

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA**  
**UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA**  
**EM SISTEMAS PRODUTIVOS**

**CLIVANEI GONÇALVES DE MELLO**

**APLICAÇÃO DE MÁQUINAS MULTITAREFAS PARA USINAGEM DE PEÇAS  
COMPLEXAS DO SEGMENTO AERONÁUTICO BRASILEIRO EM CONJUNTO  
COM TÉCNICAS DE MANUFATURA ENXUTA E GESTÃO DE ATIVOS – ESTUDO  
DE CASO**

São Paulo

Abril / 2016

CLIVANEI GONÇALVES DE MELLO

**APLICAÇÃO DE MÁQUINAS MULTITAREFAS PARA USINAGEM DE PEÇAS  
COMPLEXAS DO SEGMENTO AERONÁUTICO BRASILEIRO EM CONJUNTO  
COM TÉCNICAS DE MANUFATURA ENXUTA E GESTÃO DE ATIVOS – ESTUDO  
DE CASO**

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. Calos Hideo Arima.

São Paulo

Abril / 2016

Dedico aos meus adorados filhos, à minha querida e doce mãe, e à minha companheira que no momento mais difícil, não permitiu que eu desistisse.

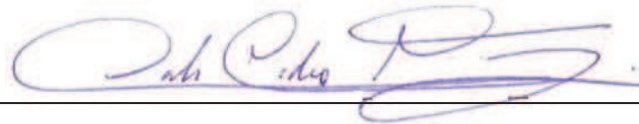
## **AGRADECIMENTOS**

Em especial ao professor e orientador e professor Dr. Carlos Arima e aos demais professores do Centro Paula Souza que participaram diretamente ou indiretamente da realização desta pesquisa. Ao professor Dr. Antonio Carlos Galhardi, à Profa. Dra. Celi Langhi, à Profa. Dra. Eliane Antônio Simões, à Profa. Dra. Marília Macorin de Azevedo, ao Prof. Dr. Getúlio Kazue Akabane, ao Prof, Dr, José Manoel S. das Neves e ao Prof. Dr. Fabrício Piacente.

Estendo os agradecimentos aos professores e amigos Profa. Dra Rita Sales e professor Dr. Jorge K. Formiga, ambos das FATEC de São José dos Campos.


CLIVANEI GONÇALVES DE MELLO

**APLICAÇÃO DE MÁQUINAS MULTITAREFAS PARA USINAGEM DE PEÇAS  
COMPLEXAS DO SEGMENTO AERONÁUTICO BRASILEIRO EM CONJUNTO  
COM TÉCNICAS DE MANUFATURA ENXUTA E GESTÃO DE ATIVOS – ESTUDO  
DE CASO**



---

Prof. Dr. Carlos Hideo Arima



---

Prof. Dr. Getúlio Kazue Akabane



---

Prof. Dr. Fernando de Almeida Santos

São Paulo, 06 de Abril de 2016

Mello, Clivanei Gonçalves de

M527a           Aplicação de máquinas multitarefas para usinagem de peças complexas do segmento aeronáutico brasileiro em conjunto com técnicas de manufatura enxuta e gestão de ativos – estudo de caso. / Clivanei Gonçalves de Mello. – São Paulo: CEETEPS, 2016.

152 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Hideo Arima

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2016.

1. Usinagem aeronáutica - Brasil. 2. Máquina multitarefa. 3. Manufatura enxuta. 4. Gestão de ativos. 5. Valor presente líquido. I. Arima, Carlos Hideo. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

"Não se deve esquecer que todos os esforços têm como origem a ideia de transferir o trabalho humano para as máquinas"

(Shigeo Shingo)

## RESUMO

MELLO, C. G. de. **Aplicação de máquinas Multitarefa para usinagem de peças complexas do setor aeronáutico Brasileiro em conjunto com técnicas de Manufatura Enxuta e Gestão de Ativos – Estudo de Caso.** 152 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

Esta pesquisa estuda, por meio de estudo de caso, a integração entre o uso de máquina Multitarefa para usinar peças complexas do setor aeronáutico, os princípios da Manufatura Enxuta e as técnicas de Gestão de Ativos, e para possibilitar uma ligação entre estes três temas da pesquisa, abordada também as técnicas de Planejamento e Controle da Produção. O método aplicado na pesquisa foi o qualitativo, por meio de revisão bibliográfica e estudo de caso. A aplicação da máquina Multitarefa, estudada no sentido de identificar as características técnicas de versatilidade e capacidade de execução de várias operações, revelou a possibilidade de eliminar etapas dos processos de fabricação, melhorar a qualidade e aumentar nível de automação, além de manter a flexibilidade. A Multitarefa possibilita, portanto, eliminar desperdícios e melhorar o fluxo do valor, e contribui com a Manufatura Enxuta, cujas observações e estudos, sobre a difusão e aplicação dos conceitos, princípios e técnicas, realizados a partir do programa de excelência empresarial da Embraer, destacam a importância das células de manufatura e dos eventos Kaizen, para adicionar valor, promover a busca pela perfeição e o fluxo contínuo, três dos cinco princípios do Sistema Toyota de Produção. Quanto às técnicas de Gestão de Ativos, observa-se, por meio de aplicação prática, o uso das técnicas de análise investimentos, Valor Presente Líquido (VPL), Período de Recuperação do Capital (*Payback*) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para suportar o processo de gestão de investimentos em tecnologias avançadas de fabricação. Estuda-se o ciclo de investimento de dois projetos mutuamente excludentes para usinagem de peça complexa, o primeiro, para adquirir um conjunto de máquinas, e o segundo para comprar uma única máquina Multitarefa, capaz de usinar a mesma peça. No segundo projeto, a Multitarefa mostrou-se mais viável, conclusão que não seria possível sem o uso das técnicas de Gestão de Ativos. Ao final, observa-se, por meio de um quadro genérico, algumas das características de cada uma das técnicas estudadas, e os fatores de integração identificados.

**Palavras-chave:** Usinagem Aeronáutica no Brasil. Máquina Multitarefa. Manufatura Enxuta. Gestão de Ativos. Valor Presente Líquido.



## ABSTRACT

Mello, C. G. de. **Título Aplicação de máquinas Multitarefa para usinagem de peças complexas do setor aeronáutico brasileiro em conjunto com técnicas de Manufatura Enxuta e Gestão de Ativos – Estudo de Caso.** 152 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2016.

This research study, through a case study, the integration of Multitask machine to machining complex parts in the aeronautics industry, the principles of Lean, and the Asset Management techniques, and to enable a link between these three themes research, also addressed the techniques of Planning and Production Control. The method applied in the research was qualitative, through literature review and case study. The application of Multitasking machine, studied to identify the technical characteristics of versatility and ability to execute various operations, reveal the possibility of eliminating steps of manufacturing processes, improve quality and increase level of automation, and maintain flexibility. The Multitasking makes it possible, therefore, eliminate waste and improve the value of the flow, and contributes with lean manufacturing, whose studies and observations on the dissemination and application of the concepts, principles and techniques, made from the business excellence program Embraer, highlighted the importance of Kaizen manufacturing and events cells, to add value, promote the search for perfection and continuous flow, three of the five principles of the Toyota Production System. As for asset management techniques, it is observed, through practical application, the use of the techniques of investment analysis, Net Present Value (NPV), Capital Recovery Period (Payback) and Internal Rate of Return (IRR) to support the investment management process in advanced manufacturing technologies. Studied the investment cycle two mutually exclusive projects for complex part machining, the first to acquire a set of machines, and the second one to buy a single Multitasking machine, able to machine the same complex part. In the second project, Multitasking showed more feasible, conclusion that would not be possible without the use of asset management techniques. Finally, it is observed, through a generic frame, some of the main characteristics of each technique studied, and the integration factors identified.

Keywords: Aeronautical Machining in Brazil. Multi Task Machine. Lean Manufacturing. Asset Management. Payback. Net Present Value.

## Lista de Ilustrações

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Figura 1:  | Unidades da Embraer e distribuição do faturamento por segmento .....           | 30  |
| Figura 2:  | Os sete desperdícios previstos no STP .....                                    | 36  |
| Figura 3:  | A Casa do STP.....   | 37  |
| Figura 4:  | Fluxo do Valor.....  | 38  |
| Figura 5:  | Diferença entre o arranjo departamental e o arranjo celular .....              | 40  |
| Figura 6:  | Representação da operação de tornofresamento.....                              | 49  |
| Figura 7:  | Ferramentas para Brochamento .....   | 50  |
| Figura 8:  | Máquina furação profunda.....  | 51  |
| Figura 9:  | Ferramentas para furação profunda .....  | 52  |
| Figura 10: | Linha do tempo da evolução das máquinas de usinagem.....                       | 54  |
| Figura 11: | Arquitetura de um torno com ferramenta acionada, duplo fuso e dupla torre..... | 55  |
| Figura 12: | Arquitetura típica de centro de usinagem horizontal de cinco eixos.....        | 56  |
| Figura 13: | Integração das operações por meio de máquina Multitarefa.....                  | 59  |
| Figura 14: | Fluxo de caixa convencional, não convencional e série mista .....              | 64  |
| Figura 15: | Comparação entre VPL e TIR pelo método de interseção de Fischer.....           | 70  |
| Figura 16: | Características da TIR .....   | 71  |
| Figura 17: | Abrangências dos sistemas MRP, MPRII e ERP .....                               | 75  |
| Figura 18: | Ciclo e lead time de fabricação .....  | 77  |
| Figura 19: | Modelo de apuração de custo da qualidade baseado no sistema ABC.....           | 79  |
| Figura 20: | Rol de peças consideradas complexas.....                                       | 86  |
| Figura 21: | Sistema de TDPA e sua estrutura perna força do avião Phenom 300 .....          | 93  |
| Figura 22: | Redução do custo de não qualidade por meio de usinagem em multitarefa.....     | 101 |
| Figura 23: | Redução do Lead time e tempo de usinagem em máquina multitarefa.....           | 102 |
| Figura 24: | Máquinas para substituição .....   | 104 |
| Figura 25: | Peça para o estudo dos fluxos de processo dos projetos de investimentos.....   | 114 |
| Figura 26: | Diagrama do fluxo de caixa de investimento do projeto A .....                  | 119 |
| Figura 27: | Diagrama do fluxo de caixa do investimento do projeto B.....                   | 119 |
| Figura 28: | Fluxo de caixa total do projeto A .....  | 126 |
| Figura 29: | Fluxo de caixa total do projeto B .....  | 126 |

## Lista de Gráficos

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gráfico 1:  | Evolução das entregas no período 2001 a 2014 .....                        | 31  |
| Gráfico 2:  | Evolução das células no programa P3E.....                                 | 91  |
| Gráfico 3:  | Evolução na quantidade de eventos kaizen entre 2007 e 2011.....           | 92  |
| Gráfico 4:  | Carga e Capacidade dos tornos convencionais (gargalo) .....               | 98  |
| Gráfico 5:  | Carga e Capacidade dos tornos convencionais após a terceirização .....    | 99  |
| Gráfico 6:  | Investimentos no setor de usinagem.....                                   | 105 |
| Gráfico 7:  | Direcionamento dos investimentos no setor de usinagem por tipo de máquina | 106 |
| Gráfico 8:  | Variação cambial no período dos investimentos .....                       | 107 |
| Gráfico 9:  | Análise do Payback descontado e VPL do projeto A.....                     | 128 |
| Gráfico 10: | Análise do Payback descontado e VPL do projeto B .....                    | 128 |
| Gráfico 11: | Análise da TIR do Projeto A .....   | 129 |
| Gráfico 12: | Análise da TIR do Projeto B .....   | 129 |

## Lista de Quadros

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1: Quantidade de aeronaves entregues entre 2001 e 2014.....                   | 32  |
| Quadro 2: Tipos de operações de usinagem e máquinas empregadas.....                  | 53  |
| Quadro 3: Preferência dos empresários pelos métodos de análise de investimentos..... | 63  |
| Quadro 4: Período de <i>Payback</i> para projetos alternativos de investimentos..... | 65  |
| Quadro 5: Características do VPL.....  | 68  |
| Quadro 6: Demonstrativo de resultados com VPL.....                                   | 68  |
| Quadro 7: Caracterização dos itens da pesquisa.....                                  | 133 |

## Lista de Tabelas

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabela 1:  | Empresas de usinagem do setor aeronáutico x máquinas Multitarefa           | 87  |
| Tabela 2:  | Produção de estruturas de Trem de Pouso em 2014 x máquinas necessárias     | 94  |
| Tabela 3:  | Especificação técnica e precificação das máquinas instaladas e em operação | 108 |
| Tabela 4:  | Sequência de usinagem definida para o projeto A                            | 115 |
| Tabela 5:  | Sequência de usinagem definida para o projeto B                            | 116 |
| Tabela 6:  | Fluxo de Caixa para o Projeto A  | 118 |
| Tabela 7:  | Fluxo de Caixa do projeto B  | 119 |
| Tabela 8:  | VPL para cada máquina do projeto A   | 120 |
| Tabela 9:  | VPL para cada máquina do projeto B   | 121 |
| Tabela 10: | Custo por hora de cada máquina do projeto A                                | 122 |
| Tabela 11: | Custo por hora de cada máquina do projeto B                                | 122 |
| Tabela 12: | Custo da usinagem para o projeto A   | 123 |
| Tabela 13: | Custo da usinagem para o projeto B   | 123 |
| Tabela 14: | Determinação do material em processo (WIP) para o projeto A                | 124 |
| Tabela 15: | Determinação do material em processo (WIP) para o projeto B                | 125 |

## **Lista de Fluxogramas**

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Fluxograma 1: | Apuração dos custos da qualidade por meio do sistema ABC ..... | 78 |
| Fluxograma 2: | Fluxo da Pesquisa .....  | 84 |

## Lista de Abreviaturas e Siglas

|         |   |
|---------|---|
| ABC     | Região de Santo André, São Bernardo e São Caetano                                   |
| ABC     | Sistema de Custeio por Atividades ( <i>Activity Based Costs</i> )                   |
| ABIMAQ  | Associação Brasileira das Indústrias de Máquinas                                    |
| ANAC    | Agência Nacional de Aviação Civil   |
| ATC     | <i>Automatic Tool Changing</i> (Troca Automática de Ferramentas)                    |
| BAR     | Unidade de pressão do Sistema Internacional de Medidas                              |
| BOM     | <i>Build of Material</i> (Estrutura o Produto)                                      |
| BTA     | <i>Boring Trepanning Association</i>  |
| B2B     | <i>Business Two Business</i>  |
| CAD     | <i>Computer Aid Design</i>  |
| CAM     | <i>Computer Aid Manufacturing</i>   |
| CIF     | <i>Cost, Insurance and Freight</i> – (Custos de seguro e frete no porto de destino) |
| CN      | Controle Numérico   |
| CNC     | Comando Numérico Computadorizado  |
| CAP     | Companhia Aeronáutica Paulista  |
| CRM     | <i>Customer Relationship Management</i>   |
| CTA     | Centro de Tecnologias Aeronáuticas  |
| C&C     | Carga e Capacidade  |
| DNC     | <i>Direct Numeric Control</i>   |
| EASA    | <i>Europe Association for Security of Aviation</i>                                  |
| EMBRAER | Empresa Brasileira de Aeronáutica   |
| ELEB    | Embraer Liebherr Equipamentos do Brasil   |
| ERJ     | <i>Embraer Regional Jet</i>   |
| ERP     | <i>Enterprise Resource Planning</i> (Planejamento de Recursos da Empresa)           |
| EUA     | Estados Unidos da América   |
| FAA     | <i>Federal Aviation Administration</i>  |
| FAB     | Força Aérea Brasileira  |
| FEMEA   | <i>Failure Mode Effect Analysis</i> (Análise do Modo de Falha e seus Efeitos)       |
| FOB     | <i>Free on Board</i> – Livre a Bordo (importação com custos no porto de origem)     |
| FRM     | <i>Financial Risk Management</i>  |
| GTO     | Gráfico do Trabalho do Operador   |

|        |   |
|--------|---|
| HRM    | <i>Human Resource Management</i>  |
| IL     | Índice de Lucratividade   |
| JIT    | <i>Just In Time</i>   |
| MC     | <i>Mill Center</i>  |
| MIT    | <i>Machassuset Institute of Tecnology</i>   |
| MRP    | <i>Material Requirements Planning</i> (Planejamento das Necessidades de Material) |
| MRP II | <i>Manufacturing Resource Planning</i> (Planejamento dos Recursos da Produção)    |
| PCP    | Programação e Controle da Produção  |
| PDCA   | <i>Plan, Do, Check, Act</i>   |
| PPCP   | Planejamento, Programação e Controle da Produção                                  |
| P&D    | Pesquisa e Desenvolvimento  |
| P3E    | Programa Embraer de Excelência Empresarial  |
| RBHA   | Requisitos Brasileiros de Homologação Aeronáutica                                 |
| RRC    | Recurso restritivo de Capacidade  |
| RJ     | <i>Regional Jet</i>   |
| STP    | Sistema Toyota de Produção  |
| SCM    | Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos ( <i>Supply Chain Managment</i> )          |
| SLA    | Nível de Atendimento de Serviços ( <i>Service Level Agreement</i> )               |
| SMED   | Toca da Matriz em Um Minuto ( <i>Single Minute Exchange Die</i> )                 |
| TDP    | Trem de Pouso   |
| TDPA   | Trem de Pouso Auxiliar  |
| TDPP   | Trem de Pouso Principal   |
| TIR    | Taxa Interna de Retorno   |
| TPM    | <i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Participativa Total)              |
| TOC    | Teoria das Restrições ( <i>Teory of Constrains</i> )                              |
| VAL    | Valor Atual Líquido   |
| VPL    | Valor Presente Líquido  |
| VSM    | <i>Value Stream Map</i>   |
| WIP    | <i>Work in Process</i>  |



## Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>20</b> |
| 1.1 Contextualização da Pesquisa.....   | 20        |
| 1.2 Questões de Pesquisa .....  | 22        |
| 1.3 Objetivos .....   | 23        |
| 1.4 Justificativas da pesquisa .....  | 23        |
| 1.5 Delimitações da pesquisa.....   | 23        |
| 1.6 Estrutura da Dissertação .....  | 24        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>   | <b>26</b> |
| 2.1 Segmento Aeronáutico Brasileiro .....                                     | 26        |
| 2.1.1 <i>O desenvolvimento da indústria aeronáutica no Brasil</i> .....       | 26        |
| 2.1.2 <i>Características marcantes do setor aeronáutico</i> .....             | 27        |
| 2.1.3 <i>Regulamentação do setor aeronáutico</i> .....                        | 28        |
| 2.1.4 <i>A Demanda do setor aeronáutico Brasileiro</i> .....                  | 29        |
| 2.2 A Manufatura Enxuta por meio do Sistema Toyota de Produção .....          | 33        |
| 2.2.1 <i>O 5s na Manufatura Enxuta</i> .....                                  | 35        |
| 2.2.2 <i>Os sete tipos de desperdícios previstos pelo STP</i> .....           | 36        |
| 2.2.3 <i>Os pilares do STP</i> .....  | 37        |
| 2.2.4 <i>Os cinco princípios do STP</i> .....                                 | 38        |
| 2.2.5 <i>Células de Manufatura</i> .....                                      | 39        |
| 2.2.6 <i>Ferramentas para implantação da Manufatura Enxuta</i> .....          | 41        |
| 2.2.7 <i>Ferramentas e técnicas para a realização de eventos Kaizen</i> ..... | 43        |
| 2.3 Usinagem.....   | 46        |
| 2.3.1 <i>Evolução da usinagem e da máquina-ferramenta</i> .....               | 46        |
| 2.3.2 <i>Tipos de operações</i> .....   | 47        |
| 2.3.2.1 <i>Fresamento, torneamento e tornofresamento</i> .....                | 48        |
| 2.3.2.2 <i>Brochamento</i> .....  | 50        |
| 2.3.2.3 <i>Furação Profunda</i> .....   | 50        |
| 2.3.3 <i>Máquinas aplicáveis a cada tipo de operação</i> .....                | 52        |
| 2.4 Máquinas Multitarefa.....   | 53        |
| 2.5 Gestão de Ativos.....   | 59        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.5.1    | <i>Características dos investimentos e da decisão em investir</i>              | 61        |
| 2.5.2    | <i>Técnicas de análise de investimentos</i>                                    | 62        |
| 2.5.2.1  | <i>Fluxo de caixa</i>  | 63        |
| 2.5.2.2  | <i>Período de Recuperação do Investimento (Payback descontado)</i>             | 64        |
| 2.5.2.3  | <i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>  | 66        |
| 2.5.2.4  | <i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>   | 69        |
| 2.6      | Planejamento e controle da produção (PCP)                                      | 71        |
| 2.6.1    | <i>Principais autores, conceitos e técnicas</i>                                | 72        |
| 2.6.2    | <i>Teoria das Restrições (TOC)</i>   | 73        |
| 2.6.3    | <i>Sistemas MRP, MRPII e ERP</i>   | 74        |
| 2.6.4    | <i>Lead time de produção e ciclo de produção</i>                               | 76        |
| 2.7      | Apuração dos Custos da Qualidade   | 77        |
| <b>3</b> | <b>MÉTODO</b>  | <b>80</b> |
| <b>4</b> | <b>PESQUISA EMPÍRICA – ESTUDO DE CASO</b>                                      | <b>85</b> |
| 4.1      | Levantamento e análise das empresas para a aplicação do estudo de caso         | 85        |
| 4.1.1    | <i>Definição de peça complexa</i>  | 85        |
| 4.1.2    | <i>Rol de empresas que usinam peças complexas para o setor aeronáutico</i>     | 87        |
| 4.1.3    | <i>Escolha da Empresa para aplicação do Estudo de Caso</i>                     | 88        |
| 4.2      | O Lean por meio do P3E - Programa Embraer de Excelência Empresarial            | 88        |
| 4.2.1    | <i>Células de melhoria contínua</i>  | 90        |
| 4.2.2    | <i>A importância dos eventos Kaizen na implantação do P3E</i>                  | 91        |
| 4.3      | Programação e Controle da produção no setor de usinagem                        | 92        |
| 4.4      | Metodologia empregada para identificar e direcionar investimentos              | 96        |
| 4.4.1    | <i>Planejamento de Carga &amp; Capacidade</i>                                  | 96        |
| 4.4.2    | <i>Indicadores de Qualidade</i>  | 99        |
| 4.4.3    | <i>Custos e lead time de fabricação</i>  | 101       |
| 4.4.4    | <i>Custos de Manutenção</i>  | 102       |
| 4.4.5    | <i>Direcionamento dos investimentos na empresa</i>                             | 104       |
| 4.4.6    | <i>Influência da Variação cambial sobre o direcionamento dos investimentos</i> | 106       |
| 4.5      | Estudo de caso sobre as opções de investimento nos projetos A e B              | 107       |
| 4.5.1    | <i>Critérios que norteiam o processo de investimento</i>                       | 108       |
| 4.5.1.1  | <i>Critérios financeiros</i>   | 108       |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.5.1.2  | <i>Critérios comerciais</i> .....   | 111        |
| 4.5.1.3  | <i>Critérios Técnicos</i> .....   | 112        |
| 4.5.1.4  | <i>Critérios de Custo</i> .....   | 113        |
| 4.5.2    | <i>Escolha da peça</i> .....  | 114        |
| 4.5.3    | <i>Delineamento dos processos</i> .....   | 115        |
| 4.5.4    | <i>Cálculos dos custos operacionais relativos aos projetos</i> .....                    | 117        |
| 4.5.4.1  | <i>Fluxo de caixa dos projetos</i> .....  | 118        |
| 4.5.4.2  | <i>Cálculos de Valor Presente Líquido (VPL) dos desembolsos financeiros</i> .....       | 119        |
| 4.5.4.3  | <i>Cálculos de custo da hora da máquina</i> .....                                       | 121        |
| 4.5.4.4  | <i>Cálculo de custo da produção mensal</i> .....  | 122        |
| 4.5.5    | <i>Análise da viabilidade dos projetos</i> .....  | 126        |
| 4.5.5.1  | <i>Fluxo de caixa dos projetos</i> .....  | 126        |
| 4.5.5.2  | <i>Valor Presente Líquido (VPL)</i> .....   | 126        |
| 4.5.5.3  | <i>Período de tempo para Recuperação do Capital (Payback Descontado)</i> .....          | 128        |
| 4.5.5.4  | <i>Taxa Interna de Retorno</i> .....  | 129        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....  | <b>130</b> |
| 5.1      | Resultados .....  | 130        |
| 5.1.1    | <i>Características do setor aeronáutico que usina peças complexas</i> .....             | 130        |
| 5.1.2    | <i>Necessidades de investimentos em novas máquinas</i> .....                            | 130        |
| 5.1.3    | <i>Aplicação das técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e Payback descontado)</i> ..... | 131        |
| 5.1.4    | <i>Características das máquinas Multitarefa em relação à Manufatura Enxuta</i> .....    | 131        |
| 5.1.5    | <i>Fatores de caracterização e integração entre os itens da pesquisa</i> .....          | 133        |
| 5.2      | Limitações da Pesquisa.....   | 134        |
| 5.3      | Considerações Gerais e Finais .....   | 134        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....   | <b>137</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | <b>140</b> |
|          | <b>APÊNDICE A: Protocolo do Estudo de Caso</b> .....                                    | <b>147</b> |
|          | <b>APÊNDICE B: Lista de máquinas Multitarefa da Eleb</b> .....                          | <b>152</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o tema de pesquisa, por meio da apresentação do cenário atual do mundo globalizado, que está baseado em um modelo de gestão predominantemente marcado pela inovação e aplicação do conhecimento, apresenta também as questões de pesquisa, os objetivos, a justificativa, a delimitação do tema e a estrutura da pesquisa.

### 1.1 Contextualização da Pesquisa

O mundo atual caracteriza-se por uma economia globalizada e pela era do conhecimento, e neste cenário, e exige-se das empresas, especialmente as que atuam em setores de alta tecnologia como é o caso do setor aeronáutico, elevados níveis de competitividade e constante orientação para a inovação e excelência dos processos, produtos e serviços, provocando assim mudanças significativas na forma como são desenvolvidos e geridos os sistemas de manufatura.

No lugar do desenvolvimento tecnológico incremental em laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), o modelo de inovação da era do conhecimento relaciona-se a rupturas tecnológicas e expõe grande variedade de tecnologias substitutas e divergentes nas quais o aumento de produtividade baseia-se na aplicação do conhecimento para criação de valor econômico, ainda que parte das atuais tecnologias de gestão encontre suporte no Taylorismo, cujo modelo baseava-se na centralização, na divisão de tarefas e na estabilidade do sistema (ZANINI e MIGUELES, 2010).

Em relação à aplicação do conhecimento e difusão de novas tecnologias, o segmento aeronáutico difere-se dos demais, por suas características técnicas e mercadológicas, representadas pelo elevado nível de exigências em termos de: i) segurança; ii) qualidade; iii) regulamentação; iv) complexidade dos produtos; v) complexidade dos processos; vi) complexidade da cadeia de suprimentos. Neste setor, a cadeia de suprimentos compreende as operações logísticas externas e internas, caracteriza-se por grande quantidade de fluxos e movimentações nas etapas de aquisição, fabricação e montagem. Comparativamente a outras indústrias, a base de consumidores de aviões é bem pequena, a cadência de fabricação é relativamente baixa e a miscelânea de peças é consideravelmente elevada. Esses três fatores exigem o uso de equipamentos tecnologicamente atualizados e profissionais com alta qualificação, e dificultam as tarefas de desenvolvimento e gestão dos processos a um custo

competitivo, especialmente no que tange à “flexibilidade, robustez, qualidade”, e conseqüentemente podem prejudicar o atendimento ao plano de produção, acarretando atrasos nas entregas (LUCINDA, 2012).

Assim como os três fatores que dificultam o atendimento dos elevados níveis de exigência requeridos, citados por Lucinda (2012), a experiência do autor indica que, no setor de usinagem direcionado ao segmento aeronáutico, a complexidade das peças, em termos de geometria e materiais empregados, gera processos de fabricação compostos por inúmeros tipos de operações e fases, e que, para serem realizados, requerem maquinários diversos, o que também representa dificuldades para operacionalizar e gerir os processos de produção. A experiência do autor revela também que, diante de tais dificuldades, os processos são continuamente aperfeiçoados e melhorados, por meio da aplicação de vários princípios e técnicas, sendo o principal deles o Sistema Toyota de Produção (STP), criado e consagrado por Taiichi Ohno.

Mas, em função de certos requisitos técnicos e mercadológicos, surgem no setor aeronáutico que usina peças complexas, determinadas situações nas quais, somente as técnicas de melhoria baseadas no STP, não possibilitam, por si só, elevar o nível dos processos e melhorar a competitividade da organização. Isso conduz à necessidade de serem realizados investimentos, que, de acordo com Leite Filho e Távora Junior (2011), são normalmente direcionados à aquisição de “Tecnologias Avançadas de Manufatura”, que em inglês é conhecida pela sigla ATM (*Advanced Technology Manufacturing*), e que podem ser perfeitamente representadas pelas Máquinas Multitarefa.

Esta nova tecnologia, adquirida por meio de investimento, operacionalizada e suportada pelos princípios e técnicas do STP (consagrados por Taiichi Ohno), e também por outras técnicas de melhoria e gestão de processos, a serem identificadas e abordadas no decorrer da pesquisa, promovem a melhoria radical, a eliminação das perdas e a superação dos concorrentes (MORAES, 2012),

Em relação à Gestão de Ativos, em uma empresa que decide investir em ativos permanentes, Santos (2012), assevera que, o projeto de investimento visa ganhos e, regra geral, apresenta-se como viável ao ser aprovado, mas, durante a sua efetivação, fatores não previstos podem impedir que os ganhos aconteçam conforme o planejado.

Diante desses dois aspectos (possibilidade de deixar de obter ganhos previstos no projeto de investimento e percepção de que as técnicas de gestão de ativos são direcionadores da tomada de decisão sobre as alternativas de investimentos), esta pesquisa, cujo objetivo inicial era estudar a usinagem de peças complexas do setor aeronáutico por meio de máquinas Multitarefa como forma de contribuir para a aplicação dos princípios do STP, teve seu escopo final ampliado para abranger a aplicação dessas tecnologias avançadas de fabricação, representadas pelas máquinas Multitarefa, em conjunto com o STP e as Técnicas de Gestão de Ativos, baseadas nos fundamentos da engenharia econômica.

## 1.2 Questões de Pesquisa

Esta pesquisa visa estudar as técnicas de engenharia econômica e gestão de ativos, técnicas de planejamento da produção, a tecnologia de usinagem em máquina multitarefa e os princípios da Manufatura Enxuta, para em seguida demonstrar, por meio de estudo de caso, a integração e aplicação destas técnicas e princípios em um projeto de investimento para usinagem de peças complexas com duas alternativas mutuamente excludentes.

Preende-se então responder às seguintes questões:

a) Quais são as características do setor de usinagem aeronáutico em relação à complexidade das peças, à regulamentação do setor e à demanda de produtos?

b) Em função das características estudadas, como surge a necessidade de investimento em uma nova máquina para este segmento?

c) Quais são as características técnicas das máquinas Multitarefa, em termos de versatilidade de execução de várias operações de usinagem, que podem facilitar ou dificultar a aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta?

d) Aplicando-se as técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e *Payback*) para decidir entre a compra de um conjunto de máquinas ou uma Máquina Multitarefa, projeto A e Projeto B, ambos para usinagem de peças complexas do setor aeronáutico, qual alternativa de projeto mostrou-se mais vantajosa?

### 1.3 Objetivos

Esta pesquisa se propõe, por meio de pesquisa empírica, a verificar como ocorre a integração entre as técnicas de planejamento, os princípios da Manufatura Enxuta e as técnicas de gestão de ativos, durante o ciclo de investimento e implantação de dois projetos mutuamente excludentes, de modo a possibilitar, ao final, a criação de um quadro genérico com as características e fatores identificados na fase de observação.

Para responder às questões da pesquisa estuda-se, por meio de revisão bibliográfica e pesquisas de campo: i) As características do setor aeronáutico; ii) A Manufatura Enxuta; iii) A usinagem; iv) As máquinas Multitarefa; v) As técnicas de engenharia econômica e gestão de ativos; vi) As técnicas de planejamento da produção; vii) As apuração dos custos da qualidade.

### 1.4 Justificativas da pesquisa

Justificou-se a presente pesquisa pelos seguintes aspectos: i) pela possibilidade de não aplicação conjunta dos princípios de Manufatura Enxuta e das Técnicas de Gestão de ativos por parte dos atores do segmento de usinagem de peças complexas do setor aeronáutico; ii) pela probabilidade de que a não aplicação das técnicas prejudique resultados inicialmente previstos em projetos de aquisição de máquina Multitarefa; iii) pela necessidade de se conhecer quais características das máquinas Multitarefa podem facilitar ou dificultar a aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta; iv) pela necessidade de entender quais são as características do segmento aeronáutico que usina peças complexas em relação à complexidade dos produtos, regulamentação demanda; iv) pela necessidade de compreender como são aplicadas as técnicas de Gestão de Ativos e Manufatura Enxuta; vi) para apresentar as dificuldades existentes na tarefa de programar e controlar a produção de peças no setor de usinagem aeronáutica.

### 1.5 Delimitações da pesquisa

Para se tornar viável, a pesquisa não pode abranger a totalidade do segmento aeronáutico Brasileiro, uma vez que este segmento compreende diversos setores, como por exemplo, o setor de manutenção ligado à aviação, e diversas empresas localizadas em todos os Estados da Federação. Portanto, por questão de viabilidade, em termos de logística, custos

financeiros e limitação cronológica para execução, além da conveniência e disponibilidade de tempo e recursos por parte do autor, a pesquisa dedicou-se em abranger as empresas de usinagem situadas no Vale do Paraíba, sem considerar os demais segmentos e regiões, embora haja o reconhecimento, por parte do autor, sobre a importância desses outros pólos industriais voltados à usinagem de peças complexas para o setor aeronáutico Brasileiro.

Pelas mesmas razões (viabilidade, em termos de logística, custos financeiros e limitação cronológica para execução, além da conveniência e disponibilidade de tempo e recursos por parte do autor), a pesquisa restringiu-se aos estudos e verificação da aplicação dos fundamentos da engenharia econômica baseados na aplicação das técnicas de Gestão de Ativos mais comuns (Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Período de Recuperação do Capital - *Payback*).

## 1.6 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se redigida sob o formato de capítulos e foi estruturada a partir de cinco fases de execução: 1) Fase inicial e preliminar, por meio da qual foi realizada a organização geral da pesquisa; 2) Fase qualitativa, em que foi realizada a revisão bibliográfica, apresentada sob a forma de fundamentação teórica; 3) Fase da definição dos métodos; 4) Fase qualitativa final, em que realiza-se a aplicação empírica por meio de estudo de caso; 5) Fase final, em que foram apresentados os resultados e considerações gerais e finais; 6) O capítulo seis apresenta as conclusões.

Neste primeiro Capítulo contextualiza-se o tema, apresentam-se as questões de pesquisa, os objetivos da pesquisa, a justificativa da pesquisa, as delimitações e a estrutura da pesquisa.

A Fundamentação Teórica, que faz a revisão bibliográfica sobre os temas da pesquisa, é apresentada no capítulo dois, que recebeu uma estruturação composta pelos seguintes itens:

2.1 - Segmento aeronáutico Brasileiro: Descreve o desenvolvimento do setor, suas características em relação aos requisitos de certificação, à complexidade dos produtos, à demanda e à miscelânea dos produtos;

2.2 - Manufatura Enxuta: Apresenta a evolução, os conceitos, os princípios, as técnicas e as ferramentas relativas à Manufatura Enxuta.



2.3 - Usinagem: Registra a evolução das máquinas-ferramentas, os tipos de máquinas, os tipos de operações, e as características que definem uma peça de usinagem complexa.

2.4 - Máquina Multitarefa: Relata o processo evolutivo da máquina Multitarefa e descreve o seu conceito, os tipos de operações realizadas por uma máquina multitarefa e as vantagens e as desvantagens em relação a outras tecnologias de usinagem.

2.5 - Técnicas de engenharia econômica e Gestão de Ativos: Aborda as técnicas mais utilizadas para análise e decisão sobre as alternativas de investimentos (o Período de Recuperação do Investimento, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno).

2.6 - Planejamento e controle da produção: Retrata os principais pensadores, as teorias, ferramentas, técnicas de planejamento, programação e controle da produção.

2.7 - Apuração dos custos da qualidade: Apresenta a técnica utilizada para apuração dos custos de qualidade e disponibilização dos dados para servirem como indicadores que suportam as decisões estratégicas das organizações.

No capítulo três descreve-se o método aplicado na realização da pesquisa.

O capítulo quatro apresenta a pesquisa empírica, realizada por meio do estudo de casos, cujo protocolo de execução encontra-se disponível ao final na forma de apêndice A.

Os resultados, as limitações da pesquisa, as considerações gerais e finais e as propostas de temas para trabalhos futuros, são apresentadas no capítulo cinco.

No capítulo seis encontram-se as conclusões da pesquisa.

Além de apresentar a estrutura completa da dissertação, e possibilitar uma visão inicial mais e detalhada de todo o seu conteúdo, este item serviu também como ferramenta para reflexão, por parte do autor, quanto à melhor forma de concatenação dos temas por meio dos capítulos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O capítulo seguinte apresenta a pesquisa realizada sobre o desenvolvimento do segmento aeronáutico Brasileiro e suas características em termos de regulamentação e demanda.

### 2.1 Segmento Aeronáutico Brasileiro

Trata-se de um segmento importante em termos de geração de superávit da balança comercial e desenvolvimento tecnológico, destina-se à exportação de produtos com elevado nível de valor agregado e é também base para geração de conhecimento e formação de *clusters* usuários de tecnologias avançadas. Um *cluster* é um conglomerado de organizações industriais, neste caso caracterizado por fornecedores localizados numa mesma base territorial, com características comuns, e que trabalham de forma colaborativa para obter vantagens competitivas (PORTER, 1999).

O desenvolvimento do setor aeronáutico no Brasil é apresentado no item seguinte.

#### 2.1.1 *O desenvolvimento da indústria aeronáutica no Brasil*

A história da indústria aeronáutica Brasileira remonta a Alberto Santos Dumont no início do século XX, passando em seguida pela criação de duas empresas aeronáuticas na década de 1930 (a Fábrica Brasileira de Aviões e a Companhia Nacional de Navegação Aérea). Em seguida houve a criação da CAP (Companhia Aeronáutica Paulista) em 1942, e a criação da Sociedade Construtora Aeronáutica – NEIVA na década de 1950. Em 1961 foi criada a AVIBRÁS para projetar, desenvolver e construir aviões e foguetes, e em 1962 foi criada a Sociedade AEROTEC, ambas formadas por jovens engenheiros do ITA. Em 1969, foi criada a Empresa Brasileira da Aeronáutica – EMBRAER que se tornou a terceira maior fabricante mundial e quinta maior exportadora do Brasil (OLIVEIRA, 2004).

