV :D1	HZ=348.1645	VT= 81.0935	DI= 28.026	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 989.929	N= 2029.262	H= 9.655
PV :E1	HZ=341.0606	VT= 87.5719	DI= 31.061	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 989.946	N= 2029.367	H= 9.672
PV :E2	HZ=348.2215	VT= 87.5545	DI= 28.040	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 994.416	N= 2027.131	H= 14.356
PV :E3	HZ=350.3908	VT= 85.5007	DI= 27.490	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 995.547	N= 2027.054	H= 11.996
PV :E4	HZ=352.3550	VT= 88.0818	DI= 22.395	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.116	N= 2022.196	H= 10.728
PV :E5	HZ=352.3548	VT= 88.0819	DI= 22.305	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.116	N= 2022.196	H= 10.727
PV :E6	HZ=352.3548	VT= 88.0819	DI= 22.305	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.116	N= 2022.196	H= 10.727
PV :E7	HZ=352.3548	VT= 88.0819	DI= 22.389	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.116	N= 2022.196	H= 10.727
PV :E8	HZ=352.3703	VT= 88.0447	DI= 22.391	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.125	N= 2022.193	H= 10.750
PV :E9	HZ=352.3703	VT= 88.0447	DI= 22.391	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.125	N= 2022.193	H= 10.750
PV :E10	HZ=352.3519	VT= 88.0727	DI= 22.398	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.112	N= 2022.200	H= 10.733
PV :E11	HZ=352.3519	VT= 88.0727	DI= 22.398	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 997.112	N= 2022.200	H= 10.733
PV :E12	HZ=357.4627	VT= 87.1350	DI= 23.724	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 999.080	N= 2023.679	H= 9.696
PV :E13	HZ=358.0625	VT= 87.1125	DI= 23.660	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 999.219	N= 2023.619	H= 9.710
PV :E14	HZ=359.2056	VT= 87.0027	DI= 20.802	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 999.764	N= 2020.773	H= 11.086
PV :E15	HZ=359.2056	VT= 87.0027	DI= 20.802	HP= 0.000	PPM= 13	MM= 0	E= 999.764	N= 2020.772	H= 11.086
PV :E16	HZ=358.1914	VT= 86.0428	DI= 17.032	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 966.228	N= 2016.985	H= 9.716
PV :E17	HZ=358.1914	VT= 86.0428	DI= 17.032	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 966.228	N= 2016.985	H= 9.716
PV :E18	HZ=320.4243	VT= 88.4617	DI= 12.876	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 1002.678	N= 2041.278	H= 9.694
PV :G1	HZ= 26.4959	VT= 88.3421	DI= 42.753	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 1019.292	N= 2038.138	H= 9.436
PV :G2	HZ=330.4751	VT= 87.4902	DI= 25.521	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 987.557	N= 2022.261	H= 9.615
PV :G3	HZ=330.4751	VT= 87.4902	DI= 25.521	HP= 1.450	PPM= 13	MM= 0	E= 987.557	N= 2022.261	H= 9.615

Figura 59 – Exemplo de dados fornecidos pela Estação Total em arquivo .txt para as medições realizadas em campo.

A partir destas informações é possível saber onde o ponto foi coletado e em qual hora. Os valores obtidos para as coordenadas (pontos “E” e “N”) são as distâncias relativas da base para o ponto. É possível, através de cálculos de trigonometria, saber quanto foi o deslocamento de um ponto a outro. Esta mesma informação pode ser obtida através de softwares de CAD, que podem ser utilizados para plotar os pontos e se medir virtualmente quanto foi o deslocamento de um ponto a outro. Para calcular o tempo gasto em cada operação bastam ver as duas coletas de pontos consecutivos. O tempo gasto na operação é a diferença entre estes dois tempos.

A oitava etapa prevista no método é o processamento e vinculação entre o plano de ensaio e os dados coletados. Depois que as distâncias e os tempos foram calculados a partir dos dados fornecidos pelo equipamento (trigonometria ou CAD), basta adicionar os dados do deslocamento realizado de um ponto a outro e o tempo gasto para fazer este deslocamento (Figura 60).



Atividade	Tipo de processamento	Eventos	Nº do evento	Deslocamento (m)	Tempo gasto (s)
Estampar a peça	lote	Espera do lote	1	10,2	10,5
		Processamento do lote	2	2,3	2,5
		Inspeção do lote	3	0,5	3,5
		Transporte do lote	4	0,7	7,8
Rebarbar a peça manualmente	unitária	Espera na fila	5	1,2	156,8
		Processamento	6	2,1	3,6
		Transporte	7	2,2	5,2
Estocar	lote	Espera do lote	8	1,8	5,1
		Transporte	9	6,3	5,3

**Figura 60 – Informações geradas no planejamento da coleta de dados e a vinculação dos resultados obtidos pelo processo de medição.**

A partir dos dados da planilha de referência, é possível construir o mapa de estado atual, complementando-se o fluxo de informações entre fornecedor e cliente, se o sistema é puxado ou empurrado e qual o tamanho do lote.

Neste capítulo apresentou-se o método de construção de MFVs apoiado por sistemas de rastreamento. Este método foi desenvolvido a partir de duas etapas. A primeira delas, relativa aos equipamentos de medição, foi realizada para que se pudessem selecionar adequadamente os

métodos de medição capazes de serem utilizados para atividades de coleta de dados em processos produtivos. A segunda etapa, relativa aos processos gerenciais necessários para coleta, compilação de informações e construção de MFVs foi executada.

A atividade de avaliação do método de medição serve para avaliar se o equipamento a ser utilizado possui capacidade para coletar dados no processo produtivo de maneira adequada, criando condições para que as medições possam ser repetidas tantas vezes quanto necessário. A análise do método de medição é importante porque permite que outros equipamentos possam ser analisados e utilizados futuramente, caso haja possibilidade.

A segunda etapa do método é importante porque correlaciona o processo de medição com o processo de construção do MFV, importante para que a ferramenta possa ser aplicada. O método foi construído a partir de medições sucessivas e experimentos realizados neste capítulo. O método entrega valor para o usuário, pois auxilia na determinação das etapas necessárias à elaboração do MFV de maneira enxuta e precisa.

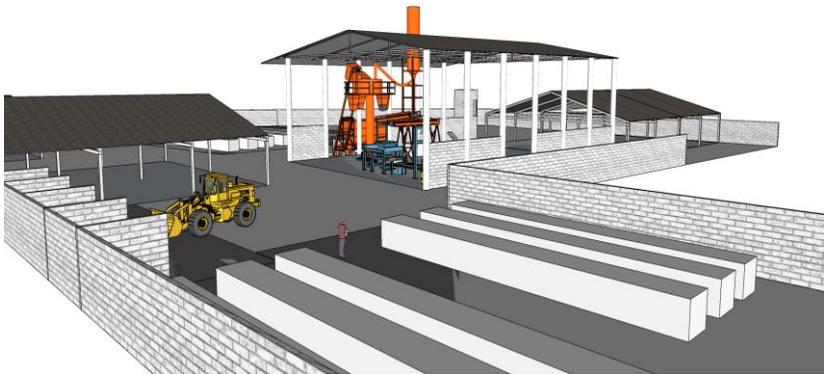
No capítulo 5 serão realizadas aplicações práticas em campo, a fim de testar se o método desenvolvido neste capítulo tenha sucesso nas atividades de construção de MFVs.

## 5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Nos capítulos 2 (pág. lxi) e 3 (pág. xciii) estudaram-se os mapas para representação de processos produtivos e as tecnologias existentes para rastreamento de objetos. No capítulo 4 (pág. cxi) desenvolveu-se e apresentou-se um método voltado à coleta de dados em fábricas para construção de MFVs, desenvolvido a partir de dois focos principais. Um deles foi técnico, apresentado no item 4.2.1, voltado à consolidação dos conhecimentos adquiridos sobre equipamentos para rastreamento aplicados à coleta de dados em processos produtivos. O outro foco foi gerencial, apresentado no item 4.2.2, relacionado com o processo de coleta e transformação dos dados obtidos em MFVs. Depois de executadas estas etapas, o método foi considerado apto a ser testado na prática. Neste capítulo a aplicação prática é realizada e apresentada de maneira minuciosa. Ao final do capítulo são apresentados os resultados encontrados a partir das aplicações práticas realizadas.

### 5.1 Aplicação prática do método em áreas abertas e semiabertas

A empresa utilizada para avaliação do método chama-se NS pré-moldados. A NS possui cerca de 5.000 m<sup>2</sup> e fabrica produtos pré-moldados de concreto. Seu processo produtivo funciona parte em área aberta e parte em área semiaberta (Figura 40), em galpões que possuem pés-direitos altos e paredes baixas (Figura 61).



**Figura 61 – Layout tridimensional da NS pré-moldados.**

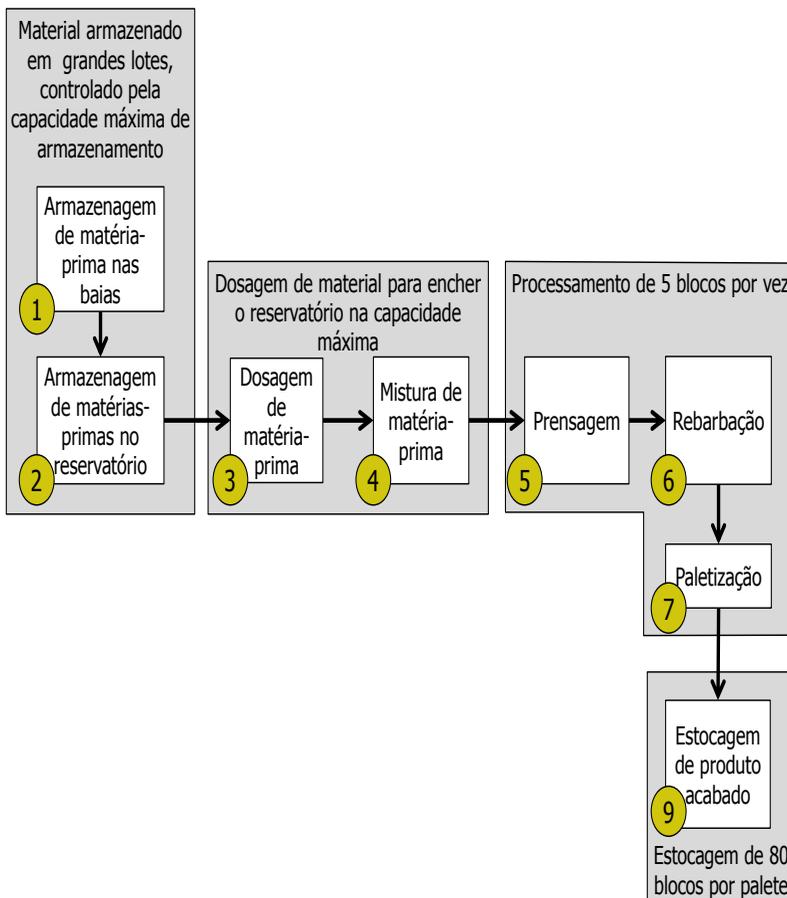
A NS foi escolhida para aplicação do método e execução dos ensaios porque representa muito bem as áreas abertas e semiabertas, segundo classificação realizada na Figura 40 (pág. cxvi). Para as aplicações práticas utilizou-se o método desenvolvido no item 4.2 (Figura 57). Como foram utilizados dois equipamentos distintos para medir os dados no mesmo processo produtivo, até a Etapa 5 as definições e análises são as mesmas. Após a etapa 6, cada equipamento de medição segue por um caminho diferente, por isso foram descritos em itens diferentes. A construção de MFV pelo método de Estação Total, a partir da Etapa 6, foi descrita no item 5.1.1 e a construção do MFV pelo método RTK foi descrita no item 5.1.2. A seguir, apresenta-se a execução das etapas comuns aos dois métodos de medição:

- **Etapa 1: definição do produto a ser mapeado:**

A primeira atividade prevista no método é a definição do produto que será objeto de avaliação. A NS pré-moldados produz lajes, blocos, lajotas e tubos de concreto. Destes produtos, escolheu-se o bloco para realizar o estudo de caso, porque é um dos produtos mais vendido pela empresa e possui um fluxo mais constante. Por ser mais vendido, foi considerado importante para aplicação do método. Além disso, o bloco tem parte do seu processo produtivo realizado a céu aberto e parte realizada nos galpões, característica relevante para a realização de experimentos.

- **Etapa 2: levantamento do fluxograma de processo a ser rastreado:**

Depois que o produto foi definido, passa-se à etapa de preparação para coleta dos dados. A preparação para coletar os dados no processo produtivo é realizada pelo levantamento das etapas necessárias para que o produto seja processado. A Figura 62 ilustra o processo produtivo utilizado para fabricação dos blocos na NS pré-moldados.



**Figura 62 – Processo produtivo de blocos de concreto na empresa escolhida para aplicação.**

- **Etapa 3: detalhamento do *lead time* do processo:**

O *lead time* produtivo é formado pelos tempos de espera, processamento, inspeção e transporte. A Figura 63 ilustra as atividades para fabricação do bloco de concreto e os eventos a serem mapeados com o equipamento pra rastreio.

Atividade	Tipo de processamento	Eventos a serem mapeados	Nº do evento
Transporte de matéria-prima	lote	Transporte do lote	1
Armazenagem de matéria-prima	lote	Espera na fila	2
Dosagem de matéria-prima	lote	Processamento	3
		Transporte	4
Mistura de matéria-prima	lote	Processamento	5
		Transporte	6
Prensagem	lote	Processamento	7
Rebarbação	lote	Transporte	8
		Processamento	9
Paletização	lote	Espera na fila	10
		Processamento	11
Estocagem de produto final	lote	Espera na fila	12
		Processamento	13

**Figura 63 – Lead time de produção para fabricação do bloco de concreto.**

Os eventos são formados pelos tempos do *lead time* de produção. É importante definir quais os eventos deseja-se mapear para construir o MFV. No caso da NS, o processo é semiautomático. Assim alguns eventos do *lead time* são feitos simultaneamente. Por isso nem todos os tempos formadores do *lead time* serão detalhados.

- **Etapa 4: definição do método de medição utilizado:**

Para avaliação da viabilidade de construção de MFVs apoiados por sistemas para rastreamento, decidiram-se testar as duas tecnologias (infravermelho e GNSS). O infravermelho foi testado através da Estação Total e o GNSS foi testado através do RTK (item 4.1.2). Para avaliar se as tecnologias poderiam ser utilizadas para coletar dados em processos industriais, construiu-se um método que trata exclusivamente de critérios que auxiliam na escolha do equipamento (Figura 56). No caso da Estação Total, cujo princípio de funcionamento utiliza o infravermelho, não existiram problemas de visualização entre Estação-base e os alvos, portanto o equipamento está apto a ser utilizado. Tratando-se do equipamento de RTK, através de verificações prévias, identificou-se que os tempos necessários para coleta de dados são adequados e os valores de desvio-padrão encontrados nos locais de

produção em céu aberto e semiabertos são pelo menos duas vezes melhores que o espaçamento entre postos de trabalho. Portanto o equipamento de RTK está apto a ser utilizado sem restrições. Ambos os equipamentos coletam dados de posicionamento e tempo, permitindo que seja possível estabelecer vínculos entre os dados coletados e os eventos no processo produtivo. A ergonomia dos dois equipamentos é adequada, permitindo que o operador se movimente nos pontos de coleta sem dificuldades.

- **Etapa 5: planejamento da posição onde os dados serão coletados:**

Depois de avaliar a viabilidade de utilizar os equipamentos na coleta de dados no processo, a próxima etapa é a avaliação dos pontos utilizados para coleta de dados no processo. Idealmente, se a empresa decide adotar o processo de coleta de dados por sistemas de rastreamento, é interessante criar uma demarcação de posicionamento que não seja perdida ao longo do tempo. No caso da NS pré-moldados utilizaram-se algumas referências visuais, mas sem demarcações específicas, pois a empresa está em reestruturação e o layout deverá sofrer alterações. A Figura 64 ilustra a demarcação dos pontos de coleta de dados no processo produtivo. Os pontos foram demarcados a partir do planejamento realizado na Figura 63 e na verificação *in locu* no chão-de-fábrica.

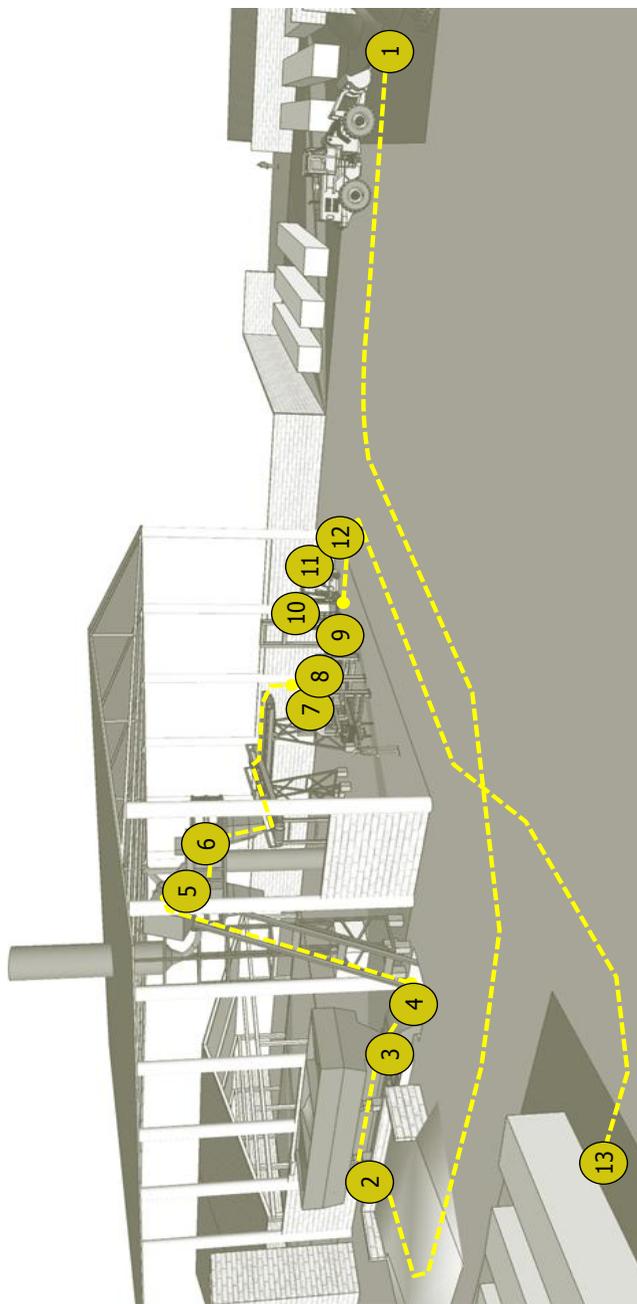


Figura 64 – Planejamento dos pontos de coleta de dados no processo produtivo da NS pré-moldados.

A partir da Etapa 6 a aplicação prática divide-se em dois itens. O item 5.1.1 apresenta o processo de coleta de dados e construção do MFV utilizando RTK e o item 5.1.2 apresenta a coleta de dados e a construção do MFV utilizando Estação Total.

### 5.1.1 Coleta de dados e construção do MFV realizado pelo método de RTK

Após o reconhecimento do fluxo de processo e da identificação física do caminho percorrido no processo produtivo, passou-se à etapa de montagem dos equipamentos para coleta de dados. Optou-se por fazer os ensaios com 5 e com 15 segundos respectivamente (Figura 65).

Método de medição	Resumo do Ensaio	Tempo para que o equipamento colete os dados (segundos)	Tipo de solução	Tipo de área ensaiada	Nº de pontos coletados
RTK	<b>Ensaio 1:</b> 5,0 segundos para coleta, em área aberta e semiaberta, em 09 pontos de coleta; solução Fixa e Diferencial de fase	5	Fixo e Diferencial de fase	ÁREAS 1 e 2 (ABERTA E SEMIABERTA)	13
	<b>Ensaio 2:</b> 15,0 segundos para coleta, em área aberta e semiaberta, em 09 pontos de coleta; solução Fixa e Diferencial de fase	15			13

**Figura 65 – Planejamento dos ensaios realizados com o Método RTK.**

Após o planejamento do ensaio, passou-se à etapa de coleta de dados. A Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69 ilustra a coleta de dados nas etapas de mistura da matéria-prima, prensagem dos locos e poletização.



**Figura 66 – Medição na área de armazenagem de matéria-prima.**

Depois se passaram aos demais pontos no processo produtivo, na sequência definida na Figura 64.