A indústria aeronáutica no Brasil, portanto, ganhou força, e conta atualmente com outras empresas como a Helibrás que está situada em Itajubá no estado de Minas Gerais e que fabrica helicópteros projetados pela empresa francesa Eurocopter. Há também a alemã Liebherr, instalada em Guaratinguetá SP, que se dedica à produção de componentes, e a GE-Celma em Petrópolis - Rio de Janeiro. Mas foi no entorno da Embraer que se concentrou o

maior aglomerado industrial aeronáutico do Brasil formado por diversas empresas como, a unidade ELEB que é uma fabricante de sistemas de Trem de Pouso, as empresas AKAER, SOBRAER e LATECOERE, todas ligadas à estruturas e fuselagens, além de outras duas unidades da Embraer.

Além dessas empresas, desenvolveu-se também uma rede de fornecedores de serviços de usinagem, estampagem, tratamentos térmicos e superficiais, dentre outros processos, muitos dos quais estão instalados em outras regiões e Estados, mas que se concentraram especialmente no Vale do Paraíba, Campinas, Mogi das Cruzes e ABC Paulista<sup>1</sup>.

### 2.1.2 *Características marcantes do setor aeronáutico*

Para Silva et al. (2013), a indústria aeronáutica e de defesa são extremamente importantes e o crescimento desse setor desencadeia um transbordo de desenvolvimento tecnológico para outros setores produtivos do país, e ao resumir os estudos de Lucinda (2012), verifica-se que o setor aeronáutico está segmentado em três nichos: Defesa, Aviação Comercial, e Aviação Executiva. O segmento de Defesa, cujos clientes são os governos, desempenha importante papel em relação às linhas de crédito para financiamentos e para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). A Aviação Comercial é o segmento mais representativo em termos de demanda e neste segmento as companhias aéreas são os principais clientes, que junto com as companhias de leasing e transporte de cargas, determinam o volume de venda de aviões. Em relação ao segmento da Aviação Executiva, além das empresas de aviação, os artistas, os empresários e as pessoas jurídicas que normalmente não estão diretamente ligadas ao setor de transporte aéreo tornaram-se importantes clientes.

Segundo Rüttimann, Fonseca e Pinto (2014), a lucratividade do setor é afetada pelo desempenho da economia global, em especial a dos EUA, que se constitui no principal mercado consumidor de aeronaves, e também pelas políticas governamentais. Tais características exigem dos fabricantes de aeronaves cada vez mais inovações e melhorias em processos de produção e sistemas de gestão, sendo fundamental o uso de metodologias como

---

<sup>1</sup> Informações obtidas por meio de pesquisa de campo e pela experiência do autor que trabalhou nas empresas Avibrás Aeroespacial, no período de 1986 a 1989, e Embraer, no período de 1989 a 2013.

a Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*), e também o uso de máquinas tecnologicamente atualizadas e capazes de atender aos requisitos dos produtos e processos.

### 2.1.3 Regulamentação do setor aeronáutico

Quanto à regulamentação do setor, a experiência do autor, e as pesquisas de campo realizadas, indicaram que a indústria aeronáutica é fortemente regulada por órgãos governamentais que atuam por meio de agências certificadoras como: i) a ANAC no Brasil (Agência Nacional da Aviação Civil); ii) o FAA (*Federal Aviation Administration*) nos EUA e iii) a EASA (*European Aviation Safety Agency*) na Europa. As agências estabelecem normas para desenvolvimento, produção, suporte técnico e operação de aeronaves, de modo que a segurança seja sempre a característica principal do setor (ANAC, 2009).

O produto aeronáutico é definido como aeronave, motor de aeronave ou hélice, ou ainda seus componentes e partes, peças, materiais e aparelhos aprovados sob uma ordem técnica padrão. A aeronavegabilidade consiste no conjunto sistemático de ações que visa garantir o nível de segurança dos produtos aeronáuticos e a sua manutenção durante a vida em serviço (POSSI JUNIOR, PASSOS e OLIVEIRA FILHO, 2010).

Para o desenvolvimento, produção, comercialização, manutenção e operação das aeronaves é preciso receber a Certificação de Tipo em cada continente, e no Brasil a Lei Federal nº 7.565/86 criou o Código Brasileiro de Aeronáutica. Há também os RBHA (Requisitos Brasileiros para a Indústria Aeroespacial), que visam garantir a aeronavegabilidade dos produtos aeronáuticos (ANAC, 2009).

Para segurança do sistema de navegação aeronáutica, mesmo que já tenha sido homologado o produto aeronáutico e emitido o Certificado de Tipo, as alterações de projeto, de processos de fabricação, ou eventuais desvios de qualidade, devem ser comunicados aos órgãos certificadores que analisam a severidade e o impacto das alterações ou dos desvios, podendo requerer uma Certificação Suplementar, (ANAC (2013), podendo também impedir a operação das aeronaves até que sejam identificadas e eliminadas as causas do desvio, com garantia de abrangência para toda a frota, abrangência esta que se dá por meio de um documento conhecido como boletim de serviço, cuja abreviação é BS, e em inglês significa *service bulletin* (POSSI JUNIOR, PASSOS e OLIVEIRA FILHO, 2010).

Observa-se, portanto, que a indústria aeronáutica é rígida quanto a regulamentação e isso se reflete sobre o uso de novas técnicas para produzir as partes e componentes, dificultando ou impedindo alterações e melhorias nos processos de fabricação que podem requerer nova certificação de tipo, o que eleva os custos e o tempo de implantação das melhorias ou modificações, podendo torná-las inviáveis, a menos que se tratem de correções necessárias para eliminar potenciais desvios ou falhas. Deste modo, os processos precisam ser desenvolvidos e certificados com o maior grau de qualidade e produtividade possível, para que sejam mantidos na forma original até que haja o desenvolvimento de um novo produto ou a alteração do produto existente, fatos estes que naturalmente exigem novas certificações de tipo, denominadas Certificação Suplementar (ANAC, 2009).

Outra característica importante do setor aeronáutico, e que influencia na forma como são desenvolvidos e gerenciados tecnicamente os processos, é a demanda de peças e de produtos, e cuja revisão bibliográfica e compilação dos dados obtidos e analisados a partir de fontes primárias de pesquisa, são apresentadas no próximo item.

#### *2.1.4 A Demanda do setor aeronáutico Brasileiro*

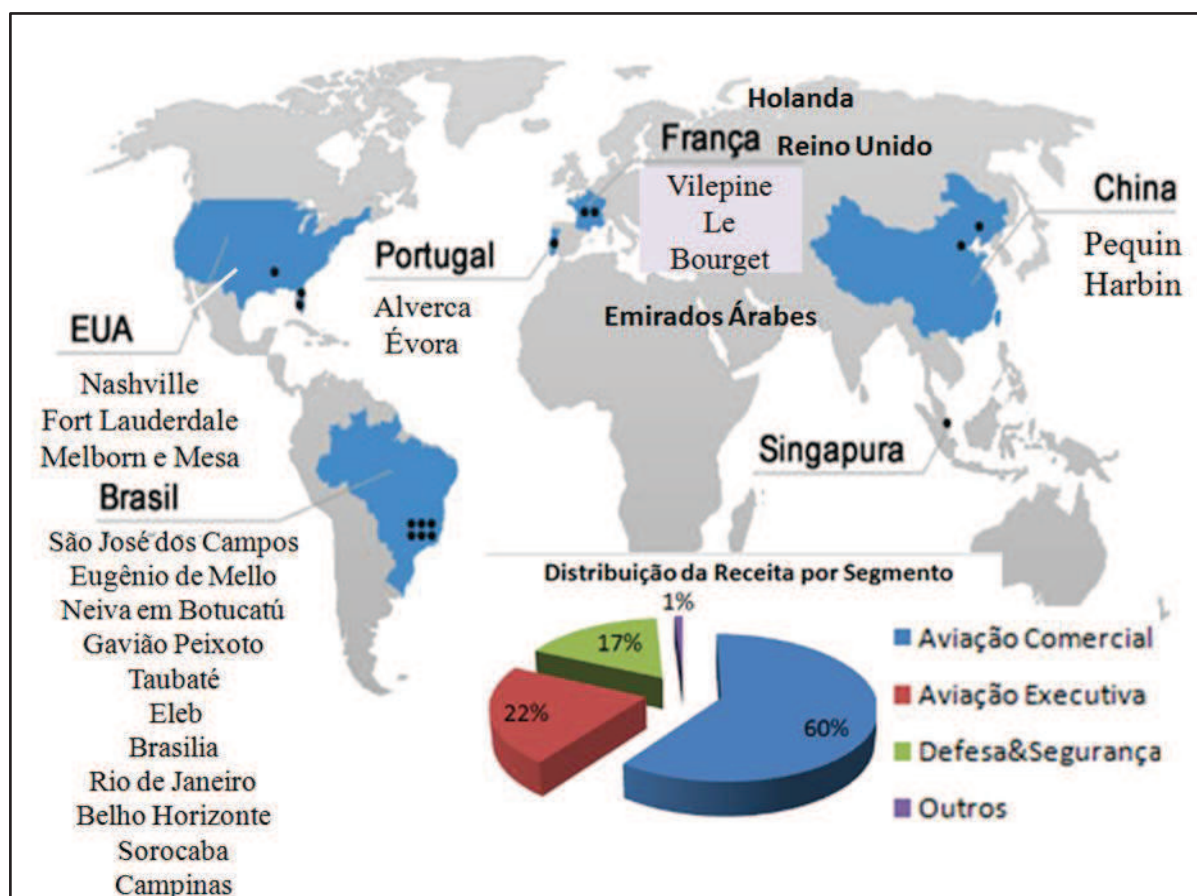
Em relação ao volume de aeronaves produzidas no Brasil, os resultados se devem principalmente aos desempenhos de duas empresas, a Embraer, e a Helibrás que atua no segmento de helicópteros (aeronaves de asas rotativas) e que, por ser empresa de capital fechado, não tem a obrigatoriedade de divulgação dos resultados contábeis e financeiros (GOMES, FONSECA e QUEIRÓZ, 2013). Por meio da imprensa, a Helibrás divulgou que sua produção em 2010 foi de quarenta e duas aeronaves, com setenta e quatro aeronaves na carteira de pedidos, representando um bilhão e novecentos milhões de Reais (GALANTE, 2011).

A Embraer é a terceira maior fabricante mundial de aviões, e quinta maior exportadora do Brasil, atua em vários segmentos da aviação e teve receita anual líquida anunciada ao final de 2014 no valor de quinze bilhões de Reais, com uma carteira de pedidos no valor de US\$ vinte e dois bilhões de dólares. A empresa atua nos segmentos de aviação comercial, executiva, defesa e segurança e possui mais de dezenove mil empregados distribuídos em suas unidades e subsidiárias. Do total de empregados 82% estão no Brasil, e o faturamento do

segmento comercial foi sempre o mais representativo para a empresa correspondendo historicamente por cerca 60% do faturamento total (EMBRAER, 2015-a).

A Figura 1 apresenta as unidades da Embraer e a distribuição do faturamento da empresa em cada um dos segmentos de mercado em que atua.

Figura 1: Unidades da Embraer e distribuição do faturamento por segmento

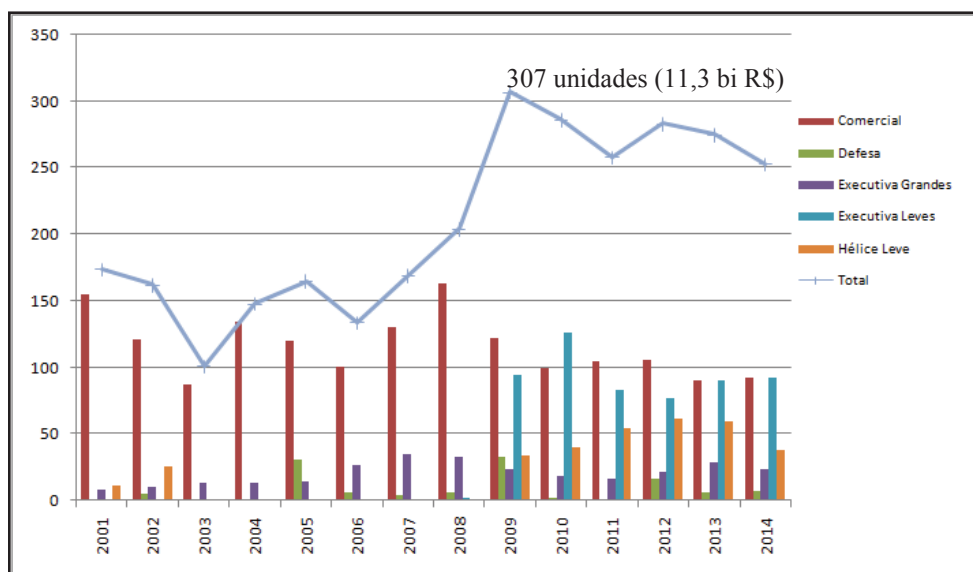


Fonte: Adaptado de Embraer, 2015-a.

Em relação às vendas, observa-se que houve um expressivo crescimento no período entre 2001 e 2009, quando a crise na economia dos EUA reduziu a produção de aeronaves em todo o mundo e afetou diretamente a estratégia de investimentos da empresa, especialmente aqueles direcionados à compra de ativos fixos aplicados na produção (EMBRAER, 2015-b)

O Gráfico 1 apresenta a evolução das entregas de aviões produzidos pela Embraer no período entre 2001 e 2014.

Gráfico 1: Evolução das entregas no período 2001 a 2014



Fonte: Adaptado de Embraer, 2015-b.

Como uma forma de se entender a característica de demanda do segmento aeronáutico, pode-se comparar a produção de aeronaves e os resultados publicados por Embraer (2015-b), com a produção de veículos automotores, cujos dados foram publicados por Anfavea (2010). A maior quantidade de aeronaves entregues pela Embraer ocorreu no ano de 2009, chegando a trezentos e sete unidades, e com faturamento de onze bilhões e trezentos milhões de Reais. No mesmo ano, a produção de veículos automotores ultrapassou a marca de três milhões e cem mil unidades, representando uma receita bruta de cento e oito bilhões de Reais.

Observa-se que, embora em termos absolutos os resultados do segmento aeronáutico (representados exclusivamente pelos resultados da Embraer), sejam inferiores aos resultados do setor automobilístico (representado pelo resultado de todas as montadoras do país), em termos relativos são expressivos, especialmente em relação à balança comercial brasileira e não apenas pela tecnologia empregada e alto valor agregado dos produtos, mas também pelo fato de que, a quase totalidade da produção aeronáutica é destinada à exportação, ao passo que, no caso do setor automobilístico, as exportações representaram aproximadamente sete e meio por cento da receita total, e alcançaram a cifra de oito bilhões de Reais em 2009, ou seja, um valor de exportação por parte do segmento automobilístico inferior ao total exportado pela Embraer (ANFAVEA, 2010, EMBRAER, 2015-b).

O setor aeronáutico, representado pela Embraer, também é importante devido ao fato de que a tecnologia empregada provoca um transbordo de desenvolvimento tecnológico e da



cadeia produtiva de outros segmentos, além de conduzir à alianças e acordos bilaterais entre países e associação entre grandes empresas (*joint ventures*) (SILVA et al., 2013; FONSECA, GOMES, e QUEIRÓZ, 2014).

O Quadro 1 indica que a Embraer produz aeronaves para atender à diversos segmentos de mercado, e que, para atingir a este objetivo, a empresa desenvolveu modelos de aeronaves para atender à diferentes tipos de demanda em cada um dos segmentos. Apresenta também a quantidade de aeronaves entregues pela Embraer no período de 2001 a 2014, em cada segmento.

Quadro 1: Quantidade de aeronaves entregues entre 2001 e 2014

| Segmento                          | Aeronave                        | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 | 2009 | 2008 | 2007 | 2006 | 2005 | 2004 | 2003 | 2002 | 2001 |
|-----------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comercial                         | EMBRAER 145/140/145             | 0    | 0    | 0    | 2    | 6    | 7    | 6    | 7    | 12   | 48   | 88   | 87   | 121  | 155  |
|                                   | EMBRAER 170                     | 1    | 4    | 1    | 1    | 11   | 22   | 9    | 11   | 34   | 46   | 46   |      |      |      |
|                                   | EMBRAER 175                     | 62   | 24   | 20   | 10   | 8    | 11   | 55   | 34   | 12   | 14   |      |      |      |      |
|                                   | EMBRAER 190                     | 19   | 45   | 62   | 68   | 58   | 62   | 79   | 68   | 40   | 12   |      |      |      |      |
|                                   | EMBRAER 195                     | 10   | 17   | 23   | 24   | 17   | 20   | 14   | 10   | 3    | 0    |      |      |      |      |
|                                   | Total da Aviação Comercial      |      | 92   | 90   | 106  | 105  | 100  | 122  | 163  | 130  | 101  | 120  | 134  | 87   | 121  |
| Defesa                            | EMBRAER 190/170                 | 0    | 0    | 0    | 0    |      | 2    |      | 2    | 6    |      | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | Legacy 600                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 3    | 1    | 0    | 6    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | EMBRAER 135                     | 0    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 2    | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | Phenom 100                      | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 4    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | EMB 145 AEW&C/RS/MP             | 0    | 0    | 2    | 0    | 0    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1    |      | 1    | 5    |      |
|                                   | EMB Tucano/AL-X Super Tucano    | 7    | 6    | 14   | 0    | 0    | 26   | 0    | 0    | 0    | 24   |      |      |      |      |
| Total da Aviação de Defesa        |                                 | 7    | 6    | 16   | 0    | 2    | 33   | 6    | 4    | 6    | 31   | 1    | 1    | 5    | 0    |
| Executiva (Grandes)               | Legacy 500 / 600 / 650          | 21   | 23   | 19   | 13   | 10   | 18   | 33   | 35   | 27   | 14   | 13   | 13   | 7    |      |
|                                   | Embraer 145/170/ 190 Shuttle    | 0    | 2    | 1    | 0    | 3    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 3    | 8    |
|                                   | Lineage 1000                    | 3    | 4    | 2    | 3    | 5    | 3    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Total Aviação Executiva (Grandes) |                                 | 24   | 29   | 22   | 16   | 18   | 24   | 33   | 35   | 27   | 14   | 13   | 13   | 10   | 8    |
| Executiva (Leves)                 | Phenom 100                      | 19   | 30   | 29   | 41   | 100  | 93   | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | Phenom 300                      | 73   | 60   | 48   | 42   | 26   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
|                                   | Total Aviação Executiva (Leves) |      | 92   | 90   | 77   | 83   | 126  | 94   | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| Geral                             | Hélice Leve                     | 38   | 60   | 62   | 54   | 40   | 34   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 26   | 11   |
| Total Geral Entregue              |                                 | 253  | 275  | 283  | 258  | 286  | 307  | 204  | 169  | 134  | 165  | 148  | 101  | 162  | 174  |

Fonte: Adaptado de Embraer, 2015-b.

Por meio do Quadro 1, elaborado para que posteriormente se possa entender a complexidade da estrutura do produto, e conseqüentemente as dificuldades em programar e controlar a produção de peças, observa-se a aplicação do conceito de “famílias de aeronaves” para constituição da carteira de produtos da Embraer.

Mas, apesar dos aviões estarem organizados por famílias, Ackert (2013), revela que existe por parte do mercado uma série de exigências e requisitos diferenciados para cada cliente, o que muitas vezes, faz com que alguns modelos precisem apresentar elevados níveis de personalização (customização) para atender a certas necessidades específicas de



determinados clientes (como alcance de voo, capacidade de carga, distância de decolagem e sistemas aniônicos, dentre outros) e isso resulta em estruturas de produtos específicas, com baixo ou nenhum grau de características comuns entre as peças.

Observa-se que tais características do setor aeronáutico tendem a acarretar uma estrutura de produto com elevado grau de miscelânea de peças de tal modo que, juntamente com a baixa demanda, a complexidade, o longo ciclo de desenvolvimento e a forte regulamentação para certificação dos produtos, e fazer com que exista neste setor um maior grau de dificuldade em desenvolver e gerenciar os processos de fabricação sendo, portanto, importante destacar a aplicação de ferramentas como a Manufatura Enxuta, apresentada a seguir por meio do item seguinte.

## 2.2 A Manufatura Enxuta por meio do Sistema Toyota de Produção

Chiarini (2012) descreve a Manufatura Enxuta (*Lean Production*) como o resultado da derivação do livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (*The Machine that Changed the World*) escrito por Womack, Jones e Ross. O autor define a Manufatura Enxuta como a busca pela eficiência dos processos, ao passo que o “Pensamento Lean” é uma filosofia que visa a eficiência da organização como um todo, e está embasado na simplificação do Fluxo do Valor de modo a eliminar qualquer tipo de desperdício e promover o Fluxo Contínuo.

A Manufatura Enxuta (ou *Lean Manufacturing*) surgiu no Japão em 1950, após a Segunda Guerra Mundial, quando Eiji Toyoda visitou uma unidade da Ford em Detroit nos EUA e, juntamente com Taiichi Ohno, concluíram que o sistema de produção em massa não funcionaria no Japão. Como as empresas Japonesas encontravam-se sem capacidade e sem mão de obra para concorrer com empresas automobilísticas dos EUA, Ohno criou o Sistema Toyota de Produção (STP), baseado em seus modelos de troca rápida, e que veio a se tornar principal modelo de gestão industrial do mundo (WOMACK, JONES e ROSS, 2004).

Para Moraes (2012), o *Lean* é fruto do trabalho de engenheiros ocidentais, mas foi bem sucedido no Japão devido à questões culturais, e descreve a implantação do STP por meio por três etapas:

A) conhecer o *Nagara* (disciplina), entender o *Enryo* (pensar no próximo), praticar o *Shoshin* (ter a mente aberta), planejar com o *Hoshin Kanri* (planejamento feito por todos), promover o *Nemawashi* (base para a mudança), usar do *Ringisel* (decisão compartilhada);

B) planejar com o *Yamazumi* (Gráfico de Balanceamento do Operador), aplicar o *Yokoten* (copiar e replicar ideias e soluções dos eventos *Kaizen*), pregar o praticar o *Jikotei Kanketsu* (não aceitar defeito, não gerar defeito e não enviar defeito), Investir em *Jidoka Hanedashi* e *Karakuri* (automações que interrompem a produção em caso de defeitos), desenvolver processos com *Chaku Chaku* (garantir o abastecimento da célula), programar com *Heijunka* (produção puxada, balanceada e de acordo com o *takt time*), crer no *Misuzumashi* (criar rotas de abastecimento para as células – sistema *Milk Run*), identificar e aplicar bons *Jishuken* (atividades com o objetivo de identificar problemas visivelmente críticos), ir sempre ao *Gemba* (onde as coisas acontecem), desenvolver bons *Kamishabais* (instruções de trabalho no formato de *check list*), praticar o *Mieruka* (gestão visual), aplicar o *Seiryuka* (avaliação da administração), usar o *Makigami* (mapeamento do processo feito em rolo de papel e de fácil visualização por todos);

C) observar sempre o *Waruza Kagen* (ser rigoroso com os detalhes e ter disciplina), promover o *Kaikadu* (melhoria radical para eliminar um dos sete desperdícios), identificar e aplicar o *Muri Mura Muda* (os 3M dos STP que representam as perdas), utilizar do *Dantotsu* (tornar-se melhor para superar os concorrentes), usar o *Mizemboushi* (medidas de prevenção similares às técnicas de FMEA), formar bons *Mōkerus* (engenheiros industriais que praticam o pensamento Lean e geram lucro), desenvolver o *Monuzukuri e o Hitozukuri* (absorver a filosofia *Lean* e fazer o que tem que ser feito sem desperdício).

Devido à abrangência desta pesquisa os aspectos levantados por Moraes (2012) não serão abordados, embora muitos estejam implicitamente contidos nos pilares, princípios e ferramentas do STP apresentados no desenvolvimento dos temas.

Após o sucesso na indústria automobilística o *Lean* foi introduzido no segmento aeronáutico e atualmente os grandes fabricantes de aviões como Boeing, Airbus e Embraer possuem departamentos dedicados à disseminação e aplicação do pensamento enxuto.

Para disposição lógica e didática os conceitos sobre a Manufatura Enxuta foram organizados da seguinte forma: i) o 5s; ii) os sete tipos de desperdícios previstos pelo STP; iii) os pilares do STP; iv) os cinco princípios da Manufatura Enxuta; v) as ferramentas para implantação da Manufatura Enxuta; vi) ferramentas e técnicas para realização de eventos *Kaizen*.

O item seguinte apresenta o programa 5s sendo aplicado no contexto da manufatura Enxuta.

### 2.2.1 O 5s na Manufatura Enxuta

O 5s, desenvolvido para transformar a atitude das pessoas e os ambientes organizacionais, foi adotado no Japão na década de 1950 com o fim de promover a Qualidade Total e recuperar das empresas japonesas e tornou-se tão eficiente que passou a ser considerado como um dos principais instrumentos para gestão da qualidade e da produtividade (CAMPOS, 1992; CAMPOS et al., 2005; REBELLO, 2005, FRANCO, 2006).

Segundo Womack e Jones (1998) é uma ferramenta que objetiva a ocupação do espaço, e que é representada por cinco palavras em japonês, iniciadas com a letra “s” (5s):

1) *Seiri* (整理), significa o senso de utilização e visa manter no espaço de trabalho apenas os materiais e as ferramentas necessárias para executar a tarefa, de modo a eliminar os desperdícios, facilitar o fluxo de materiais e das pessoas e reduzir a chance de erro por uso indevido de algo que não deveria estar no local de trabalho.

2) *Seiton* (整頓), é o senso que visa a organização sistemática para manter tudo em ordem e pronto para ser utilizado, devendo ficar ao alcance das mãos para evitar desperdícios causados por movimentos desnecessários.

3) *Seiso* (清掃), entende-se como o senso de limpeza, por meio do qual o local deve estar o mais limpo possível, para prevenir a deterioração de máquinas, aumentar a satisfação das pessoas em estar no local de trabalho, e facilitar a detecção de problemas.

4) *Seiketsu* (清潔), é o senso de padronização, por meio do qual é preciso padronizar as práticas de trabalho.

5) *Shitsuke* (躰), é o senso de autodisciplina desenvolvido para manter as quatro regras criadas pelos sentidos anteriores e evitar retrocesso às práticas antigas.

No STP o 5s está relacionado com a gestão visual (prática do *Mieruka*), e também com a eliminação dos desperdícios, que é o principal foco do STP conforme apresentado no próximo item.

### 2.2.2 Os sete tipos de desperdícios previstos pelo STP

Ao definir a Produção Enxuta OHNO (1997), estabelece que o principal objetivo do STP é a eliminação de sete perdas conhecidas pela terminologia da palavra japonesa *MUDA* (que significa desperdício) e que são: i) Defeitos; ii) Superprodução; iii) Espera; iv) Transporte; v) Processamento; vi) Movimentação; vii) Estoque. A Figura 2 apresenta esquematicamente os sete desperdícios do STP.

Figura 2: Os sete desperdícios previstos no STP



Fonte: Adaptado de Ohno, 1997

Moraes (2012) descreve os 3M do STP, *Muda*, *Mura* e *Muri*, da seguinte maneira:

1. Muda – Perda: Desperdício ou atividade que consome recurso da empresa e não agrega valor;
2. Mura – Perda: Desperdício ou atividade decorrente de uma variação no processo de fabricação de um produto que pode gerar uma falha de qualidade;
3. Muri – Perda: Desperdício ou atividade decorrente do exagero no processo de fabricação, seja de movimento pelos operadores, excesso de estoque, movimentação de materiais e que são completamente desnecessários ao mesmo.

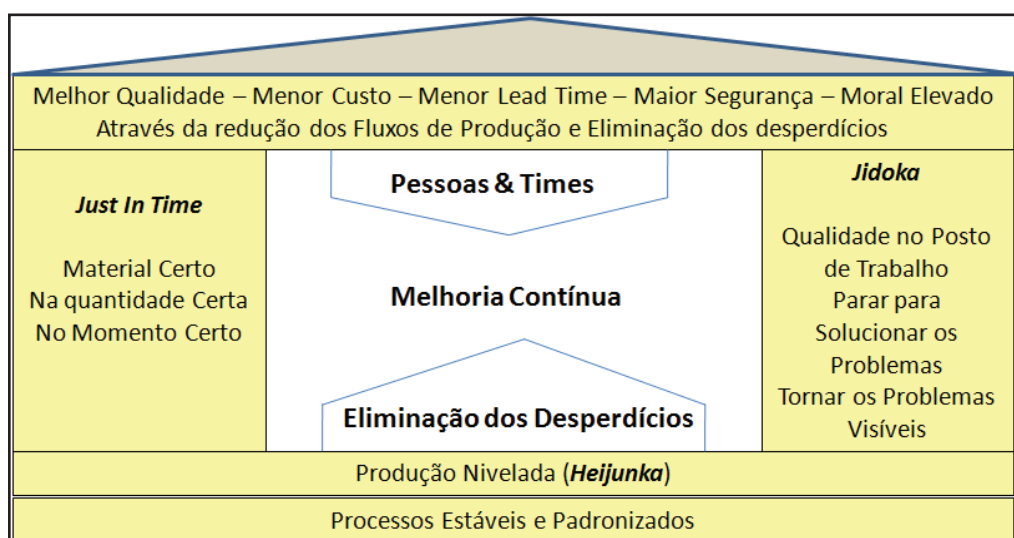
Portanto, sendo atividades ou eventos que não adicionam valor ao produto os sete desperdícios devem ser continuamente eliminados por meio de disciplina, de conhecimento, da experiência e principalmente por meio da implantação dos pilares do STP conforme apresentado no item seguinte.

### 2.2.3 Os pilares do STP

O Sistema Toyota de Produção (STP) baseia-se em dois pilares, sendo o primeiro a automação (JIDOKA) dotada de um “toque humano” e na qual as máquinas, equipamentos e as pessoas são preparados e recebem a autonomia de parar a produção quando ocorrer uma condição normal e pré-estabelecida (quantidade produzida suficiente para atender a demanda é um caso típico em que os trabalhadores podem decidir por interromper a produção) ou no caso de uma condição anormal como os desvios de qualidade. O segundo pilar é a aplicação do conceito Just in Time (JIT), que visa obter um fluxo contínuo e minimizar os estoques em níveis estritamente necessários ao sistema de modo a produzir apenas a quantidade necessária, no tempo exato e com os produtos entregues diretamente no ponto de uso (OHNO, 1997).

A Figura 3 é conhecida como Casa do STP e apresenta os seus dois pilares.

Figura 3: A Casa do STP



Fonte: Adaptado de Liker e Morgan, 2006

Por meio desses dois pilares busca-se obter processos estáveis, padronizados e com produção balanceada obtida a partir da aplicação do *Heijunka*. Busca-se também eliminar os desperdícios, promover a melhoria contínua e valorizar as pessoas e os times, de modo a obter melhor qualidade com menor custo, com menores tempos de produção, e com mais segurança para os trabalhadores devem estar sempre com o moral elevado.

Além dos pilares do STP, a Manufatura Enxuta é obtida por meio da aplicação de cinco princípios conforme descrito no item seguinte.

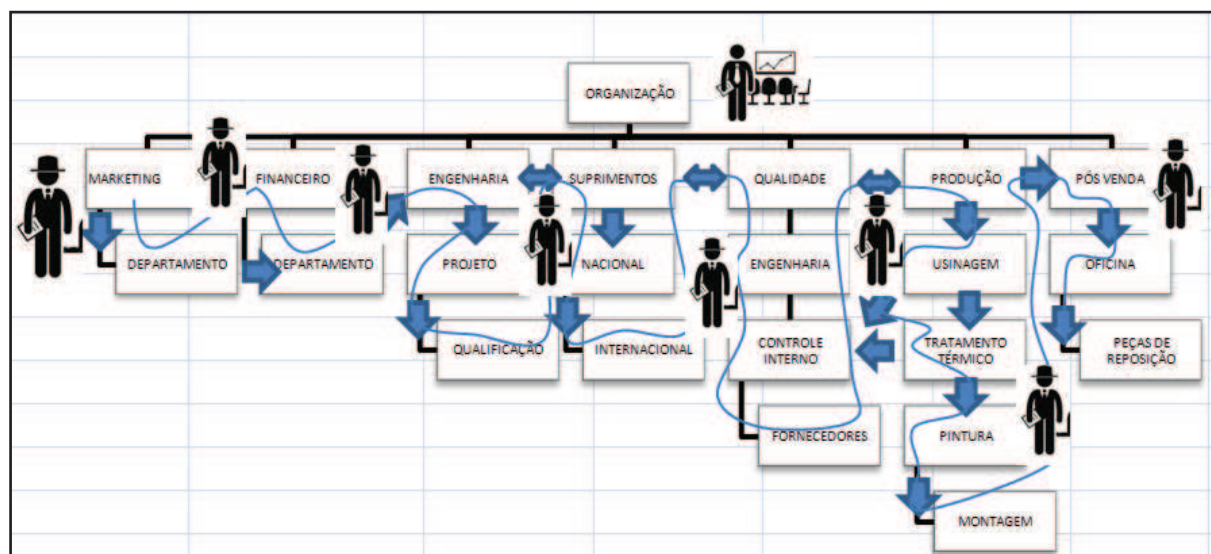
### 2.2.4 Os cinco princípios do STP

Conforme Womack e Jones (1998), além dos pilares do STP a eliminação dos desperdícios requer a aplicação de cinco princípios considerados fundamentais, e que orientam o sucesso na difusão do Pensamento Enxuto, sendo eles: i) o Valor; ii) a Cadeia de Valor; iii) o Fluxo Contínuo; iv) a Produção Puxada; v) a Busca pela Perfeição.

O Valor, dentro do conceito do *Lean*, deve ser considerado sob o ponto de vista do cliente, e a agregação de valor só ocorre quando uma atividade realizada atendeu às necessidades do cliente, tornando-o satisfeito. As atividades que não agregam valor devem ser identificadas e eliminadas, ao passo que Cadeia de Valor e o Fluxo de Valor visam conhecer todas as atividades necessárias para levar um produto a passar pelas três tarefas de gestão do negócio: a) Tarefa de solucionar problemas desde o desenvolvimento até o lançamento do produto para fabricação b) Tarefa de gerenciamento da informação que acontece desde o recebimento do pedido até a entrega; c) Tarefa de transformação física da matéria-prima até o produto acabado entregue ao cliente (WOMACK e JONES, 1998).

A Figura 4 representa o fluxo de valor do produto dentro da organização, e observa-se pela análise da mesma, que o Valor "Flui" pelos vários departamentos da organização, e que uma maneira de identificar o "Fluxo do Valor", é "caminhar pelos vários departamentos", para "acompanhar e analisar" as "várias etapas dos processos" (ROTHER e SHOOK, 1999).

Figura 4: Fluxo do Valor



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2016.



Identificado o Valor, e também a Cadeia de Valor, busca-se o Fluxo Contínuo por meio do nivelamento *Heijunka* e da Produção Puxada, obtida por meio da aplicação da ferramenta de Mapeamento do Fluxo do Valor (MFV) que em inglês é conhecida pela sigla VSM (*Value Stream Map*) e que é fundamental para identificar os desperdícios e planejar ações para eliminá-los (ROTHER e SHOOK, 1999).

No STP o Fluxo Contínuo é importante, pois busca garantir que o produto seja entregue ao cliente sem que existam grandes estoques entre as etapas dos processos, e é obtido após ter sido identificado o que realmente agrega valor para em seguida, ser eliminado o que não agrega valor, de modo que o processo possa “fluir” sem obstáculos (WOMACK e JONES, 1998).

Já a Produção Puxada, baseia-se no princípio de que somente deve ser produzido o que for necessário, e de acordo com a demanda do mercado que é determinada pelo cliente, e sendo também realizada partir do cliente. No Sistema Puxado, os estoques devem servir apenas para garantir o atendimento e para preservar o sistema das incapacidades de atendimento. Mas mesmo assim, essas incapacidades devem ser continuamente eliminadas, pois são consideradas perdas (ROTHER e SHOOK, 1999).

De acordo com Ohno (1997), a Busca pela Perfeição relaciona-se com a forma como a organização enxerga os desperdícios, demonstrando comportamento de naturalidade ou de indignação quando são identificados os desperdícios que não agregam valor. A busca pela perfeição (*Jikotei Kanketsu*) deve ser constante e pode ser obtida por meio do processo de melhoria contínua que é facilitado pela implantação de células de manufatura e cujo conceito é apresentado no próximo item.

### 2.2.5 Células de Manufatura

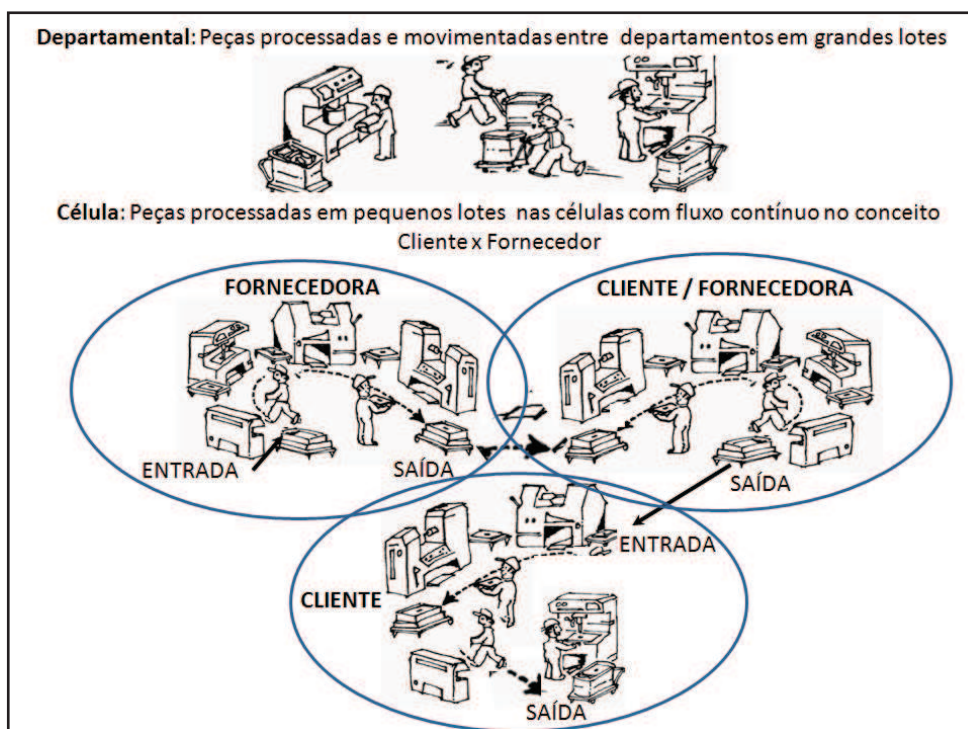
Uma maneira de melhorar o Fluxo do Valor é a criação de células de manufatura, que são arranjos físicos baseados em processos e visam minimizar a movimentação de pessoas, materiais e informações, por meio de trabalho colaborativo entre pessoas de várias áreas (produção, qualidade, engenharia de produção, manutenção, PCP, logística). Os membros da célula compartilham metas comuns, resolvem problemas e promovem a melhoria contínua da célula com autonomia. Consequentemente levam à melhores resultados e aumento da estima dos trabalhadores (DALMAS, 2004).