**Figura 67 – Medição do ponto no processo de mistura da matéria-prima.**



**Figura 68 – Medição de dados na área da prensa.**



**Figura 69 – Medição na área de Paletização de blocos.**

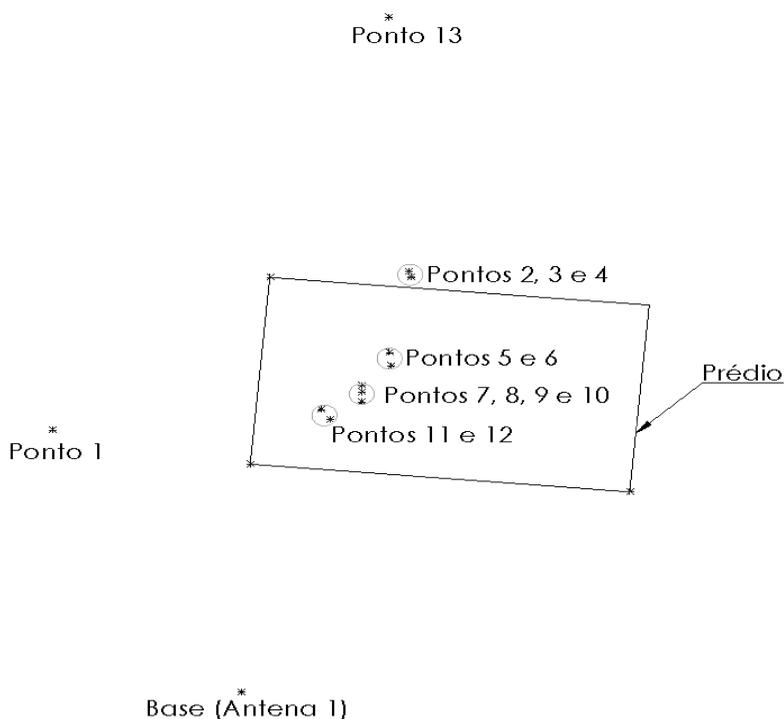
- **Etapa 7: extração dos dados coletados:**

A extração dos dados do RTK é feita através de um cabo serial, conectando-se o equipamento a um microcomputador. A partir dos dados coletados é possível construir o mapa do estado atual. Os dados compilados são apresentados na Etapa 8.

- **Etapa 8: construção do mapa de estado atual:**

A partir dos dados extraídos do equipamento podem-se verificar as coordenadas geográficas e o horário da coleta de dados de cada ponto. Conforme explicado no desenvolvimento do método (4.2.2), pode-se utilizar cálculos trigonométricos para definir a posição dos pontos

coletados ou utilizar um software de CAD para verificar a distância entre os pontos de interesse. No caso desta aplicação escolheu-se utilizar um software de CAD. A ilustra os pontos coletados em escala.



**Figura 70 – Valores de posicionamento plotados em escala a partir dos dados extraídos do equipamento.**

A partir do software de CAD fez-se o levantamento do deslocamento entre os pontos do processo e o tempo gasto para realização de cada atividade.

Atividade	Tipo de processamento	Eventos a serem mapeados	Nº do evento	Deslocamento (m)	Tempo gasto (s)
Transporte de matéria-prima	lote	Transporte do lote	1	0,00	00:00:00
Armazenagem de matéria-prima	lote	Espera na fila	2	47,38	00:05:26
Dosagem de matéria-prima	lote	Processamento	3	0,00	00:00:00
		Transporte	4	0,56	00:00:30
Mistura de matéria-prima	lote	Processamento	5	7,91	00:00:26
		Transporte	6	1,28	00:02:50
Prensagem	lote	Processamento	7	2,96	00:04:15
Rebarbação	lote	Transporte	8	0,64	00:00:46
		Processamento	9	0,00	00:00:03
Paletização	lote	Espera na fila	10	0,98	00:04:50
		Processamento	11	3,33	00:00:43
Estocagem de produto final	lote	Espera na fila	12	1,19	00:11:28
		Processamento	13	63,80	00:00:53

**Figura 71 – Construção da planilha de referência através da correlação dos eventos com o deslocamento e o tempo de coleta de dados no processo produtivo.**

Com os dados organizados na tabela é possível construir o mapa de estado atual, considerado uma das primeiras etapas de construção do MFV. A Figura 72 ilustra a construção do MFV a partir dos dados coletados pelo método RTK.

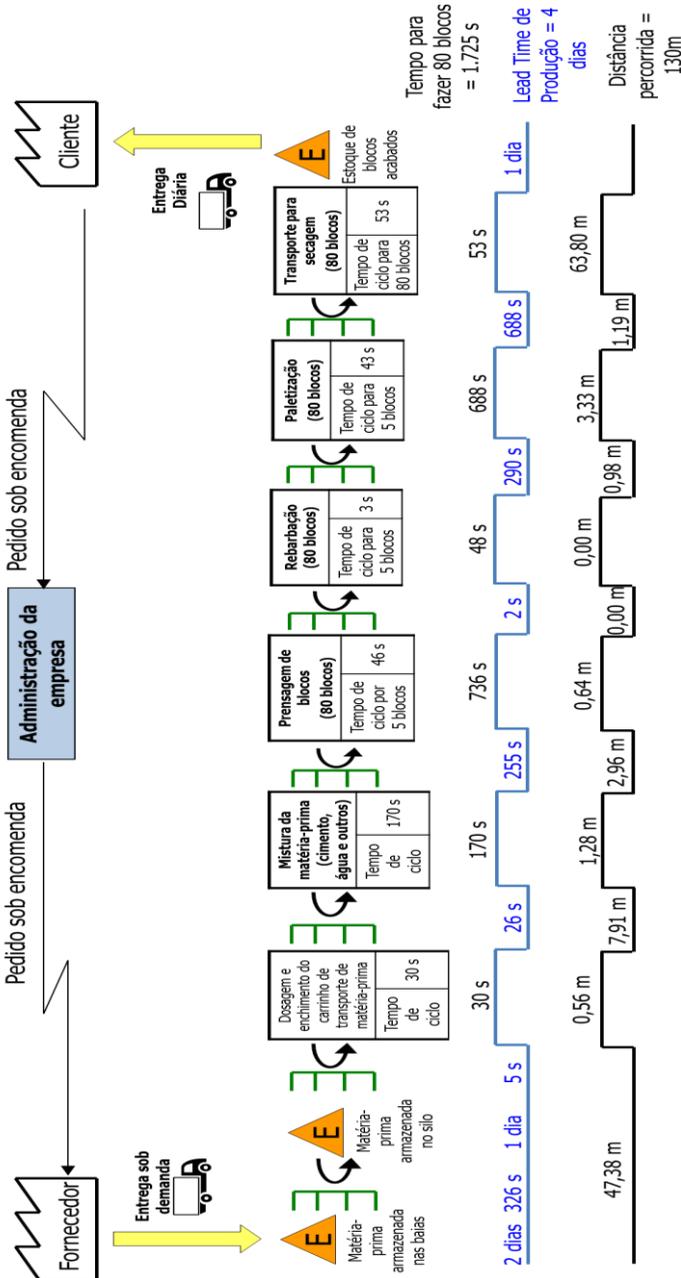


Figura 72 – MFV construído a partir dos dados coletados pelo Método RTK.

## 5.1.2 Coleta de dados e construção do MFV pelo método de Estação Total

Depois que o equipamento foi devidamente instalado, passou-se à etapa de coleta de dados, demonstrada a seguir.

- **Etapa 6: coleta de dados:**

Antes da coleta de dados realizou-se o planejamento dos ensaios. A Figura 73 ilustra o planejamento dos ensaios para coleta de dados através da Estação Total.

Método de medição	Ensaio	Tempo para que o equipamento colete os dados (segundos)	Tipo de área ensaiada	Nº de pontos coletados
ESTAÇÃO TOTAL	<b>Ensaio 1:</b> Tempo dependente dos operadores da estação; em área aberta e semiaberta, em 13 pontos de coleta	Flutuante, dependente dos operadores da estação	ÁREA 1e 2 (Aberta e semiaberta)	13

**Figura 73 – Planejamento de ensaio para medição em campo pelo Método de Estação Total.**

Figura 76 – Silo de armazenamento de matéria-prima locais onde foram realizadas medições no processo produtivo. Como o método de medição utiliza o princípio de infravermelho, alguns pontos coletados utilizaram como alvo (espelho reflexivo) os equipamentos da fábrica, dispostos no processo produtivo. Através de um sistema de comunicação por rádio era dado um sinal para que o operador da estação-base coletasse o ponto no momento exato do evento no processo produtivo. Em outros locais foi utilizado o prisma (espelho reflexivo) pra marcar a posição exata da coleta dos pontos, através do mesmo sistema de comunicação.



**Figura 74 – Instalação da Estação-base para início das medições pelo Método de Estação Total.**



**Figura 75 – Locais de coleta de dados a partir do caminho percorrido pelo produto no processo produtivo.**



**Figura 76 – Silo de armazenamento de matéria-prima.**



**Figura 77 – Armazenagem de blocos para secagem. Ao fundo blocos esperando caminhão para entrega aos clientes logo pela manhã.**

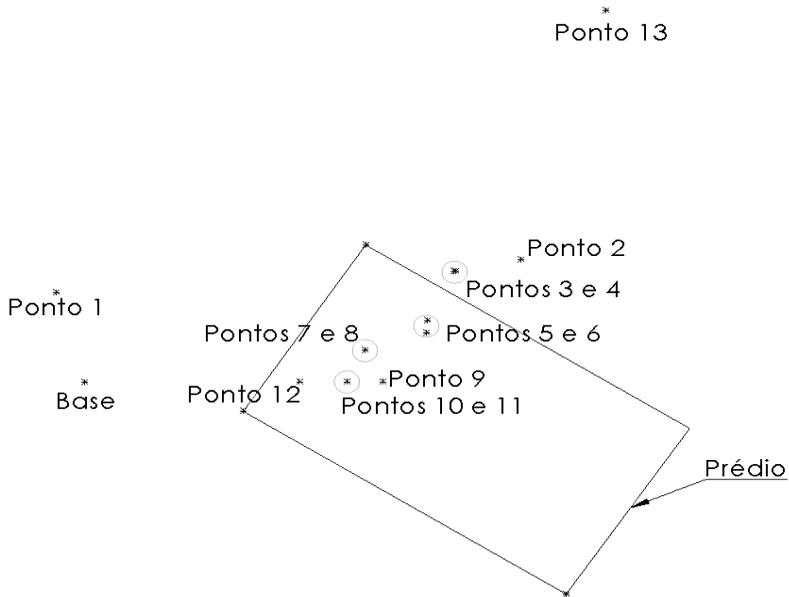
- **Etapa 7: extração dos dados coletados:**

A extração dos dados da Estação Total é feita através de um cabo serial, que da mesma forma que o equipamento de RTK, foi feita através da conexão do equipamento a um microcomputador. A partir dos dados coletados é possível construir o mapa do estado atual. Os dados compilados são apresentados na Etapa 8.

- **Etapa 8: construção do mapa de estado atual:**

O processo de complementação da planilha de referência segue o mesmo padrão utilizado no método RTK. Foram plotados os resultados em software de CAD para avaliar a distância entre os pontos coletados

no processo. A Figura 78 ilustra os pontos coletados pelo equipamento plotados em um software de CAD.



**Figura 78 - Valores de posicionamento plotados em escala a partir dos dados coletados pelo equipamento de Estação Total.**

A partir dos pontos posicionados através do software de CAD, foi possível completar a planilha de referência. A Figura 79 ilustra a planilha de referência construída a partir dos dados coletados pela Estação Total.

Atividade	Tipo de processamento	Eventos a serem mapeados	Nº do evento	Deslocamento (m)	Tempo gasto (s)
Transporte de matéria-prima	lote	Transporte do lote	1	0,00	00:00:00
Armazenagem de matéria-prima no reservatório	lote	Espera na fila	2	45,48	00:06:17
Dosagem de matéria-prima	lote	Processamento	3	5,38	00:00:00
		Transporte	4	0,00	00:01:49
Mistura de matéria-prima	lote	Processamento	5	5,00	00:00:29
		Transporte	6	1,13	00:02:22
Prensagem	lote	Processamento	7	5,10	00:02:01
Rebarbação	lote	Transporte	8	0,00	00:00:12
		Processamento	9	3,22	00:00:11
Paletização	lote	Espera na fila	10	2,84	00:05:11
		Processamento	11	0,00	00:00:12
Estocagem de produto final	lote	Espera na fila	12	3,79	00:12:32
		Processamento	13	56,52	00:00:44

**Figura 79 – Deslocamento e tempo coletados no processo produtivo a partir da Estação Total.**

Com os dados coletados organizados na planilha de referência, é possível construir o mapa de estado atual, ilustrado na Figura 80.

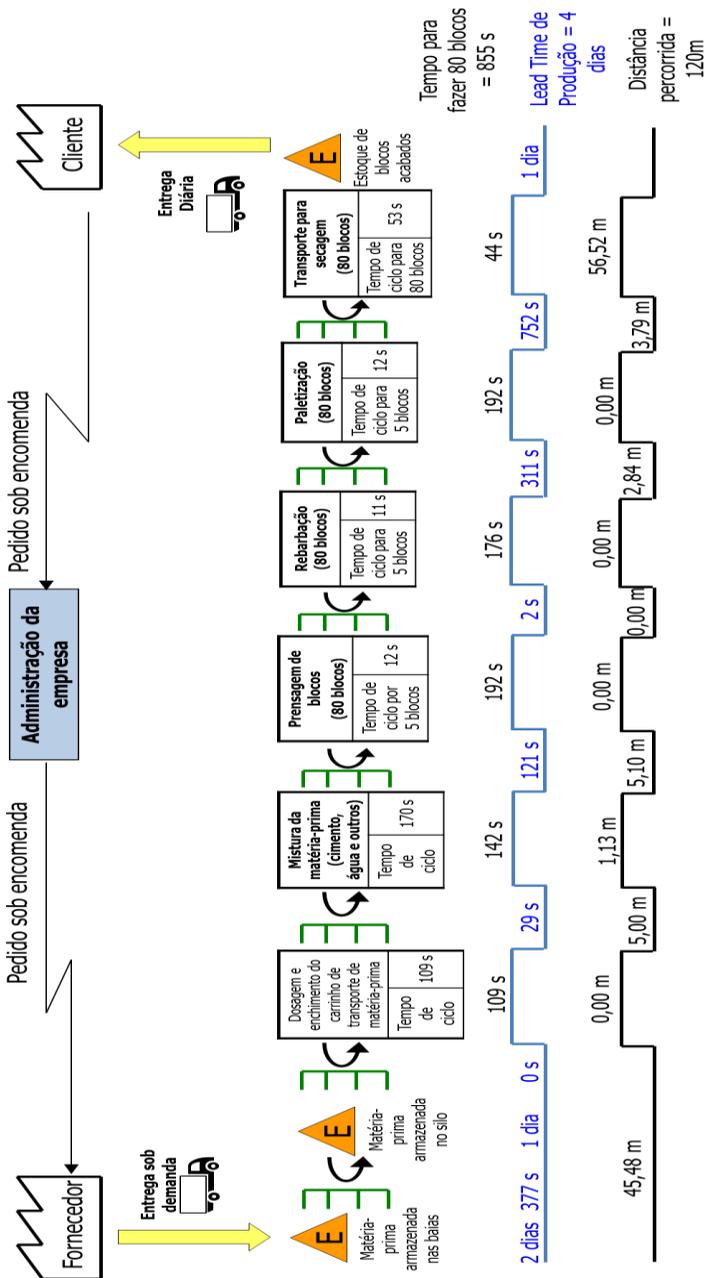


Figura 80 - MFV construído a partir dos dados coletados pelo Método de Estação Total.

As aplicações práticas realizadas objetivaram avaliar a viabilidade de construir MFVs utilizando a coleta de dados realizada por equipamentos para rastreamento. No que diz respeito à coleta de dados no processo os equipamentos cumpriram bem o seu papel, gerando dados para construção dos MFVs conforme planejado.

## 5.2 Discussão dos resultados da medição em campo

Após a definição do método proposto para construção de MFVs utilizando equipamentos para rastreamento, e posterior aplicação prática em campo, chegaram-se a importantes conclusões. Os tópicos seguintes tratam de cada um deles, conforme segue:

- **Quanto ao método de construção de MFVs proposto:**

Desenvolveu-se um único método para construção de MFVs, prevendo a aplicação prática em campo que resultou na possibilidade de utilizar dois equipamentos de medição diferentes. Para que isso fosse possível, optou-se pelo desenvolvimento de um método genérico, que pode ser executado por equipamentos de rastreamento distintos, desde que observados o processo de validação proposto na Figura 56.

- **Quanto aos resultados obtidos:**

A operação do RTK é mais prática e fácil, porque pode ser operado por uma única pessoa, que verifica o processo *in locu* e coleta o ponto. A Estação Total coleta os pontos com precisão, mas o equipamento utilizado para os ensaios necessita dois operadores, um para operar a base e outro para marcar a posição e o momento em que o ponto deve ser coletado. É possível criar artifícios para eliminar um operador, colando pequenos adesivos refletivos nas máquinas onde os pontos devem ser coletados, de maneira que os dados dos pontos sejam recolhidos sempre na mesma posição. Isso deve eliminar o problema de se ter posições diferentes para um mesmo ponto coletado em diferentes momentos. Outros artifícios ainda poderão ser utilizados no futuro para melhorar as condições de medição. Essas oportunidades serão discutidas de maneira mais ampla no capítulo 6.

A aplicação do método proposto ficou restrita ao mapa de estado atual. Tomou-se esta decisão porque problemas de estabilidade no processo produtivo dificultaram a coleta de dados e prejudicaram a

elaboração do MFV. Recomenda-se investir na estabilidade de processo, eliminando-se deficiências pontuais existentes antes de se propor mudanças no layout da empresa. Recomenda-se ainda, realizar novas coletas de dados para avaliar a estabilidade de processo, montar novos mapas de estado atual e criar as condições necessárias para que se possam propor as mudanças necessárias através dos mapas de estado futuro. Os resultados obtidos nos ensaios de campo confirmaram que os equipamentos para rastreamento podem ser utilizados para coleta de dados em processos produtivos.

No próximo capítulo serão discutidas conclusões mais amplas deste trabalho de pesquisa, de maneira que possam ser apontados novos caminhos o tema.

## 6 CONCLUSÕES

Este capítulo discute as conclusões obtidas por este trabalho de pesquisa. Inicialmente faz-se a discussão dos resultados alcançados, buscando avaliar se o problema de pesquisa obteve solução e se os objetivos preconizados no capítulo inicial foram atingidos. Na sequência apresentam-se as vantagens de se utilizar o método proposto para construção de MFVs, destacando-as e discutindo-as. Depois, discutem-se as dificuldades encontradas para realização do trabalho, de modo a compartilhar as experiências obtidas com pesquisadores que elegerem este tema como objeto de novas pesquisas. Na sequência, são realizadas discussões sobre melhorias e oportunidades para o futuro da aplicação de equipamentos para rastreo para a construção de MFVs. São discutidas novas oportunidades de tecnologias e apostas futuras. Baseados nestas conclusões, pesquisadores poderão desenvolver outros trabalhos nesta mesma área de pesquisa, importantes no contexto da Engenharia de Produção e Gestão de Operações.

### 6.1 Resultados obtidos com o trabalho de pesquisa

Foram obtidos importantes resultados nesta pesquisa. Além de servir para consolidar os conhecimentos adquiridos no curso de Pós-graduação, serviram para solidificar uma série de convicções que havia sobre o tema de mapeamento de processos industriais e sistemas de rastreo, que precisavam ser testados na prática. Quanto aos resultados obtidos, destacam-se:

- **Percepções quanto aos equipamentos para rastreo**

Os equipamentos para rastreo servem para coletar dados em processo produtivos. Embora a utilização de equipamentos de GPS para *hobby* não tenha sido possível, os equipamentos utilizados para rastreo empregados nas áreas da geografia, construção civil e topografia, comprovaram sua viabilidade para coleta de dados em processos produtivos. Assim como acontece com outras tecnologias, é possível que futuramente os equipamentos de GNSS diminuam de tamanho, aumentem a sua capacidade de processamento e tenham seus preços diminuídos, de modo que as características encontradas nos equipamentos profissionais de hoje sejam encontradas também em equipamentos de GPS para *hobby*.

- **Conclusões acerca do problema de pesquisa:**

O problema de pesquisa definido neste trabalho foi (item 1.4.1, pág. Iv):

“Sistemas de rastreamento, do ponto de vista técnico e operacional, podem ser utilizados como uma alternativa para coleta de dados no processo produtivo, visando à construção de MFVs?”

A resposta é sim, podem ser utilizados nos casos onde os equipamentos utilizados para rastreamento atendem a critérios de precisão de posicionamento e tempos de coleta de dados. No caso de equipamentos de GNSS, necessita-se atender aos requisitos relacionados com o desvio-padrão de posicionamento e o tempo para coleta de dados. Tratando-se de equipamentos que funcionam por tecnologia de infravermelho, é necessário que a Estação-base enxergue o alvo que demarca o ponto a ser coletado. Ambos os casos são demonstrados na Figura 55 (pág. cxxxv). Chegou-se a estas conclusões a partir dos experimentos realizados e das aplicações práticas em processos produtivos.