Conforme Black (1998), numa célula de manufatura busca-se possibilitar a produção de uma família de produtos de acordo com o Fluxo do Valor mapeado e, portanto, as máquinas utilizadas são normalmente menores, mais lentas, porém mais versáteis, os operadores são multifuncionais e polivalentes. O sistema de manufatura celular possui um arranjo físico baseado na disposição das máquinas, de acordo com a sequência do processo, em que uma célula é sempre fornecedora de uma célula posicionada na etapa posterior do processo, e conseqüentemente, torna-se cliente de outra célula que esteja posicionada na etapa anterior. Este sistema gera a necessidade de que cada membro assuma o papel de cliente ou de fornecedor, de acordo com a situação em que se encontre, seja ao receber produtos da célula anterior, ou ao fornecê-los para a célula seguinte.

O Arranjo celular também possibilita a redução do tempo de preparação (*setup*) devido à similaridade existente entre as peças processadas pela célula, a redução das atividades de manuseio, de transporte de materiais, a padronização de máquinas e de ferramentas, a obtenção de processos mais simples e padronizados e a redução dos tempos que não agregam valor (MARTINS E LAUGENI, 2005).

A Figura 5 apresenta a diferença entre um arranjo celular e um arranjo departamental em termos do tamanho do lote de fabricação e fluxo contínuo.

Figura 5: Diferença entre o arranjo departamental e o arranjo celular



Fonte: Adaptado de Shingo, 1996.



Por outro lado, as células podem dificultar a introdução de produtos diferentes daqueles para os quais a célula foi inicialmente concebida, pois existe a possibilidade de que as máquinas fiquem ociosas e pode existir também a necessidade de readequação do layout para a sua constituição, o que implica em gastos com utilidades industriais. O funcionamento da célula requer supervisão e treinamento de pessoal e pode haver aumento de inventário devido a estoques intermediário (DALMAS, 2004).

Um dos indicadores de desempenho da célula de manufatura é o seu nível de atendimento de serviços, conhecido pela sigla SLA (*Service Level Agreement*), e que mede o nível de atendimento realizado de acordo com padrões de atendimento previamente estabelecidos e acordados (EMBRAER, 2013).

Portanto, embora os autores citados tenham demonstrado as possíveis vantagens em relação às células de manufatura, dentre as quais, as características de que os operadores se tornam polivalentes, multifuncionais e assumem posturas de clientes e fornecedores, e tenham relatado também as possíveis desvantagens, como a dificuldade na implantação e a possibilidade de que as máquinas fiquem paradas, o que se observa é que nas empresas que implantam o STP, as células de manufatura são continuamente disseminadas, pois, os benefícios que proporcionam são maiores que as dificuldades e que as eventuais desvantagens citadas pelos autores, principalmente pela contribuição que as células dão ao sistema, em relação à melhoria do Fluxo do Valor e à facilidade de aplicação das ferramentas de implantação da Manufatura Enxuta, apresentadas no próximo item.

#### 2.2.6 Ferramentas para implantação da Manufatura Enxuta

Após serem apresentados os dois pilares e os cinco princípios do STP que objetivam a eliminação dos desperdícios e a busca pela perfeição, bem como os conceitos e forma de implantação de células de manufatura como meio de facilitar o Mapeamento do Fluxo do Valor e da Cadeia de Valor, passa a ser necessário analisar e apresentar as ferramentas, técnicas e conceitos que, conforme Francisco e Hatakeyama (2009) suportam o Pensamento Enxuto, dentre os quais:

1) *Takt Time*: É um dos mais importantes conceitos do STP. É considerado como um elemento central que é utilizado por várias outras ferramentas durante as etapas de melhoria e de definições como, por exemplo: i) a velocidade da linha de produção; ii) o

dimensionamento de células; iii) a realização de eventos *Kaizen*; iv) os sistemas *Kanban*; vi) sistemas JIT; vii) os sistemas de balanceamento *Heijunka*. Representa o ritmo em que os produtos devem ser produzidos para atender à demanda e é calculado a partir da divisão do tempo disponível no posto de trabalho, célula ou linha de produção pela demanda de produtos ou peças (OHNO, 1997; WOMACK, JONES e ROSS, 2004).

2) *Work in Process* (WIP): Trata-se de outro conceito importante, pois representa a quantidade de material em processo. O excesso de material representa um dos sete desperdícios, e por isso busca-se continuamente a sua redução. O cálculo do WIP padrão é feito pela divisão do tempo de ciclo de cada operação pelo *Takt Time*. O ciclo da operação é a somatória dos tempos de processamento, de setup e de fila (MORAES, 2012).

3) MFV: O Mapeamento do Fluxo do Valor também é conhecido pela sigla VSM (*Value Stream Map*) e é uma ferramenta utilizada para entender o estado atual, identificar os desperdícios e desenhar o estado futuro de um processo (WOMACK e JONES, 1998).

4) Controle Visual: Também conhecido como Gestão Visual da Manufatura, visa a disponibilidade de informações e indicadores para controle dos processos e tomada de decisão (SHINGO, 1996). Está relacionada com o 5s e com a prática do *Mieruka*.

5) JIT: O *Just in Time*: É um dos dois pilares do STP e constitui-se em uma filosofia que visa garantir que o material seja entregue corretamente, na quantidade certa e no momento certo, e também é utilizado como ferramenta para implantar a Manufatura Enxuta (OHNO, 1997).

6) *Kanban*: O Sistema *Kanban* representa o controle dos materiais na produção ou nos estoques, estejam estes na montagem ou nos pontos de nivelamento (*Heijunka*). O controle é feito por meio do “Cartão *Kanban*” (SHINGO, 1996).

7) SMED: O *Single Minute Exchand of Die* é um sistema de Troca Rápida de Ferramentas (TRF) usado para reduzir ao mínimo os tempos de preparação, denominados *setup*. As operações reais podem variar bastante e são classificadas em operações de *Setup* e Operações principais que incluem o processamento propriamente dito (usinagem, inspeção, transporte e estocagem). O SMED foi concebido a partir do conceito de que uma matriz de estampagem deve ser trocada em um minuto para que a prensa não pare de produzir, daí a tradução para o Português: Troca da Matriz em Um Minuto (SHINGO, 1996).

8) *Kaizen*: Em japonês significa Melhoria Contínua e consiste numa das mais poderosas e ferramentas utilizadas para a redução dos desperdícios e para obter ganhos nos processos. Normalmente os eventos *Kaizen* são realizados com a participação dos operadores e estes eventos seguem protocolos que preveem a aplicação de várias técnicas (IMAI, 1994).

Ainda conforme Imai (1994), normalmente a materialização da Manufatura Enxuta ocorre ao serem aplicadas as técnicas e ferramentas apresentadas, mas quase sempre, a real transformação se dá por meio da realização dos eventos *Kaizen*, cuja apresentação das ferramentas e técnicas empregadas para a realização é feita no item seguinte.

### 2.2.7 Ferramentas e técnicas para a realização de eventos *Kaizen*

O *Kaizen*, originalmente definido pelo livro de Masaaki Imai (*Kaizen*, a chave para o sucesso competitivo do Japão), significa melhoria contínua, e os eventos ou projetos *Kaizen* devem ser realizados no *Gemba*, expressão que em japonês indica “lugar onde as coisas acontecem”. O *kaizen* relaciona-se com a prática do *Shoshin* (ter mente aberta) e possui como tópicos básicos: i) descartar as ideias mais convencionais que possam impedir que as mudanças aconteçam; ii) pensar em “como fazer” e não no “como não é possível fazer”; iii) não permitir desculpas e iniciar o processo de transformação pelo questionamento em relação às práticas atuais; iv) não buscar “pela perfeição” mas estabelecer metas desafiadoras de pelo menos 50% de melhorias concretas; v) não “gastar dinheiro” para promover a melhoria, mas usar a criatividade; vi) perguntar “por que ?” cinco vezes, para com isso, encontrar as causas raízes dos problemas; vii) reconhecer que as possibilidades de ideias que surgem durante o evento *Kaizen* são infinitas (IMAI, 1994).

Conforme Woomack e Jones (1998), os eventos *Kaizen* devem ser realizados nos pontos que necessitam de melhorias por apresentarem resultados insatisfatórios, ou por serem RRC (Recurso Restritivo de Capacidade), ou porque apresentam desvios de qualidade, ou ainda qualquer um dos sete desperdícios do STP. Uma vez identificados e priorizados os eventos *Kaizen* são realizados com participação dos operadores que trabalham na máquina ou linha e demais na envolvidos no processo, membros de células fornecedoras e clientes, todos com mesma importância independentemente do nível hierárquico na organização. Esses projetos também são denominados Preparação para o Processo de Produção, e conhecidos pela sigla 3P (MASCITELLI, 2004).

De acordo com Rother e Shock (1999), os eventos Kaizen podem ser de Fluxo ou de Processo. De Fluxo são os eventos que visam a melhoria do Fluxo do Valor e são normalmente realizados pelos líderes da organização. O Kaizen de Processo é aquele que visa a eliminação dos desperdícios e é normalmente realizado pelos grupos multifuncionais.

No âmbito desta pesquisa foram identificados e analisados três tipos de *Kaizen* de Processo, que foram disseminados e aplicados com sucesso na Embraer, por meio da empresa de consultoria *Shingijutsu Consulting Group* do Japão (Embraer, 2013)

i) *Kaizen* de célula, em que os problemas menores e de fácil solução são tratados pelos operadores que recebem o apoio necessário para encontrar a solução e para implantar a melhoria, num período de tempo que varia entre um e três dias. Este tipo de kaizen não necessita das etapas anteriores, destinadas à preparação, e pode ser realizado no próprio local de trabalho;

ii) *Kaizen* normal, que trata os problemas normais e intrínsecos aos processos, e geralmente duram cinco dias. Antes da realização (etapa conhecida como semana *Kaizen*), há um período de preparação, que varia entre uma e três semanas, e que serve para o levantamento de dados, o mapeamento do processo e a identificação do apoio requerido.

iii) *Kaizen* de Amplitude, que objetiva solucionar grandes problemas ou buscar grandes soluções para determinados processos ou problemas da organização. São considerados de longa duração e podem durar meses, ou em casos excepcionais e dependendo da dimensão do que se pretende alcançar chega a durar até dois anos.

Geralmente os *Kaizen* normais e de amplitude são realizados em salas exclusivamente dedicadas e conhecidas pela expressão “sala de guerra” (*war room*).

Após apresentar a conceituação e os tipos de *Kaizen*, são apresentadas dez ferramentas normalmente empregadas durante a realização desses eventos, sendo elas:

1) Formulário A3: Trata-se de um formulário no formato do papel A3 que limita o espaço utilizado de modo a conter apenas as informações mais relevantes do projeto *Kaizen*. Visa possibilitar a ligação entre o problema, a causa raiz, as metas e as métricas empregadas para avaliar os ganhos (DENIS, 2007).

2) Matriz GUT – Gravidade Urgência e Tendência: É utilizada para definir prioridades levando em consideração: i) a gravidade, ou seja o quão severos serão os resultados caso

problema não seja solucionado; ii) a urgência, que significa o tempo em que irão surgir os efeitos do problema, caso a causa raiz não seja eliminada e, iii) a tendência de comportamento do processo caso não ocorra uma ação (MEIRELES, 2001).

3) Roda de *Setup*: Método de organização da sequência de produção em uma máquina de modo que a preparação (*setup*) seja melhor aproveitada, evitando que uma preparação já realizada tenha que ser desfeita para o próximo tipo de peça a ser produzido (SHINGO, 1996).

4) GBO - Gráfico de Balanceamento do Operador: Também conhecido como quadro de *Yamazumi* ou Diagrama de Carga do Operador, trata-se de um gráfico de barras empilhadas que auxilia na criação do fluxo contínuo em um processo com múltiplas etapas e vários operadores. As etapas que agregam valor ficam na base da coluna e na cor verde, o que é necessário ser feito porém não agrega valor fica no meio e indicado em laranja e o que não precisa ser feito e portanto não agrega valor fica no topo em vermelho (ROTHER e SHOOK, 1999; MORAES, 2012).

5) Estoque padrão em processo, (*standard WIP*): É a quantidade mínima de material em processo necessária para manter a continuidade do fluxo de produção mas sem excessos (OHNO, 1997).

6) TCTP - Tabela de Combinação do Trabalho Padrão: É mais detalhado que o GBO e representa a combinação entre o tempo de trabalho manual, a distância caminhada pelo operador e o tempo de processamento na máquina (elementos da operação que compreendem o carregamento, o processamento, a inspeção e o descarregamento). Após o delineamento do TCTP passa a ser possível redefinir os elementos do trabalho que são calculados de acordo com o *Takt Time* (LIKER e MORGAN, 2006).

7) Diagrama de Espaguete: De acordo com Womack e Jones (1998), é uma ferramenta utilizada para mapear o caminho percorrido pela peça ou pelo operador durante o processamento em que a movimentação é medida em passos.

8) *Sete Alternativas 7-Ways*: É uma ferramenta frequentemente aplicada nos Kaizen 3P e significa que, sempre que em um evento *Kaizen* um *Lay Out* ou uma nova opção de processo estiverem sendo analisados, os envolvidos precisam apresentar sete alternativas de soluções, para que seja escolhida aquela que se apresente como a melhor opção, na visão dos participantes (MASCITELLI, 2004).

9) *Poka Yoke*: É uma maneira de garantir que nenhum produto seguirá para a próxima etapa com algum tipo de defeito, são dispositivos a prova de falhas usados para impedir que uma peça defeituosa se encaixe em gabaritos ou impedir uma máquina de iniciar uma operação em caso de defeitos. Isso evita que se gaste tempo de processamento em algo que esteja ruim evitando assim os desperdícios e exigindo a intervenção imediata sobre o problema (SHINGO, 1996).

10) *Makigami*: É o mapeamento do processo realizado em um rolo de papel e que fica visível a todos. Geralmente fica afixado num local visível na sala de guerra para a visualização e interação por parte de todos os participantes (MORAES, 2012).

A realização de um evento *Kaizen* inicia-se quase sempre pela construção do mapa do fluxo do valor (MFV) do estado atual do processo, de modo a identificar tudo o que não representa valor no fluxo produtivo para, a partir desse mapeamento buscar soluções que visem eliminar os desperdícios e fazer fluir os materiais (IMAI, 1994; Rother e Shook, 1999).

O próximo item apresenta a revisão bibliográfica sobre a tecnologia de usinagem.

## 2.3 Usinagem

A usinagem de metal é uma técnica antiga e importante, e é por meio dela que são produzidos componentes para máquinas e equipamentos empregados em vários setores da economia como a agricultura, as indústrias têxteis, as indústrias de plástico, de estampagem, automobilística, naval, ferroviária e aeronáutica, dentre outras. Os fabricantes de máquinas de usinagem (também conhecidas pelo termo máquinas-ferramentas) encontram-se na base do setor industrial de um país e, portanto, quanto mais desenvolvido estiver este setor maior será a capacidade do país em produzir conhecimento e riqueza. É um segmento que exige investimentos em P&D e qualificação de pessoas e quando ocorre desaquecimento da economia e queda da produção industrial são normalmente os mais afetados.

A evolução das máquinas e dos processos de usinagem é apresentada no item seguinte.

### 2.3.1 *Evolução da usinagem e da máquina-ferramenta*

Ao resumir alguns autores como, Darvin (2003), Santos (2007) e Picolli (2010), observa-se que, desde a antiguidade, houve uma busca pela racionalização e facilitação do

trabalho, inicialmente por meio de mecanismos rudimentares, e em seguida por meio de técnicas para aprimorar os processos. No final do século XIX surgiram as máquinas a vapor que convertiam a energia da água aquecida por meio de movimentos de eixos, polias e roldanas, e após a Revolução Industrial obteve-se grande evolução das máquinas. No início do século XX foram estudados os fenômenos da usinagem visando aumentar a produtividade dos processos de fabricação, o que levou ao desenvolvimento dos lubrificantes de corte e ferramentas de usinagem. Nos anos de 1950 as máquinas tiveram a aplicação incrementada principalmente na indústria aeronáutica nos EUA, e a partir do desenvolvimento dos computadores nos anos de 1970 surgiram as máquinas CNC, que passaram a memorizar os programas de usinagem. As máquinas e os processos de usinagem evoluíram por meio do aprimoramento de técnicas e materiais. Os engenheiros criaram mecanismos capazes de proporcionar produtividade por meio de automação ou semiautomação, com níveis adequados de qualidade para a época, mas foram as máquinas CNC que mudaram radicalmente o cenário da usinagem possibilitando a introdução de técnicas mais modernas.

Após descrever resumidamente a evolução das máquinas e da usinagem surge a necessidade de estudar e apresentar conceitos e técnicas sobre as operações de usinagem, bem como indicar em quais máquinas são normalmente realizadas, e também algumas das características especiais em relação aos tipos de ferramentas, de modo a estabelecer uma ligação entre os tópicos “usinagem” e “máquinas Multitarefa”, conduzindo então à compreensão sobre a importância destas no segmento de usinagem de peças complexas, uma vez que possibilitam a realização de várias operações e em alguns casos dispensam o uso de máquinas ou ferramentas especiais.

O item a seguir apresenta, portanto, os tipos de operações de usinagem.

### *2.3.2 Tipos de operações*

Usinagem, segundo Ferraresi (1969), é o conjunto de operações que, por meio da remoção de cavaco definem a forma, medida, tolerância e acabamento de uma peça, estando classificadas de acordo com os seguintes tipos: i) torneamento, ii) aplainamento, iii) furação, iv) alargamento, v) rebaixamento, vi) mandrilhamento, vii) fresamento, viii) serramento, ix) brochamento, x) roscamento, xi) Limagem, xii) rasquetamento, xiii) tamboreamento, xiv)



retificação, xv) brunimento, xi) super acabamento, xvii) lapidação, xviii) espelhamento, xix) polimento, x) lixamento, xxi) jateamento, xxii) afiação e xiii) denteamento.

A própria definição de usinagem indica como característica principal a remoção de cavaco realizada por meio de ferramenta de corte. Mas algumas operações específicas não cavacos e sim resíduos decorrentes do contato das ferramentas abrasivas como os rebolos, as pedras de brunir, de polir e as lixas, que são respectivamente utilizados em operações de retificação, brunimento, polimento e lixamento.

Cumprе ressaltar que para Bertuol (2003), as operações de tamboreamento e jateamento são classificadas como operações de limpeza e remoção de rebarbas, carepas ou outras impurezas e podem ser realizadas dentro de outros setores além da usinagem, como tratamento térmico, galvanoplastia, funilaria e caldeiraria.

Conforme Santos (2011), entre os principais tipos de usinagem, encontram-se o torneamento e o fresamento, realizados em máquinas-ferramentas denominadas tornos mecânicos e fresadoras. O autor indica também que algumas das operações listadas por Ferraresi podem ser realizadas por essas máquinas (tornos mecânicos e fresadoras) sendo: i) a furação, ii) o alargamento, iii) o rebaixamento, iv) o mandrilhamento, v) o roscamento e vi) o denteamento. As operações de mandrilhamento, alargamento e rebaixamento são complementares às operações de furação e além dos tornos e fresadora utiliza-se normalmente de máquinas furadeiras ou mandrilhadoras para executá-las.

Portanto, ao considerar as etapas e os ciclos de um processo de usinagem, verifica-se que, os tornos e fresadoras são máquinas mais empregadas, e as operações realizadas por essas duas máquinas são melhor apresentadas por meio do item a seguir.

### 2.3.2.1 *Fresamento, torneamento e tornofresamento*

O fresamento é realizado na máquina-ferramenta denominada fresadora que foi concebida para a confecção de peças prismáticas, fixadas na parte da máquina denominada mesa que se movimenta de forma linear ou angular nos sentidos longitudinais, transversais e verticais (movimentos conhecidos como eixos de usinagem). Possui geralmente três eixos de usinagem e utiliza-se de ferramentas denominadas fresas, que giram para que suas arestas cortantes produzam o movimento relativo de corte por meio do deslocamento da ferramenta



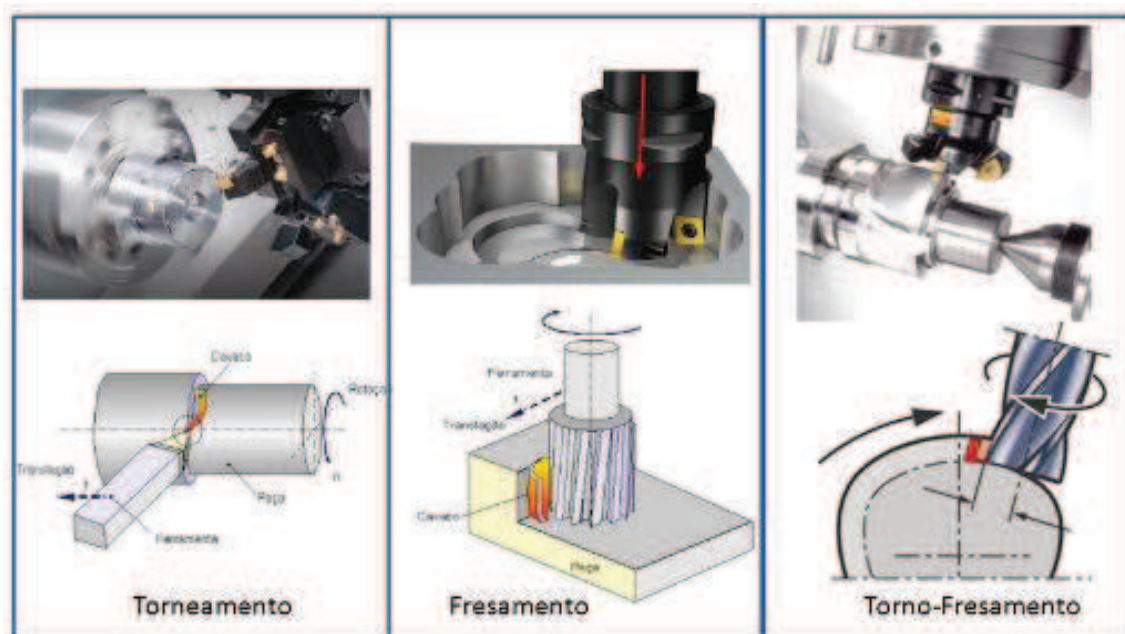
sobre a peça ou pela combinação dos movimentos da ferramenta e da peça simultaneamente (DINIZ, MARCONDES e COPINE, 2008)

Diferentemente do fresamento, o torneamento destina-se originalmente à obtenção de peças cilíndricas por meio de um movimento de corte formado pelo movimento de rotação da peça (fixada em uma parte da máquina denominada placa) em conjunto com o movimento de avanço da ferramenta sobre a peça (DINIZ, MARCONDES E COPINE, 2008).

Uma tecnologia de usinagem relativamente recente é o tornofresamento, ou também denominada fresotorneamento, que é realizada mediante rotação simultânea da peça e da ferramenta em máquinas com 4, 5 ou mais eixos de usinagem. São classificadas como tornofresamento ortogonal ou coaxial dependendo da posição dos eixos de rotação. No tornofresamento ortogonal, aplicável apenas para usinagem externa. No fresotorneamento axial o eixo de rotação da ferramenta é perpendicular à peça, e no tornofresamento coaxial, aplicável tanto para usinagem externa quanto interna, os eixos de rotação da ferramenta e da peça são paralelos entre si mediante rotação da peça (FERNANDÉZ et al., 2010; SANTOS, 2011).

A Figura 6 indica esquematicamente as operações de torneamento, fresamento e tornofresamento axial.

Figura 6: Representação da operação de tornofresamento



Fonte: Adaptado de Fernández et al., 2010

Em relação às demais operações de usinagem, duas delas (brochamento e furação profunda), em princípio, não são executadas nem em tornos e nem em fresadoras, a menos que essas máquinas sejam preparadas com equipamentos especiais, como bombas e cabeçotes.

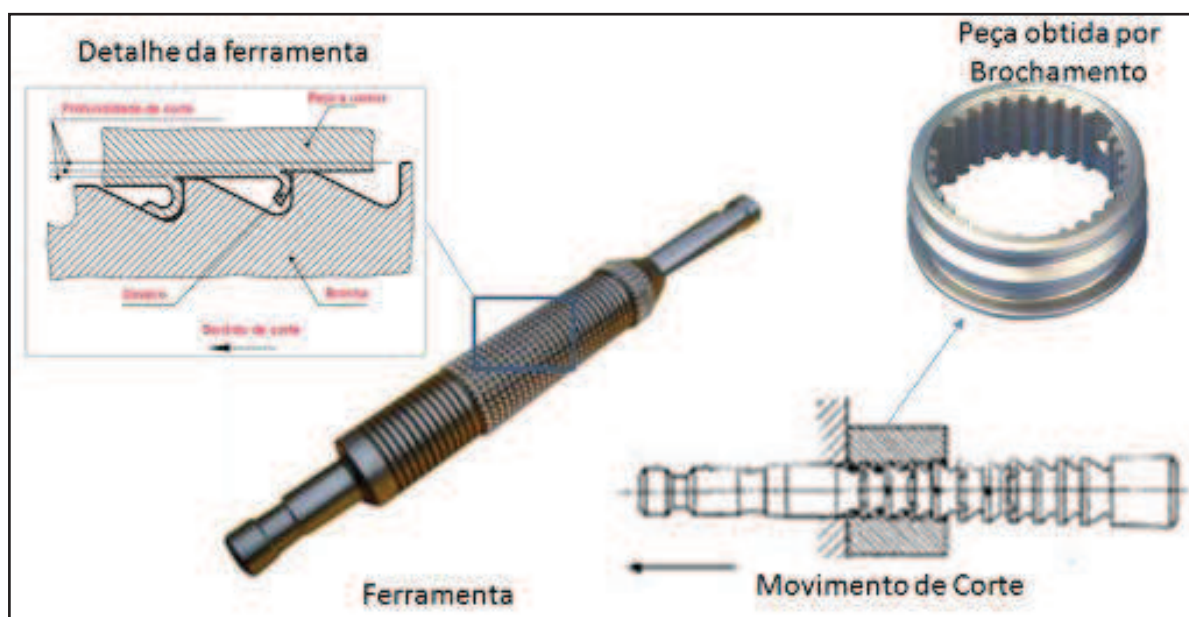
Por serem importantes na fabricação de peças complexas as operações de brochamento e furação profunda encontram-se apresentadas nos próximos itens.

### 2.3.2.2 Brochamento

Operações de brochamento são aquelas realizadas para obter formas específicas que normalmente são entalhes ou chavetas obtidas por meio de ferramentas especiais e multicortantes, geralmente de custo elevado e denominadas brochas. Normalmente o brochamento é executado em máquinas especiais, denominadas brochadoras.

A Figura 7 apresenta uma ferramenta de brochar e uma peça cujos dentes da parte interna foram usinados por meio de brochamento.

Figura 7: Ferramentas para Brochamento



Fonte: Adaptado de Diniz , Marcondes e Copine., 2008

### 2.3.2.3 Furação Profunda

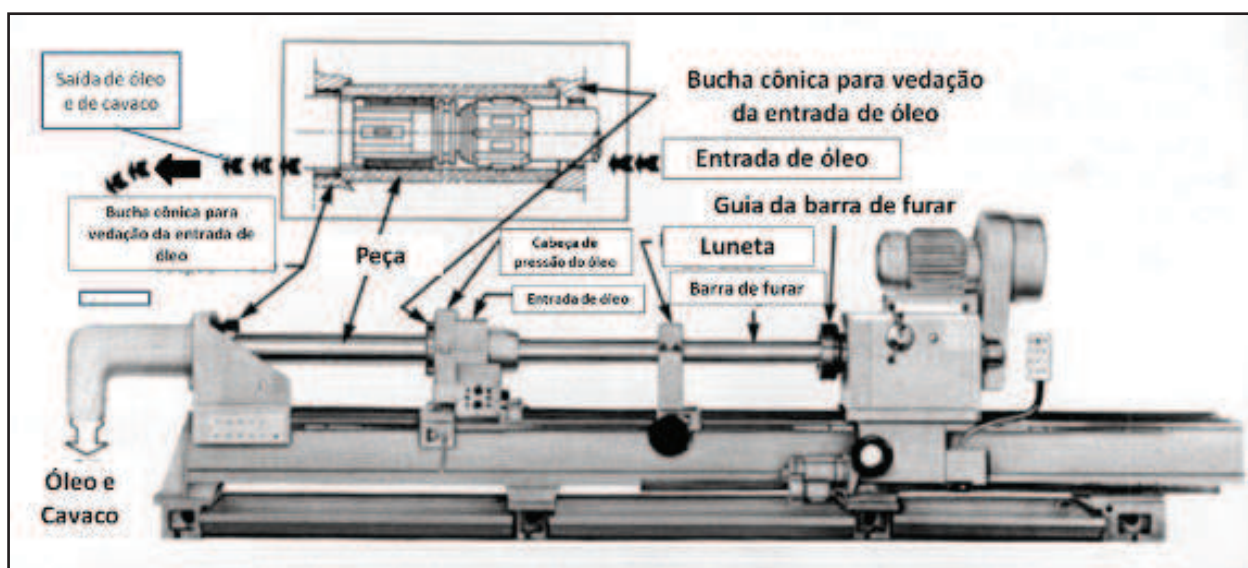
A Furação Profunda, conforme Castillo (2005), é um tipo de furação na qual a divisão do comprimento do furo pelo seu diâmetro resulta em um fator maior ou igual a cinco, e em

função dessa relação, ocorre acúmulo de cavaco que precisa ser expulso por meio de fluido de corte injetado sob pressão. É uma operação amplamente aplicada em componentes mecânicos como virabrequins, cilindros, hastes e pistões hidráulicos e encontra grande aplicação e destaque no setor de usinagem aeronáutica pela sua contribuição para redução de peso.

Normalmente, a furação profunda é realizada em máquina especial e de custo elevado, ou em tornos adaptados com conjunto de bomba de pressão e acessórios de vedação. Para serem capazes de realizar as operações furação profunda, as máquinas precisam estar equipadas com bombas de pressão, que normalmente variam entre 15 BAR a 80 BAR, de acordo com os diâmetros e comprimentos a serem furados (AMERICAN HELLER CORP, 2011).

A figura 8 apresenta esquematicamente uma máquina especial para furação profunda.

Figura 8: Máquina furação profunda

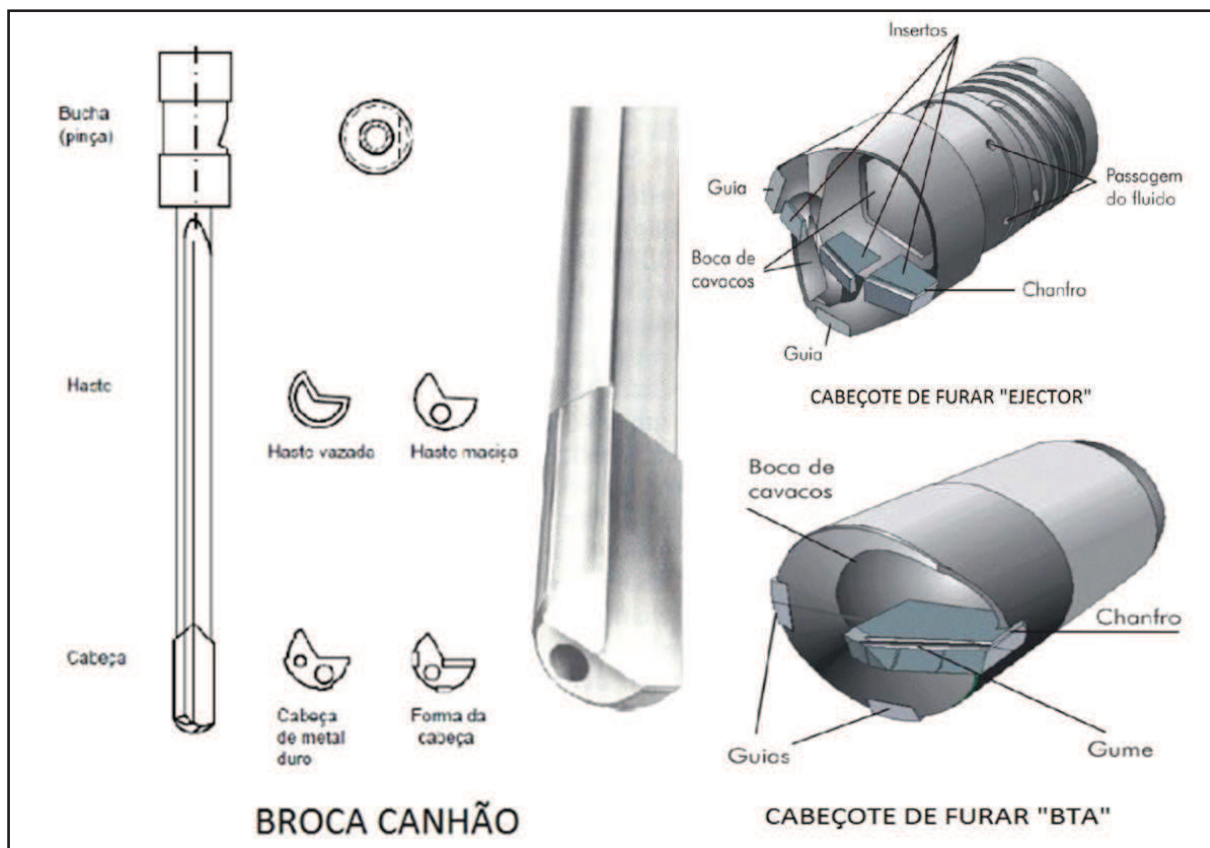


Fonte: Adaptado de American Heller Corp, 2011.

Existem três sistemas de furação profunda, e que são classificados de acordo com o tipo de ferramenta: I) Brocas Canhão; II) Brocas BTA (*Boring Trepanning Association*) e, III) Sistema *Ejector* desenvolvido pela empresa Sandvik (CASTILLO, 2005).

A Figura 9 indica ferramentas utilizadas para furação profunda.

Figura 9: Ferramentas para furação profunda



Fonte: Adaptado de Castillo, 2005.

Apresentados os principais tipos de operações de usinagem, o item seguinte apresenta as máquinas empregadas para a execução de cada tipo de operação.

### 2.3.3 Máquinas aplicáveis a cada tipo de operação

A partir dos estudos de Ferraresi (1969), Murikawki (2008) e Fernández, Lacalle e Ugalde (2010), observa-se que devido à diversidade de tipos de operações existentes nos processos de usinagem, existe a necessidade de certo número de máquinas e equipamentos para a fabricação de peças com geometrias complexas, exigindo dos técnicos e gestores elevados níveis de conhecimento.

O Quadro 2 apresenta as máquinas usualmente aplicáveis na execução de cada uma das operações indicadas nos estudos de Ferraresi (1969), Fernández, Lacalle e Ugalde (2010) e Moriwaki (2008).

Quadro 2: Tipos de operações de usinagem e máquinas empregadas

| OPERAÇÃO       | TIPOS                    | SUBTIPO      | MOVIMENTO RELATIVO  | MÁQUINA                               | MÁQUINA MULTITAREFA                                      |
|----------------|--------------------------|--------------|---|---------------------------------------|--|
| TORNEAMENTO    | RETILINEO                | CILINDRICO   | PEÇA GIRA E FERRAMENTA SE DESLOCA                                   | TORNO MECANICO HORIZONTAL OU VERTICAL | SIM  |
|                |                          | CONICO       |   |                                       | SIM  |
|                |                          | RADIAL       |   |                                       | SIM  |
|                |                          | PERFILAMENTO |   |                                       | SIM  |
|                | CURVILINEO               | -            |   |                                       | SIM  |
| APLAINAMENTO   |                          | -            | PEÇA FIXA FERRAMENTA SE DESLOCA                                     | PLAINADORA                            | SIM  |
| FURAÇÃO        | EM CHEIO                 | -            | PEÇA FIXA FERRAMENTA GIRA OU FERRAMENTA FIXA E PEÇA GIRA (EM TORNO) | FURADEIRAS TORNOS FRESADORAS          | SIM  |
|                | ESCAREAMENTO             | -            |   |                                       | SIM  |
|                | ESCALONADA               | -            |   |                                       | SIM  |
|                | DE CENTROS               | -            |   |                                       | SIM  |
|                | PROFUNDA                 | -            |   |                                       | SIM  |
| TREPANAÇÃO     | -                        | SIM          |   |                                       |  |
| ALARGAMENTO    | -                        | -            |   |                                       | SIM  |
| REBAIXAMENTO   | -                        | -            |   |                                       | SIM  |
| ROSCAMENTO     | INTERNO                  | -            |   |                                       | SIM  |
|                | EXTERNO                  | -            |   |                                       | SIM  |
| FRESAMENTO     | TANGENCIAL               | -            | PEÇA FIXA FERRAMENTA GIRA E SE DESLOCA                              | FRESADORAS E CENTROS DE USINAGEM      | SIM  |
|                | FRONTAL                  | -            |   |                                       | SIM  |
| MANDRILHAMENTO | CILINDRICO               | -            |   |                                       | FRESADORAS MANDRILHADORAS FURADEIRAS CENTROS DE USINAGEM |
|                | CONICO                   | -            |   |                                       | SIM  |
|                | DE SUPERFICIES ESPECIAIS | -            |   |                                       | SIM  |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2015.

Para efeito desta dissertação consideram-se possíveis de serem realizadas em máquinas Multitarefas as operações tipicamente realizadas por meio de tonos e fresadoras, convencionais ou CNC sendo: i) o torneamento, ii) o fresamento, iii) a furação, iv) o alargamento, v) o rebaixamento, vi) o mandrilhamento, vii) o roscamento. Além dessas operações são consideradas possíveis também as operações de furação profunda e brochamento (MORIWAKI, 2008).

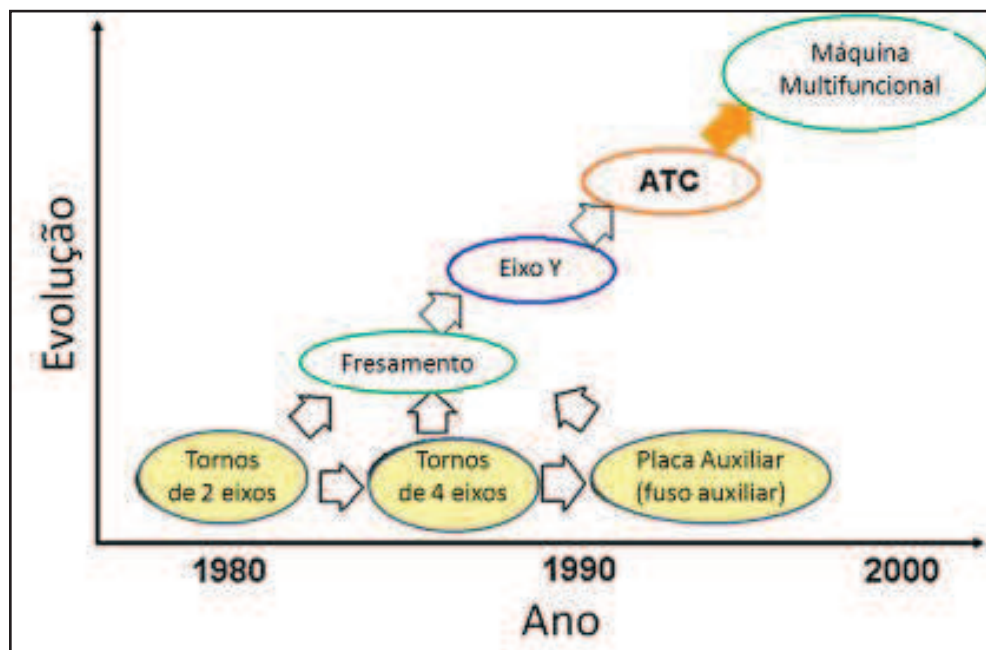
## 2.4 Máquinas Multitarefas

Após a evolução das máquinas a partir dos anos 70, iniciou-se uma década depois, nos anos 80, uma nova corrida para a inovação das máquinas de usinagem. Os fabricantes de máquinas ferramentas passaram a buscar a concepção de máquinas capazes de realizar a maior quantidade possível de operações em uma peça, oferecendo assim vantagens sob o ponto de vista econômico da fabricação. A produção se tornou mais ágil ao permitir realizar inúmeras operações sem soltar as peças e sem ter que transportá-las para realizar operações em outras máquinas, além de resultar também em maior precisão (FERNANDÉZ et al., 2010).



A Figura 10 apresenta a evolução dos tornos que receberam o CNC e alteração da geometria de construção até o desenvolvimento de máquinas multifuncionais.

Figura 10: Linha do tempo da evolução das máquinas de usinagem



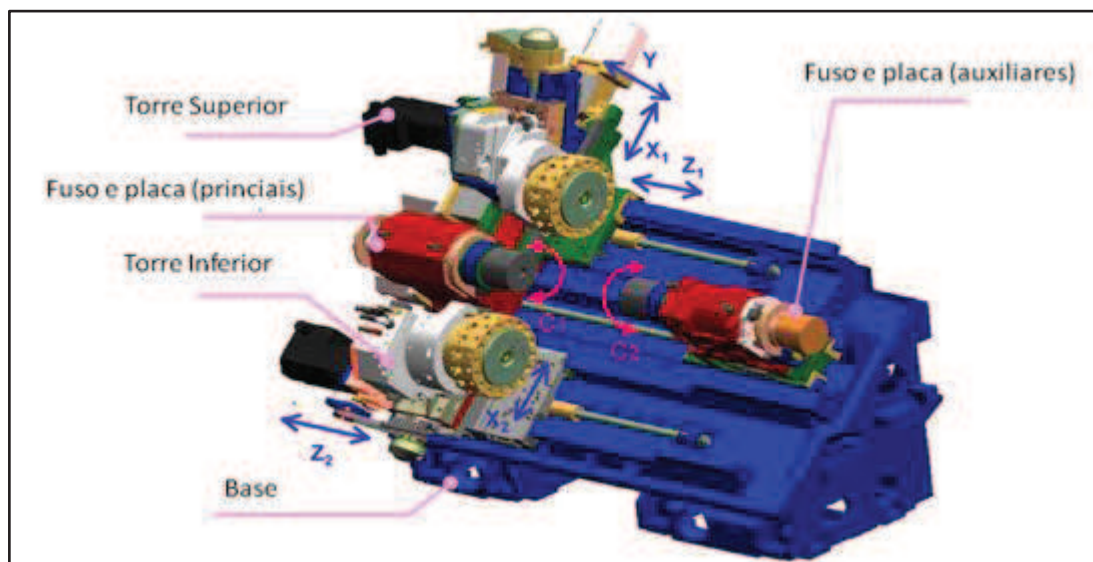
Fonte: Adaptado de Moriwaki, 2008.

Conforme Moriwaki (2008), o desenvolvimento do controle numérico fez surgir os centros de torneamentos e os centros de usinagem. Os centros de torneamentos são tornos CNC que evoluíram a partir dos tornos automáticos e que posteriormente receberam torres com cabeçotes de furação e fresamento capazes de fixar diversos tipos de ferramentas para possibilitar a realização de várias operações de furação e fresamento radial em três eixos de usinagem, enquanto a peça é fixada por meio de uma ou até mesmo duas placas, alinhadas com o eixo principal da máquina. A necessidade de fixação dessas torres de ferramentas levou os barramentos, que eram paralelos, a um reposicionamento na posição vertical inclinada, e isso conferiu maior flexibilidade e robustez para as máquinas. O sistema de troca automática de ferramentas (ATC – *Automatic Tool Changing*) aumentou o nível de automação e eliminou algumas etapas de *setup*.

Esses tornos CNC são também denominados centros de torneamento ou tornos CNC com ferramenta acionada e serviram de plataforma para as máquinas Multitarefa. São consideradas máquinas multifuncionais por possibilitar que após terem sido torneadas certas peças recebam operações de furação radial sem ter de se deslocar para outras máquinas (NAGAE ET AL., 2012).

A Figura 11 apresenta um torno CNC com duas torres de ferramentas acionadas e duas placas.

Figura 11: Arquitetura de um torno com ferramenta acionada, duplo fuso e dupla torre



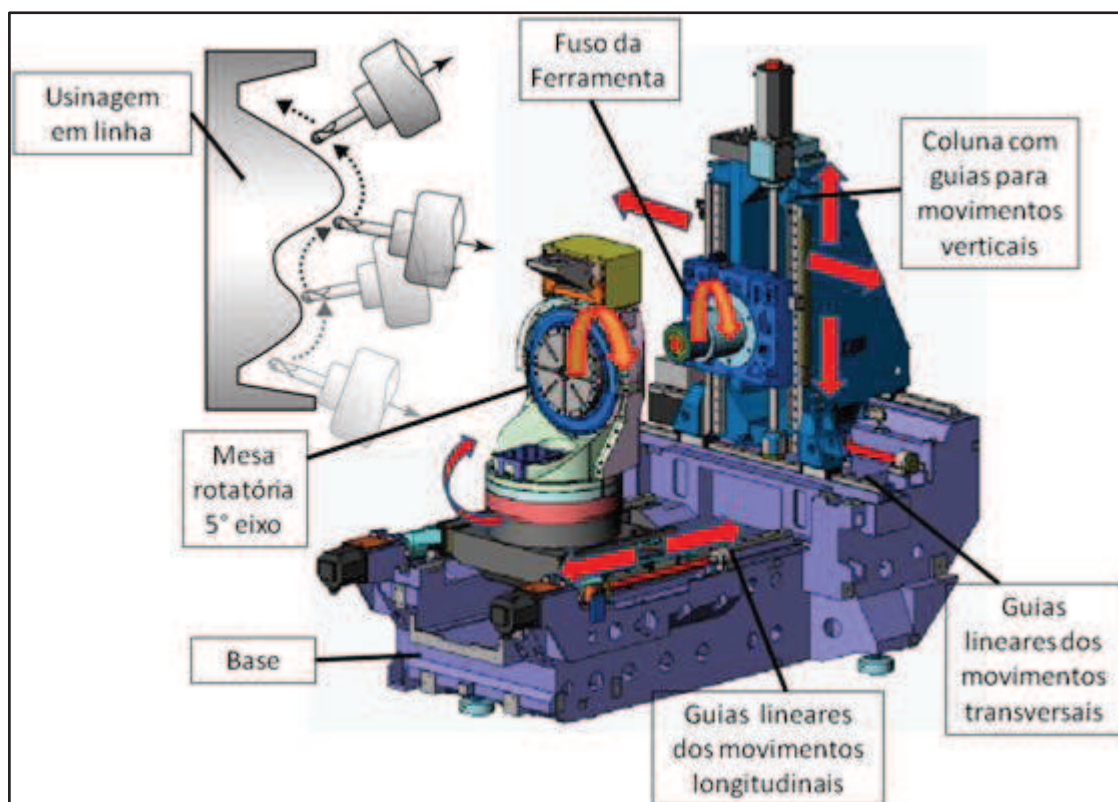
Fonte: Adaptado de Moriwaki, 2008.

Ao mesmo tempo em que os tornos evoluíram e passaram a executar operações de furação e fresamento radial, as fresadoras evoluíram para tornarem-se centros de usinagem podendo ser centros de usinagem verticais ou centros de usinagem horizontais, e em inglês são conhecidos pela sigla MC (*Machining Center*) (NAGAE ET AL., 2012).

O desenvolvimento dos softwares de programação possibilitaram executar programas para os centros de usinagem com até 5 eixos, o que facilitou a usinagem em linha e a sua aplicação na fabricação de moldes e matrizes. Os centros de usinagem receberam mesas rotatórias com movimentos indexados pelo CNC da máquina, e também receberam magazines de ferramentas com capacidade para dezenas de ferramentas cujas trocas são automáticas e randômicas por meio dos ATC. Tornaram-se então máquinas multifuncionais que uma vez equipadas com equipamentos de alta pressão possibilitam executar operações de furação profunda em determinadas peças (MURIWAKI, 2008).

A Figura 12 apresenta um centro de usinagem horizontal de cinco eixos com possibilidade de usinagem em linha.

Figura 12: Arquitetura típica de centro de usinagem horizontal de cinco eixos



Fonte: Adaptado de Moriwaki, 2008.

Houve, portanto, grande evolução das máquinas de usinagem que chegaram aos centros de torneamento e centros de usinagem para em seguida evoluir para as Multitarefa. As estruturas das máquinas tornaram-se mais estáveis devido à inovação na geometria e materiais empregados. Os barramentos deram lugar às guias lineares, acionadas por servomotores que uma vez conectados a transdutores de deslocamento (denominados *incolder*), possibilitaram maior precisão de posicionamento e repetibilidade. Os magazines de ferramentas passaram a conter até uma centena de ferramentas com trocas realizadas em frações de segundo. As velocidades e rendimento de corte aumentaram significativamente, em função dos avanços obtidos nas ferramentas, fluídos de corte e aumento da potência das máquinas (STOETERAU, 2004).

Com o desenvolvimento do CAM (*Computer Aid Manufacturing*) os programas de usinagem passaram a ser mais fáceis de serem realizados, e os softwares das máquinas possibilitaram prever com antecedência o caminho das ferramentas durante o processamento do programa, o que permitiu obter maior precisão, prevenir colisões e a usinar de superfícies cada vez mais complexas (MORIWAKI, 2008).



Mas se por um lado a manufatura evoluiu consideravelmente, por outro os computadores também permitiram aos projetistas criarem peças cada vez mais complexas. Os requisitos de redução de peso e aumento de desempenho levaram à utilização de materiais mais resistentes e conseqüentemente mais difíceis de serem usinados. As exigências por tempos cada vez menores elevaram as velocidades de corte, rotações e avanços, e como consequência acarretaram maiores chances de colisão durante da usinagem (MURIWAKI, 2008).

Conforme Oliveira (2012), para balancear tantas dificuldades por parte dos programadores das máquinas CNC foram criados softwares de simulação, usados para processar os programas a partir dos sólidos de engenharia e por meio de máquinas virtuais, cujos comandos, dimensões e eixos constam de pós-processadores, especialmente desenvolvidos para cada tipo de máquina. Esses softwares possibilitam gerar trajetórias complexas para as ferramentas, e possibilita também a programação automática dos comandos de movimentos dos eixos, a partir de modelos de peças virtuais, fazendo surgir a Manufatura Digital (MURIWAKI, 2008).

Por meio da Manufatura Digital os programas de usinagem passaram a ser elaborados a partir de modelos virtuais das peças, das máquinas, dos dispositivos e das ferramentas. Isso possibilitou executar simulações anticolisão e verificar de forma antecipada o processamento dos movimentos e comandos, com visualização em tempo real de toda a trajetória da ferramenta, e cálculos automáticos dos tempos de usinagem (CHRYSSOLOURIS et al., 2009).

Portanto, diante da evolução dos centros de usinagem e centros de torneamento para tornarem-se máquinas multifuncionais tecnologicamente atualizadas e utilizadas em conjunto com os avanços em termos de automação, dos materiais e dos movimentos, e pela necessidade de serem realizadas usinagens de certas peças com geometrias cilíndricas e prismáticas, surgiu a possibilidade de avançar em direção às máquinas Multitarefa. Em 1982 a empresa Austríaca WFL lançou a máquina WNC500S MILTURN capaz de fresar em cinco eixos e em 1984 lançou a família WNC 700S. Em 1999 a Mazak apresentou sua linha de máquinas Multitarefa denominadas Integrex. No ano 2000 a Nakamura Tome lançou a super multitarefa STW-40, em 2004 a Mori Seiki lançou a série NT e a partir de 2007 a Deckel Gildemister, Okuma, e outros fabricantes de classe mundial também apresentavam máquinas Multitarefa em suas linhas de produtos (FERNANDÉZ et al., 2010).

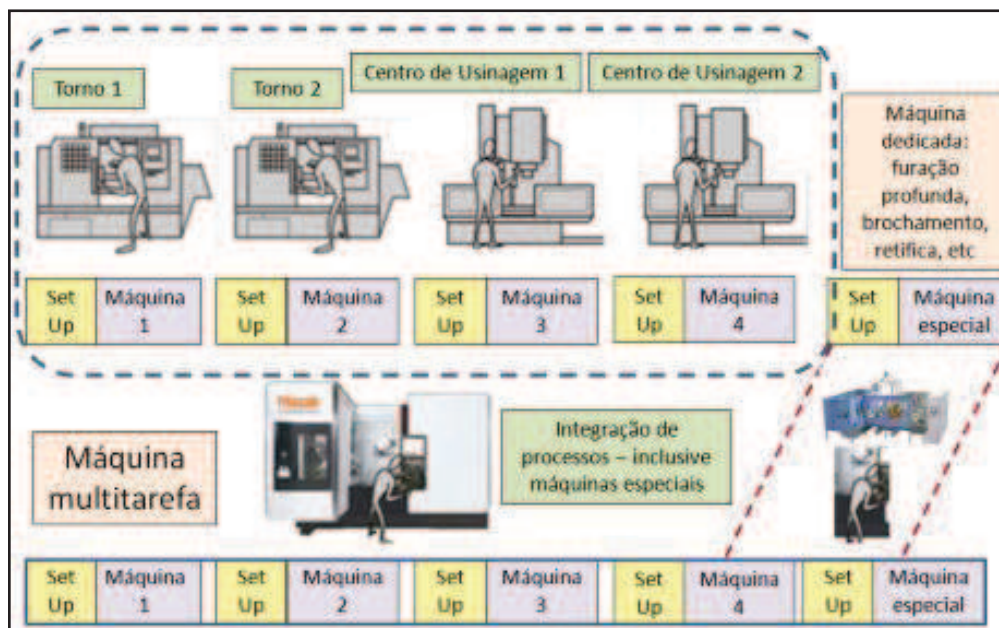
As máquinas Multitarefa foram, portanto, o resultado da evolução tecnológica das máquinas ferramentas desde o início do século XX, mas principalmente a partir dos anos de 1980, devido à evolução dos computadores e softwares de programação. Elas tornaram-se capazes de realizar operações de torneamento e fresamento em superfícies prismáticas e ou cilíndricas, representando vantagens sob o ponto de vista da fabricação, devido à flexibilidade dos eixos de usinagem e capacidade de realização de várias operações complexas em uma única máquina (MORIWAKI, 2008).

Conforme Nagae et al. (2012), uma das principais vantagens das máquinas Multitarefa é possibilitar a integração de operações realizadas em tornos CNC e centros de usinagem (verticais ou horizontais) e ainda também de certas máquinas especiais como a furação profunda e até mesmo operações de retificação ou brunimento.

Em relação à furação profunda, que é frequentemente aplicada em peças de trem de pouso, e que para serem executadas normalmente necessitam de máquinas especiais, passaram a ser realizadas nas máquinas Multitarefa a partir do desenvolvimento do sistema denominado “*Deep Boring by Long Boring Bar*”, que significa “Furação Profunda por meio de Barra Antivibratória”. Este sistema foi desenvolvido para as máquinas Multitarefa equipadas com equipamentos de alta pressão e utilizam barras de furação que chegam a medir 1000 mm de comprimento. As barras ficam acondicionadas em um compartimento específico e são acionadas automaticamente por meio de sistemas hidráulicos cujos comandos são inseridos no programa de usinagem e sem a necessidade de interferência do operador. Esse sistema além de eliminar o elevado tempo de *set up* inerente às operações de furação profunda propicia maior conforto e segurança ao operador que não precisa manusear as ferramentas (NAGAE et al., 2012).

A Figura 13 apresenta esquematicamente a integração de operações em uma linha de usinagem, concentrando várias operações em uma única máquina multitarefa e reduzindo com isso o espaço físico necessário, a quantidade de operadores, quantidade de máquinas, a quantidade de etapas e, conseqüentemente, o tempo de fabricação.

Figura 13: Integração das operações por meio de máquina Multitarefa



Fonte: Adaptado de Nagae et al., 2012.

Após a fundamentação teórica sobre máquina Multitarefa, considerada uma tecnologia avançada de fabricação e um ativo importante a ser administrado pelos gestores e engenheiros, apresenta-se no próximo tópico a revisão bibliográfica sobre a Gestão de Ativos baseadas nos fundamentos da engenharia econômica.

## 2.5 Gestão de Ativos

A abordagem das técnicas de Gestão de Ativos visa apresentar fundamentos de engenharia econômica como ferramenta de apoio para os atores do processo de gestão operacional que decidem sobre a aquisição e utilização de máquinas para os processos produtivos, realizando deste modo a gestão dos ativos da organização.

Para Gitman (1987), geralmente a maior parte dos investimentos de uma empresa industrial constitui-se de ativos permanentes, e normalmente compreendem equipamentos e instalações, sem os quais seria impossível realizar a produção. Em muitos casos os ativos permanentes são a base para gerar os resultados e conseqüentemente os benefícios futuros, traduzidos em lucro para a empresa. É por meio desses ativos que são obtidos os produtos acabados, e que ao final serão vendidos e transformados em caixa. Por esta razão, os ativos permanentes são denominados ativos rentáveis, ao passo que os ativos circulantes e duplicatas a receber em empresas industriais não geram lucro, ao contrário das empresas comerciais.

Portanto, observa-se que, a decisão sobre investir ou deixar de investir em um projeto, ou a escolha entre dois ou mais projetos, é importante e desta decisão decorre muitas vezes o sucesso ou o fracasso de empreendimentos, uma vez que por meio desses investimentos são adquiridos bens de capital, cujos resultados podem ser positivos ou negativos quando comparados com o dinheiro investido, seja por escolha errada, por mudança de cenários ou por qualquer outra razão.

No desenvolvimento da pesquisa observou-se que são diversas as situações que levam à necessidade de decidir entre investir ou deixar de investir em um determinado projeto ou em ter que escolher entre diferentes opções de projetos, que podem surgir por diversas razões, dentre as quais: i) para atender aos aumentos de demanda, ii) para suprir falta de capacidade interna, iii) para substituir processos, equipamentos ou máquinas devido ao desgaste ou obsolescência, iv) para preparar-se ou capacitar-se diante da competitividade de novos entrantes, v) para capacitar-se frente aos requisitos que surgem devido ao desenvolvimento de novos produtos.

Mas, para Motta e Calôba (2002), são quatro os tipos de situações que demandam investimentos em máquinas e equipamentos: i) necessita-se de maior capacidade e o maquinário existente é inadequado para a tarefa; ii) a máquina está desgastada e demanda manutenção excessiva ou tem sua capacidade física prejudicada pelo declínio de eficiência; iii) a máquina existente é obsoleta quando comparada com máquinas disponíveis no mercado que realizam a mesma tarefa com maior eficiência; iv) a máquina existente apresenta-se em boas condições de uso mas existem fatores conjunturais que normalmente são de natureza financeira como por exemplo a variação da taxa de câmbio e ou a disponibilidade de oferta de crédito. Essas circunstâncias podem representar vantagens para a aquisição de uma nova máquina.

Portanto, a partir dos pensamentos de Santos (2012), observa-se que, independentemente do contexto ou fato que gerem a necessidade de investir, o momento de decidir por investir é sempre importante para a organização, quando se torna inevitável ou impossível de adiamento raramente é uma decisão fácil, pois, via de regra, é uma decisão carregada de incertezas em relação ao momento, ao montante a ser aplicado no investimento, em relação à melhor escolha dentre as opções existentes, e quanto à imprevisibilidade sobre o futuro.

As características dos investimentos e da decisão de investir são, portanto, objetos de estudos em diversos ramos do conhecimento e estão apresentadas no próximo item.

### 2.5.1 *Características dos investimentos e da decisão em investir*

Vários autores estudam a decisão de investir sob a óptica do comportamento humano. Francini (2002), ao abordar investimentos em capital intelectual afirma que as formas de medir o ganho gerado por um investimento encontram-se sujeitas ao juízo de valor de cada indivíduo e à cultura de cada organização. Buchanan e O'Connell (2006) destacam a experiência, o padrão de raciocínio e os traços de personalidade como elementos fundamentais na tomada de decisão de líderes notáveis. Para Calvosa e Freitas (2008), embora não haja a predominância de fatores emocionais e comportamentais, a percepção do empreendedor e suas características, constituem-se em fatores cruciais e muitas vezes a própria intuição pode influenciar na decisão de investir. Tomaselli (2011), enfatiza que a decisão de investir é tomada com base no sentido que cada investidor atribui à realidade, e que tal sentido varia de acordo com a percepção individual e experiências pessoais.

Mas, se por um lado os autores citados no parágrafo anterior, indicam que fatores comportamentais e emocionais influenciam na tomada de decisão, Matos (2002), Schmalz (2003), Eder et al. (2004) e Zago, Weise e Hornburg. (2009), destacam a importância do uso de técnicas de engenharia econômica como forma de orientar e estruturar a decisão de investimento em projetos diversos.

Para Henry (1974) e Dixit e Pindyck (1994) as características de um investimento são: i) a irreversibilidade da decisão de investir; ii) a incerteza que esta decisão acarreta e; iii) a possibilidade de adiantar a decisão de investir. A irreversibilidade corresponde à impossibilidade de recuperar totalmente ou parcialmente o capital investido e a incerteza é uma característica que independe do tipo de projeto, pois acarreta a imprevisibilidade de todas as condições e eventos. A possibilidade de adiantar a decisão de investir relaciona-se com a escolha do melhor momento para efetivar o investimento.

Portanto, diante das características inerentes aos investimentos, e considerando-se também que a decisão sobre investir ou deixar de investir pode ser influenciada por fatores de ordem comportamental ou emocional, como o juízo de valor, a experiência, a intuição pessoal, ou a pressão sobre a pessoa que toma a decisão (pressão esta que pode ser de ordem

interna ou externa), surge a área de engenharia econômica, para fornecer as técnicas de análise e tomada de decisão, no sentido de que as organizações consigam obter maior êxito em seus projetos e aquisições.

### 2.5.2 *Técnicas de análise de investimentos*

A área de engenharia econômica estuda o conjunto de técnicas ou princípios necessários para a tomada de decisão por meio de comparação entre as alternativas de investimentos em diversos setores ou atividades como a engenharia, as finanças, o marketing e a produção. Foi justamente no campo da modernização ou renovação de máquinas e equipamentos que a engenharia econômica apresentou-se mais bem sucedida (HESS e BICKSLER, 1975).

Conforme Gitman (1987), as técnicas de análise de investimentos podem ser separadas em: A) “técnicas não sofisticadas de investimentos de capital” que corresponde ao Período de Recuperação do Investimento (*Payback*); B) “Técnicas Sofisticadas de Investimento de Capital” que compreendem: i) o Valor Presente Líquido (VPL); ii) o Índice de Lucratividade (IL); iii) a Taxa Interna de Retorno (TIR); iv) a comparação entre o VPL e a TIR e; v) o Valor Atual Líquido Anualizado.

Rigolon (1999) afirma que, para decidir sobre os investimentos as organizações em geral preferem as técnicas do VPL e da TIR, uma vez que são as mais amplamente difundidas e aplicadas. Mas por outro lado tanto o VPL quanto a TIR recebem críticas por não considerarem as características da possibilidade de adiamento da opção de investir, e nem a questão da irreversibilidade do investimento, segundo a qual, o investidor não pode recuperar integralmente o capital investido caso ele se arrependa. VPL e TIR, portanto, não levam em conta o custo de oportunidade pelo qual o investimento pode ser mais vantajoso se for postergado.

Lefley et al. (2004), afirmam que, diante do risco inerente aos investimentos e imprevisibilidade sobre o futuro, os investidores preferem os projetos de menor duração com retornos mais rápidos e tendem a rejeitar investimentos cujos retornos sejam de longo prazo.

Para Hynek e Janecek (2007), a decisão deve basear-se na técnica do *payback* descontado que analisa os fluxos de caixa durante o período do projeto e define o período de tempo necessário para a recuperação do capital investido.

Segundo Leite Filho e Távora Junior (2011), a compra de uma máquina CNC e seus softwares de apoio (como os sistemas CAD, CAM e DNC), podem ser considerados como um investimento em tecnologia avançada de manufatura, que em inglês é conhecida pela sigla ATM (*Advanced Manufacturing Technology*). A análise desse tipo de investimento é uma tarefa ainda mais crítica, pois são projetos com retorno a médio e longo prazos aumentando assim as incertezas e os riscos.

Em pesquisa sobre o comportamento dos empresários nos EUA, no Reino Unido e na República Tcheca, foi observado que existe preferência em relação às técnicas a serem utilizadas no momento de decidir sobre investimentos, conforme apresentado pelo Quadro 3.

Quadro 3: Preferência dos empresários pelos métodos de análise de investimentos

| <b>Critério</b>        | <b>Reino Unido</b> | <b>EUA</b> | <b>República Checa</b> |
|------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| TIR                    | 55,2 %             | 56,4 %     | 35,5 %                 |
| VPL                    | 52,4 %             | 41 %       | 38,4 %                 |
| Payback Descontado     | 53,8 %             | 65 %       | 76,6 %                 |
| Payback Não Descontado | 68,5 %             | 39,3 %     | 1 %                    |
| Outros Métodos         | 9,6 %              | 8,5 %      | 12,9 %                 |

Fonte: Adaptado de HYNEK e JANECEK, 2007.

Portanto, as técnicas de VPL, TIR e Período de Recuperação do Investimento (*Payback* Descontado) são as mais aplicadas, e foram escolhidas para o aprofundamento dos estudos de revisão bibliográfica, e para aplicação empírica no âmbito desta pesquisa.

O conceito sobre fluxo de caixa empregado nas técnicas a serem estudadas está apresentado no item a seguir.

### 2.5.2.1 Fluxo de caixa

Para avaliação das alternativas de dispêndio de capital é necessário determinar as entradas e saídas de caixa, denominadas fluxos de caixa, pois são estas que determinam a capacidade da empresa em realizar suas operações mediante o pagamento de contas, aquisição de ativos e de insumos. Em projetos de investimentos os fluxos de caixa podem ser classificados como: i) convencionais; ii) não convencionais, iii) de anuidade ou série mista.



Convencionais são os fluxos de caixa caracterizados por uma saída de capital seguida de uma série de entradas. O padrão não convencional de um fluxo de caixa ocorre sempre que uma saída de capital não é seguida de entradas, podendo ocorrer entradas alternadas com saídas ou uma entrada seguida por saídas. O fluxo de caixa por anuidade ou série mista caracteriza-se por uma saída seguida de entradas desiguais, que não representam uma anuidade (GITMAN, 1987) conforme indicado na Figura 14.

Figura 14: Fluxo de caixa convencional, não convencional e série mista



Fonte: Adaptado de Gitman, 1987.

Apresentado o conceito de fluxo de caixa, é possível prosseguir no estudo da técnica do Período de Recuperação do Investimento (*Payback* Descontado), conforme a seguir.

### 2.5.2.2 Período de Recuperação do Investimento (*Payback* descontado)

Resumindo os estudos de Gitman (1987), verifica-se que o Período de Recuperação do Investimento (período de *Payback*), é considerado como uma técnica não sofisticada de análise de investimentos, e normalmente é utilizado como uma forma inicial de se filtrar projetos. É considerado também como “medida de avaliação do risco”, uma vez que reflete a liquidez do projeto e o tempo necessário para recuperar o capital investido, e faz com que um projeto com menor período de *Payback* seja aprovado e priorizado em detrimento de outro com um período maior para recuperação do investimento.

Determina-se o período de *Payback* pelo número de anos necessários para se recuperar o investimento inicial. Pode ser classificado em *Payback* simples, que não leva em conta o



valor do dinheiro no tempo, e *Payback* descontado que considera o valor do dinheiro no tempo e que é considerado menos deficiente.

A principal deficiência da técnica do *Payback*, seja simples ou descontado, é não levar em conta o que acontece após o período de recuperação do investimento, desconsiderando assim os fluxos de caixa posteriores.

Segundo a regra do *Payback* um investimento é aceitável se a recuperação do capital investido ocorrer em um período de tempo igual ou inferior ao estipulado pelo investidor, e as suas principais vantagens são: i) ser de fácil entendimento; ii) considerar a incerteza de fluxos de caixa mais distantes no tempo; iii) favorecer a liquidez pois prioriza projetos com retorno no menor tempo possível. Suas desvantagens são: i) exigir que seja estipulado um período de tempo arbitrário; ii) ignorar os fluxos de caixa após o período de recuperação do investimento e; iii) dificultar a aprovação de projetos de longo prazo como no caso dos investimentos em tecnologias avançadas de manufatura (AMT – *Advanced Manufacturing Techiques*).

Observa-se que, no momento em que o capital investido é recuperado, ocorre o período de *Payback*, conforme o Quadro 4 que exemplifica um caso de *Payback* simples.

Quadro 4: Período de *Payback* para projetos alternativos de investimentos

| Projeto X                              | Projeto Y    |             |
|--|--------------|-------------|
| Investimento Inicial                   | R\$10.000,00 | R\$8.000,00 |
| Ano                                    | Entradas     |             |
| 1                                      | R\$4.000,00  | R\$1.000,00 |
| 2                                      | R\$3.500,00  | R\$3.000,00 |
| 3                                      | R\$3.000,00  | R\$3.500,00 |
| 4                                      | R\$3.500,00  | R\$6.000,00 |
| 5                                      | R\$3.500,00  | R\$7.000,00 |
| Período de Recuperação do Investimento | 3 anos       | 4 anos      |

Fonte: Adaptado de Gitman, 1987.

Pela análise do Quadro 5, é possível observar que a recuperação do capital no projeto A ocorreu no terceiro ano, e de acordo com a regra, deve ser o projeto escolhido, pois a recuperação do capital no projeto B ocorreu no quarto ano. É possível observar também outra característica deste método de análise, que é desconsiderar o que ocorre com os fluxos de

caixa após o período de *Payback*. No exemplo apresentado, o projeto B apresenta uma série crescente de fluxos de entrada a partir do terceiro ano, com valores de entradas de caixa superiores às entradas de caixa apresentadas pelo projeto A. Isso pode significar que mediante uma análise de longo prazo o projeto B pode se tornar mais vantajoso (GITMAN, 1987).

Para complementar a técnica de *Payback* descontado, e para melhorar a qualidade da decisão, utiliza-se a técnica do VPL cuja revisão da literatura é apresentada no item seguinte.

### 2.5.2.3 Valor Presente Líquido (VPL)

A segunda técnica a ser analisada é o VPL que pode ser definida como a soma algébrica dos valores de fluxos de caixa associados a um investimento, ou a diferença dos valores das receitas no momento presente menos os valores presente de todos os custos, inclusive dos investimentos (SILVA e FONTES, 2005; SANTOS 2012).

Conforme Gitman (1987), é preciso entender e aplicar o conceito do valor do dinheiro no tempo de modo que ao considerar um determinado montante monetário, cujo valor precise ser projetado ao futuro, considere-se uma determinada taxa para calcular o valor futuro, por meio de juros compostos conforme indicado na Equação 1:

$$\text{Valor do Dinheiro no Futuro} = \text{Valor do Dinheiro no Presente} \times (1+k)^t \quad (1)$$

Onde: k é a taxa de juros anual estabelecida, ou TMA e t é período de anos utilizado na análise.

Ponciano et al. (2004) explicam que, trazer um determinado montante para o valor atual, consiste em transferir para o momento presente todas as variações de caixa esperadas, e descontá-las por uma determinada taxa de juros, para em seguida somá-las algebricamente, de modo que, ao considerar um investimento realizado no momento zero, e somá-lo com os valores descontados, seja possível saber se o investimento trouxe resultados superiores à taxa mínima de atratividade (TMA) estipulada. Este conceito é expresso por meio da Equação 2.

$$VPL = I_0 + \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \right] \quad (2)$$

Em que:

$I_0$  = Investimento no tempo zero

$FC_t$  = Retorno do Fluxo de caixa na data  $t$

$K$  = taxa de juros ou taxa de retorno estabelecida de acordo com a taxa de desconto esperada.

$n$  = período ou prazo estabelecido para análise

A TMA é, portanto, o menor percentual aceitável pelo investidor para que o projeto seja aceito, caso contrário deve ser rejeitado, uma vez que resultados abaixo deste valor podem indicar que o capital investido não esteja sendo remunerado de acordo com as expectativas do investidor, e que podem existir alternativas mais rentáveis. No caso das Pessoas Jurídicas, normalmente utiliza-se como base para definição de uma TMA as taxas de remuneração de títulos bancários, as taxas médias ponderadas dos custos das contas de capital de giro, ou ainda algumas metas que suportem o crescimento do patrimônio líquido e que garantam a distribuição de dividendos (KASSAI, 1996).

Ainda conforme Kassai (1996), sendo o VPL a soma no valor presente de todos os fluxos de caixa positivos ou negativos gerados pelo projeto, menos o valor do investimento e demais custos envolvidos, pode ser representado por meio da Equação 3.

$$VPL = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \right] - \left[ I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{I_t}{(1+k)^t} \right] \quad (3)$$

Em que:

$FC_t$  = fluxo (benefício) de caixa de cada período

$K$  = taxa de desconto do projeto, representada pela TMA

$I_0$  = investimento processado no momento zero

$I_t$  = valor do investimento previsto em cada período subsequente

$t$  = período

As características do VPL são resumidamente apresentadas por meio do Quadro 5, elaborado a partir dos conceitos apresentados por Gitman (1987).

Quadro 5: Características do VPL

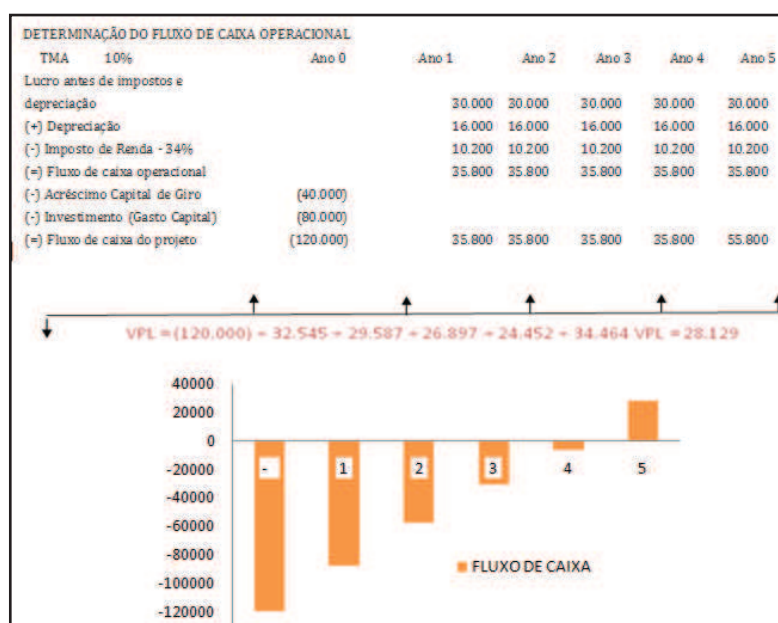
| FC = fluxo líquido de caixa<br>k = custo do capital<br>n = vida útil do projeto                  |   | Valor Presente Líquido (VPL)  |  |  |  |  |  |
|--|---|---|--|--|--|--|--|
|  |   | $VPL = (FC_0) + \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \frac{FC_4}{(1+k)^4} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n}$ |  |  |  |  |  |
| REGRA = Um projeto de investimento deve ser aceito se o VPL for positivo e rejeitado se negativo |   |   |  |  |  |  |  |
| >  | 0 | →   | aceita-se o projeto  |  |  |  |  |
| =  | 0 | →   | aceita-se o projeto (em princípio)   |  |  |  |  |
| <  | 0 | →   | rejeita-se o projeto   |  |  |  |  |
| Vantagens  |   |   | Desvantagens   |  |  |  |  |
| - Leva em consideração o valor do dinheiro no tempo  |   |   | - Depende da determinação do custo de capital  |  |  |  |  |
| - Os VPLs podem ser somados  |   |   | - É um conceito de mais difícil assimilação pelos empresários do que uma taxa de retorno |  |  |  |  |
| - Dependem apenas dos fluxos de caixa e do custo de capital                                      |   |   |  |  |  |  |  |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2015.

Portanto, o critério de decisão é “aceitar o projeto” se o VPL for maior ou igual a zero, pois a empresa obterá um retorno igual ou acima da taxa mínima de atratividade, e “rejeitar o projeto” caso o VPL seja menor que zero, pois, neste caso, o retorno será inferior à taxa mínima de atratividade. Se o VPL for igual a zero a empresa terá um retorno igual ao exigido e equivalente ao custo do capital e a decisão vai depender exclusivamente do cenário e das estratégias adotadas pelo investidor (GITMAN, 1987).

O Quadro 6, elaborado a partir dos conceitos de Gitman (1987), apresenta o exemplo do demonstrativo de resultados de um investimento, e contém uma parte gráfica que representa a evolução do Fluxo de Caixa.

Quadro 6: Demonstrativo de resultados com VPL



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2015.

Observa-se, por meio da análise do Quadro 6, que o valor de R\$80.000,00 investido, acarreta um acréscimo de R\$ 40.000,00 no capital de giro, totalizando um fluxo inicial de saída no montante de R\$120.000,00 (fluxo de caixa negativo). Os resultados operacionais, após o investimento, geram fluxos de caixa positivos equivalentes a R\$35.800,00 em cada período e que no último período, este fluxo positivo corresponde à R\$ 55.800,00, pois, adiciona-se ao resultado operacional o valor correspondente ao valor residual. Estes valores são trazidos ao valor presente e a soma algébrica dos mesmos gera um VPL de R\$ 28.129,00.

É possível ainda, por meio da parte gráfica do Quadro 7, observar que a evolução do “fluxo de caixa descontado”, ultrapassa o valor “zero” no eixo de “X” logo após o período de 4 anos. Torna-se possível afirmar, portanto, que o período de recuperação do investimento (*Payback* descontado) ocorre entre 4 e cinco anos.