Havia crenças sobre a viabilidade, relevância e exequibilidade da pesquisa (pág. Iv), e ao final pôde-se constatar que:

- Os equipamentos para rastreamento podem ser considerados portáteis. No **Método RTK**, existe um bastão móvel que suporta a Antena 2 e o console RTK. O peso não é essencialmente um problema, mas o equipamento é sensível a quedas. Deve-se atentar para este cuidado. No **Método de Estação Total** existe um bastão que fixa o espelho reflexivo. Do ponto de vista da portabilidade, este equipamento se mostrou mais apropriado e robusto. É possível construir hastes flexíveis altas, com espelhos reflexivos nas pontas, e fixá-los em pallets e caixas que armazenam os objetos a serem rastreados, eliminando a possibilidade de impedimento de contato visual entre a estação-base e o elemento reflexivo (alvo). Elementos reflexivos podem ser colados nas máquinas e estações de trabalho por onde passam os objetos a serem rastreados. A autonomia da bateria não foi problema;
- A capacidade de armazenamento de pontos deve atender todos os casos, pois os equipamentos tem capacidade para

armazenamento de informações acima de 10.000 pontos por coleta;

- A recuperação dos dados é fácil, pois a interface de comunicação dos equipamentos é amigável e fácil de operar. É necessário utilizar a planilha de referência para vincular os pontos coletados com os eventos ocorridos nos processos (Figura 79);
- A aplicação das tecnologias pôde ser realizada na prática, apesar dos desafios encontrados para obtenção dos equipamentos para ensaios;
- A hipótese da utilização de equipamentos para rastreamento para coletar dados de posicionamento e tempo de objetos de interesse durante a sua passagem em processos produtivos é válida e foi confirmada. A confiabilidade dos dados coletados aumenta, pois o vínculo que ocorre entre o evento, a hora da coleta e o ponto no espaço corrobora nesta tarefa. A criação de um método de trabalho padronizado contribui para a reprodutibilidade e reprodutibilidade do processo de medição (pág. 32 e pág. 67);
- **Conclusão acerca dos objetivos da pesquisa:**

O objetivo geral da pesquisa foi:

“Utilizar sistemas de rastreamento para construção de MFVs aplicados a processos produtivos, visando avaliar sua capacidade técnica e operacional para realização desta tarefa”.

O objetivo da pesquisa foi atingido. Utilizou-se sistemas de rastreamento para coleta de dados em processos produtivos e pôde-se observar sua capacidade técnica e operacional para realização desta tarefa..

## **6.2 Vantagens da utilização de equipamentos para rastreamento na construção de MFVs**

A partir dos estudos realizados, do desenvolvimento do método e da aplicação prática realizada em campo, foi possível constatar as

vantagens na utilização do método proposto neste trabalho. Entre as vantagens observadas destacam-se:

- Agilidade na repetição de atividades de coleta de dados no processo, pois o equipamento é portátil e de fácil operação, possibilitando a recuperação dos dados de maneira simples e direta;
- Confiabilidade na coleta de dados, através da padronização da operação de medição no processo produtivo;
- A rapidez na coleta de dados no processo produtivo proporciona medir e avaliar o processo produtivo com mais frequência, possibilitando avaliar se o processo produtivo é ou está estável;
- Repetitividade nas medições, mesmo quando realizadas por pessoas diferentes em diferentes momentos. Facilidade criada com a padronização na coleta de dados, criada a partir do uso de equipamentos para rastreio e das práticas gerenciais utilizada na coleta de dados e construção de MFV;
- Estabelecimento de clareza no processo produtivo, criando vínculo entre os pontos coletados e os eventos realizados. As práticas gerenciais contidas no método proporcionam que o mapa de estado atual seja construído com detalhes, facilitando sua análise e criando condições para que as melhorias possam ser realizadas de maneira confiável;
- O método proposto permitirá estabelecer parâmetros mais adequados a operações que exigem flexibilidade no layout de produção quando forem comparados os resultados encontrados para o mesmo produto que percorreu caminhos diferentes no processo;
- O método proposto poderá identificar o real caminho percorrido pelo produto no sistema produtivo, pois irá definir com clareza por onde o produto passou e em qual momento.
- Alguns tipos de equipamentos para rastreio necessitam de instalação de infraestrutura (cabos, modems, entre outros). Os

equipamentos testados não necessitam de infraestrutura para medição de dados no processo produtivo, tornando os investimentos menores. Esta característica faz com que empresas com poucos recursos possam utilizar os equipamentos quando necessitarem diagnosticar o seu processo produtivo;

### **6.3 Dificuldades encontradas na elaboração do trabalho de pesquisa**

Muitos questionamentos aconteceram nas etapas relacionadas à escolha do tema de pesquisa. Encontrar um tema inédito, que tenha relevância na área de Engenharia de Produção e Gestão de Operações, não é atividade trivial. Além do aumento no número de boas Universidades, o intercâmbio entre estudantes tem se tornado mais frequente, oportunizando a troca de experiências e o compartilhamento de temas e trabalhos. Há cerca de 20 anos uma pesquisa feita em alguma universidade mundo afora poderia ficar imersa em uma prateleira de biblioteca, a não ser que fosse divulgada em algum congresso. Hoje, com a internet, os materiais são publicados quase em tempo real. Isso torna a busca pelo ineditismo uma atividade complexa e extenuante.

Passadas as etapas iniciais, surgiram outros desafios. Classificar este trabalho conforme pesquisa científica não foi fácil. A área da Engenharia de Produção e Operações congrega temas consolidados, muitas vezes multidisciplinares, advindos de outras áreas de pesquisa. Essa diversidade gera dúvidas de como classificar um trabalho na área da área da Engenharia de Produção utilizando os parâmetros tradicionais da pesquisa científica. Muitas áreas de conhecimento, como a física, a química e a filosofia precisam formular perguntas de pesquisa e hipóteses, criar respostas e depois testá-las. Porém, na área da Engenharia de Produção, as coisas nem sempre funcionam desta maneira. Regras diferentes das utilizadas nestas áreas de conhecimento tiveram que ser utilizadas para classificar este trabalho como pesquisa científica. A necessidade de enquadramento deste trabalho como pesquisa científica agregou conhecimentos importantes. É possível que no futuro isso seja feita de maneira mais fácil.

Desenvolver um método para construção de MFVs apoiado por sistemas de rastreamento necessitou criar limites para aprofundamento no tema sobre sistemas de rastreamento. Devido à complexidade e abrangência do assunto, foi necessário estabelecer ações para não tornar este trabalho de doutorado uma tese na área da metrologia, engenharia da computação

ou engenharia de telecomunicações. A partir desta condição, criou-se o entendimento de que o capítulo 3 precisaria trazer conhecimentos importantes sobre sistemas de rastreamento, mas que não fosse extenuante, mas que contemplasse informações na medida certa para viabilizar a escolha dos equipamentos de medição para resolver o problema de pesquisa. Isso foi conquistado através da decisão de apresentar a tecnologia sob a ótica de usuário, e não como desenvolvedor. Além disso, estabeleceu-se que o conhecimento adquirido pudesse permitir entender as limitações e desafios no uso da tecnologia para rastreamento, a fim de se criar alternativas viáveis para que o trabalho pudesse atender os desafios propostos no capítulo 1.

Este trabalho na área da Engenharia de Produção necessitou de equipamentos para realização de ensaios. Este foi um desafio a ser vencido, pois não se dispunha de orçamento para custear despesas relacionadas com equipamentos e pessoal qualificado para poder fazer os ensaios necessários previstos no trabalho. Este desafio foi vencido através do estabelecimento informal de parcerias, assumindo algumas contrapartidas. Com os responsáveis pelo laboratório da UDESC conseguiu-se assumir compromissos de contrapartida em publicações futuras sobre o tema pesquisado em troca do empréstimo dos equipamentos e pessoal capacitado para operação em campo. Com a empresa em São Paulo, que cedeu o kit de desenvolvimento de GSM+GPS, assumiu-se o compromisso de compartilhar os resultados obtidos, reservar espaço para publicação do nome da empresa e talvez gerar possíveis negócios com o uso de seus *chips* eletrônicos, caso houvesse viabilidade no uso da tecnologia.

Outro desafio encontrado foi realizar a aplicação prática nas empresas. Esta atividade dependeu do empréstimo dos equipamentos (ver pág. 89), disponibilidade de operador qualificado para operá-los e interesse das empresas em participar dos estudos de campo. Foram procuradas algumas empresas sediadas em Florianópolis para fazer aplicações práticas, mas elas não têm interesse em ceder espaço para que sejam feitas pesquisas científicas. Muitas não responderam os contatos realizados e as que responderam não veem valor nas atividades realizadas no âmbito da Universidade.

#### **6.4 Oportunidades futuras**

Através dos resultados obtidos, dos acertos e constatações da pesquisa, puderam-se criar entendimentos úteis para o futuro. As

oportunidades se constituem no desenvolvimento de novas pesquisas, desenvolvimento de novos equipamentos e na criação de novos serviços baseado na tecnologia desenvolvida.

- **Quanto ao desenvolvimento de novos equipamentos:**

Desenvolver um equipamento que consiga melhorar a precisão de posicionamento dentro de prédios, através de um sistema por radiofrequência, teria grande aplicabilidade na construção de MFVs, pois resolveriam os problemas relacionados com a baixa qualidade na recepção de sinal de satélites. O sistema seria formado por três ou mais antenas portáteis montadas fora da fábrica (parecidas com as utilizadas pelo método RTK), que se comunicaria com a rede de satélites disponíveis e coletariam o seu posicionamento no espaço. A precisão de posicionamento seria satisfatória, pois não existiriam obstáculos entre a antena receptora e a rede de satélites (desvio-padrão de posicionamento ilustrado na Figura 51). A Erro! Autoreferência de indicador não válida. Figura 51 ilustra os resultados dos ensaios 1, 2 e 3 na Área 1 (conforme definido na Figura 40, área aberta), comparados a um operador em um posto de trabalho típico. Os três quadrados diminutos ilustram a variação nos eixos x e y de cada medição (ver Figura 50) efetuada. A figura foi construída com software de CAD e está perfeitamente em escala, considerando-se as dimensões do operador e os valores dos desvios-padrão. Os quadrados são tão pequenos porque os “tamanhos” da sua variação em relação ao operador são ínfimos.

que tem o sinal capaz de ultrapassar paredes e tetos de prédios. Análogo à antena 2 do RTK, o tablet serviria como uma espécie de “GPS interno” e como prancheta eletrônica para coleta dos pontos, registrando os eventos e oferecendo condições para que se façam anotações rápidas na própria coleta. O Sistema teria boa precisão de posicionamento, pois a inferência das posições conhecidas das antenas externas no algoritmo de posicionamento que envolve os satélites + antenas proporcionaria menores erros. Os valores dos desvios-padrão obtidos pelo método RTK são menores porque o sistema funciona desta maneira.

Além de prancheta eletrônica o sistema teria um software que construiria o mapa de estado atual de maneira automática. Através de sistemas de inteligência artificial, o sistema poderia aprender com as soluções adotadas e poderia indicar possíveis melhorias e soluções para o processo produtivo, auxiliando na construção de mapas de estados

futuros. Seria um grande projeto que envolveria desenvolvimentos na área das engenharias eletrônica, mecânica, de software, e telecomunicações, além de matemáticos e engenheiros de produção.

- **Quanto ao uso de outros tipos equipamentos de medição:**

Nesta pesquisa experimentou-se a utilização de equipamentos empregados para georreferenciamento (utilização de satélites de posicionamento globais) e estação total (que utilizam método de medição por infravermelho). Outros equipamentos poderão ser utilizados para coleta de dados em processos produtivos, como por exemplo, equipamentos utilizados para medição de peças ou câmeras que possam capturar imagens e definir o posicionamento de peças ou componentes no processo produtivo. As delimitações de tempo e da quantidade de experimentos fizeram com que este trabalho ficasse restrito a estes dois equipamentos. Novos estudos e experimentos realizados com outros equipamentos poderão ser interessantes para ampliar a aplicação da tecnologia utilizada para rastreamento na coleta de dados em processos produtivos.

- **Quanto ao uso dos equipamentos existentes para os ensaios:**

O método de Estação Total tem grande potencial para coleta de dados em processos. O limitante deste método é que o sistema utilizado para localizar os pontos no espaço é por infravermelho. Isso necessita que o ponto a ser coletado tenha contato visual com a estação-base. Nas linhas de produção que funcionam em vários prédios, a coleta de dados precisa ser feita em partes, trocando-se a estação-base de lugar quando o objeto a ser rastreado trocar de prédio. Fábricas que possuem grandes equipamentos podem impossibilitar a visualização necessária entre a estação-base e o espelho reflexivo, dificultando a coleta de dados. Sugere-se às fábricas que vierem a adotar o processo de coleta de dados utilizando Estação total, montar as estações em lugares altos, de preferência em mezaninos, de modo que se tenha visão total da fábrica, facilitando a atividade de localização dos espelhos reflexivos que demarcam os pontos de coleta.

Alguns equipamentos de Estação Total não necessitam de 2 operadores para coleta de pontos. Espelhos reflexivos com várias faces podem ser colocados nos pontos a serem medidos, como "bandeirolas", eliminando a necessidade de um operador para demarcar pontos de coleta. Neste caso, o operador da Estação-base comandaria o momento da coleta do ponto, sem a necessidade de se comunicar com um segundo operador. Em pontos distantes da estação-base o operador não vai conseguir enxergar com detalhes o que está acontecendo no posto de

trabalho, dificultando o discernimento do que está acontecendo no momento da coleta. Existem estações motorizadas onde o operador pode mandar gravar o ponto de maneira remota. Estas estações procuram automaticamente o espelho reflexivo, sem a necessidade de existir um operador para esta atividade. Neste caso, o operador estaria junto ao espelho reflexivo e através de um controle remoto daria a ordem para a estação-base coletar o ponto.

Estações Totais que funcionam com sistemas motorizados poderiam ser utilizados para medir os dados em processo de maneira automática, sem operadores. O equipamento seria montado em um mezanino, localizado em um ponto elevado que teria a visão de toda a fábrica. O equipamento seria ligado diretamente na energia e não teria problemas com autonomia de bateria. Os objetos a serem rastreados seriam marcados através de uma “bandeirola” feita por um material reflexivo. O equipamento coletaria pontos indefinidamente. Quando houver repetição das coordenadas, mas variação no tempo, o produto estaria em espera ou sendo processado. Quando se detecta alteração do posicionamento e variação no tempo, significa que o produto foi transportado no processo produtivo. O usuário do equipamento poderia avaliar *in locu* no posto de trabalho quando há espera e quando há processamento, de maneira a identificar e separar os eventos. Os dados seriam coletados e serviriam para construir o MFV. A lógica utilizada seria a mesma aplicada neste trabalho.

Certamente, assim como ocorreu com outras tecnologias, no futuro haverá opções de equipamentos com menores preços e com maior portabilidade do que os encontrados atualmente. Isso ampliará a oportunidade de utilização de equipamentos para rastreamento em coleta de dados em processos produtivos.

- **Quanto ao desenvolvimento de novas pesquisas:**

Do ponto de vista de aplicações do método, novas pesquisas precisarão ser feitas para ampliar as conclusões obtidas neste trabalho, no que diz respeito a generalizações sobre as tecnologias de rastreamento aplicadas a processos industriais (uma das delimitações apresentadas no item 1.5, pág. Ivii). Restrições de orçamento e tempo foram impeditivos para ampliar o universo pesquisado. Recomenda-se o desenvolvimento de novos trabalhos e aplicações utilizando o método desenvolvido, para ampliar as conclusões e ampliar o universo amostral. Busca de patrocínio com grupo de empresas que possam custear pesquisas e montar laboratório para mapeamentos de processos industriais de

maneira compartilhada talvez seja uma ideia interessante. Novos trabalhos de mestrado também deverão contribuir para ampliar o conhecimento na área, haja vista que esta modalidade de curso não tem exigência de ineditismo, o que os torna uma importante extensão das pesquisas de doutorado.

A utilização de equipamentos de medição menos precisos, como equipamentos de GPS utilizados para *hobby* podem ser viáveis para medir processos realizados em grandes distâncias, que envolvem atividades de estocagem e transporte, normalmente onde ocorrem desperdícios. Novas pesquisas poderão ser realizadas para comprovar sob quais condições isto poderá ser viável.

Novos equipamentos utilizados para medição de pontos no espaço poderão ser testados no futuro para identificação de oportunidades. Novas pesquisas relacionadas com estas oportunidades poderão agregar valor nas atividades de coleta de dados e construção de MFVs.

Do ponto de vista da exploração das tecnologias para rastreamento, é possível que o desenvolvimento de trabalhos realizados por profissionais das áreas da metrologia, engenharia de computação, matemáticos e engenharia de telecomunicações, possam contribuir para o aperfeiçoamento do método de coleta de dados. Considerando as contribuições possíveis na área de metrologia, pode-se citar a incerteza de medição. O resultado de qualquer medição é expresso por um valor conhecido somado a uma parcela desconhecida, denominada de incerteza de medição. Segundo o VIM (INMETRO, 2009) “algumas incertezas podem ser estimadas por uma avaliação do Tipo A da incerteza de medição, a partir da distribuição estatística dos valores provenientes de séries de medições e podem ser caracterizadas por desvios-padrão”. Isso foi realizado neste trabalho, no que diz respeito aos desvios-padrão encontrados para o posicionamento de objetos no processo produtivo. Porém, seria um avanço para a área de Engenharia de Produção se a incerteza fornecida pelos equipamentos de posicionamento fosse investigada mais profundamente.

Considerando as outras áreas de conhecimento, a criação de sistemas mais robustos e algoritmos mais confiáveis para o cálculo do posicionamento, obtidos através da recepção de sinais de radiofrequência, faria muito sentido para o tema, como apontam o número de pesquisas realizadas (Figura 35).

## **6.5 Considerações finais**

A partir dos estudos, análises e conclusões realizadas, este trabalho chega ao final com resultados interessantes, demonstrando que existem vantagens para o uso de sistemas de rastreo aplicados a coleta de dados e construção de MFVs. O tema continua a ser inédito e a afirmação que é relevante permanece inalterada. Certamente trabalhos futuros nesta área de conhecimento trarão grande contribuição, pois ainda há muita coisa para ser descoberta, realizada e testada. As experiências obtidas no intercâmbio entre o Brasil e Alemanha, no âmbito do projeto BRAGECRIM, ainda que em breve período, foram importantes para o sucesso deste trabalho, pois permitiram a ampliar a visão de futuro e a criação de novas oportunidades na área da Engenharia de Produção e Gestão de Operações. Por fim, as oportunidades de futuro reservadas para o tema são interessantes, e certamente deverão contribuir para que o processo de descobrimento e inovação tecnológica mais uma vez possa acontecer, e a fronteira do conhecimento possa ser ampliada, mais uma vez.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRA, H. **Analyzing complex value streams with Simulation**. Disponível em: <[http://www.createasoft.com/processIndustryModelingSimulation/Analyzing\\_complex\\_value\\_streams.html](http://www.createasoft.com/processIndustryModelingSimulation/Analyzing_complex_value_streams.html)> Acesso em: 18/01/09.

ÁLVAREZ, R. et al. Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Madrid, n.170, setembro 2008.

ALVES, R. **Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras**. São Paulo: Brasiliense, 1995.

ALVES, T.C. L.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Value Stream Mapping for Make-to-Order Products in a Job Shop Environment. **Construction Research Congress 2005**. Califórnia, abr. 2005.

ANDRADE, G. J. P. O. **Um método de diagnóstico do potencial de aplicação da Manufatura Enxuta na indústria têxtil**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ARBULU, R. J.; TOMMELEIN, I. D. VSA of construction supply chains: case study on pipe supports used in power plants. **Proceedings IGLC-10**. Gramado, ago. 2002.

BAHL, P.; PADMANABHAN, V. N. **Enhancements to the RADAR user location and tracking system**. Microsoft Research, Technical Report MSR-TR-2000-12. Redmond, EUA, 2000.

BAUCH, C. **Lean Product Development: making waste transparent**. 2004. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2004.

BELOVA, I. M.; YANSONG, Z. **Value Stream Mapping for Waste Reduction in Playing System Components Flow**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Logística Internacional e Gerenciamento da Cadeia de Fornecimentos) Jönköping International Business School, Jönköping, 2008.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1988.

BORNIA, A. C. **Análise Gerencial de Custos**: aplicação em empresas modernas. Porto Alegre: Artmed, 2002.