Apresentados os conceitos sobre o *Payback* descontado e o VPL o item seguinte apresenta a técnica de TIR.

#### 2.5.2.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

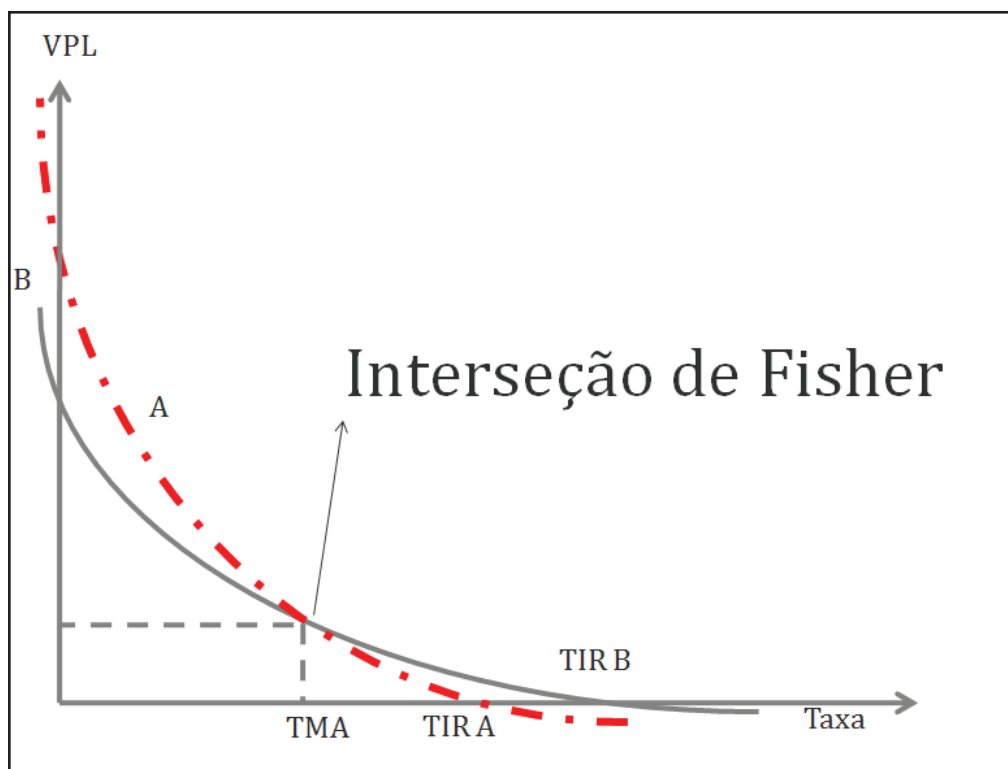
A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de desconto que leva o valor presente das entradas de caixa a se igualarem ao investimento inicial de um determinado projeto, igualando a zero o seu VPL (PONCIANO et al., 2004).

Segundo Gitman (1987), embora seja muito utilizada, é também a mais difícil de ser calculada, e é definida com a taxa de desconto que leva o valor atual das entradas de caixa a se igualarem ao investimento inicial de um projeto. Para o autor a maneira mais fácil para se calcular a taxa que representa a TIR é por meio de atribuições de TMA's que levem o resultado do VPL a ser zero. O critério de decisão é aceitar o projeto quando a TIR for maior ou igual ao custo do capital e rejeitá-lo em caso contrário.

No mesmo sentido, Kassai (1996), ao abordar o cálculo da TIR segundo o Teorema de Descartes, explica que num projeto representado por fluxos de caixa não convencionais ocorre inversão de sinais entre os fluxos de caixa positivos e negativos. A quantidade de TIR será igual ao número de trocas dos sinais nos fluxos de caixa de modo que o cálculo envolverá polinômios de “n” grandezas, muitas vezes sem solução algébrica. Esta quantidade de polinômios exige que o cálculo da TIR seja feita por meio de processos interativos por meio de tentativa e erro. O autor recomenda ainda que a TIR seja aplicada em conjunto com o VPL.

Ainda segundo Kassai (1996), uma das maneiras de estabelecer uma relação entre a TIR e o VPL é por meio do ponto de intersecção de Fisher que leva em conta a variação da TMA, conforme indicado na Figura 15.

Figura 15: Comparação entre VPL e TIR pelo método de intersecção de Fisher



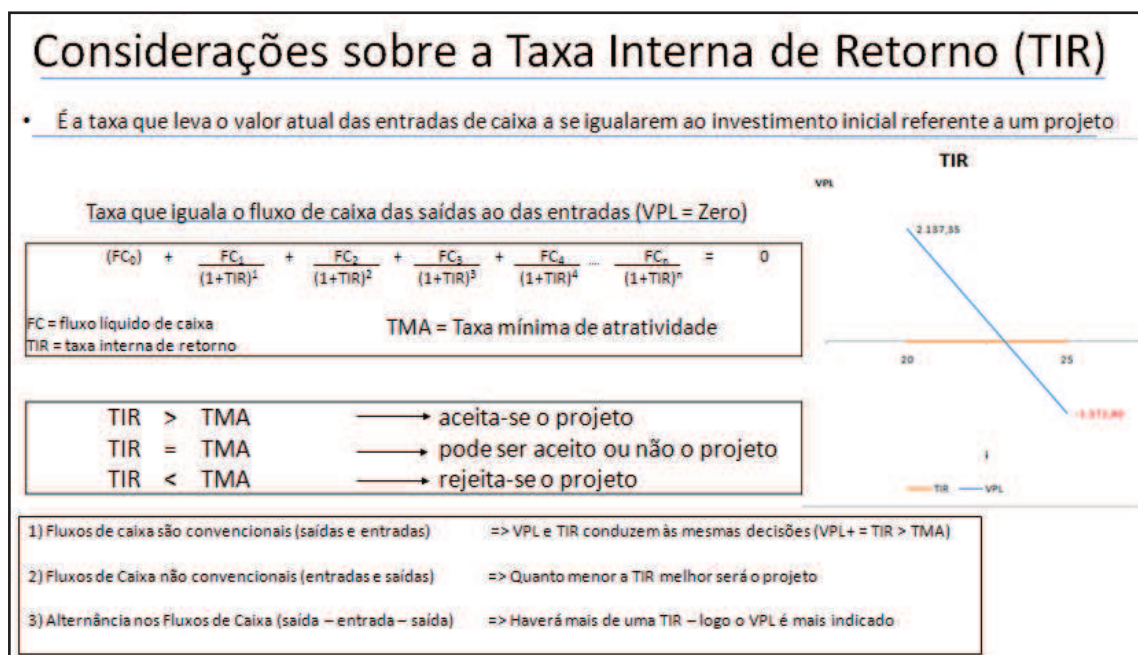
Fonte: Adaptado de Kassai, 1996.

Este método indica que, na medida em que a TMA aumenta e se desloca para direita no eixo de x, o projeto A, que inicialmente é mais vantajoso, passa a ser rejeitado, uma vez que a taxa de atratividade do projeto B passa a ser maior.

Uma última consideração em reação à TIR é que o tipo de fluxo de caixa influencia no resultado da mesma. Quando se tem fluxos de caixa convencionais os VPL e TIR conduzem às mesmas decisões. Se os fluxos de caixa são não convencionais considera-se que quanto menor a TIR melhor será o projeto. Caso o fluxo de caixa seja de série mista haverá mais de uma TIR a ser calculada e neste caso é mais fácil aplicar a técnica do VPL (KASSAI, 1996).

A Figura 16, que sintetiza os conceitos de Gitman (1987), Kassai (1996) e Ponciano, et al. (2004, apresenta resumidamente as características da TIR.

Figura 16: Características da TIR



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2015.

Observa-se, portanto, que a TIR, como técnica de análise de investimento, é difícil de ser calculada e deve ser utilizada em conjunto com o VPL.

Uma vez que, os autores estudados recomendam o cálculo da TIR por meio de processos de tentativa realizados por meio de atribuição de valores de TMA até que o VPL seja igual à zero, esta pesquisa optou por realizar o cálculo por meio do Excel, de modo que na fórmula de cálculo, o valor da TIR se aproxime de zero na medida em que são atribuídos manualmente os valores de TMA.

O item 2.6 apresenta a seguir a revisão bibliográfica sobre o planejamento da produção, para possibilitar uma melhor compreensão de como as características do setor aeronáutico que usina peças complexas se reflete nas tarefas do PCP.

## 2.6 Planejamento e controle da produção (PCP)

Para entender o como funciona o departamento de PCP, é recomendável estudar as teorias, técnicas e ferramentas de planejamento disponíveis. Para atingir tal objetivo foram identificados os autores e pensadores considerados pela comunidade científica como os que mais influenciaram e contribuíram para a evolução dos sistemas de planejamento.



O resultado da pesquisa sobre os principais autores, conceitos e técnicas ligadas ao planejamento da produção é resumidamente apresentado no item seguinte.

### 2.6.1 Principais autores, conceitos e técnicas

Vários autores como Moura Júnior (1996), Azeka (2003), Fernandes et al. (2007) e Lopes, Silva e Rocha. (2014), ao analisarem as pesquisas nas áreas de planejamento e controle da produção, observaram que, especialmente no âmbito industrial, Orlicky, Goldratt e Ohno foram os nomes que mais causaram impacto. Dentre os dez principais autores identificados por essas pesquisas encontram-se: i) Orlick, ii) Goldratt, iii) Elmaghraby, iv) Baker, v) Pinedo, vi) Silver, vii) Buffa, viii) Ohno, ix) Montgomery, x) Burbidge).

Ao resumir os trabalhos de Laurindo e Mesquita (2000), Ferreira et al., (2012) e Lopes, Silva e Rocha (2014), observa-se em relação à Joe Orlicky, ter sido ele o percussor do sistema MRP, uma vez que 1975 publicou o livro “*Material Requirements Planing*”, fruto da cooperação entre ele, Oliver Wight e G. W. Possl, que juntos, se dedicavam à elaboração e difusão de um novo conceito de planejamento da produção, a partir de uma técnica mais racional de gerenciar os estoques na produção em substituição aos métodos de reposição de estoque vigentes, que eram quase que exclusivamente baseados em métodos estatísticos. As Listas de materiais criadas por algumas empresas na década de 1960, para melhorar o controle da administração da produção, evoluíram e fizeram surgir as estruturas de produtos conhecidas pela sigla BOM (*Build of Material*).

Surgiu nos anos 1970 o sistema MRP com três elementos para gerenciamento da produção (programa mestre de produção, lista de materiais e quantidades em estoque). Por não considerar adequadamente as restrições de capacidade do sistema produtivo, o MRP evoluiu no início dos anos 80 para o MRPII, com novos e mais abrangentes sistemas, que além de controlar os recursos da manufatura (materiais, mão-de-obra e equipamentos), permitiram também o controle da comercialização, distribuição e gestão. O MRP II por alguns anos foi considerado como a melhor ferramenta de planejamento da produção, especialmente em sistemas de produção intermitente, até que nos anos 80 passaram a se destacar os modelos introduzidos japoneses e baseados no STP para controlar os estoques na indústria automobilística (LAURINDO e MESQUITA, 2000; FERREIRA et al., 2012; LOPES, SILVA e ROCHA, 2014).



Portanto, os autores Orlicky, Goldratt e Ohno, foram identificados por Moura Júnior (1996), Azeka (2003), Fernandes et al. (2007) e Lopes, Silva e Rocha (2014) como referências nos conceitos de programação da produção e o capítulo da fundamentação teórica que versa sobre a Manufatura Enxuta e o STP apresentou os princípios e técnicas enunciados por Taichi Ohno.

Goldratt por sua vez criou a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC), minuciosamente tratada no livro “A Meta”, que apresenta os principais conceitos sobre as restrições de um sistema e como eliminar tais restrições para equilibrar o sistema produtivo, de modo a aumentar a rentabilidade por meio de redução dos custos operacionais e pela redução ou eliminação dos estoques, uma vez que estes não agregam valor sob a óptica do cliente (GOLDRATT e COX, 1997).

### 2.6.2 Teoria das Restrições (TOC)

Ao envolver-se em soluções para sistemas de logística, e intrigado pelo fato de sistemas complexos e métodos tradicionais de produção não produzirem os resultados esperados, Goldratt elaborou um novo método e o disseminou entre as empresas. Ensinou para as pessoas o seu raciocínio lógico para solucionar os problemas, e sua teoria foi aceita e aplicada em várias áreas do conhecimento, mas principalmente nas técnicas gestão da produção e técnicas de custeio. Segundo a TOC a principal tarefa atribuída à liderança das empresas é identificar a meta da organização (GIUNTINI, et al., 2002).

Uma vez que se tenha identificado a meta é preciso aumentar os ganhos, o que é feito por meio de redução dos inventários e das despesas operacionais, para certificar-se de que ocorre o retorno sobre os investimentos. O lucro da empresa precisa ser positivo e o fluxo de caixa deve ser eficiente (RODRIGUES, SCHUCH e PANTALEÃO, 2003).

Em relação à programação da produção verifica-se que não há, por parte da Teoria das Restrições, um destaque para a utilização de sistemas informatizados, e ao invés disso procura-se consolidar o conceito de restrição do sistema, representado pelo gargalo. A restrição deve ser continuamente tratada porque ela não desaparece, apenas muda de lugar sendo cinco os passos para se tratar a restrição: i) identificar a restrição do sistema; ii) explorar a restrição do sistema; iii) subordinar tudo à restrição; iv) elevar a restrição do

sistema; V) voltar para o primeiro passo para identificar a nova restrição (GOLDRATT e COX, 1997).

Além dos cinco passos que devem ser seguidos para se tratar a restrição do sistema, a TOC sugere o uso de outra metodologia conhecida como Tambor-Pulmão-Corda, por meio da qual considera-se que os sistemas apresentem apenas algumas restrições e que são estas restrições que determinam o ritmo ou índice de produção (Tambor). Este índice de produção, ou ritmo de produção, é conhecido como “batida” e é equivalente ao tempo *Takt* do STP (GOLDRATT e COX, 1997).

Para garantir que a restrição, também conhecida como Recurso Restritivo de Capacidade – ou simplesmente RRC, não cause o desabastecimento do sistema por falta de peças, cria-se um inventário na frente do mesmo (Pulmão). Também são recomendados pulmões na montagem e no setor de expedição para garantir o abastecimento do mercado (cliente). Uma vez que é o RRC que determina o índice de produção, os materiais devem ser liberados para os demais recursos de acordo com este índice (batida) para garantir que todos os postos de trabalho produzam no mesmo ritmo (corda) (GOLDRATT e COX, 1997).

Essas e outras técnicas consagram a TOC, mas os conceitos e pensamentos de Goldratt vão muito além, e abrangem aspectos relacionados à Logística e aos processos de raciocínio, por meio do método de solução de problemas e utilização da Árvore da Realidade Atual. Trata também de sistemas de desempenho por meio de priorização do ganho, da redução do inventário e da despesa operacional e do cálculo de mix de produção. Além de todos esses aspectos, a obra de Goldratt trata também dos conhecimentos relacionados ao Marketing, à Distribuição, à Gestão de Projetos e à Gestão da Cadeia de Suprimentos (SOUZA, 2005).

A seguir são apresentados os estudos sobre os sistemas MRP, MRPII e ERP, amplamente empregados na programação e controle da produção.

### 2.6.3 *Sistemas MRP, MRPII e ERP*

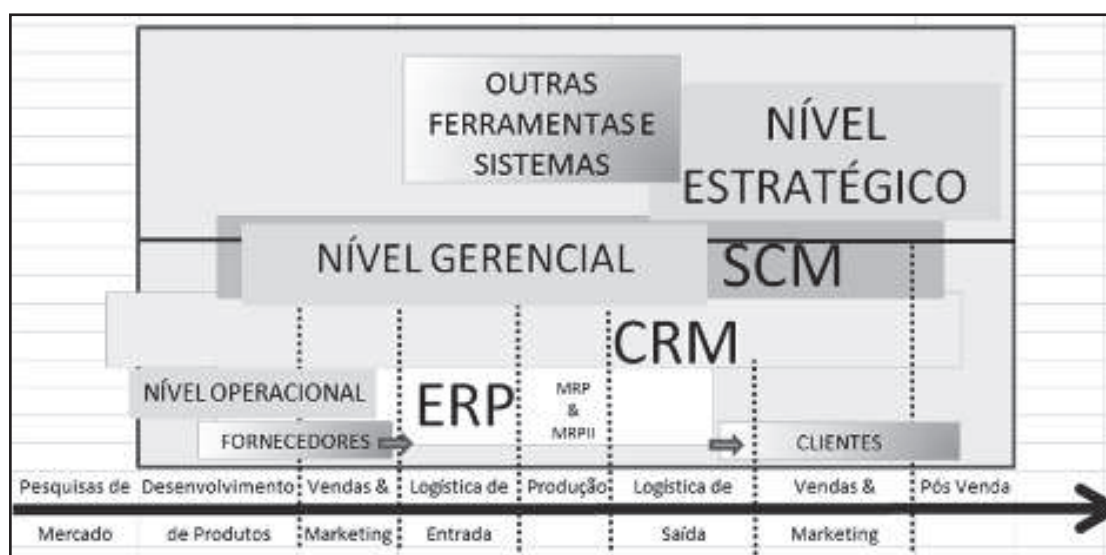
Em relação à Orlick, Tubino (2000), indica que foi ele o idealizador e criador do MRP, e que este sistema inicialmente destinava-se à realização de tarefas mais simples de gestão de materiais, mas depois evoluiu para o MRPII, que se tornou mais abrangente e capaz de integrar, além da gestão de materiais, outros aspectos do processo de fabricação. A evolução dos computadores e o surgimento de novas necessidades de integração conduziram o MRP ao

MRPII e em seguida ao surgimento dos sistemas ERP's que suportam os processos decisórios de grandes companhias por meio de um sistema integrado de gestão (FERREIRA et al., 2012).

Os sistemas MRP e MRPII ainda são amplamente utilizados, de forma independente ou como um módulo do sistema ERP. Esses sistemas utilizam uma metodologia de planejamento que considera estaticamente um sistema produtivo, para criar um plano de suprimento de materiais interno ou externo ao sistema. O MRP's visam sustentar as decisões baseadas em demanda, para liberar o fluxo de materiais em quantidades corretas e no momento certo, com a possibilidade de criar um círculo virtuoso por meio de redução dos níveis de estoques, melhorar a utilização do capital de giro, reduzir espaço físico, melhorar a capacidade de produção, aumentar os lucros e a capacidade de investimento (LOPES, SILVA e ROCHA, 2014).

O ERP faz a gestão de toda a cadeia de valor, por meio da integração dos módulos de MRP ou MRPII, na maioria das vezes em conjunto com outros sistemas, como o CRM (*Customer Relationship Management*), o SCM (*Supply Chain Management*), HRM (*Human Resource Management*) e FRM (*Financial Risk Management*), sendo que cada um desses sistemas possui abrangência específica dentro da organização conforme ilustra a Figura 17.

Figura 17: Abrangências dos sistemas MRP, MRPII e ERP



Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

Portanto, o departamento responsável pela programação e controle da produção nas empresas é o PCP, que se utiliza das técnicas do STP, da TOC e dos sistemas MRP, MRPII e ERP, para programar e determinar o que, quando, e em que quantidade será fabricado. Mas,

um aspecto fundamental em relação à programação e controle da produção, diz respeito à compreensão dos conceitos correspondentes aos tempos e ciclos de produção.

#### 2.6.4 *Lead time de produção e ciclo de produção*

A conceituação do *lead time* e do ciclo de fabricação é importante para entender outros conceitos, e para aplicar determinadas ferramentas, como o conceito de *takt time*, quantidade de material em processos (WIP) e a ferramenta de Mapeamento do Fluxo do Valor (VSM), apresentados no item da fundamentação teórica sobre a Manufatura Enxuta.

Para Rother e Shook (1999), o tempo de ciclo engloba o tempo de processamento da operação e o tempo de preparação, que corresponde ao tempo gasto para carregar e descarregar os materiais no equipamento. O *lead time*, também chamado de tempo de *throughput*, é o tempo requerido para uma peça em produção passar por todas as etapas de um processo, do início ao fim, desde o fornecimento da matéria-prima até a obtenção do produto acabado.

Moraes e Santoro (2006) definem o ciclo como o tempo médio entre a finalização de duas peças consecutivas em uma operação de fabricação ou montagem. Para ser determinado requer a realização de estudos de tempos. No caso de máquinas dedicadas com abastecimento manual é necessário considerar os diversos elementos da operação.

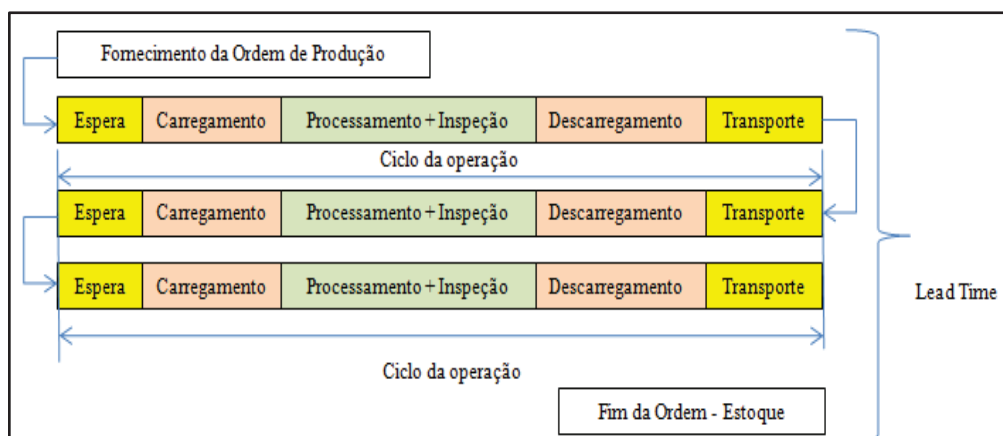
Conforme Silva e Morabito (2015), o tempo de ciclo é o tempo necessário para completar dois produtos sendo processados em sequência, e o *lead time* total é o tempo transcorrido entre o início da primeira atividade e o término da última atividade de processamento de um determinado número de série.

Ericksen, Stoflet e Suri (2007) afirmam que *lead time* é a quantidade de tempo gasto, desde a criação da ordem até a entrada das peças em estoque, ou entrega do produto final ao cliente.

Alvares e Antunes Júnior (2001) referem-se ao *lead time* como sendo o “tempo de atravessamento”, e consideram que o tempo de ciclo está relacionado à função produção, ou seja, a cada operação ou máquina em particular.

Portanto, o tempo de ciclo refere-se à operação, ou etapa, e o *lead time* compreende a soma dos ciclos, ou seja, o ciclo total, conforme os autores citados nos cinco parágrafos anteriores, e conforme representado pela Figura 18.

Figura 18: Ciclo e lead time de fabricação



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2016.

## 2.7 Apuração dos Custos da Qualidade

Outro aspecto importante, na gestão da operação industrial, é a apuração dos custos da qualidade. Segundo Juran e Gryna (1991), os custos da qualidade estão relacionados com as falhas que ocorrem durante a produção, pois, se estas não ocorressem e se os produtos fossem fabricados com perfeição no primeiro processamento, não haveria retrabalhos, desperdícios e perda de produtividade e, conseqüentemente, não haveria necessidade de apuração dos custos da qualidade.

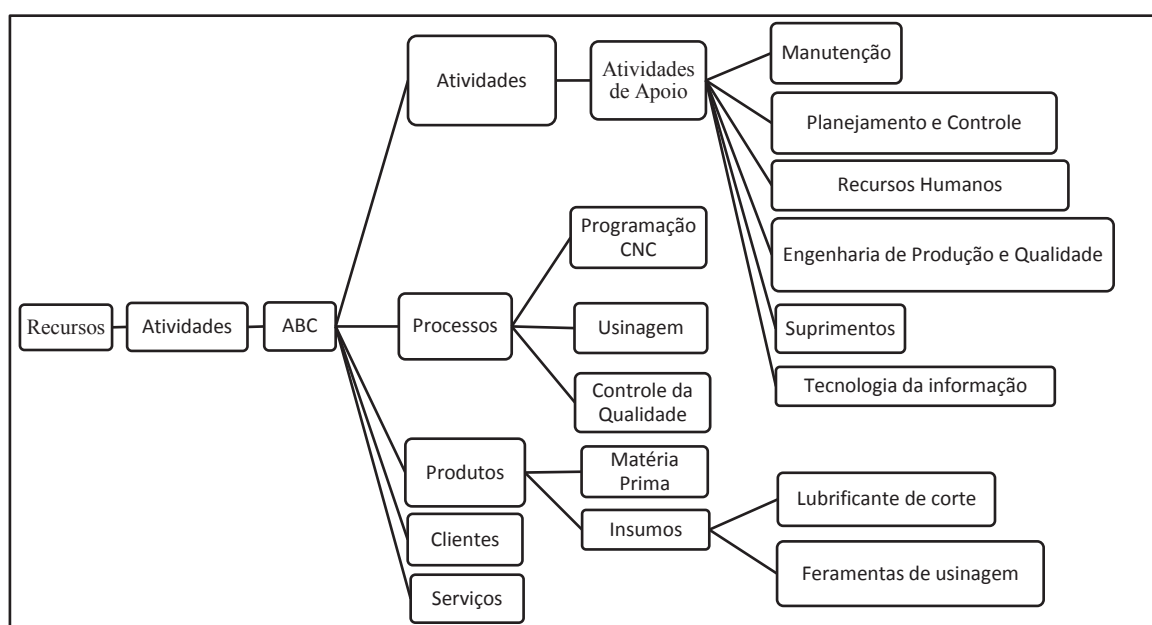
Para Robles Júnior (2003), a apuração dos custos da qualidade trata-se de uma técnica analítica utilizada para atender, dentre outros aspectos, às seguintes questões e objetivos: i) Conhecer a distribuição dos custos nas diversas categorias, de modo a possibilitar um melhor direcionamento dos investimentos; ii) Apresentar o impacto financeiro das decisões por meio dos relatórios de custos da qualidade; iii) Comprovar que os indicadores de custos da qualidade levam a administração a inserir os investimentos relacionados com a qualidade no contexto dos demais projetos; iv) Proporcionar a integração dos relatórios de custos da qualidade com os outros indicadores de desempenho; v) Fazer com que a melhoria da qualidade se torne um objetivo estratégico da empresa; vi) Fornecer, por meio de indicadores de custos da não qualidade, informações que venham a sustentar a tomada de decisões estratégicas para a organização.

Ainda segundo Robles Júnior (1994), os indicadores de custos da qualidade podem ser expressos em valores monetários ou em percentual do custo da qualidade em relação à outros indicadores da empresa. Nas empresas que empregam alta tecnologia na produção,

normalmente os custos indiretos representam uma parcela importante dos custos de produção e, nestes casos, recomenda-se a utilização do custo total de produção, como base para apuração dos custos da qualidade. A apuração pode ser realizada por meio do sistema de Contabilidade Baseada em Atividades (ABC – *Activity Based Costs*), baseado no princípio de que as atividades consomem recursos, e tudo que é objeto de análise do sistema de custeio consome atividades.

O Fluxograma 1, construído a partir dos conceitos de Robles Júnior (1994), representa o modelo de custeio baseado em atividades, aplicável aos setores de usinagem de peças complexas do setor aeronáutico.

Fluxograma 1: Apuração dos custos da qualidade por meio do sistema ABC

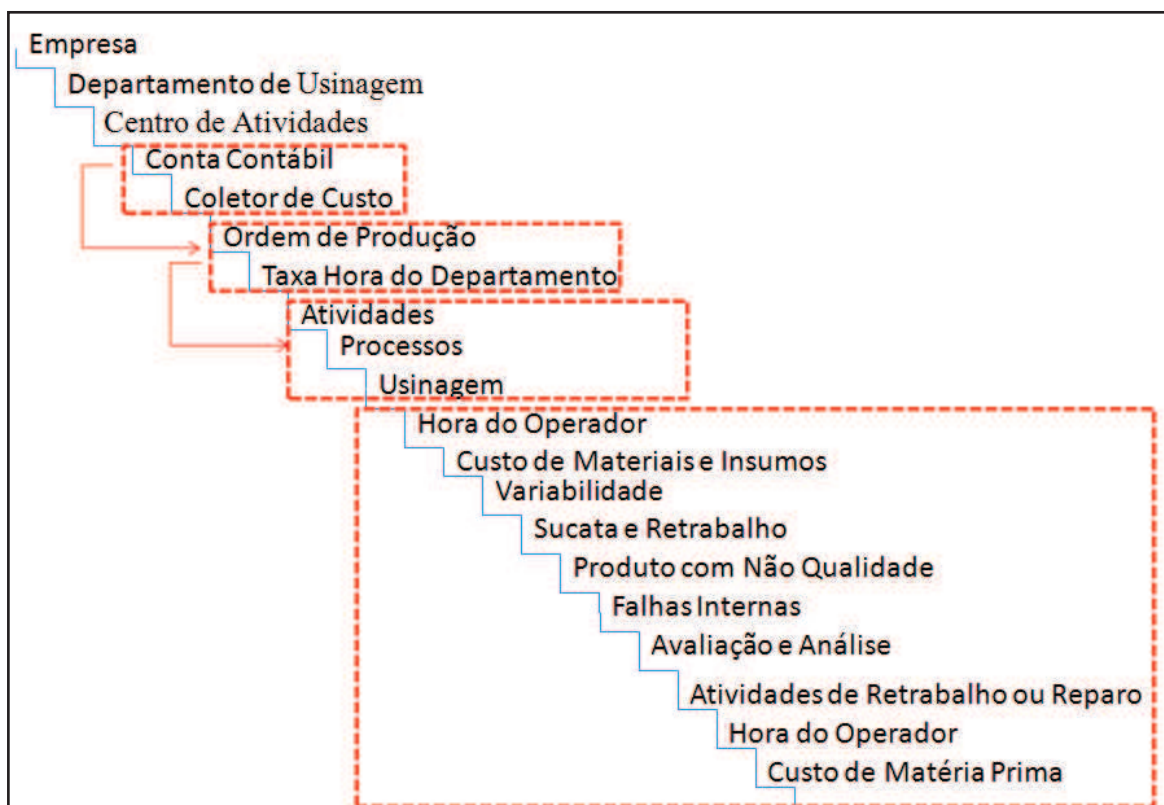


Fonte: Elaborado pelo Autor, 2016.

Dentro do contexto da gestão estratégica de custos, o sistema de custeio da qualidade deve atender aos diferentes propósitos de informação contábil estabelecidos pela organização, e a contabilidade de custos, baseada no sistema de atividades (ABC), deve coletar informações suficientes para compor e disponibilizar os custos relativos aos diferentes níveis de detalhamentos e de aspectos, como: departamento, operador e tipo de atividade (ROBLES JÚNIOR, 1994).

A Figura 19, cujo conteúdo está alinhado com os conceitos de Robles Júnior (1994), representa o modelo de apuração de custos da qualidade baseado no sistema ABC, para um setor de usinagem.

Figura 19: Modelo de apuração de custo da qualidade baseado no sistema ABC



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2016.

Observa-se, portanto, que no sistema de custeio por atividades, o coletor de custos representa um papel fundamental. Os apontamentos realizados na ordem de produção, que por sua vez encontra-se vinculada ao coletor de custos, permite que os tempos de produção sejam coletados, e os custos dos materiais também sejam atribuídos à ordem por meio do sistema ERP. Nos casos de produtos com defeitos, os custos são prontamente calculados, e levam em conta as atividades de análise e eventualmente retrabalho. A totalidade dos custos referentes aos produtos com falha geram os “custos da não qualidade”, que uma vez disponibilizados, suportam as decisões estratégicas, inclusive no que se refere aos investimentos para a melhoria dos processos (ROBLES JÚNIOR, 1994, 2003).



### 3 MÉTODO

Considerando-se as perguntas e os objetivos propostos, adota-se nesta pesquisa uma abordagem mista realizada a partir da aplicação de métodos qualitativos e quantitativos, o que na visão de Creswell (1994), enriquece a análise do problema que passa a ser observado por diferentes pontos de vistas, para encontrar contradições e novas perspectivas.

Conforme Oliveira (2001), o método misto implica na realização de uma pesquisa de natureza ao mesmo tempo qualitativa e quantitativa, e esta por sua vez pressupõe a coleta de dados relativos a alguns elementos da pesquisa, cuja análise pode proporcionar informações relevantes.

Em sua fase preliminar a pesquisa visava levantar dados sobre o nível de conhecimento e aplicação de técnicas de gestão de ativos por parte dos atores do segmento de usinagem aeronáutica, para em seguida analisar os dados por meio de técnicas estatísticas. Porém, observou-se por meio da pesquisa de campo realizada sobre as empresas, que resultou na Tabela 1 apresentada no item 4.1.2, que apenas quatro empresas do setor de usinagem aeronáutica possuem máquinas Multitarefa, e apenas uma direcionou significativamente seus investimentos para a aquisição deste tipo de tecnologia.

Diante deste cenário, em que apenas uma empresa investiu significativamente na tecnologia de Multitarefa, os dados e a população (atores envolvidos nos processos de investimentos) se revelaram pequenos e uniformes, impossibilitando inferências estatísticas.

Mas, ainda que sem a análise estatística, observa-se nesta pesquisa traços da natureza quantitativa, revelados ao longo da aplicação empírica por meio de cálculos numéricos, tabelas e gráficos.

Em relação ao método qualitativo aplicado à pesquisa, seguiu o formato de revisão bibliográfica e estudo de casos exploratório. Conforme Gil (2008), a pesquisa de natureza qualitativa, na maioria das vezes assume o formato de revisão bibliográfica ou estudo de casos, e pode ser classificada quanto aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos.

Quanto aos objetivos esta pesquisa é de natureza exploratória e explicativa, pois, procurou explicitar o problema pesquisado por meio de interação com as pessoas envolvidas. Na medida em que evoluiu, aprofundou-se no conhecimento da realidade para identificar os



fatores que contribuem e interferem na decisão de investir, no uso de Multitarefa, na aplicação dos princípios do Lean e nas técnicas e planejamento.

Quanto ao procedimento técnico constituiu-se de revisão bibliográfica, com pesquisa documental, pois além de utilizar-se de literatura disponível, utilizou fontes de dados ainda sem tratamento analítico. É também um estudo de campo, pois se aprofundou em uma realidade específica e foi realizada por meio da observação, que ao final traduziu-se em estudo de caso sobre os investimentos realizados em máquinas Multitarefa e dificuldades para se planejar um departamento de usinagem de peças complexas para o setor aeronáutico.

Sobre outros aspectos esta pesquisa também pode ser considerada como uma pesquisa-ação uma vez que o pesquisador trabalhou no segmento definido como objeto de estudo e participou diretamente dos vários processos que envolvem as questões do tema.

A pesquisa ação, em sentido estrito, é uma forma de investigação-ação, que utiliza técnicas de pesquisa consagradas, para informar a ação que se decide tomar e para melhorar a prática, e atende aos critérios comuns a outros tipos de pesquisas acadêmicas. Não há certeza sobre sua origem, mas atribui-se sua criação à Lewin K., por ter sido o primeiro a publicar um trabalho (*Action Research and minority problem*) empregando o termo cuja definição é considerada difícil por duas razões interligadas: i) é um processo natural e que se apresenta sob diferentes aspectos; ii) se desenvolveu de maneira diferente e para diferentes aplicações. Quase imediatamente depois de Lewin utilizar o termo na literatura, a pesquisa-ação foi considerada um termo geral para quatro processos diferentes: i) pesquisa diagnóstico; ii) pesquisa participante; iii) pesquisa empírica; iv) pesquisa experimental (TRIPP, 2005).

Na fase inicial desta pesquisa a proposta era estudar o uso de máquinas Multitarefa em conjunto com técnicas de Manufatura Enxuta, mas no decorrer da mesma surgiu a necessidade e a oportunidade de aumentar a abrangência inserindo as técnicas de Gestão de Ativos e as técnicas de Programação e Controle da Produção.

Esta maior abrangência ocorreu porque observou-se que, nas decisões de investir, as técnicas de VPL, TIR e *Payback*, são importantes para a melhora dos resultados, e podem também facilitar a gestão operacional, por meio de planejamento prévio de recursos, e pela utilização mais racional do sistema produtivo, que no caso do setor de usinagem de peças complexas apresenta certa dificuldade para o departamento de PCP.

A pesquisa, em relação à sua natureza qualitativa, desenvolveu-se, portanto, por meio de revisão bibliográfica e em seguida por realização de pesquisas de campo direcionadas à obter informações e estudar conceitos que permitissem o entendimento das questões relativas aos temas da pesquisas. Finalmente houve a realização do estudo de caso, também de natureza qualitativa, para observar e avaliar o processo de implantação da manufatura enxuta e também o processo de investimentos em máquinas para usinar peças complexas, especialmente para verificar a aplicação das técnicas de Gestão de Ativos

A coleta dos dados e informações, tanto para a revisão bibliográfica, quanto para a realização do estudo de caso foi feita de modo a possibilitar obter respostas para as questões levantadas nos objetivos da pesquisa:

a) Quais são as características do setor de usinagem aeronáutico em relação à complexidade das peças, à regulamentação do setor e à demanda de produtos?

b) Em função das características estudadas, como surge a necessidade de investimento em uma nova máquina para este segmento?

c) Quais são as características técnicas das máquinas Multitarefa, em termos de versatilidade de execução de várias operações de usinagem, que podem facilitar ou dificultar a aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta?

d) Aplicando-se as técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e *Payback*) para decidir entre a compra de um conjunto de máquinas ou uma Máquina Multitarefa, projeto A e Projeto B, ambos para usinagem de peças complexas do setor aeronáutico, qual alternativa de projeto mostrou-se mais vantajosa?

O estudo de caso, de acordo com CUNNINGHAM (1997), deve ser realizado mediante planejamento prévio e seguindo as premissas estabelecidas por um protocolo de estudos de caso que define os aspectos metodológicos para coleta, avaliação e aplicação dos dados, bem como as características da empresa objeto do estudo, e que neste caso, encontra-se disponível ao final na forma de Apêndice A.

A escolha da empresa e das fontes de dados ocorreu por meio dos métodos de conveniência e julgamento do autor, uma vez que, segundo Oliveira (2001), nos casos e situações em que não é possível aplicar a amostragem probabilística, torna-se possível analisar as situações por meio de alguns tipos básicos de amostras não probabilísticas: i) amostras por conveniência ou acidentais, ii) amostras intencionais ou por julgamento.

Por conveniência do autor a escolha da empresa para o estudo de caso considerou a localização geográfica mais acessível. Quanto ao julgamento do autor considerou-se a empresa com mais máquinas e com maior possibilidade de exemplos a serem explorados.

Segundo Oliveira (2001), a amostra por conveniência, ou acidental, é adequada e frequentemente utilizada para geração de ideias em pesquisas exploratórias, e consiste em simplesmente contatar unidades convenientes da amostragem. Na amostragem intencional ou por julgamento, a seleção de amostras ocorre de acordo com o julgamento do pesquisador.

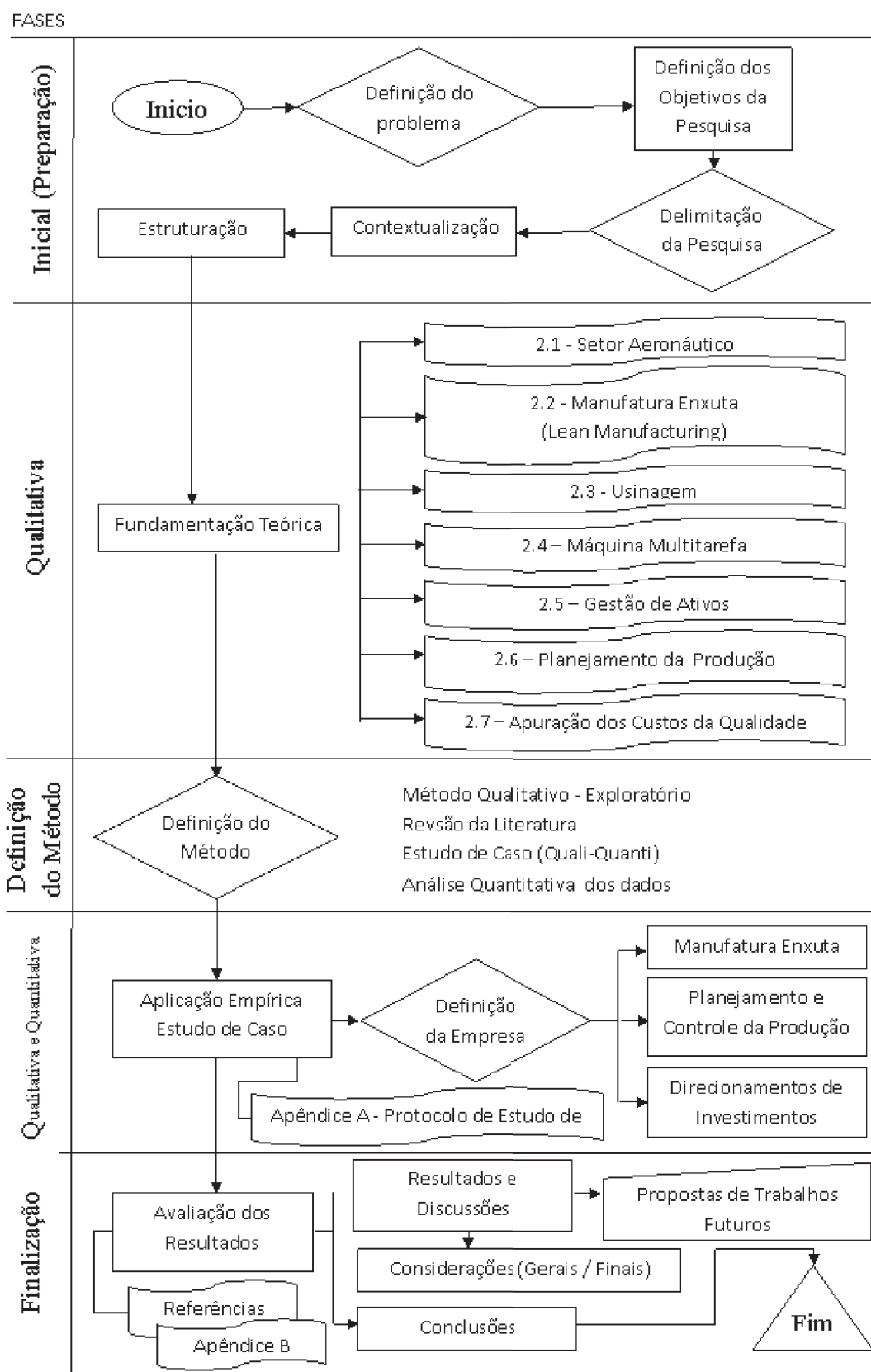
Ainda segundo Oliveira (2001), se for adotado um critério razoável de julgamento, pode-se chegar a resultados favoráveis. Em geral é realizada por meio de especialistas e pode ser útil quando é necessário incluir um pequeno número de unidades na amostra, como por exemplo a escolha de uma localidade de uma empresa para se realizar a pesquisa.

Os dados para a realização do estudo de caso, desde os que permitiram a escolha da empresa, a partir do rol de usinadores de peças (item 4.1.2), até os que possibilitaram analisar os processos de aplicação da manufatura enxuta e investimentos, definição de peça complexa e escolha de peça para o estudo de caso (item 4.1.1), foram obtidos por meio de pesquisas de campo, observações, entrevistas com especialistas, visitas técnicas de observação e análise, e mediante consultas a documentos ainda não sem tratamento analítico. Tudo de acordo com o item 2.6 do protocolo de estudo de casos, apresentado na forma de apêndice A.

Especificamente no caso do item 4.1.2, relativo ao levantamento do rol de empresas que usinam peças complexas e possuem máquinas Multitarefa, foi realizado por meio de pesquisas de campo junto aos órgãos que controlam os fornecedores do setor aeronáutico, e também por meio de consultas e visitas às empresas cadastradas por estes órgãos. O rol serviu para avaliar as empresas que eventualmente tenham realizados investimentos em tecnologias avançadas de fabricação para o setor de usinagem de peças complexa, foi necessário identificar, preliminarmente as empresas que efetivamente realizam a usinagem de peças complexas, para, em seguida, verificar quais possuem máquinas Multitarefa em seus parques fabris.

Portanto, para visão geral das etapas da pesquisa, desde a fase inicial qualitativa relativa à revisão da literatura e exploração de dados, até a fase final em que são apresentados os resultados e discussões, as propostas para trabalhos futuros e as conclusões, foi elaborado o Fluxograma 2.

Fluxograma 2: Fluxo da Pesquisa



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

## 4 PESQUISA EMPÍRICA – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso objetivou concatenar o conteúdo exploratório da aplicação empírica com os objetivos da pesquisa, e por meio da observação dos fatos relativos aos temas da pesquisa (Manufatura Enxuta, Planejamento e Controle da Produção e Gestão de Ativos), encontrar respostas para as questões apresentadas.

Inicialmente busca-se a identificação da empresa mais adequada à aplicação do estudo de caso, conforme apresentado no item a seguir.

### 4.1 Levantamento e análise das empresas para a aplicação do estudo de caso

Para escolher a empresa para o estudo de caso é preciso levar em conta dois aspectos relativos aos temas da pesquisa: i) é preciso que a empresa usine peças complexas; ii) é preciso que tenha investido em máquinas Multitarefa.

Portanto, o primeiro passo da aplicação empírica foi procurar, por meio de pesquisa de campo, a definição para peça complexa n setor de usinagem aeronáutico.

#### 4.1.1 *Definição de peça complexa.*

A definição, necessária ao entendimento sobre quais peças se enquadram nas características de usinagem compreendidas pelas máquinas Multitarefa e para identificar qual tipo de peça requer investimentos em tecnologias avançadas de fabricação, serve também para identificar as empresas que usam peças que são consideradas complexas.

Embora alguns autores como, Lima et al., 2005; Resende e Botelho, 2000, Silva et al., 2013; Silva, Morabito e Yanasse, 2011, afirmem que a fabricação de peças na indústria é de elevada complexidade, não há uma definição exata sobre tal complexidade.

Na estrutura de produto da aeronave existem milhares de peças que podem ser consideradas complexas sob o ponto de vista da fabricação.

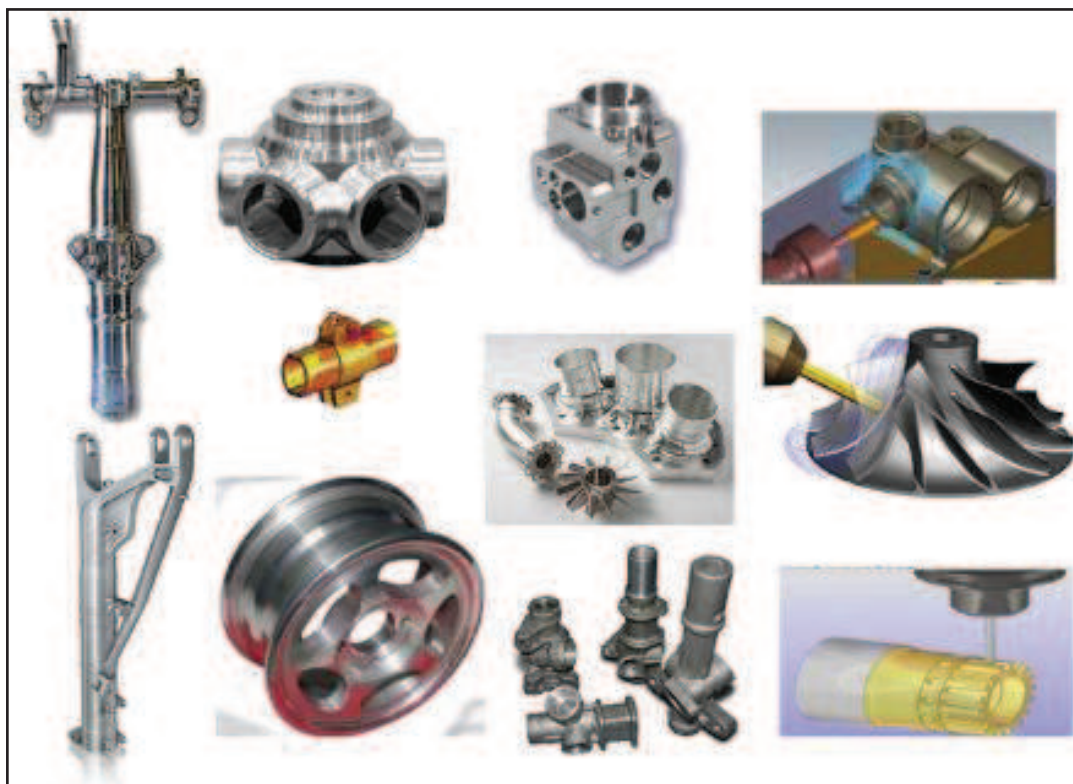
Devido à falta de definição disponível na literatura, e pelo consenso observado entre especialistas que ligados à empresa escolhida para estudo de caso, observa-se que a complexidade de uma peça, neste segmento, decorre em geral pela combinação de dois ou mais dos seguintes fatores: i) a geometria; ii) a matéria prima; ii) o processo de produção

empregado; iv) o maquinário empregado; v) o nível de tolerância estabelecido; vi) o fluxo de fabricação que envolve diversas etapas e que prejudica a logística de movimentação e o fluxo contínuo; vii) o *lead time* de produção elevado; viii) a indisponibilidade ou a dificuldade em se encontrar fornecedores.

No âmbito desta pesquisa, uma peça complexa é, portanto, aquela que: i) seja obtida por processo de usinagem (independentemente do tipo de material empregado); ii) que possua em sua geometria regiões cilíndricas e também regiões prismáticas; iii) que para ser produzida requeira a aplicação de operações torneamento e fresamento iv) que possua características que exijam operações diferenciadas como a furação profunda; v) que sua fabricação precise ser feita por meio de máquinas CNC com 4 ou mais eixos de usinagem; vi) que demandem operações de preparação em máquinas convencionais, de forma que a sua usinagem completa precise passar por diversas etapas; vii) que o fluxo de produção resulte em um *lead time* de fabricação considerado elevado.

A Figura 20 indica modelos de peças consideradas complexas no âmbito da pesquisa e cujos processos podem ser idealmente desenhados para usinagem em máquinas Multitarefa.

Figura 20: Rol de peças consideradas complexas



Fonte Resultados da Pesquisa

Após a definição de peças complexas passa a ser possível identificar o rol de empresas que usinam este tipo de peças e que, portanto, empregam a tecnologia de máquinas Multitarefa.

#### 4.1.2 Rol de empresas que usinam peças complexas para o setor aeronáutico

A partir de pesquisas em fontes primárias (DCTA, 1997; ANAC, 2014, 2015) e também secundárias (entrevistas) sobre a usinagem do segmento aeronáutico obteve-se dados que possibilitaram identificar as empresas do ramo de usinagem de peças aeronáuticas.

Os dados também permitiram identificar a localização geográfica das empresas e saber se as peças usinadas são complexas segundo a definição feita para esta pesquisa. Possibilitou ainda verificar quais empresas possuem máquinas Multitarefa e em que quantidades.

Deste modo elaborou-se um rol de empresas objetivando a escolha de uma para aplicação do estudo de caso. O resultado é apresentado por meio da Tabela 1.

Tabela 1: Empresas de usinagem do setor aeronáutico x máquinas Multitarefa

| Empresa                    | Localização         | Complexidade das peças usinadas | Usina peças complexas de acordo com a definição da pesquisa? | Possui máquinas Multitarefa? | Quantidade de Multitarefa |
|----------------------------|---------------------|---------------------------------|--|------------------------------|---------------------------|
| Embraer Unidade Faria Lima | São José dos Campos | Alta                            | Não  | Não                          | -                         |
| Aernova                    | São José dos Campos | Alta                            | Não  | Não                          | -                         |
| Embraer – Unidade Eleb     | São José dos Campos | Alta                            | Sim  | Sim                          | 9                         |
| Fastwork                   | Piracicaba          | Alta                            | Sim  | Sim                          | 1                         |
| Giovanni Passarela         | Hortolândia         | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| Globo Usinagem             | Jambeiro            | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| GMP Marcatto               | Mogi das Cruzes     | Média                           | Não  | Não                          | -                         |
| Graúna Aeroaspece          | Caçapava            | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| Induspec                   | São José dos Campos | Média                           | Não  | Não                          | -                         |
| Lanmar                     | Hortolândia         | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| Lima & Bonfá               | Sumaré              | Baixa                           | Não  | Não                          | -                         |
| Magap                      | São José dos Campos | Média                           | Não  | Não                          | -                         |
| Mirage                     | São José dos Campos | Alta                            | Sim  | Não                          | 1                         |
| Pan Metal                  | São Paulo           | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| Pesola                     | São José dos Campos | Alta                            | Não  | Não                          | -                         |
| Poligon                    | São José dos Campos | Não Identificado                | Não Identificado   | Não                          | -                         |
| Sopeça Aero                | São José dos Campos | Alta                            | Não  | Não                          | -                         |
| Thissenkrup Autonomia      | Taubaté             | Alta                            | Sim  |                              | 2                         |
| Toyomatic                  | Bragança            | Alta                            | Sim  | Não                          | -                         |
| Utec                       | São José dos Campos | Média                           | Não  | Não                          | -                         |
| Winstal                    | São José dos Campos | Baixa                           | Não  | Não                          | -                         |

Fonte: Resultados da Pesquisa



Pela análise da Tabela 1 constatou-se que das vinte e uma empresas identificadas, dez usinam peças consideradas complexas de acordo com a definição preparada para o âmbito desta pesquisa, e quatro utilizam máquinas Multitarefa (Eleb, Fastwork, Mirage e Tissenkrupp Automata). Deste modo que tornou-se possível escolher a empresa para aplicação do estudo de caso conforme apresentado no próximo item.

#### 4.1.3 *Escolha da Empresa para aplicação do Estudo de Caso*

Optou-se pela escolha de uma empresa representativa, não apenas para avaliação do processo de investimento para a verificação da aplicação das técnicas de Gestão de Ativos, mas também para possibilitar a observação da aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta e de Planejamento e Controle da Produção. Portanto, optou-se pela Embraer Unidade Faria Lima, para avaliação das técnicas de Manufatura Enxuta, e pela sua unidade de negócios, a Eleb, para avaliação das técnicas de Planejamento e Gestão de Ativos.

Dentre os temas da pesquisa a serem tratados na aplicação empírica, o primeiro é a Manufatura Enxuta, e portanto, optou-se por estudar e apresentar a difusão do Pensamento Enxuto na Embraer, por ser ela a principal empresa do mercado aeronáutico Brasileiro e por aplicar as técnicas e princípios da Manufatura Enxuta.

Os dois outros temas da pesquisa são a Programação e Controle da Produção e a Aplicação das Técnicas de Gestão de Ativos e considerando as delimitações da pesquisa, optou-se por realizar o estudo de caso na empresa ELEB, que é uma unidade de negócios da Embraer, e que possui maior quantidade de máquinas Multitarefa destinadas à usinagem de peças complexas do setor aeronáutico, tornando possível analisar tanto os métodos para Planejamento e Controle da Produção, quanto a aplicação das técnicas de Gestão de Ativos para aquisição das máquinas Multitarefa.

#### 4.2 O *Lean* por meio do P3E - Programa Embraer de Excelência Empresarial

Em relação à aplicação das técnicas da Manufatura Enxuta são apresentados os resultados das observações feitas sobre a implantação da Manufatura Enxuta na Embraer, que se deu por meio do P3E - Programa Embraer de Excelência Empresarial. A maior parte das informações coletadas foram obtidas por meio de dados disponibilizados pela empresa em



relatórios divulgados aos investidores e ao mercado. Alguns detalhamentos técnicos foram realizados por meio de visitas e entrevistas.

A difusão da Manufatura Enxuta, ou seja, da filosofia *Lean*, se deu a partir do ano de 2006, por meio do programa e denominado P3E. A difusão contou com o apoio de consultores japoneses pertencentes à consultoria *Singijutso* do Japão (EMBRAER, 2011).

“Fundamentado em quatro pilares, o Programa de Excelência Empresarial Embraer sustenta a competitividade da Empresa e amplia sua capacidade de resposta aos desafios e às oportunidades do mercado.

- O desenvolvimento da cultura organizacional da Embraer;
- O desenvolvimento das pessoas;
- A formação contínua de líderes e de suas habilidades de gestão;
- A busca da excelência e eficiência em todos os processos da Empresa.

A iniciativa busca a melhoria contínua e gradual, a eliminação de desperdícios e a automação (EMBRAER, 2011)”.

As operações industriais da EMBRAER contribuíram significativamente para o resultado da organização, por meio de diversos projetos focados em aumento de produtividade e melhoria de qualidade da manufatura. Tais ganhos foram alcançados com a disseminação dos conceitos de *Lean Manufacturing* promovidos pelo Programa de Excelência Empresarial Embraer (P3E), principalmente por meio da realização de projetos *Kaizen* e da preparação dos processos de produção conhecido como 3P (*Production Preparation Process*) (EMBRAER, 2011).

A Embraer, Alinhada à estratégia do Programa P3E, avançou em projetos de automação industrial (um dos pilares do STP – o *Jidoka*), adicionando aos robôs existentes na empresa outros novos adquiridos para a fabricação de segmentos de fuselagens, asas, pintura de aeronaves e shot peening, nas unidades do Brasil. Para as novas fábricas em Portugal foram adquiridos robôs para a fabricação de asas e estabilizadores. Deste modo o P3E promoveu a aplicação do conceito do *Kaikadu* (mudança radical) previsto no STP e apresentado na fase de fundamentação teórica (EMBRAER, 2011).

Outro ponto importante no P3E foi a formação de diversas células de melhoria contínua que fortaleceram a integração entre os diferentes departamentos e aprimorando os processos do fluxo de valor(EMBRAER, 2011).

#### 4.2.1 *Células de melhoria contínua*

O programa P3E foi desenvolvido a partir da constituição de células de melhoria contínua e baseou-se no Fluxo de Valor da empresa que, somados aos fundamentos de excelência da Fundação Nacional da Qualidade (FNQ), estabeleceram os critérios para o avanço do nível de excelência das células nas etapas do programa, desde a etapa de lançamento e certificação da célula necessária para o início da sua operação passando em seguida pelas fases de: a) qualificação básica b) certificação no nível bronze; c) certificação no nível prata e; d) certificação no nível ouro. A evolução das células em cada fase acontece de acordo com o desempenho avaliado pelos especialistas em melhoria contínua segundo os critérios excelência definidos no P3E (EMBRAER, 2011).

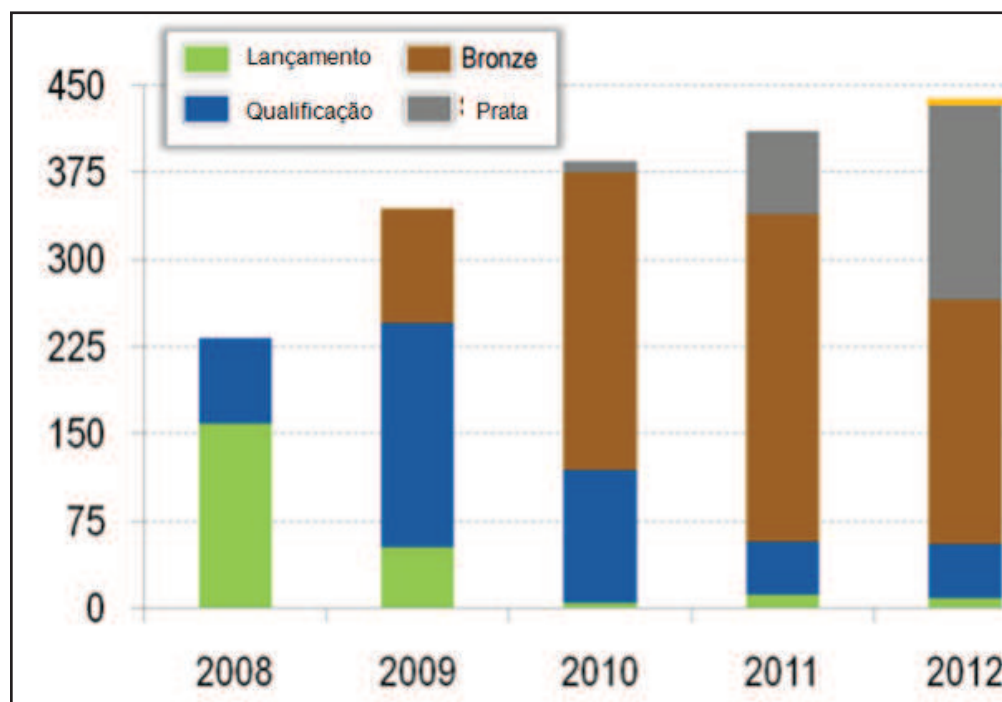
Um dos destaques do programa P3E foi a evolução das células para o nível de certificação prata, enquanto outras alcançaram o estágio de agrupamento de células sendo que, das 437 células existentes até o ano de 2012, 416 estavam qualificadas e prontas para operar de acordo com as expectativas dos clientes internos e externos, e de acordo com as rotinas de aplicação das ferramentas de melhoria e metas de excelência estabelecidas no programa. Dentre essas células, 373 atingiram o nível bronze (85%) e 71 células foram certificadas no nível prata (16%) por atenderem metas de alto desempenho (EMBRAER, 2011).

As centenas de células foram criadas seguindo o critério de mapeamento do fluxo do valor da organização para abranger todos os departamentos, de modo que cada célula represente uma pequena unidade de negócio, com pessoas de áreas diferentes, mas necessariamente compartilhando metas e resultados comuns, e gerando resultados por meio de trabalho colaborativo e de acordo com o sistema cliente e fornecedor.

Adotando os princípios do STP, e buscando a excelência empresarial em cada uma das células implantadas, aplica-se o princípio da melhoria contínua, por meio da participação de todos os empregados, que recebem o treinamento necessário para conhecer e aplicar os princípios e ferramentas da Manufatura Enxuta.

O Gráfico 2 apresenta a evolução das células rumo à excelência empresarial dentro do programa P3E no período de 2008 a 2012.

Gráfico 2: Evolução das células no programa P3E



Fonte: Adaptado de Embraer, 2011.

Para a difusão e controle do *Lean* na empresa foi criado um departamento específico e também as figuras do Líder de célula, KPO (*Kaizen Promotion Office*), Especialistas e Agentes de Melhoria Contínua. Juntos esses atores suportam as células e promovem os eventos *Kaizen*, conforme apresentado no próximo item.

#### 4.2.2 A importância dos eventos *Kaizen* na implantação do P3E

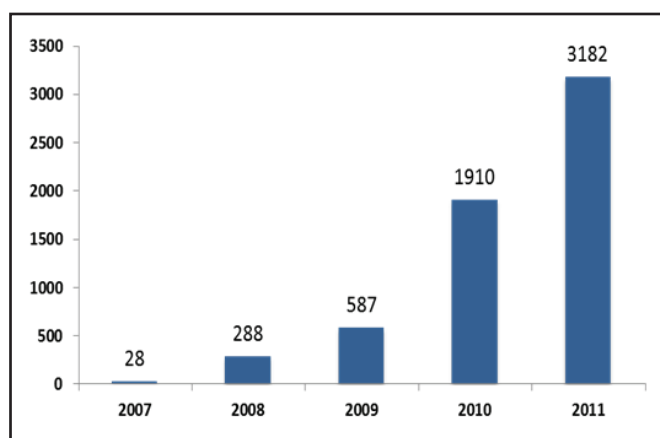
No programa P3E os eventos *Kaizen* tornaram-se fundamentais para a eliminação do desperdício e para a implantação dos pilares do STP (o *Just In Time*, e o sistema *Jidoka*). Houve incremento substancial no nível de automação e neste contexto o uso da máquina Multitarefa também representou uma importante contribuição.

O programa P3E estabeleceu o controle da evolução das células para a excelência por meio de uma ferramenta denominada Torre de Controle, por meio da qual todos os indicadores de desempenho da célula são controlados e auditados, desde a qualificação até a fase de obtenção e manutenção da certificação Bronze, Prata ou Ouro.

Os indicadores de desempenho da célula são em geral alinhados com os princípios do STP (qualidade, atendimento de prazos, satisfação dos empregados, eliminação de desperdícios) e consideram sempre a quantidade de eventos kaizen realizados pela célula e os resultados obtidos.

Os resultados para a companhia no período de 2007 a 2011 foram gerados principalmente por meio dos eventos *Kaizen*, que em 2011 atingiram a marca de 3.182 eventos, conforme indicado pelo Gráfico 3.

Gráfico 3: Evolução na quantidade de eventos kaizen entre 2007 e 2011



Fonte: Adaptado de Embraer, 2011.

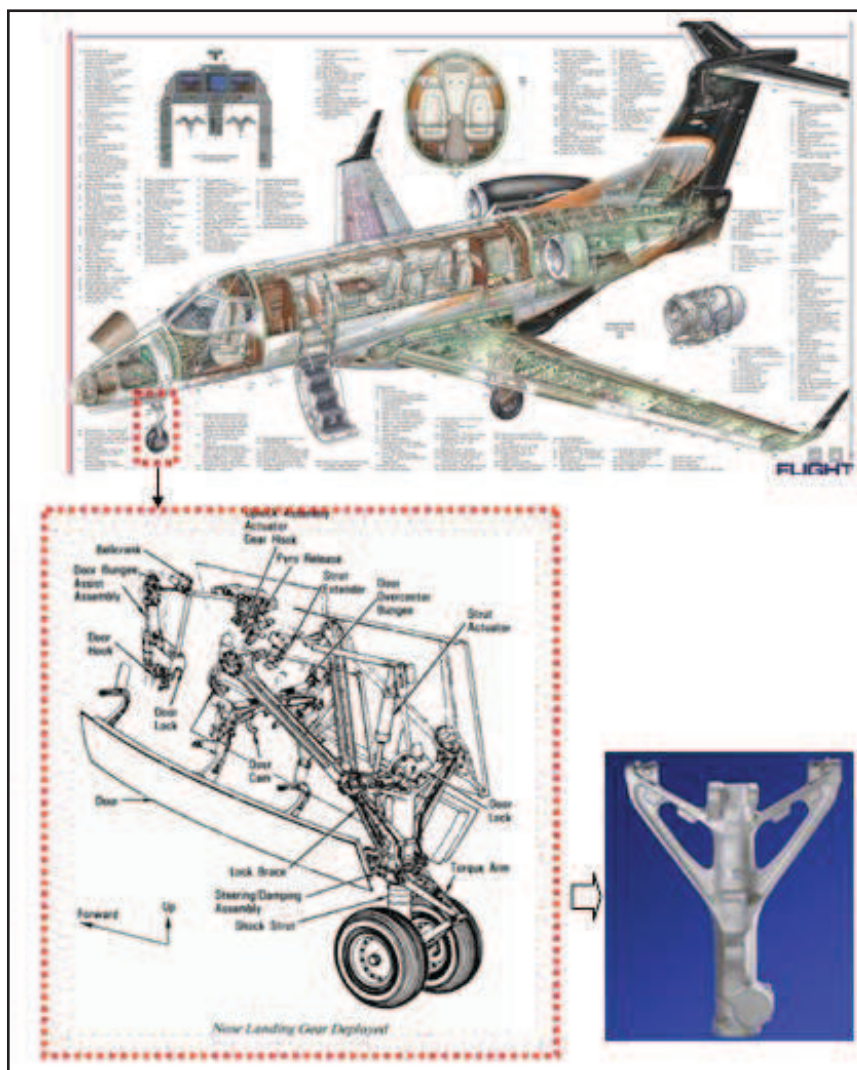
Os eventos *Kaizen* resultaram em melhorias nos processos produtivos e as células contribuíram para a melhora do fluxo do valor na organização.

O item seguinte apresenta as dificuldades observadas na fase da pesquisa empírica quanto à programação da produção no setor de usinagem de peças complexas para o setor aeronáutico, na unidade Eleb.

#### 4.3 Programação e Controle da produção no setor de usinagem

A aplicação empírica revelou, por meio das observações realizadas em relação às estruturas dos Trens de Pouso Principais e Auxiliar, as dificuldades em se programar e controlar a produção no setor de usinagem aeronáutica. A complexidade desses sistemas de TDP é representada por meio da Figura 21.

Figura 21: Sistema de TDPA e sua estrutura perna força do avião Phenom 300



Fonte: Adaptado de Embraer

Essas Estruturas de Perna Força dos TDP, pela geometria e função que exercem, são consideradas como uma família de peças, embora sejam diferentes e específicas para cada modelo de aeronave, especialmente quanto aos materiais (aço, alumínio ou titânio) e quanto às dimensões. Possuem, portanto, um número de peça específico dentro das estruturas de produto de cada tipo e TDP.

Os sistemas de Trem de Pouso aparentam ser simples quando observados em uma aeronave, mas ao serem estudados de forma independente, e em profundidade, percebe-se que são sistemas complexos normalmente formados por subsistemas, conjuntos e subconjuntos.

Observa-se que o desdobramento dos sistemas gera uma estrutura de produto formada por vários níveis e composta por milhares de itens, que abrangem os componentes comprados

(*hardwares* e que incluem as matérias primas), os itens fabricados (classificados como itens primários, subconjuntos e conjuntos montados), e itens finais que serão entregues aos clientes.

A Tabela 2 apresenta a quantidade de estruturas de trem de pouso produzidas em 2014, para cada modelo de aeronave entregue pela Embraer.

Tabela 2: Produção de estruturas de Trem de Pouso em 2014 x máquinas necessárias

| Quantidade de PN<br>2=Esq/Dir | Tipo  | Aplicação          | Quant. TDP por modelo Aeronave | Quant. de TDP entregues em 2014* | Quant. de Estruturas produzidas em 2014* | Tempo de usinagem por peça*** (h) | Tempo de usinagem (h/mês) | Quant. máquina relativa (380h/mês) |
|-------------------------------|-------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1                             | TDPA  | Lineage 1000       | 1                              | 3                                | 3  | 35                                | 8,8                       | 0,0                                |
| 2                             | TDPP  | Legacy 500/600/650 | 2                              | 21                               | 42                                       | 40                                | 140,0                     | 0,4                                |
| 2                             | TDPP  | ERJ 135/145 ER     | 2                              | 0                                | 0  | 40                                | 0,0                       | 0,0                                |
| 1                             | TDPA  | RJ-170/175         | 1                              | 63                               | 63                                       | 25                                | 131,3                     | 0,3                                |
| 2                             | TDPA  | RJ-190/195         | 1                              | 29                               | 29                                       | 25                                | 60,4                      | 0,2                                |
| 1                             | TDPA  | Phenom 100         | 1                              | 19                               | 19                                       | 35                                | 55,4                      | 0,1                                |
| 2                             | TDPP  | Phenom 100         | 2                              | 19                               | 38                                       | 35                                | 110,8                     | 0,3                                |
| 1                             | TDPA  | Phenom 300         | 1                              | 73                               | 73                                       | 40                                | 243,3                     | 0,6                                |
| 2                             | TDPP  | Phenom 300         | 2                              | 73                               | 146                                      | 40                                | 486,7                     | 1,3                                |
| 1                             | TDPA  | 312 Tucano         | 1                              | 0                                | 0  | 35                                | 0,0                       | 0,0                                |
| 2                             | TDPP  | 3132Tucano         | 2                              | 0                                | 0  | 30                                | 0,0                       | 0,0                                |
| 1                             | TDPA  | ALX                | 1                              | 7                                | 7  | 30                                | 17,5                      | 0,0                                |
| 2                             | TDPP  | ALX                | 2                              | 7                                | 14                                       | 30                                | 35,0                      | 0,1                                |
| 1                             | TDPA  | KC-390**           | 1                              | 10                               | 10                                       | 200                               | 166,7                     | 0,4                                |
| 2                             | TDPP  | KC-390**           | 2                              | 10                               | 20                                       | 200                               | 333,3                     | 0,9                                |
| 23                            | Total |                    | Total                          | 334                              | 464                                      |                                   | 1789,2                    | 4,7                                |

TDP = Trem de Pouso; Quant. = Quantidade

TDPA = Trem de Pouso Auxiliar; PDPP = Trem de Pouso Principal

\* Dados não oficiais levantados pelo autor; não incluem fornecimento de peças de reposição

\*\* Avião em fase de desenvolvimento, itens produzidos para ensaios de qualificação e certificação

\*\*\* Dados não oficiais levantados pelo autor por meio de pesquisa de campo

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Por meio da Tabela 2, construída por meio de pesquisa de campo, considerou a demanda de trens de pouso de acordo com a entrega de aeronaves. Verifica-se que, no período analisado, foram vinte e três diferentes tipos de Estruturas de Trem de Pouso, cada uma com seu respectivo número de peça. Isso resulta em um total de 464 unidades produzidas. Ao considerar que são peças complexas, que para serem fabricadas passam por inúmeras operações de usinagem com tolerâncias difíceis de serem obtidas e que normalmente

demandam dezenas de horas em cada operação, acarretando *lead time* de produção elevado que pode chegar a vários meses, observa-se a dificuldade na tarefa de programar e controlar a produção deste tipo de peça em um ambiente dinâmico,

Observa-se ainda que, o caso analisado, resultou na necessidade de cinco máquinas (em números relativos, pois, são diversos os tipos máquinas a serem empregadas em cada etapa). Esta quantidade máquinas para usinagem apenas de Estruturas Perna Força permite concluir, que para a usinagem da totalidade das demais peças que compõem a estrutura de produto dos trens de pouso principais e auxiliar, bem como de seus subsistemas, resultarão em uma quantidade muito maior de máquinas, e isso fará com que o sistema se torne ainda mais dinâmico e sujeito às variações.

Verifica-se também que, além das características do produto aeronáutico, é preciso considerar a flexibilidade e a robustez como aspectos importantes no planejamento uma vez que os ambientes de produção raramente perfeitos sujeitam-se às incertezas, perturbações, distúrbios ou instabilidade (Barroso et al. (2005). De maneira geral são os eventos não planejados que mais afetam a produção e alteram o planejamento em termos de tempo ou quantidade, com consequências negativas em relação a capacidade dos recursos, desempenho e eficiência da organização e qualidade do serviço prestado ao cliente.

Embora a cadência de produção no setor aeronáutico seja considerada relativamente baixa, a estrutura de produto, os processos e a cadeia de suprimento são complexos e por isso o planejamento da produção, ainda que esteja baseado em sistemas e MRP's e ERP's, se torna difícil e eventualmente impreciso devido aos eventos não planejados que ocorrem no sistema produtivo.

Além desses fatores também podem ocorrer falhas humanas no cadastramento dos tempos de fila relativos a cada máquina e variações entre os tempos de processamento (Real x Planejados), fatos que podem interferir na capacidade dos equipamentos e afetar o cálculo do *Lead Time*, comprometer as datas planejadas para as ordens de fabricação e acarretar aumento de inventário e atrasos das entregas.

Neste sentido os sistemas de gestão da produção baseados na Manufatura Enxuta e na Teoria das Restrições auxiliaram na obtenção de ganhos por meio de medidas como a identificação de gargalos, subordinação da capacidade de produzir do sistema à capacidade do gargalo, elevação do nível de capacidade do gargalo, criação do fluxo contínuo, eliminação



dos desperdícios, redução do *setup* e do *lead time*, redução do inventário, proteção dos sistemas por meio de metodologias de programação tambor-corda-pulmão e entregas baseadas no sistema JIT. Observa-se então a integração das técnicas do STP e TOC com as ferramentas de programação e controle da produção.

#### 4.4 Metodologia empregada para identificar e direcionar investimentos

O processo de identificar as necessidades de se investir em um ativo fixo para a área de usinagem da empresa ocorre por diversas maneiras, mas é realizado sempre por meio de grupos interdisciplinares e com a participação e apoio da liderança da empresa. A identificação da necessidade de investir surge por meio de informações e opiniões de pessoas reconhecidas na organização pela experiência e competência, mas é sempre suportada por dados objetivos como: i) gráficos de C&C; ii) indicadores de qualidade das peças usinadas; iii) custo de fabricação das peças; iv) custo de manutenção das máquinas; iv) disponibilidade de peças de reposição para as máquinas.

Os itens seguintes apresentam as sistemáticas de identificação das necessidades de investimentos, iniciando-se pelo planejamento da carga e capacidade das máquinas.

##### 4.4.1 Planejamento de Carga & Capacidade

Um dos critérios para identificar a necessidade de investimentos é por meio da análise do comportamento de cada máquina em relação à sua carga e capacidade (C&C).

Inicialmente o departamento de planejamento prepara gráficos de C&C para todas as máquinas e a carga de trabalho é levantada com base nos seguintes critérios: i) demanda cadastrada no Mestre de Produção do MRPII; ii) levantamento das ordens de produção planejadas; iii) quantidade de peças de cada ordem planejada; iv) tempos de processamento e *setup* cadastrados na engenharia de produção no sistema ERP; v) tempos de filas calculados pelo MRPII por meio de levantamento da média histórica de permanência em cada posto de trabalho.

Para definição da capacidade real ( $C_r$ ) considera-se que a capacidade planejada ( $C_p$ ) para cada máquina no mês é de 144 horas por turno, o que significa que a máquina irá trabalhar por 22 dias no mês e 6 horas e 54 minutos por dia, já descontados os períodos de



troca entre os turnos dos operadores (*overlap*), os tempos de parada para refeições, as reuniões e manutenção, as paradas para atendimento técnico, as interrupções para trocas de *setup* e demais ineficiências.