BOZDOGAN, K. A comparative review of Lean Thinking, Six sigma and related enterprise process improvement initiatives. **Working paper: Lean Aerospace Initiative, MIT**. Cambridge 2006.

BRASIL. ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações. **Faixa de Frequência**. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/pdf/Consulta/Consulta.asp?SISQSmodulo=1068>> Acesso em: 10/02/09.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Exportação/Importação brasileira dos setores industriais por intensidade tecnológica**. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/portaMEdic/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1113>> Acesso em: 04 dez. 2008.

BRONW, S. L. e EISENHARDT, K. M. Product development: past research, present findings, and future directions. **Academy of Management Review**, v.20, n.2, p.343-378. Stanford, abr. 1995.

CARDIFF BUSINESS SCHOLL. **Organising your business for export**. Disponível em: <<http://www.smartlink.net.au/library/massey/export.pdf>> Acesso em: 30/01/2009.

CARR, J. M.; **Value Stream Mapping of a Rubber Products Manufacturer**. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Gerenciamento) Universidade de Wisconsin-Stout, Menomonie, 2007.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**, São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

CHIAVENATO, I. **Administração**: teoria, processo e prática. São Paulo: Makron Books, 1994.

CHILDERHOUSE, P.; TOWIL, D. R. Impact of reducing uncertainty in european supply chains. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 15, n. 7, p.585-598. Cardiff, jul. 2004.

CHITTURI, R.M.; GLEW D.J; PAULL A. Value Stream Mapping in a jobshop. **Agile Manufacturing, ICAM 2007**. Duhan, jul. 2007.

CHO, S.; EPPINGER S. D. A simulation-based process for Managing complex design project. **IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT**. V. 52, N. 3, aug. 2005.

CONTRAM determina que carros usarão chip de identificação. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 23 nov. 2006.

CORRÊA, H.; CORRÊA, C. **Administração de produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CUSUMANO, M.A. The Japanese Automobile Industry: Technology and Management at Nissan and Toyota. **Harvard East Asian Monographs, Harvard University Press**, Boston, n. 122, 1985.

DAL FORNO, A. J. **Aplicação e análise das ferramentas benchmarking enxuto e mapeamento do fluxo de valor**: estudo de caso em três empresas catarinenses. Florianópolis: UFSC, 2008. Dissertação (Mestrado em Eng<sup>a</sup> de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J.; CHASE, R. B. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DENNIS, P. **Produção Lean Simplificada**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

DOMBROWSKI, U.; CRESPO, I. Strategy-oriented qualification framework as a supporting function of lean production system implementation in small and medium-sized enterprises. **41th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems**. Tokyo, p77, maio 2008.

DOMINGO, R; ALVAREZ, R.; PEÑA, M. M.; CALVO, R. Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study. **Working**

**Paper: Department of Manufacturing Engineering.** Madrid, jul. 2007.

DUTTA, P.; BERGBREITER, S. MobiLoc: mobility enhanced localization. **Technical Report**, UC Berkeley. Berkeley, 2003.

DUTRA, D. J. V. **O que é filosofia, professor? E para que serve?** Disponível em: <<http://www.cfh.ufsc.br/~wfil/delamar1.htm>> Acesso em: 07 jan. 2009.

EISLER, M; HORBAL, R; KOCH, T. Cooperation of Lean Enterprises - Techniques used for Lean Supply Chain. **IFIP International Federation for Information Processing, Volume 246, Advances in Production Management Systems.** Wroclaw, 2007.

ERHART, A.; NEUMANN, C. S. R.; GERHARDT, M. P. G. Mapeamento do Fluxo de Valor aplicado a um Centro de Tratamento de Cartas. **XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção.** Florianópolis, nov. 2004.

FARGHER, J. S. W. Lean manufacturing and remanufacturing implementation tools. **Working Paper: The Remanufacturing Institute.** Rolla, 2006.

FERNANDES, P. **A Framework For A Strategy Driven Manufacturing System Design In An Aerospace Environment – Design Beyond Factory Floor.** 2001. 185 f. Dissertação (Mestrado em Aeronáutica e Astronáutica) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2001.

FLEISCHER, J. et al. Quantified Interdependencies between Lean Methods and Production Figures in the Small Series Production. **41th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems.** Tokyo, p89 - 92, maio 2008.

FRENKEL, Y. M. **Enterprise level Value Stream Mapping and Value Stream Analysis for aircraft carrier components.** 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2004.

FURASTÉ, P. A. **Normas Técnicas para o Trabalho Científico: Elaboração e Formatação.** 14. ed. Porto Alegre: Brasul, 2006.

GIAGLIS, G. M. et al. On the Potential Use of Mobile Positioning Technologies in Indoor Environments. **15th Bled Electronic Commerce Conference eReality: Constructing the eEconomy**. Bled, jun. 2002.

GIDLEY, S. **The tools of Lean - Value Stream Mapping**. Disponível em: <<http://www.asq-1302.org/Presentations/MFV.pdf>> Acesso em: 22/01/2009.

GORGULHO, M. **Apostila sobre GPS**. 2004. Disponível em: <<http://www.gpstm.com/articles.php?lang=port>> Acesso em: 05/02/09.

GOUBERGEN, D. V. et al. Using Value Stream Mapping to redesign engineering project work. **Working paper, Department of Industrial Management Ghent University**. Ghent, nov, 2004

GREWAL, C. S.; SINGH, B. Application of value stream mapping in a traditional Indian environment: a case study. **International Conference on Advances in Mechanical Engineering - AME 2006**. Punjab, dec, 2006.

GUARD, U. C. **Navstar GPS User Equipment Introduction** (Public Release Version). Technical Report, 1996. Disponível em: <<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>> Acesso em: 08/02/09.

HAEBERLEN, A., et al. Practical Robust Localization Over Large-Scale 802.11 Wireless Networks. **Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM**, p. 70-84. Rice, set. 2004.

HALL, R. W. **Excelência em produção: Just-in-time, qualidade total, envolvimento das pessoas**. 3. ed. São Paulo: Imam, 1988.

HARMON, Roy L. **Reinventando a Fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HERRMANN, C. et al. An Environmental perspective on Lean Production. **41th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems**. Tokyo, p83, maio 2008.

HINES, P.; RICH, N. The seven value stream mapping tools. **International Journal of Production & Operations Management**, v. 17 n. 1, p.46-64. Cardiff, 1997.

HINES, P.; BICHENO, J.; BRUNT, D.; TAYLOR, D. Value Stream Management. **The Internacional Journal of Logistics Management**, v.9, n.1, p25-42. Cardiff, sep, 1999.

HINES, H.; RICH, N.; ESAIN, A. Value stream mapping: a distribution industry application. **Benchmarking: An International Journal**, v.6 n.1, p.60-77. Cardiff, oct, 1999.

HOLWEG, M. The genealogy of lean production. **Journal of Operations Management**, Elsevier, UK, n. 25, p.420-37, nov. 2007.

HORBAL, R. et al. Implementing lean manufacturing in High-mix production environment. **Lean Enterprise Institute**. Polska, Wroclaw: Polónia, 2008.

HÖGFELDT, D. **Plant efficiency: a value stream mapping and overall equipment effectiveness study**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Física Aplicada e Engenharia Mecânica, Luleå Universidade de Tecnologia, Luleå, 2005

**IDC Portugal**. Logística, *RFID* e Mobilidade: como realizar ganhos melhorando o controlo e capacidade de resposta na cadeia logística. Disponível em: <[http://www.idc.com/portugal/events/eventos\\_2009-02-18.jsp](http://www.idc.com/portugal/events/eventos_2009-02-18.jsp)> Acesso em: 05/02/09.

**INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Conceitos fundamentais: radiação, energia e ondas (2005). Disponível em: <<http://www.las.inpe.br/~cesar/Infrared/conceitos.htm>> Acesso em: 07/02/09.

**INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia, 1ª ed., 2009.

IMAI, M. **Kaizen**. São Paulo: MacGraw-Hill, 1989.

IVOVENKO, S.; BRADLEY, J. TRIZ as a lean thinking tool. **2004 ETRIA TRIZ Future Conference**. Florença, jul. 2004.

JONES, C. et al. The lean enterprise. **BT Technology Journal**. v.17, n. 4. Hingham, out. 1999.

JORGESSEN, F. et al. Lean Maturity, Lean Sustainability. **IFIP International Federation for Information Processing**, v246, p371-78, Aalborg, dez. 2007.

KATO, J. **Development of a Process for Continuous Creation of Lean Value in Product Development Organizations**. 2005. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2005.

KALSAAS, B. T. Value stream mapping: an adequate method for going lean? **NOFOMA 2002. The 14th international conference**. Trondheim, jun. 2002.

KEYTE, B.; LOCHER, D. **The Complete Lean Enterprise: value streams mapping for administrative and office process**. New York: Productivity Press, 2004.

KHASWALA, Z. N.; IRANI, S. A. Value Network Mapping (VNM): visualization and analysis of multiple flows in Value Stream Maps. **Working paper, Ohio State University**. Ohio, jul, 2006.

KLOTZ, L; HORMAN, M; BODENSCHATZ, M. A lean modeling protocol for evaluating gree project delivery. **Lean Construction Journal**, vol 3. Pennsylvania, abr. 2007.

KLOTZ, L.; HORMAN, M.; BI, H. H.; BECHTEL, J. The impact of process mapping on transparency. **International Journal of Productivity and Performance Management**. v. 57 n. 8, p. 623-636. Pennsylvania, mar, 2008.

KLOTZ, L.; HORMAN, M. Transparency, process mapping and environmentally sustainable building projects. **Proceedings IGLC-15**. Michigan, jul. 2007.

LAKATOS, E.; M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 2. ed. São Paulo: 1995.

LASA, I. S.; LABURU, C. O.; VILA, R.C. An evaluation of the value stream mapping tool. **Business Process Management Journal**. v.14 n. 1, p.39-52. Mondragon, jul. 2008.

LEI - Lean Enterprise Institute. **Léxico Lean**. 2. ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2007.

LEE, Q.; SNYDER, B. **Value Stream & Process Mapping: genesis of manufacturing strategy**. Bellingham: Enna Products Corporation, 2006.

LIKER J.K.; MEIER D. **O modelo Toyota**: manual de aplicação. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MAZUR, L. M.; CHEN, S. Understanding and reducing the medication delivery waste via systems mapping and analysis. **Health Care Manage Sci**. v.11, p.55–65. Montana, set. 2007.

MACKENZIE, S. A. **Utilizing Value Stream Mapping In Air Force acquisition program offices**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia e Gerenciamento) – MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2006.