A eficiência de cada máquina é obtida pelo produto da multiplicação da quantidade de horas efetivamente trabalhada (cadastra em sistemas de aquisição de dados) pelo índice de qualidade das peças produzidas em cada máquina (disponibilizado pela Engenharia da Qualidade) conforme representado pela equação 4.

$$e = \frac{Het}{Cp} \times i \quad (4)$$

Onde:

$e$  = eficiência (%)

$Het$  = Quantidade de horas efetivamente trabalhadas no mês (h/mês)

$Cp$  = Capacidade planejada (144h/mês)

$i$  = Índice de qualidade das peças produzidas pela máquina (%)

A capacidade real é estabelecida em horas por mês e é o produto da multiplicação da capacidade planejada pela a quantidade de máquinas, pelo número e pela eficiência, conforme representado pela equação 5.

$$Cr = Cp \times Nm \times Nt \times e \quad (5)$$

Onde:

$Cr$  = Capacidade Real (h/mês)

$Cp$  = Capacidade planejada (144h/mês)

$Nm$  = Número de máquinas no posto de trabalho

$Nt$  = Número de turnos do posto de trabalho

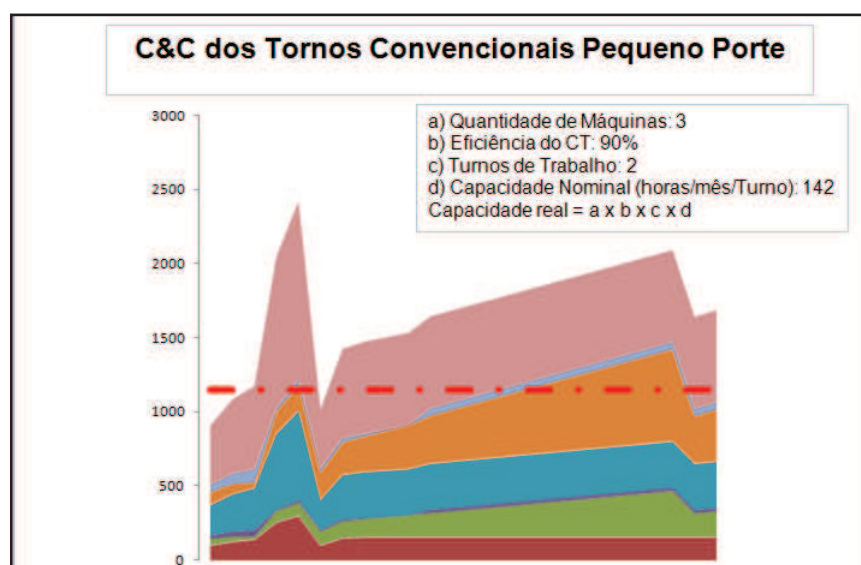
$e$  = eficiência do posto de trabalho (%)

Uma vez disponibilizados, os gráficos de C&C são periodicamente analisados em reuniões nas quais identifica-se os Recursos Restritivos de Capacidade (RRC) e decide-se sobre o que fazer para eliminar os problemas em cada uma deles (aplica-se os cinco passo para tratar a restrição conforme apresentado pela TOC).

Nem sempre a decisão é investir, podendo haver outras soluções como: i) realizar *kaizen* para melhoria do posto de trabalho; ii) solicitar melhorias no processo para a engenharia de produção; iii) redirecionar parte da carga para outra máquina; iii) redirecionar parte da carga para terceirização;

Em um dos casos analisados observou-se que a solução foi a transferência de grande parte da produção para a usinagem em fornecedores subcontratados uma vez que os responsáveis por tratar o RRC identificaram que as peças usinadas nas máquinas não estavam de acordo com a estratégia de definição de peças a serem fabricadas internamente pela empresa (*core business*), pois se tratavam de tornos convencionais de pequeno porte usinando buchas cuja demanda aumentara substancialmente devido a novos pedidos de peças de reposição. O Gráfico 4 apresenta o comportamento de C&C dos tornos em situação de gargalo.

Gráfico 4: Carga e Capacidade dos tornos convencionais (gargalo)

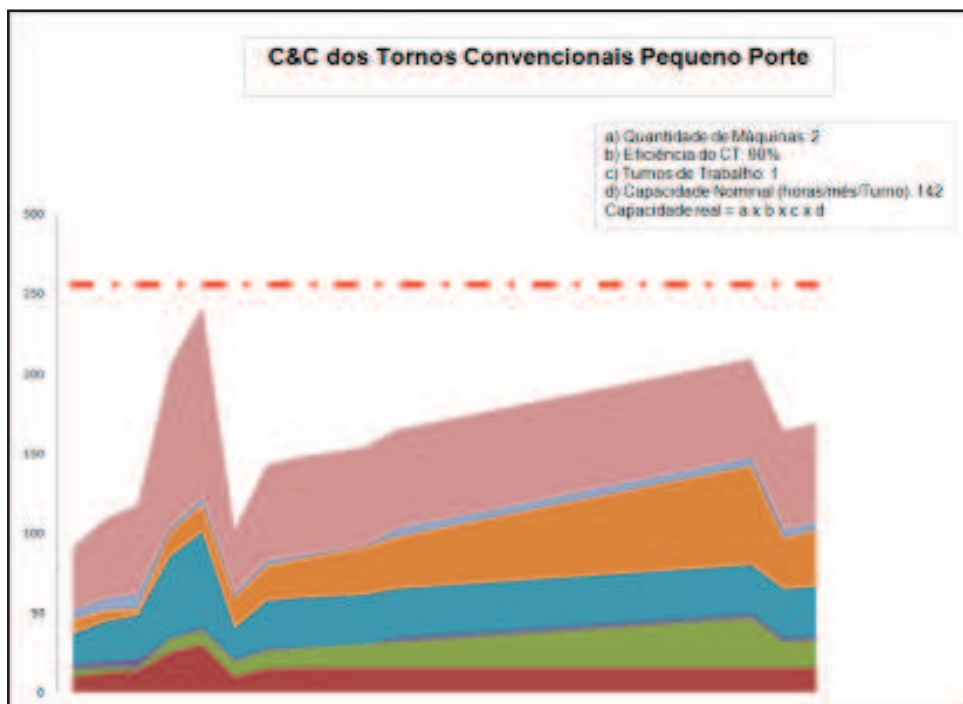


Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015

A linha indicada por traço e ponto do gráfico 4 indica que a capacidade real está abaixo da carga de trabalho planejada. A carga de trabalho leva em conta o período mínimo de 24 meses de demanda planejada (*forecasting*).

O Gráfico 5 apresenta o comportamento de C&C dos tornos após a decisão de terceirizar as peças não inseridas na estratégia de fabricação interna definida pela empresa.

Gráfico 5: Carga e Capacidade dos tornos convencionais após a terceirização



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Pela análise do gráfico 5 observa-se que além de trazer as cargas de trabalho para abaixo da linha da capacidade real, foi possível eliminar um turno de trabalho e disponibilizar uma máquina para liberação de espaço físico (muito valorizado pelo STP).

Observou-se que a estratégia da empresa estabelecia o progressivo direcionamento de peças simples (com menor valor agregado) para a usinagem em fornecedores terceirizados de modo a disponibilizar as máquinas convencionais, liberar espaço físico para a atualização do parque fabril e também para concentrar o foco dos técnicos e engenheiros na melhoria da qualidade das peças consideradas complexas e na melhoria contínua dos processos internos, buscando com isso maior agregação de valor.

#### 4.4.2 Indicadores de Qualidade

Os indicadores de qualidade, gerados de acordo com o sistema de custeio baseado em atividades (ABC), consolidam os dados das ordens de produção e os custos relativos aos materiais e insumos de produção, e uma vez disponibilizados para os líderes da empresa, são apresentados e analisados por meio de reuniões periódicas, nas quais se analisa os resultados e decide-se sobre as ações para a redução dos defeitos.

Nos casos em que as máquinas são as geradoras das peças defeituosas adota-se uma das seguintes opções de solução do problema: i) revisão geral da máquina por parte da manutenção; ii) redirecionamento do item para uma máquina melhor e com capacidade disponível; iii) redirecionamento do item para usinagem em terceiros desde que economicamente viável e alinhado com a decisão estratégica de compra ou fabricação (*Make or Buy*) da empresa; iv) investir em ativo de produção mediante elaboração de um plano contingencial até a operação da nova máquina.

Num dos casos estudados a peça era processada em diversas máquinas e ao final, na fase de calibração dos vários furos por meio de alargadores em fresadora CNC. As peças apresentavam desvios devido às folgas existentes no fuso principal e também devido ao método de fixação das ferramentas. Havia ainda outros desvios decorrentes das várias etapas de fixação e que somente eram detectados ao final, na fase de medição tridimensional.

O processo empregado implicava em um considerável número de *setup*, várias etapas de fabricação com fila de espera entre as máquinas, passava por máquinas consideradas RRC e em função desses aspectos o *lead time* de fabricação estava elevado.

Como a peça era de elevado valor agregado optou-se por direcioná-la para uma máquina Mutitarefa de duas placas recém adquirida, para que fosse usinada em duas fases de fixação com transferência automática entre as placas.

A Figura 22 apresenta o comportamento dos custos de qualidade antes e após a transferência para a usinagem da peça na máquina multitarefa.

Figura 22: Redução do custo de não qualidade por meio de usinagem em multitarefa



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Outro aspecto importante e observado no processo de investimentos é relativo aos custos e *lead time* de fabricação conforme apresentado a seguir.

#### 4.4.3 Custos e *lead time* de fabricação

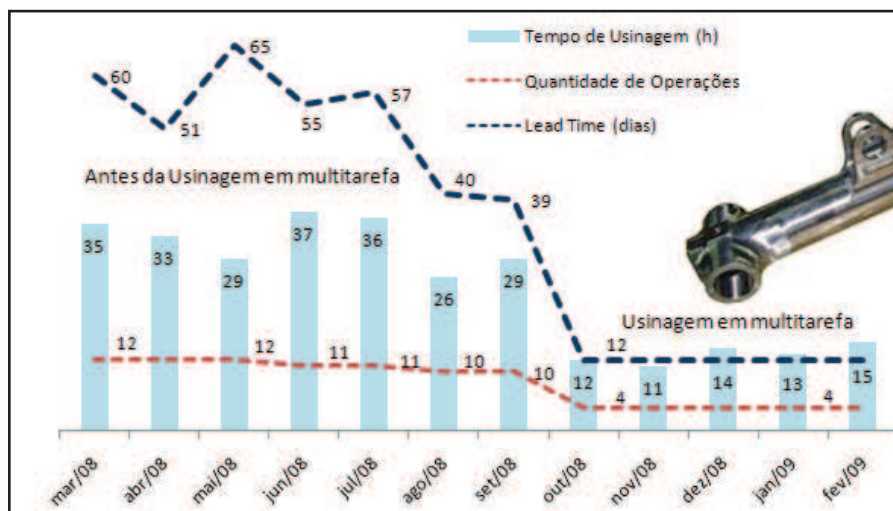
Ao controlar os custos e margens, e sempre que algum produto estivesse com margem abaixo do esperado, os gerentes de programas solicitavam para a engenharia da produção estudos de melhoria no processo, para redução de custos e ou *lead time* de fabricação.

Assim como nos casos anteriores, muitas vezes a solução para a redução de custos implicava em transferir peças para máquinas mais novas e noutras situações a solução era subcontratar a usinagem junto a um terceiro que estivesse alinhado com a decisão de core da empresa e oferecesse melhor custo final, mesmo com incremento dos custos e operações logísticas. Esta rotina de tomada de decisão é denominada decisão de “*Make or Buy*”, que em português significa a decisão de fabricar ou comprar o serviço de usinagem.

Em outro dos casos observados o custo e o *lead time* de produção estavam elevados e o programa estava com margem negativa. Por solicitação do gerente do programa a engenharia de produção transferiu para uma máquina Multitarefa o processo de usinagem da peça que ao final das etapas de usinagem passava por operações de lixamento que demandavam dezenas de horas, de operações manuais difíceis de serem padronizadas e controladas.

A figura 23 apresenta a evolução do *lead time* e tempos de fabricação obtidos por meio d redução na quantidade de operações.

Figura 23: Redução do Lead time e tempo de usinagem em máquina multitarefa



Fonte Resultados da Pesquisa, 2015.

Observou-se significativa redução nos tempos de usinagem, quantidade de operações e consequentemente no *lead time* de fabricação. Essas reduções acarretam não apenas a redução do custo de fabricação da peça como também aumenta a capacidade do sistema, melhora a qualidade, torna mais flexível a produção, reduz o nível de atrasos nas entregas, facilita o trabalho de programação e controle, eleva o moral do trabalhador e possibilita que o aprendizado possa ser replicado para outras peças no formato do *Yokoten*.

O último critério aplicado no processo de decidir e direcionar os investimentos relaciona-se com os custos de manutenção e é apresentado no capítulo seguinte.

#### 4.4.4 Custos de Manutenção

Por meio de reuniões mensais para acompanhamento orçamentário os líderes da empresa apresentam os riscos e oportunidades em relação ao cumprimento das metas orçamentárias e um dos itens da pauta refere-se aos custos de manutenção das máquinas.

Quando uma máquina apresenta custo de manutenção acima do planejado o gerente de manutenção e gerente de usinagem devem apresentar ações para trazer os custos aos patamares estabelecidos nos orçamentos. Em alguns casos, devido à indisponibilidade ou ao

custo de aquisição elevado de peças de reposição, a decisão pode ser investir em nova máquina.

A medida do desempenho das áreas de manutenção, usinagem e engenharia de produção, considera o índice de utilização das máquinas. Para registrar a quantidade de horas efetivamente trabalhadas as principais máquinas são equipadas com módulos de aquisição e registro de dados para controlar as paradas. Divulgam-se os resultados semanalmente para os gerentes responsáveis para que eliminem as causas de parada que podem ser: a) aguardando suporte técnico da engenharia de produção; b) aguardando manutenção; c) aguardando preparação de ferramentas ou *setup*; d) falta de operador.


Durante o estudo de caso observou-se, por meio de exploração de dados primários e secundários (registros históricos e entrevistas), que uma série de máquina com idade média em torno de 27 anos, com elevado custo de manutenção, com baixa eficiência e com elevado custo de não qualidade foram substituídas para liberar área para novas máquinas e para possibilitar a melhoria da qualidade e a redução dos custos de fabricação.

Observa-se, portanto, que a decisão por disponibilizar as máquinas e investir em tecnologias avançadas de fabricação (ATM), baseia-se em critérios objetivos se faz necessária, pois, mesmo que sejam aplicadas as técnicas de Manufatura Enxuta e Teoria das Restrições não se torna possível obter a melhoria radical (*Kaikadu*) e a automação (*Jidoka*). Neste sentido as máquinas Multitarefa apresentam-se como alternativas para promover a mudança radical e a automação do processo.

A Figura 24 apresenta as máquinas disponibilizadas no ano de 2006, a idade média de cada uma delas, os custos de manutenção e não qualidade, a eficiência e a área ocupada por cada uma e que, após a disponibilização, resultou em liberação de área. Considerando que o valor do metro quadrado é em torno de R\$20,25 e que a soma dos valores residuais das máquinas seja R\$100.000,00, é possível observar que a disponibilização pode representar uma economia anual de cerca de R\$472.000,00 referentes à soma dos custos de manutenção e custos de não qualidade. Este valor pode ser considerado como fluxo de entrada em um eventual projeto de investimento que vise substituição de máquinas, tornando assim o investimento mais viável.



Figura 24: Máquinas para substituição



| Máquina                         | Ano de Fabricação | Custo de Manutenção em 2006 (Mil R\$)* | Área (m2) | Eficiência | Custo da Não Qualidade em 2006 (Mil R\$) |
|---------------------------------|-------------------|--|-----------|------------|--|
| KT 800-I                        | 1980              | 150                                    | 36        | 55%        | 35                                       |
| KT 800-II                       | 1982              | 45                                     | 36        | 44%        | 23                                       |
| KT600-I                         | 1981              | 52                                     | 30        | 35%        | 19                                       |
| KT600-II                        | 1981              | 24                                     | 30        | 50%        | 29                                       |
| Torno CNC WS15                  | 1980              | 7                                      | 20        | 5%         | 1  |
| Fresadora CNC Yamagushi         | 1978              | 13                                     | 15        | 40%        | 27                                       |
| Fresdora I S. Blanes            | 1975              | 1,5                                    | 10        | 20%        | 2,5                                      |
| Ano base 2006<br>* Com reformas | 27 anos média     | 292,5 total                            | 177 total | 36% média  | 136,5 total                              |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Em linhas gerais, este é o modelo de decisão sobre investimento observado durante a fase de pesquisa realizada por meio de fontes primárias e secundárias. Os dados permitiram prosseguir com o estudo de caso que considera a usinagem de uma peça complexa para a qual a decisão de investir em tecnologias avançadas de fabricação havia sido tomada e estava baseada nas técnicas de gestão de ativos (*Payback* descontado, VPL e TIR).

#### 4.4.5 Direcionamento dos investimentos na empresa

Embora a empresa tenha adquirido a sua primeira máquina multitarefa em 2001, a crise no mercado de aviação provocada pelos ataques terroristas contra os EUA levou ao declínio no volume de entregas e os investimentos destinados à capacitação e atualização do parque fabril deixaram de ser efetivados.

No ano de 2003 a empresa investiu na implantação do sistema SAP para integrar áreas de gestão da organização. Nos anos seguintes retorna-se aos investimentos para capacitação do parque de usinagem com maior concentração de investimentos no período de 2005 a 2009, totalizando cerca de vinte e sete milhões dólares.

No ano de 2004 firmou-se um contrato que perdurou até 2008 e cujo objeto era fabricar os trens de pouso da empresa americana Raytheon. Isso resultou em considerável aumento na demanda e necessidade de retomar os investimentos. Mesmo após o termo do contrato com a Raytheon, os investimentos tiveram continuidade devido ao crescimento das



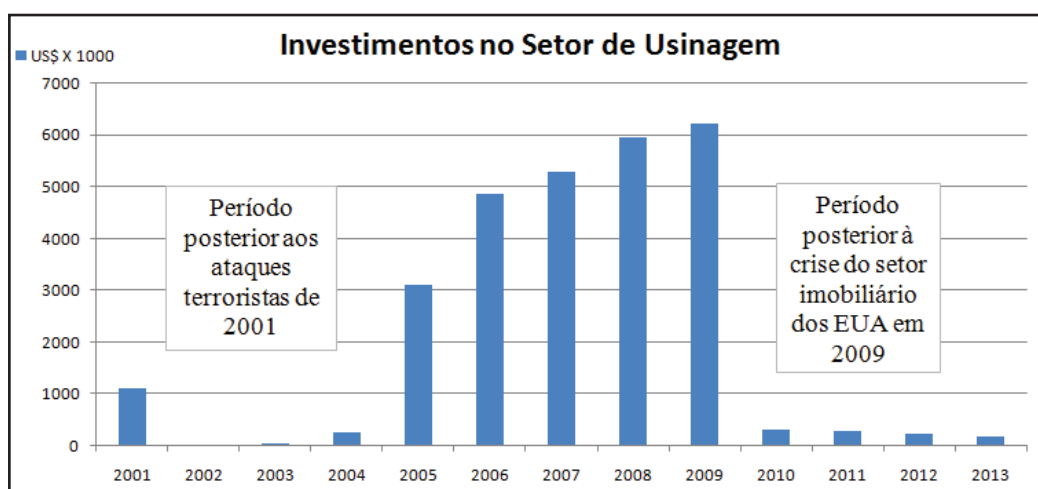
demandas de trens de pouso para atender às aeronaves da Embraer, até que, em 2009 houve novamente a interrupção dos investimentos devido à queda no volume de entregas de aeronaves provocada pela crise econômica nos EUA.

A empresa possuía, em 2004, cerca de cinquenta máquinas de usinagem, com idade média aproximada estimada em 20 anos. Na medida em que os processos de investimentos foram efetivados, tomavam-se decisões estratégicas sobre os equipamentos existentes, cujas opções compreendiam de: i) continuar com o equipamento no estado em que se encontrava; ii) disponibilizar o equipamento; iii) continuar com o equipamento mas providenciar atualização do mesmo por meio de investimento em reforma e modernização (*retrofitting*<sup>2</sup>).

Neste período aproximadamente 15 máquinas com idade média de 25 anos foram disponibilizadas para liberar espaço e eliminar os gastos com manutenção e não qualidade.

O Gráfico 6 apresenta a evolução do volume de investimentos realizados para compra de máquinas no período analisado.

Gráfico 6: Investimentos no setor de usinagem

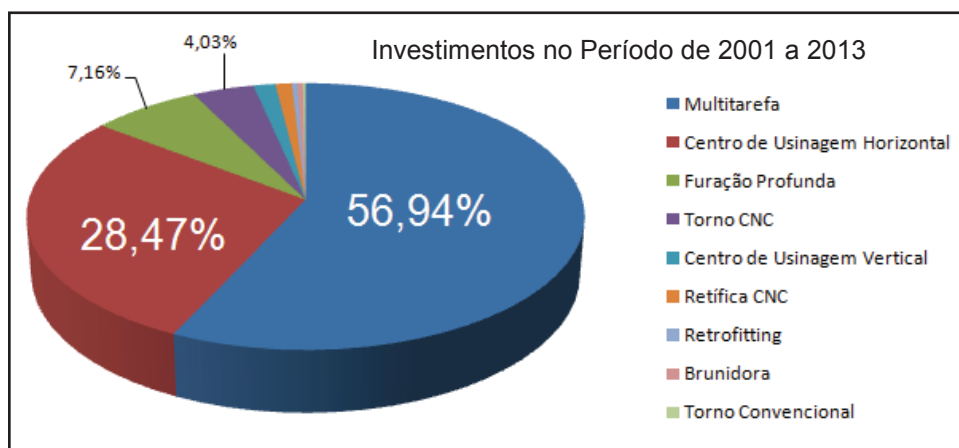


Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Durante o período de maior concentração dos investimentos, 2005 a 2009, observa-se que a decisão da empresa foi direcionar a maior parte dos recursos para aquisição de tecnologias avançadas de fabricação, conforme apresentado no Gráfico 7.

<sup>2</sup> *Retrotting* significa modernizar uma máquina por meio de partes ou equipamentos com os quais ela não tenha sido originalmente construída (Fonte: <http://dictionary.cambridge.org>)

Gráfico 7: Direcionamento dos investimentos no setor de usinagem por tipo de máquina



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

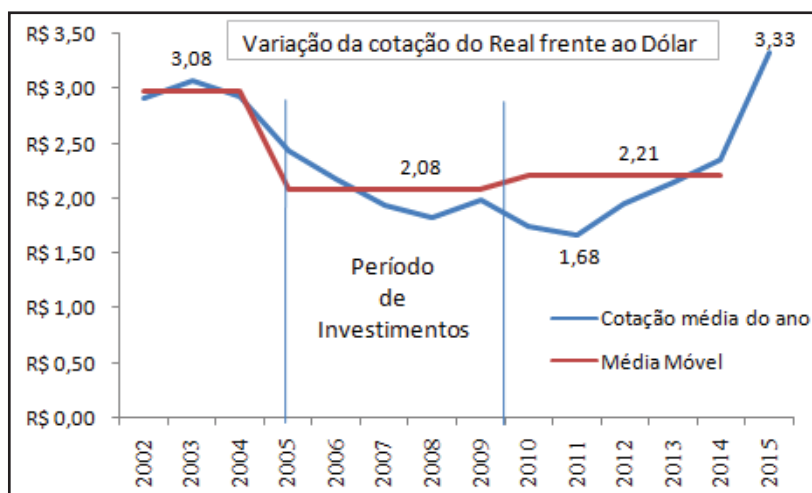
Os dados obtidos durante o estudo de caso indicam que a estratégia de direcionamento dos investimentos baseou-se nas técnicas de gestão de ativos. Não houve evidências quanto à influência de circunstâncias estruturais ou conjunturais sobre a decisão de investir. Mas devido ao cenário atual, caracterizado por forte desvalorização da moeda nacional frente ao dólar americano, houve a percepção de que a variação cambial pode influenciar nas decisões de investimentos em tecnologias avançadas de fabricação.

Neste sentido o capítulo seguinte apresenta resumidamente a influência da variação cambial sobre os investimentos realizados.

#### 4.4.6 Influência da Variação cambial sobre o direcionamento dos investimentos

Como a maior parte dos investimentos foi concentrada em máquinas Multitarefa, Centros de Usinagem e Furação Profunda e esses maquinários são importados pesquisou-se sobre a variação cambial no período a fim de verificar o impacto da estratégia de aquisição de equipamentos importados, embora não houvesse opção quanto às Multitarefa por não existir similares no mercado nacional. Os resultados são apresentados no Gráfico 8.

Gráfico 8: Variação cambial no período dos investimentos



Fonte: Adaptado de ACSP, 2016.

Observa-se que entre 2005 e 2009, período de concentração dos investimentos, foi propício para aquisição máquinas importadas uma vez as taxas de câmbio mantiveram-se abaixo da média histórica, a cotação média anual do Real frente ao Dólar, foi de R\$2,08, sendo que a média da cotação entre 2010 e 2014 foi de R\$2,21, o que significa que houve uma diferença de 6,25%% para mais.

#### 4.5 Estudo de caso sobre as opções de investimento nos projetos A e B

Explorou-se um dos projetos de investimento para usinagem de uma peça de aço considerada de geometria complexa para analisar a fase decisória que ocorreu a partir do terceiro trimestre do ano de 2004, com duas opções de projetos: a) um conjunto de máquinas; b) uma máquina multitarefa. Após a fase de decisão, transcorreu-se o período de entrega que durou dezoito meses, e em seguida houve a fase de operacionalização do investimento, cuja duração foi de cinco anos, vindo a ser finalizado, portanto, em 2011. Este longo período de tempo para a conclusão do projeto, que se dá por meio da efetiva apuração dos indicadores de desempenho operacional e financeiro, deve-se ao fato de tratar-se de um investimento em tecnologia avançada de fabricação, cujo período para recuperação do capital investido é normalmente elevado.

A partir da metodologia aplicada, observa-se que, antes de iniciar o processo de análise do investimento, alguns critérios norteadores são estabelecidos, de modo a padronizar as ações e subsidiar os cálculos para análise de viabilidade entre os projetos.

#### 4.5.1 Critérios que norteiam o processo de investimento

Observou-se que para condução dos processos de investimentos foram estabelecidos quatro critérios norteadores; i) critérios financeiros; ii) critérios comerciais; iii) critérios técnicos; iv) critérios de custo.

##### 4.5.1.1 Critérios financeiros

###### A) Precificação das máquinas.

A precificação das máquinas foi realizada por meio de pesquisas de campo em busca de fontes primárias e secundárias, sendo as primárias as consultas de preços junto à fornecedores e as secundárias, um levantamento realizado junto à Associação Brasileira das Indústrias de Máquinas (ABIMAQ). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Especificação técnica e precificação das máquinas instaladas e em operação

| Processo de Importação | Ano  | Características da Máquina (instalada e em operação)   | Modelo Fabricante    | Preço FOB (Moeda Origem) | Câmbio no ano (R\$) | Preço CIF x 1000   |
|------------------------|------|--|----------------------|--------------------------|---------------------|--|
| 103837                 | 2011 | Torno CNC, com comando numérico computadorizado capacidade para usinar diâmetro de 110 mm, com diâmetro de passagem de 650 mm; comprimento torneável de 2.000 mm, único fuso dotado de 04 eixos controlados simultaneamente, 02 torres porta - ferramentas com acionamento simultâneo, 2.800 rpm, motor com torque de 5.047 Nm e potência de 45 kW | LU45<br>OKUMA<br>CO. | US\$<br>366.000          | 2,21                | FOB<br>R\$808<br>+ Frete<br>+ Seguro<br>+ Taxas<br>+ Despesas<br>=><br>CIF<br>= R\$1.000 |

Continua

Tabela 3: Especificação técnica e precificação das máquinas instaladas e em operação

| Processo de Importação | Ano  | Características da Máquina (instalada e em operação)   | Modelo Fabricante  | Preço FOB (Moeda Origem) | Câmbio no ano (R\$) | Preço CIF x 1000  |
|------------------------|------|--|--|--------------------------|---------------------|---|
| 086737                 | 2008 | Máquina de furação profunda horizontal, para furar e trepanar, furos de 3.000 mm, de comprimento com comando numérico computadorizado (CNC), bombas hidráulicas, tubos e ferramentas   | FT350B/350 x 3000<br>Tacchi<br>Giacomo &<br>Figli S.P.A. | € 300.000                | 2,58                | FOB<br>=<br>R\$774<br>=><br>= CIF<br>R\$1000  |
| 086468                 | 2008 | Centro de usinagem horizontal de comando numérico computadorizado (CNC), com rotação no cabeçote de 12.000 rpm, potência de 30 kW, com 05 eixos controlados simultaneamente, curso do eixo angular B (mesa) de 360° e eixo angular C de 360°, cursos dos eixos X, Y e Z de 1.700, 1.350 e 1.400 mm respectivamente, magazine para 132 ferramentas, mancais e fusos de acionamento dos eixos lineares (X, Y e Z) com refrigeração interna, troca de ferramentas em 5,9 s, sensor de quebra de ferramentas | Centro de Usinagem Horizontal<br>Makino<br>A100          | US\$ 836.000             | 2,08                | FOB<br>R\$1738<br>+ Frete<br>+ Seguro<br>+ Taxas<br>+<br>Despesas<br>=><br>CIF<br>=<br>R\$2.000 |

Continua

Tabela 3: Especificação técnica e precificação das máquinas instaladas e em operação

| Processo de Importação | Ano  | Características da Máquina  | Modelo Fabricante                                 | Preço FOB ( Moeda Origem) | Câmbio no ano (R\$) | Preço CIF x 1000   |
|------------------------|------|---|---|---------------------------|---------------------|--|
| 084047                 | 2008 | Centro de torneamento horizontal, de comando numérico computadorizado (CNC), para torneiar, furar e fresar, distância nominal entre pontos de 3.000 mm, com diâmetro torneável de 830 mm, altura máxima torneável de 640 mm, cursos dos eixos X, Y e Z de 720, 600 e 3.150 mm e, eixo B com inclinação de - 110° a + 90°, eixo C com precisão de 0,001 ° e com rotação máxima do eixo C = 20 rpm, sistema automático de troca de ferramentas, magazine para 90 ferramentas, potência motor principal de 60 kW, potência de acionamento das ferramentas de 30 kW, torque motor principal = 2.748 Nm, torque de acionamento das ferramentas de 315 Nm, furação profunda = 80 bar. | M65<br>WFL<br>Millturn<br>Technologie<br>GmbH&Co. | US\$<br>1.500.000         |                     | FOB<br>=<br>R\$3.120<br>+ Frete<br>+ Seguro<br>+ Taxas<br>+ Despesas<br><br>=><br>CIF<br>=<br>R\$4.000 |
| Nacional               | 2008 | Altura de pontas = 420 mm, diâmetro admissível na cava igual à 1.080 mm, passagem de 104 mm, Nariz Cam Lock D1-11, 16 a 1.180 rpm   | ES40-B<br>ROMI                                    | R\$ 270.00<br>(Nacional)  | -                   | Com Frete<br>+ Seguro<br>+ Taxas<br>+ Despesas<br>R350   |

Fonte: Adaptado de ABIMAQ, 2014.

#### B) Taxa de Desconto ou taxa Mínima de Atratividade

A taxa de desconto que a área financeira estipulou para a engenharia de produção foi de 16% ao ano. A área financeira não informa os critérios utilizados para estipular a taxa de desconto por envolver a estratégia de administração financeira da empresa. A taxa de desconto, ou taxa mínima de atratividade, utilizada na análise das alternativas de investimentos, foi a mesma aplicada na época da aquisição das máquinas, e que é estabelecida pela área financeira para a engenharia de produção.

#### C) Período de Recuperação do Capital (*Payback* Descontado)

Assim como a taxa de desconto, o período de recuperação do capital foi determinado pelo setor financeiro e levou em conta o tempo de fornecimento e operacionalização das máquinas e o período de tempo necessário para que a produção de peças gerasse receita para recuperar o capital. Estabeleceu-se o período de 6,5 anos para recuperação do investimento, sendo cinco anos relativos ao período de operação e geração de caixa e 18 meses relativos ao prazo de entrega e operacionalização dos equipamentos para início da produção.

#### D) Valor Residual após depreciação

Devido á escassez de oferta de venda de máquinas já depreciadas, e que sejam da mesma natureza que as máquinas objeto de estudo desta pesquisa, o valor residual foi obtido por meio de pesquisa de campo, realizadas junto à avaliadores, revendedores e especialistas em depreciação, que recomendaram aplicar percentuais que variam de vinte por cento a trinta e cinco por cento do valor de aquisição dependendo da tecnologia, sendo que, para as tecnologias mais sofisticadas, e conseqüentemente com menor oferta no mercado de máquinas usadas, o percentual para depreciação é maior.

### 4.5.1.2 Critérios comerciais

#### A) Prazo de entrega das máquinas.

Os prazos de entrega foram obtidos por meio de consulta aos fabricantes e, em ambos os projetos, os prazos de entrega das máquinas (Lead Time de fornecimento) foram estabelecidos pelos fabricantes das máquinas e fixados em períodos que variam entre a entrega imediata e 18 meses.

#### B) Escopo de fornecimento e modalidade do projeto

O escopo de fornecimento e modalidade de projeto foram os mesmos aplicados no projeto original. Em alguns casos o fornecimento da máquina é com todas as ferramentas, acessórios, processos de fabricação, peças de reposição e treinamento técnico, inclusos no preço de aquisição, noutros esses custos são adicionados ao projeto (conforme Tabela 3).

C) Modalidade de importação

Assim como no escopo de fornecimento, a forma de importação foi igual ao projeto original, ou seja, FOB (em que o fornecedor entrega a máquina no porto de origem). Os custos de frete, seguro, taxas e despesas de instalação foram inseridos, com taxas que variam entre 15% e 30% sobre o valor FOB, transformando-os em CIF (máquina disponível na empresa compradora) e já instalada e operando, conforme dados da Tabela 3.

D) Condições de pagamento para fins de desembolso financeiro

O desembolso de pagamento foi determinado por meio de análise dos processos de cotação disponíveis, e que normalmente são condições comerciais pré-estabelecidas pelos fornecedores. Para ambos os projetos, definiu-se como forma de desembolso, o pagamento de 20% no início do projeto, 40% no aceite da máquina no fornecedor e 40% na aprovação final com usinagem e aprovação técnica da peça.

#### 4.5.1.3 Critérios Técnicos

A) Volume de produção da peça para qual foram previstos os investimentos.

Os dados sobre o volume de produção, referentes à peça escolhida, foram obtidos por meio de desdobramentos realizados a partir do quadro 2, desdobramento este que resultou na construção da tabela 1. O volume de peças para foi calculado de acordo com o volume de aeronaves entregues e foi fixado em 12 unidades por mês.

B) Custos de desenvolvimento ligados à engenharia de Produção.

Os custos de engenharia de produção foram considerados no escopo de fornecimento já inclusos por parte do fornecedor da máquina considerando que a modalidade de fornecimento contempla o desenvolvimento e aplicação dos processos de fabricação da peça.

C) Despesas com manutenção e treinamento.



As despesas de manutenção e treinamento foram inseridas no preço de compra da máquina, por meio do escopo de fornecimento (inclusive estoque inicial de peças de reposição).

D) Custo a ocupação física das máquinas na área industrial (condomínio)

O custo do aluguel mensal do metro quadrado industrial quadrado foi considerado o valor mensal do aluguel por metro quadrado industrial na região sudeste obtido meio de pesquisa realizada por Sobreira (2012). Foi considerado R\$ 20,25 levando em contas que devido ao desaquecimento da economia não houve inflação em relação aos preços de aluguéis.

E) Tempos e ciclos de usinagem

Os tempos de usinagem e ciclo em cada operação foram estabelecidos por meio de fontes secundárias como pesquisa de campo, entrevistas e comparação com os tempos de peças similares. Foram consideradas as condições normais de capacidade operacional, com planejamento e controle realizado de acordo com os ciclos cadastrados no sistema ERP.

#### 4.5.1.4 Critérios de Custo

A) Custo da matéria prima

O preço de compra da matéria prima (forjado de aço importado), foi fixado em R\$10.000,00 a unidade.

B) O preço de venda

O preço de venda de cada unidade foi fixado em R\$ 23.106,90 para ambos os projetos.

C) Custo do homem que opera a máquina (Chm)

Por meio de pesquisa de campo determinou-se o valor de R\$48,61 por hora, já com os encargos e benefícios, considerando se tratar de profissionais de nível sênior e especializados em usinagem do setor aeronáutico.

D) Custos de Produção

Os custos de fabricação são calculados com base nos critérios anteriores que norteiam o processo de investimento, e também nos aspectos de definição da peça (item 4.5.2), e

delineamento dos processos (item 4.5.3). Os cálculos relativos aos custos de produção serão apresentados no item 4.5.4.

Para comparar as alternativas de projetos A e B, mutuamente excludentes, procedeu-se à escolha da peça para a qual seria necessário o investimento. Em seguida foram delineados dois processos de fabricação, e definidos os fatores que deveriam ser considerados para orientar a decisão de investimento por meio da aplicação das técnicas de análise de investimentos baseadas em gestão de ativos e engenharia econômica.

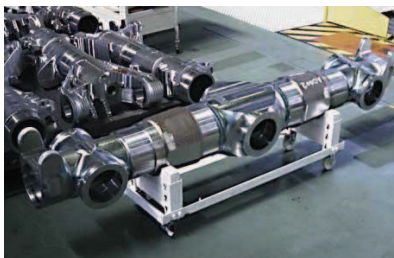
#### 4.5.2 Escolha da peça

A peça que foi considerada no processo de análise de investimentos reflete com exatidão as características geométricas da peça escolhida pela empresa no seu projeto de investimento, e possibilita, portanto, a representação fiel dos processos de usinagem definidos para os projetos A e B, em relação às etapas, máquinas empregadas, tempos de filas.

Trata-se de uma estrutura de Trem de Pouso, cuja matéria prima é aço forjado, e que possui regiões com usinagem de fresamento, torneamento e furação profunda, de acordo com a definição de peça complexa, necessitando, para sua fabricação, de diversas etapas, em maquinários diversos. Foi uma peça escolhida para receber investimentos por apresentar, na época, tempos e ciclos de fabricação elevados, grande número de quantidades de preparações (*set up*), e custo de qualidade elevado devido às falhas internas de fabricação.

De acordo com o protocolo de estudo de casos, a empresa não autoriza a divulgação de desenhos de peças, ou detalhes técnicos relativos aos processos de fabricação. Portanto, para ilustrar a peça que foi objeto de análise das alternativas de investimento, obteve-se em (BGTG, 2014) a peça indicado na Figura 25.

Figura 25: Peça para o estudo dos fluxos de processo dos projetos de investimentos



Fonte: BGTB, 2014.

### 4.5.3 Delineamento dos processos

Os dois projetos constituíram-se processos idealmente delineados, sendo o primeiro para usinagem da peça em um conjunto de máquinas de acordo com o conceito tradicional de desenvolvimento de processos utilizados pela empresa.

A Tabela 4 indica a sequência de usinagem definida para o projeto A.