MANOS, T. **Value Stream Mapping: an Introduction**. Disponível em: < <http://mgtclass.mgt.unm.edu/Stewart/MGT%20525%20-%20TQM/Readings%20Not%20in%20Coursepack/Value%20Stream%20Mapping--An%20Introduction.pdf>> Acesso em: 16/01/2009.

MCMANUS, H. L. **Product Development Value Stream Mapping (PDMFV) Manual**. Disponível em: [http://lean.mit.edu/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=94&Itemid=1&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+non-authorized+domain.+\(www.google.com.br\)](http://lean.mit.edu/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=94&Itemid=1&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+non-authorized+domain.+(www.google.com.br))> Acesso em: 22/01/2009.

MACMANUS, H. L.; MILLARD, R. L. Value Stream Analysis and Mapping for product development. **Proceedings of the International Council of the Aeronautical Sciences. 23rd ICAS Congress**. Toronto, set. 2002.

MAROPOULOS, P.; CHAUVE, M.; CUNHA, C. D. **Review of Trends in Production and Logistic Networks and Supply Chain**. Dynamics

in Logistics - First International Conference, LDIC 2007, Bremen, Germany, August 2007, Proceedings. p. 39-55. Bath, mai. 2008.

MARTINS P. G.; LAUGENI F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2006.

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. LAI LEAN ADVANCEMENT INICIATIVE. **Lean Aerospace Initiative: overview**. Cambridge: 2008.

MAZUR, L. M.; CHEN, S. Understanding and reducing the medication delivery waste via systems mapping and analysis. **Health Care Manage Sci**, v.11, p.55–65. Montana, set. 2007.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: Imam, 1984.

NASH, M. A.; POLING, S. R. **Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes**. Nova York: Productive press, 2008.

NOWOSIELSKI, R. **Managing Value Stream Risk**. Disponível em: <http://www.sae.org/technical/papers/2006-01-2389>> Acesso em: 18/01/2009.

NUMA. **Ferramentas da produção enxuta**. Disponível em:< <http://www.numa.org.br/gmo/itens/ferramprodenixuta.htm>> Acesso em: 01/02/09.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

**OLIVER WYMAN**. Press Release 2008. Disponível em: <<http://www.oliverwyman.com/ow/automotive.htm>> Acesso em: 06 dez 2008.

PANDEY, S.; AGRAWAL, P. A survey on localization techniques for wireless networks. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, v. 29, n. 7, p. 1125-1148. Auburn, jul. 2006.

PATNEAUDE, S. M. Transforming commercial aerospace supply chain management practices by utilizing Toyota Production System principles, practices, and methodologies. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em

Ciência da Engenharia e Gerenciamento) – MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2002.

PEREIRA, F. A. Desenvolvimento de um método analítico para suporte ao planejamento do processo de fabricação das pequenas e médias empresas do ramo metal-mecânico. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Programa Pós-MCI, Metrologia Científica e Industrial, Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PIZZOL, W. A.; MAESTRELLI, N. C. Uma proposta de aplicação do mapeamento do fluxo de valor a uma nova família de produtos. **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Florianópolis, nov. 2004.

Por dentro da maior montadora do mundo. **Revista EXAME**, p. 25. São Paulo: Abril, 9 maio 2007.

POTTER, A.; SCHMIDT, F.; SIMONS, D. Supply chain efficiency. **Integrated Transport into Supply Chains Conference 16th July 2003**. Cardiff, jul. 2003.

PRIYANTHA, N. B. et al. Anchor-free distributed localization in sensor networks. **Technical Report**, 892, MIT Laboratory for Computer Science. Massachusetts, abr. 2003.

QUEIROZ, J. A.; RENTES, A. F.; ARAUJO, C. A. C. Transformação enxuta: aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em uma situação real. **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Florianópolis, nov. 2004.

QUINT. J. **Conhecendo a Qualidade**. Disponível em: <<http://www.usinadeletras.com.br/exibelotexto.php?cod=157&cat=Artigos&vinda=S>> Mar, 2000. Acesso em: 12 jan. 2009.

RAHMANTO, D. D. Improvement in transformer production systems to minimizing waste. **Working paper: department of Industrial Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology**. Surabaya, 2003.

**Revolucione descobrindo.** Disponível em: <  
<http://www.revolucione.com/dicas/gg-tracker-gps-e-gsm-de-monitoramento-pela-internet/>> Acesso em: 19/02/09.

ROTHER M.; SHOOK J. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

ROZENFELD. H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUDIO, F.V. Introdução ao projeto de pesquisa científica. Petrópolis: Vozes, 1986.

SAHOO, A. K. et al. Lean philosophy: implementation in a forging company. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**. v.36, p.451–462. Nova Delhi, jan. 2007.

SALZMAN, R. **Manufacturing System Design: Flexible Manufacturing Systems and Value Stream Mapping**. 2002. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2002.

SANVIDO, V. **An Integrated Building Process Model**. Pennsylvania: The Pennsylvania State University, 1990.

SAVVIDES, A. et al. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc network sensors. **Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking**, MOBICOM, p. 166-79. Los Angeles, 2001.

SCHONBERGER, R. J. **Técnicas Industriais Japonesas**: nove lições ocultas sobre simplicidade. 4. ed. São Paulo: Pioneira, 1992.

SEIBEL, S. Um modelo de benchmarking baseado no sistema produtivo classe mundial para avaliação de práticas e performance da indústria exportadora brasileira. 2004. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SETH, D.; SETH, N.; GOEL, D. Application of value stream mapping (MFV) for minimization of wastes in the processing side of supply chain

of cottonseed oil industry in Indian context. **Journal of Manufacturing Technology Management**. v. 19 n. 4 ,p.529-550. Doha, set. 2008.

SHEN, S. X.; HAN, C. F. China electrical manufacturing service industry value stream mapping collaboration. **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v18, p285–303. Shanghai, março 2007.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2001.

SILVA, R. A. **Um sistema de auxílio à localização de etiquetas RFID em ambientes internos**. 2008. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramentas**: uma revolução nos sistemas produtivos. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero**: o sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**: edição compacta. São Paulo: Atlas, 2006.

SOBCSYC, T.; KOCH, T. A method for measuring operational and financial performance of a production value stream. **IFIP International Federation for Information Processing**, v.257, p.151–163. Wroclaw, jan. 2008.

SONDALINI, M. **How to do MFV**. Disponível em: [http://www.strategosinc.com/value\\_stream\\_mapping1.htm](http://www.strategosinc.com/value_stream_mapping1.htm)> Acesso em: 16/01/2009.

SONDALINI, M. Profit Contribution Mapping. Proceedings of the 1<sup>st</sup> World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM). Paper 221, p1. Perth Area, jul. 2006.

SOTO, L. **Construction design as a process for flow: applying lean principles to construction design**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Engenharia e Gerenciamento) MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2007.

STAMER, J.M. et al. **Estudo sobre a competitividade sistêmica em Santa Catarina**: relatório. Florianópolis: IAD-FIESC, 1996.

**SWIVEL PREVIEW**. Production of vehicles per factory. Disponível em: <[http://www.swivel.com/data\\_columns/show/3839283](http://www.swivel.com/data_columns/show/3839283)> Acesso em: 06 dez 2008.

TAYLOR, D. H. Value chain analysis: an approach to supply chain improvement in agri-food chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**. v.35, n.10, p.744-761. Cardiff, 2005.

**The Design Structure Matrix (DSM)**. Disponível em: <[http://www.dsmweb.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=24&Itemid=26](http://www.dsmweb.org/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=26)> Acesso em: 30/01/09.

THUMMALA, G. S. **Value stream mapping for software development Process**. 2004. 31 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Gerenciamento) Universidade de Wisconsin-Stout, Menomonie, 2004.

THUMS, J. **Acesso à realidade**: técnicas de Pesquisa e Construção do Conhecimento. 2. ed. Porto Alegre: Sulina/Ulbra, 2000.

THOMES, H. M. **Lean Roadmap**: the lean leaders guidebook, eleven building blocks for a successful lean roadmap design. UK: Lulu.com, 2005.

TSENG, Y. et al. Location Awareness in Ad Hoc Wireless Mobile Networks, **IEEE Computer Society**, v. 34, n. 6, p. 46-52. Baton Rouge, jun. 2001. Disponível em: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=928621](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=928621) Acesso em: 07/02/09.

TUBINO, D. F. **Planejamento e controle da produção**: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2007.

TUBINO, D. F. **Sistemas de produção**: a produtividade no chão-de-fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

TUBINO, D. F. **Sistemas de produção e manufatura enxuta**. Material de disciplina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e

Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2007.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Lean Manufacturing and Environmental**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/lean/studies/gm.htm>>, Acesso em: 06 dez. 2008.

UNITED STATES PATENT APPLICATION. Sonnenschein Nath e Rosenthal LLP. **System and method for dynamically tracking and state forecasting tagged entities**. EUA n. 20070203768, 30 ago. 2007. Disponível em: <<http://www.freepatentsonline.com/y2007/0203768.html>> Acesso em: 18/01/09.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. DEPS Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. **Programação de Projetos com PERT/CPM**. Disponível em: <[http://www.eps.ufsc.br/~mayerle/private/eps5102/PERT\\_CPM.pdf](http://www.eps.ufsc.br/~mayerle/private/eps5102/PERT_CPM.pdf)> Acesso em: 29/01/09.

USNEWS.COM. **America's Best Graduates Schools 2009**. Disponível em: <<http://grad-schools.usnews.rankingsandreviews.com/grad/eng>> Acesso em: 06 jan. 2009.

WADA, K. Kiichiro Toyoda and the Birth of the Japanese Automobile Industry: Reconsideration of the Toyoda-Platts Agreement. **CIRJE-F-288**. Tokyo: University of Tokyo, 2004.

WALTON, M. **Strategies for lean product development**. Research funded through the LAI Consortium. MIT Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1999.

WANT, R. et al. The active badge location system. **ACM Transactions on Information Systems**, v.10, n1, p. 42-47. Berkeley, 1992.

WARD, A.; JONES, A.; HOPPER, A. A new location technique for the active office. **IEEE personal Communications Magazine**, v. 4, n. 5, p. 42-47. Cambridge, 1997.

WHITEHOUSE, C. D. **The design of calamari: an ad-hoc localization system for sensor networks**. 2002. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Plan II) University of California at Berkeley, Berkeley, 2007.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade Enxuta nas Empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YANG, Y. et al. Contribution of the Compass satellite navigation system to global PNT users. **Chinese Science Bulletin**, v. 56, n26, p. 2813-2819. Beijing, 2011.