Tabela 4: Sequência de usinagem definida para o projeto A

| Fase  | Máquina ou equipamento                       | Descrição  | Área ocupada (m2) | Custo da máquina | Lead time de Fornecimento da Máquina (mês) | Tempo de Usinagem + Setup por peça (h) | Tempo de fila padrão (dias) |
|-------|--|--|-------------------|------------------|--|--|-----------------------------|
| 1     | Bancada                                      | Traçagem e furação de centros  | 4                 | R\$5.000         | 0  | 2                                      | 1                           |
| 2     | Torno convencional                           | Preparação de pistas para luneta e das faces para furação profunda                         | 12                | R\$350.000       | 8  | 3                                      | 2                           |
| 3     | Máquina de furação profunda                  | Furação profunda   | 25                | R\$2.000.000     | 18   | 3                                      | 2                           |
| 4     | Torno CNC                                    | Correção de desvios da furação profunda e usinagem final dos diâmetros externos e internos | 12                | R\$1.000.000     | 12   | 2,5                                    | 3                           |
| 5     | Centro de usinagem horizontal de cinco eixos | Fresamento em linha de geometrias externas – fase1   | 40                | R\$2.000.000     | 18   | 6                                      | 5                           |
| 6     | Centro de usinagem horizontal de cinco eixos | Fresamento em linha das geometrias externas – fase2  | -                 | -                | -  | 6                                      | 0                           |
| 7     | Bancada                                      | Rebarbação   | -                 | -                | -  | 1                                      | 1                           |
| Total |  |  | 94                | R\$5.355.000     | 18   | 23,5                                   | 14                          |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

Na Tabela 5 é apresentado o delineamento de processo definido para o projeto B prevendo a usinagem em máquina multitarefa.

Tabela 5: Sequência de usinagem definida para o projeto B

| Etapa        | Máquina ou equipamento | Descrição da etapa         | Área ocupada (m <sup>2</sup> ) | Custo da máquina instalada com ferramentas + dispositivos (Mil R\$) | <i>Lead Time</i> de fornecimento + operacionalização (meses) | Tempo de usinagem + <i>setup</i> por peça (hora) | Tempo de Fila (dias) |
|--------------|------------------------|----------------------------|--------------------------------|---|--|--|----------------------|
| 1            | Máquina Multitarefa    | Usinagem completa (Fase 1) | 60                             | 4.000   | 18   | 6  | 4                    |
| 2            | Máquina Multitarefa    | Usinagem completa (Fase 2) | -                              | -   | -  | 4  | -                    |
| 3            | Bancada                | Furar Profundo             | 4                              | 5   | 0  | 1  | 1                    |
| <b>Total</b> |                        |                            | 64                             | 4.005.  | 18   | 11   | 5                    |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

No caso do projeto B adotou-se como premissa do processo de usinagem a utilização de máquina Multitarefa com sete ou mais eixos de usinagem, posicionamento da peça na máquina por meio de apalpadores de medição eletrônicos, máquina equipada com bomba de alta pressão para furação profunda (80 bar), com troca automática de ferramentas de furação profunda e barras de usinagem antivibratórias (*automatic deep boring bar changing*), magazine com 90 posições e acionamento randômico para a troca automática das ferramentas (ATC).

Verificou-se que durante a análise do investimento a empresa não cogitou “desenhar os projetos” prevendo um sistema de produção puxada com fluxo contínuo para redução dos tempos de fila e consequentemente redução do material em processo (*work in process*), pois na época a empresa ainda não estava com a prática do pensamento *Lean* difundida. O sistema de manufatura puxado, a partir das técnicas de Mapeamento do Fluxo do Valor (VSM), foi implantado anos depois da efetivação do investimento e operacionalização da máquina, que durante certos períodos apresentou sinais de um Recurso Restritivo de Capacidade (RRC).

Estabelecidos os dois processos para os projetos A e B, o item seguinte apresenta os cálculos dos custos de fabricação para a determinação do Período de Recuperação do Investimento (*Payback* descontado), do VPL e da TIR.

#### 4.5.4 Cálculos dos custos operacionais relativos aos projetos

Para compor o valor do custo da hora de cada máquina considerou-se: a) o VPL do desembolso do investimento realizado em cada máquina; b) o período de recuperação do investimento estabelecido para o projeto; c) o custo do metro quadrado da área industrial; d) a área ocupada por cada máquina; e) a disponibilidade de horas planejada para a produção de cada máquina; f) o custo da hora do homem que opera a máquina., conforme apresentado na equação 6.

$$Chm = \left[ \frac{VPL.Desembolso}{PPB \times 12 \times Cp} + \left( \frac{Cam}{Cp} \times A_0 \right) + Chh \right] \quad (6)$$

Onde:

VPL Desembolso = Módulo dos valores do VPL referentes aos investimentos em cada equipamentos que foram calculados a partir dos dados de Fluxo de Caixa das Tabelas 6 e 7, e são apresentados por meio das tabelas 8 e 9.

PPB = O período estabelecido para recuperação do capital investido foi de 6,5 anos

Cam = Custo do aluguel mensal do metro quadrado industrial = R\$ 20,25.

A<sub>0</sub> = A área ocupada pelas máquinas. Foi determinada por meio de catálogos, e está apresentada nas Tabelas 4 e 5.

Chh = Custo do homem que opera a máquina = R\$48,61.

CP = Capacidade planejada. Considera-se o valor de 144 horas por mês em cada máquina conforme apresentado no item do planejamento de carga e capacidade.

#### 4.5.4.1 Fluxo de caixa dos projetos

O processo de análise dos dois projetos de investimentos contemplou as seguintes etapas: a) Fluxos dos desembolsos financeiros realizados para os projetos A e B com valor residual dos equipamentos ao final do período de 6,5 anos determinado para recuperação do capital investido; b) Fluxos de caixa das despesas operacionais para geração de caixa por meio de produção de peças a partir de 18 meses no início de cada projeto; c) Fluxos de caixa operacionais gerados pela produção de peças a partir de 18 meses; d) Fluxo de caixa total de cada projeto no período no período de 6,5 anos determinado para recuperação do capital investido.

A Tabela 6 apresenta os valores que determinaram os fluxos de saída e de entradas para investimento no projeto A, de acordo com as regras de desembolsos financeiros estipuladas para cada etapa dos projetos.

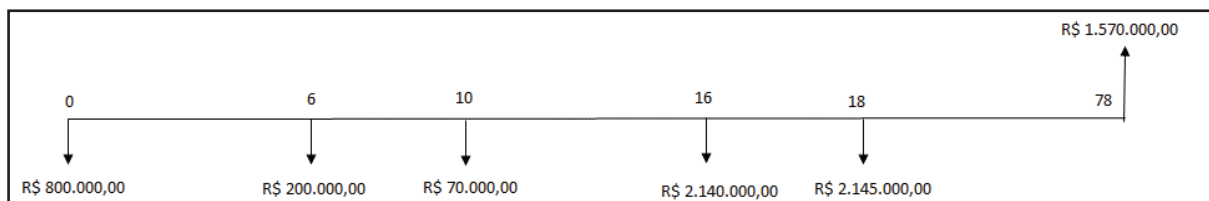
Tabela 6: Fluxo de Caixa para o Projeto A

| Investimento                                 | Desembolso no Mês Inicial (Mil R\$) | Desembolso no Mês 6 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 10 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 16 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 18 (Mil R\$) | Valor Residual ao final de 5 anos |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Máquina de Furação Profunda                  | 0,2 x 2000<br>= 400                 |                               |                                | 0,4 x 2000<br>= 800            | 0,4 x 2000<br>= 800            | 25%<br>R\$ 500 Mil                |
| Centro de Usinagem Horizontal de cinco eixos | 0,2 x 2000<br>= 400                 |                               |                                | 0,4 x 2000<br>= 800            | 0,4 x 2000<br>= 800            | 35%<br>R\$700,00                  |
| Torno CNC                                    |                                     | 0,2 x 1000<br>= 200           |                                | 0,4 x 1000<br>= 400            | 0,4 x 1000<br>= 400            | 30%<br>R\$ 300 Mil                |
| Torno Convencional                           |                                     |                               | 0,2 x 350<br>= 70              | 0,4 x 350<br>= 140             | 0,4 x 350<br>= 140             | 20%<br>R\$ 70 Mil                 |
| Bancada                                      |                                     |                               |                                |                                | 5                              | 0                                 |
| Total  | 800                                 | 200                           | 70                             | 2140                           | 2145                           | R\$ 1.570 Mil                     |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Na forma de diagrama, obtém-se o fluxo do projeto A conforme indicado na figura 26.

Figura 26: Diagrama do fluxo de caixa de investimento do projeto A



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Da mesma forma, os valores que determinam os fluxos de saída para investimento no projeto B, são apresentados por meio da Tabela 7.

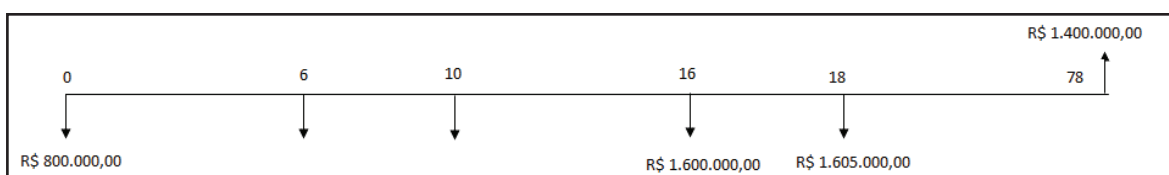
Tabela 7: Fluxo de Caixa do projeto B

| Investimento        | Desembolso no Mês Zero (Mil R\$) | Desembolso no Mês 6 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 10 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 16 (Mil R\$) | Desembolso no Mês 18 (Mil R\$) | Valor Residual ao final de 5 anos (18 + 60 = 78 meses) |
|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| Máquina Multitarefa | $0,2 \times 4000 = 800$          |                               |                                | $0,4 \times 4000 = 1600$       | $0,4 \times 4000 = 1600$       | 35% = R\$1.400 Mil                                     |
| Bancada             |                                  |                               |                                |                                | 5                              | 0  |
| Total               | 800                              |                               |                                | 1600                           | 1605                           | R\$1.400 Mil   |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

Na forma de diagrama obtém-se o fluxo indicado na figura 27.

Figura 27: Diagrama do fluxo de caixa do investimento do projeto B



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

#### 4.5.4.2 Cálculos de Valor Presente Líquido (VPL) dos desembolsos financeiros

Aplicando (2), para obter o VPL a partir dos fluxos de caixa negativos (desembolsos) relativos aos investimentos realizados no projeto A ao longo do tempo e considerando ao final o fluxo de caixa positivo gerado pelos valores residuais das máquinas obtém-se o resultado indicado em (7).



$$VPL = I_0 + \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \right] \quad (2)$$

$$= -R\$800.000,00 + \left[ -\frac{R\$200.000,00}{(1+0,16)^{0,5}} - \frac{R\$70.000,00}{(1+0,16)^{0,8331}} - \frac{R\$2.140.000,00}{(1+0,16)^{1,333}} - \frac{R\$2.145.000,00}{(1+0,16)^{1,5}} \right] + \frac{R\$1.570.000,00}{(1+0,16)^{6,5}}$$

$$= -R\$800.000,00 - R\$185.695,34 - R\$61.859,23 - R\$1.756.647,60 - R\$1.716.881,47 + R\$598.305,12$$

$$VPL \rightarrow invest \rightarrow A = -R\$3.922.778,52 \quad (7)$$

É possível também obter o VPL individual das máquina do projeto A conforme indicado na Tabela 8, para que depois, se determine o custo da hora de produção.

Tabela 8: VPL para cada máquina do projeto A

| Investimento                                 | Desembolso no Mês Zero | Desembolso no Mês 6 | Desembolso no Mês 10 | Desembolso no Mês 16 | Desembolso no Mês 18 | Valor Residual   | VPL             |
|--|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Máquina de Furação Profunda                  | R\$ 400 Mil            |                     |                      | R\$ 800 Mil          | R\$ 800 Mil          | R\$ 500 Mil      | R\$1.506.184,08 |
| Centro de Usinagem Horizontal de cinco eixos | R\$ 400 Mil            |                     |                      | R\$ 800 Mil          | R\$ 800 Mil          | R\$ 700 Mil      | R\$1429.966,87  |
| Tomo CNC                                     |                        | R\$ 200 Mil         |                      | R\$400 Mil           | R\$ 400 Mil          | R\$ 300 Mil      | R\$719.733,07   |
| Tomo Convencional                            |                        |                     | R\$ 70 Mil           | R\$140.000,00        | R\$140 Mil           | R\$ 70 Mil       | R\$262.107,70   |
| Bancada                                      |                        |                     |                      |                      | R\$ 5 Mil            | Zero             | R\$4.002,05     |
| Total  | R\$ 800 Mil            | R\$ 200 Mil         | R\$ 70 Mil           | R\$ 2.140.000,00     | R\$ 2.145.000,00     | R\$ 1.570.000,00 | R\$3.922.788,52 |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

Da mesma forma, ao aplicar a Equação (2) para obter o VPL de B, a partir dos fluxos de caixa negativos (desembolsos) relativos aos investimentos realizados no projeto B ao longo do tempo, e considerando, ao final, o fluxo de caixa positivo gerado pelos valores residuais das máquinas, obtém-se o resultado indicado em (8).

$$VPL = I_0 + \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \right] \quad (2)$$

$$= -R\$800.000,00 + \left[ -\frac{R\$1.600.000,00}{(1+0,16)^{1,333}} - \frac{R\$1.605.000,00}{(1+0,16)^{1,5}} \right] + \frac{R\$1.400.000,00}{(1+0,16)^{6,5}}$$

$$= -R\$800.000,00 - R\$1.313.381,39 - R\$1.284.659,56 + R\$533.520,49$$

$$\text{VPL} \rightarrow \text{B} \rightarrow = -R\$2.864.520,45 \quad (8)$$

É possível também avaliar individualmente o VPL de cada máquina que compõe o projeto B conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 9: VPL para cada máquina do projeto B

| Investimento        | Desembolso no Mês Zero | Desembolso no Mês 16 | Desembolso no Mês 18 | Valor Residual   | VPL             |
|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------|
| Máquina Multitarefa | R\$ 800 Mil            | R\$ 1.600 Mil        | R\$1.600 Mil         | R\$ 1.400 Mil    | R\$2.859.933,73 |
| Bancada             |                        |                      | R\$ 5 Mil            | Zero             | R\$4.002,05     |
| Total               | R\$ 800 Mil            | R\$ 1.600.000,00     | R\$ 1.605.000,00     | R\$ 1.400.000,00 | R\$2.684.520,45 |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Observa-se pela comparação dos VPL calculados em (6) e (7) e referentes aos desembolsos financeiros para investimentos nos dois projetos que o projeto B apresenta o valor menos negativo e por isso já se mostra mais vantajoso que o projeto A.

Porém, é preciso continuar a avaliar os projetos levando em conta os fluxos de caixa gerados por meio das atividades operacionais. Neste sentido o item seguinte apresenta a composição dos custos de produção e o cálculo do VPL final para os dois projetos.

#### 4.5.4.3 Cálculos de custo da hora da máquina

Aplicando-se a Equação 6 obteve-se o custo hora da hora para cada máquina e o custo da hora total relativa ao projeto A, conforme apresentado pela Tabela 10.

$$Chm = \left[ \frac{VPL \cdot Desembolso}{PPBx12xCp} + \left( \frac{Cam}{Cp} \times A_0 \right) + Chh \right] \quad (6)$$

Tabela 10: Custo por hora de cada máquina do projeto A

| Etapa              | Máquina                                      | Área ocupada      | VPL Desembolso    | Chm             |
|--------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------|
| 1 / 7              | Bancada                                      | 4 m <sup>2</sup>  | -R\$ 4.002,05     | R\$ 49,53 (x2)  |
| 2                  | Torno convencional                           | 12 m <sup>2</sup> | -R\$ 262.107,70   | R\$ 74,36       |
| 3                  | Máquina de furação profunda                  | 25 m <sup>2</sup> | -R\$ 1.506.184,08 | R\$ 186,25      |
| 4                  | Torno CNC                                    | 12 m <sup>2</sup> | -R\$ 719.733,07   | R\$ 114,39      |
| 5 / 6              | Centro de usinagem horizontal de cinco eixos | 40 m <sup>2</sup> | -R\$ 1.429.966,87 | R\$ 181,57 (x2) |
| Total do Projeto A |  | 93 m <sup>2</sup> | -R\$ 3.922.788,52 | R\$ 837,20      |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Da mesma forma obteve-se o custo hora da hora (Chm) para cada máquina, e a soma dos custos das horas para projeto B, conforme apresentado pela Tabela 11.

Tabela 11: Custo por hora de cada máquina do projeto B

| Etapa              | Máquina             | Área ocupada      | VPL do Desembolso | Chm        |
|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------|
| 1                  | Máquina Multitarefa | 60 m <sup>2</sup> | -R\$ 2.859.933,73 | R\$ 311,67 |
| 2                  | Máquina Multitarefa | -                 | -R\$ 2.859.933,73 | R\$ 311,67 |
| 3                  | Bancada             | 4 m <sup>2</sup>  | -R\$ 4.002,05     | R\$ 49,53  |
| Total do Projeto B |                     | 64 m <sup>2</sup> | -R\$ 2.684.520,45 | R\$ 672,87 |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Observa-se que o projeto B apresentou redução de 31% em relação ao espaço ocupado pelas máquinas e redução de 20% em relação ao custo de uma hora de usinagem.

#### 4.5.4.4 Cálculo de custo da produção mensal

Uma vez que se obteve o custo da hora de cada máquina tornou-se possível calcular o custo de usinagem de cada operação a partir dos tempos apresentados nas Tabelas 4 e 5. Os resultados referentes ao projeto A são apresentados pela Tabela 12.

Tabela 12: Custo da usinagem para o projeto A

| Etapa                                | Máquina                                      | Tempo de Usinagem + Setup por peça (h) | Tempo de Usinagem + Setup para produzir 12 unidades por mês (h) | Custo da hora máquina (Chm) | Custo para usinar 12 unidades por mês |
|--------------------------------------|--|--|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1                                    | Bancada                                      | 2                                      | 24  | R\$ 49,53                   | R\$ 1.188,72                          |
| 2                                    | Torno convencional                           | 3                                      | 36  | R\$ 74,36                   | R\$ 2.676,96                          |
| 3                                    | Máquina de furação profunda                  | 3                                      | 36  | R\$ 186,25                  | R\$6.705,00                           |
| 4                                    | Torno CNC                                    | 2,5                                    | 30  | R\$ 114,39                  | R\$ 3.431,70                          |
| 5                                    | Centro de usinagem horizontal de cinco eixos | 6                                      | 72  | R\$ 181,57                  | R\$ 13.073,04                         |
| 6                                    | Centro de usinagem horizontal de cinco eixos | 6                                      | 72  | R\$ 181,57                  | R\$ 13.073,04                         |
| 7                                    | Bancada                                      | 1                                      | 12  | R\$ 49,53                   | R\$ 594,36                            |
| Custo total de usinagem do Projeto A |  |  |   |                             | R\$ 40.742,82                         |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Os resultados referentes ao projeto B são apresentados pela Tabela 13.

Tabela 13: Custo da usinagem para o projeto B

| Etapa                                | Máquina             | Tempo de Usinagem + Setup por peça (h) | Tempo de Usinagem + Setup para produzir 12 unidades por mês (h) | Custo da hora máquina (Chm) | Custo para usinar 12 unidades por mês |
|--------------------------------------|---------------------|--|---|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1                                    | Máquina Multitarefa | 6                                      | 72  | R\$ 311,67                  | R\$ 22.440,24                         |
| 2                                    | Máquina Multitarefa | 4                                      | 48  | R\$ 311,67                  | R\$ 14.960,16                         |
| 3                                    | Bancada             | 1                                      | 12  | R\$ 49,53                   | R\$ 594,36                            |
| Custo total de usinagem do Projeto B |                     |  |   |                             | R\$ 37.994,76                         |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Observa-se que o projeto B representou uma redução de 6,75% no custo de usinagem mensal quando comparado ao projeto A, em especial pela redução de *setup*.

Para completar o cálculo do custo de produção foi preciso levar em conta a quantidade de material em processo (WIP) que é obtido a partir da divisão do ciclo do posto de trabalho pelo *takt time* conforme apresentado no item 2.2.6 da fundamentação teórica.

Sendo o *takt time* o quociente da divisão da capacidade do posto do trabalho pela demanda e considerando que a capacidade é de 144 horas por mês e da demanda é de 12 peças, obtém-se um *takt time* de uma peça a cada doze horas.

Como as máquinas trabalham 22 dias no mês e 6,5 horas por dia, portanto, as filas consideradas para os projeto A e B podem ser transformadas em horas. Considerando que os tempos de ciclo de cada etapa é a somatória dos tempos de da operação mais os tempos de fila, obtém-se o seguinte WIP acumulado para o projeto A conforme Tabela 14.

Tabela 14: Determinação do material em processo (WIP) para o projeto A

| Etapa | Máquina ou equipamento                       | Descrição da etapa   | Tempo de usinagem + Setup | Tempo de fila padrão cadastrado no MRP (dia) | Tempo de fila padrão cadastrado no MRP (hora) | Tempo de ciclo (Usinagem + Fila) (hora) | Material em processo (WIP) Acumulado (unidades) |
|-------|--|--|---------------------------|--|---|---|---|
| 1     | Bancada                                      | Traçar e furar centro  | 2                         | 1  | 6,5   | 8,5                                     | 0,71<br>(6,5÷12)                                |
| 2     | Torno convencional                           | Preparar pistas para luneta e faces para furar profundo          | 3                         | 2  | 13  | 16                                      | 2,04<br>(16÷12 + 0,71)                          |
| 3     | Máquina de Furação Profunda                  | Furar Profundo   | 3                         | 2  | 13  | 16                                      | 3,38<br>(16÷12 + 2,04)                          |
| 4     | Torno CNC                                    | Corrigir desvios da etapa anterior e usinar diâmetros externos   | 2,5                       | 2  | 13  | 15,5                                    | 4,67<br>(15,5 ÷ 12 + 3,38)                      |
| 5 e 6 | Centro de Usinagem Horizontal de cinco eixos | Usinagem em linha (fresado) de todas as geometrias (Fases 1 e 2) | 12                        | 2  | 32,5  | 44,5                                    | 8,37<br>(44,5 ÷ 12 + 4,67)                      |
| 7     | Bancada                                      | Rebarbação   | 1                         | 1  | 6,5   | 7,5                                     | 8,99<br>(7,5 ÷ 12 + 8,37)                       |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

Observa-se pela análise da Tabela 14 que são necessárias nove unidades do forjados para abastecimento do processo definido para o projeto A de modo a garantir que a entrega seja feita no tempo *takt* de uma peça a cada doze horas.

Como foi determinado o custo do material (forjado de aço importado) no valor de R\$ 10.000,00, já computados os custos de transporte, recebimento e armazenagem, obtém-se um valor de custo mensal equivalente a R\$ 90.000,00.

Este valor é lançado no custo variável de produção juntamente com o custo de usinagem mensal do projeto A, cujo valor calculado e registrado por meio da Tabela 12, é igual a R\$ 40.742,82. O custo total de produção resulta em R\$ 130.782,82 por mês, o que equivale dizer que o custo anual de produção do projeto A é de R\$ 1.568.913,84.

Este valor total, referente às despesas operacionais do projeto A, é lançado como fluxo de caixa de saída após o início das operações, ou seja, após 1,5 anos do início do projeto A.

Da mesma forma para o projeto B, cujo WIP acumulado é apresentado pela Tabela 15.

Tabela 15: Determinação do material em processo (WIP) para o projeto B

| Etapa | Máquina ou equipamento | Descrição da etapa         | Tempo de usinagem + Setup por peça | Tempo de fila padrão cadastrado no MRP (dia) | Tempo de fila padrão cadastrado no MRP (hora) | Tempo de ciclo (Usinagem + Fila) (hora) | Material em processo (WIP) Acumulado (unidades) |
|-------|------------------------|----------------------------|------------------------------------|--|---|---|---|
| 1     | Máquina Multitarefa    | Usinagem completa (Fase 1) | 6                                  | 4  | 26  | 32                                      | 2,67  |
| 2     | Máquina Multitarefa    | Usinagem completa (Fase 2) | 4                                  | 0  | 0   | 4                                       | 3,0<br>(4 ÷ 12 + 2,67)                          |
| 3     | Bancada                | Furar Profundo             | 1                                  | 2  | 6,5   | 7,5                                     | 3,63<br>(7,6 ÷ 12 + 3,0)                        |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014

Observa-se que a quantidade de material em processo no projeto B é 55% menor do que no projeto A. Considerando-se o mesmo custo de material (forjado de aço importado) no valor de R\$ 10.000,00, também computados os custos de transporte, recebimento e armazenagem, obtém-se um valor mensal de R\$ 40.000,00 que compõe no custo variável de produção, e uma vez somado ao custo de usinagem mensal equivalente a R\$ 37.994,76, indicado na Tabela 13, resulta em um custo total de produção mensal no valor de R\$ 77.994,76, ou seja R\$935.937,12 por ano, para o projeto B..

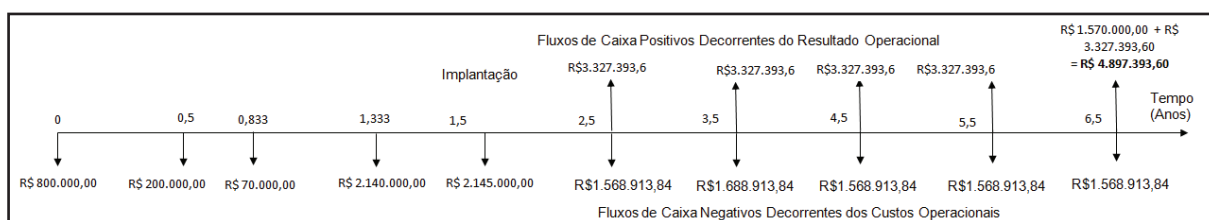
#### 4.5.5 Análise da viabilidade dos projetos

A análise de investimentos, realizada por meio da aplicação dos fundamentos de engenharia econômica e técnicas de Gestão de Ativos, compreende a determinação dos fluxos de caixa positivos e negativos, o cálculo do valor presente líquido, a determinação do período de recuperação do capital e a determinação da taxa interna de retorno.

##### 4.5.5.1 Fluxo de caixa dos projetos

Considerando-se que o preço de venda de cada unidade foi fixado em R\$ 23.106,90 para ambos os projetos, obteve-se uma receita mensal de R\$ 277.282,80, o que equivale dizer, uma receita anual no valor de R\$ 3.327.393,60 e que, conseqüentemente, resulta no fluxo de caixa anual de entrada para ambos os projetos, conforme indicado na figura 28.

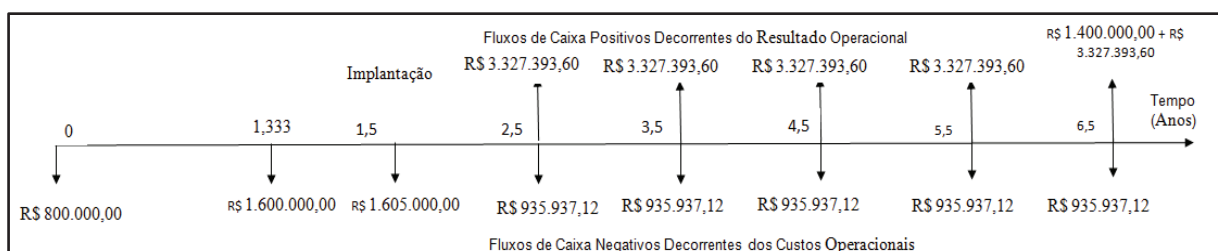
Figura 28: Fluxo de caixa total do projeto A



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Da mesma forma para o projeto B conforme indicado na Figura 29.

Figura 29: Fluxo de caixa total do projeto B



Fonte: Resultados da Pesquisa. 2014.

##### 4.5.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Desta forma aplicando-se a Equação 3, usada para o cálculo do VPL total, obtém-se:

$$VPL = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \right] - \left[ I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{It}{(1+k)^t} \right] \quad (3)$$

Referente às entradas de caixa geradas pela produção de peças para ambos os projetos

$$= \left[ \frac{R\$3.327.393,60}{(1+0,16)^{2,5}} + \frac{R\$3.327.393,60}{(1+0,16)^{3,5}} + \frac{R\$3.327.393,60}{(1+0,16)^{4,5}} + \frac{R\$3.327.393,60}{(1+0,16)^{5,5}} + \frac{R\$3.327.393,60}{(1+0,16)^{6,5}} \right]$$

$$= R\$ 8.720.368,14 = \text{VPL do Resultado Operacional dos Projetos A e B}$$

Referente às saídas de caixa geradas pelas despesas operacionais para o projeto A.

$$= \left[ -\frac{R\$1.568.913,84}{(1+0,16)^{2,5}} - \frac{R\$1.568.913,84}{(1+0,16)^{3,5}} - \frac{R\$1.568.913,84}{(1+0,16)^{4,5}} - \frac{R\$1.568.913,84}{(1+0,16)^{5,5}} - \frac{R\$1.568.913,84}{(1+0,16)^{6,5}} \right]$$

$$= - R\$ 4.111.778,78 = \text{VPL das Despesas Operacionais do Projeto A}$$

O VPL do desembolso de investimento no projeto A = -R\$3.922.778,52

Portanto o VPL final do projeto A é:

$$= R\$ 8.720.368,14 - R\$ 3922.778,52 - R\$ 4.111.778,78 =$$

$$= R\$ 685.810,88 = \text{VPL Final do Projeto A}$$

Desta forma aplicando-se a Equação 3 para o cálculo do VPL de B obtém-se:

$$VPL = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+k)^t} \right] - \left[ I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{It}{(1+k)^t} \right] \quad (3)$$

Referente às saídas de caixa geradas pelas despesas operacionais para o projeto B.

$$= \left[ -\frac{R\$935.937,12}{(1+0,16)^{2,5}} - \frac{R\$935.937,12}{(1+0,16)^{3,5}} - \frac{R\$935.937,12}{(1+0,16)^{4,5}} - \frac{R\$935.937,12}{(1+0,16)^{5,5}} - \frac{R\$935.937,12}{(1+0,16)^{6,5}} \right]$$

$$= - R\$ 2.452.859,21 = \text{VPL das Despesas Operacionais do Projeto B}$$

O VPL do desembolso de investimento no projeto B = -R\$2.864.520,45

Portanto o VPL final do projeto B é:

$$= R\$ 8.720.368,14 - R\$ 2.864.520,45 - R\$ 2.452.859,21 =$$

$$= R\$ 3.402.988,18 = \text{VPL Final do Projeto B}$$

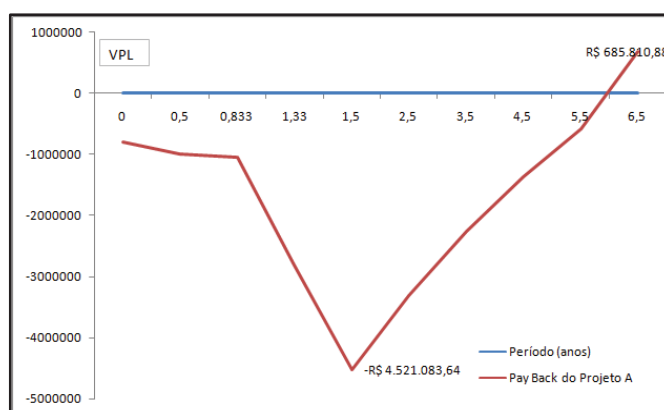


O projeto B possui um VPL superior e que por este critério deve ser o projeto escolhido para ser implantado, em detrimento ao projeto A que deve ser rejeitado.

#### 4.5.5.3 Período de tempo para Recuperação do Capital (Payback Descontado)

Em relação ao *Payback* descontado pode-se avaliar graficamente os dois projetos por meio dos gráficos indicados nos gráficos 9 e 10.

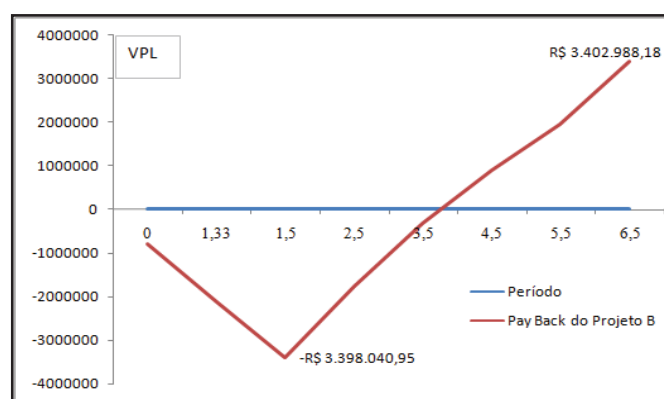
Gráfico 9: Análise do Payback descontado e VPL do projeto A



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

No projeto A o *Payback* descontado ocorreu próximo do período de 6 anos e muito próximo do limite de tempo estipulado para recuperação do capital, conforme o Gráfico 9.

Gráfico 10: Análise do Payback descontado e VPL do projeto B



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

No projeto B o *Payback* descontado se deu próximo do período de 4 anos e abaixo do período de 6,5 anos estipulado para recuperação do capital.

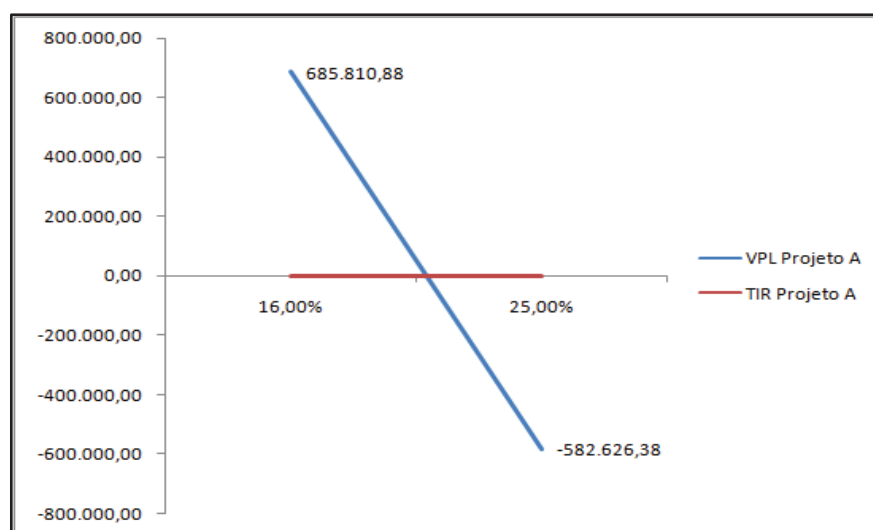
Aplicando a regra do *Payback* descontado, o projeto A deve ser descartado e o projeto B deve ser aprovado.

#### 4.5.5.4 Taxa Interna de Retorno

Em relação à TIR o projeto A corresponde uma taxa de 21%, ficando acima da taxa estipulada como Taxa de Atratividade que foi de 16% ao ano, sendo que o projeto B apresentou uma TIR de 42,78%, bem superior à da Taxa de Atratividade.

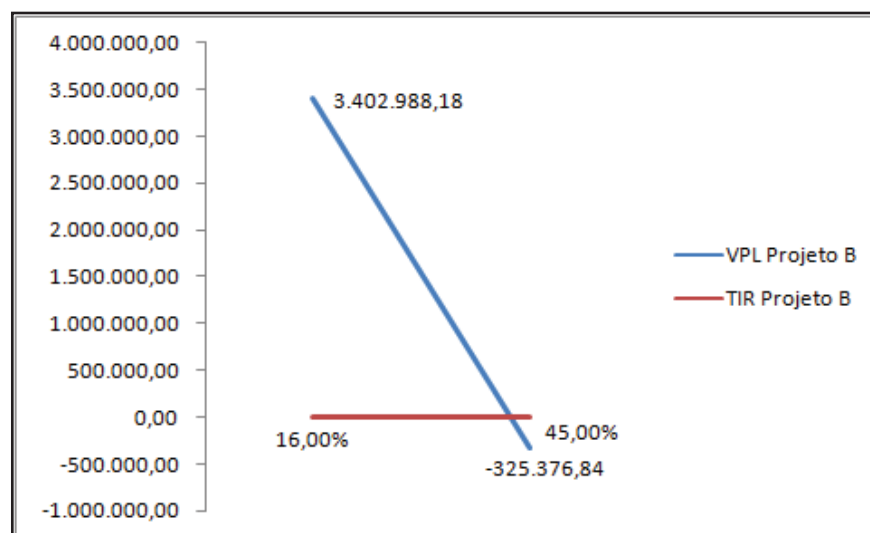
Os gráficos 11 e 12 apresentam as respectivas TIR para os projetos A e B.

Gráfico 11: Análise da TIR do Projeto A



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Gráfico 12: Análise da TIR do Projeto B



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Aplicando a regra da TIR o projeto A deve ser descartado e o projeto B deve ser aprovado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o desenvolvimento do conteúdo da pesquisa, da revisão bibliográfica e da aplicação empírica, torna-se possível apresentar e discutir resultados observados, e relacionados aos temas da pesquisa: i) Características do setor aeronáutico que usina peças complexas; ii) Necessidades de investimentos em novas máquinas; iii) Aplicação das técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e *Payback* descontado); iv) Características das máquinas Multitarefas em relação à Manufatura Enxuta.

### 5.1 Resultados

#### 5.1.1 *Características do setor aeronáutico que usina peças complexas*

Quanto às características do setor aeronáutico que usina peças complexas, observam-se os seguintes resultados: i) trata-se de segmento diferenciado quanto à tecnologia empregada e características de demanda, com baixo volume e elevado mix de peças, na sua maioria complexas; ii) neste segmento, observa-se certa dificuldade por parte do departamento de planejamento em programar e controlar a produção, e isso requer a aplicação conjunta de técnicas, princípios e recursos como o *Lean*, a Teoria das Restrições (TOC) e os sistemas MRPII e ERP.

#### 5.1.2 *Necessidades de investimentos em novas máquinas*

Trata-se de um setor que, devido às suas características técnicas e mercadológicas, demanda investimentos em tecnologias avançadas de fabricação para atualização tecnológica da produção. Observou-se que as necessidades de investimentos são motivadas pelos seguintes fatores: i) necessidade de atualização das máquinas devido a novos produtos e novos requisitos; ii) necessidade de capacitação para eliminar os RRC's identificados por meio dos gráficos de C&C, e eliminados de modo a atender às demandas; iii) necessidade de substituição de máquinas devido a defasagem tecnológica, desgaste e custos de manutenção e não qualidade elevados; iv) necessidade de liberação de área para novos e mais modernos equipamentos; v) quando a máquina existente ainda atende às necessidade mas pode haver uma oportunidade estrutural ou conjuntural que seja favorável à realização de investimentos.

### 5.1.3 *Aplicação das técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e Payback descontado)*

Observa-se que o modelo de decisão adotado pela empresa leva em conta o valor do dinheiro no tempo, e prevê a efetivação das aquisições de cada uma das máquinas que compõem um determinado projeto em momentos diferentes, mais adequados para o desembolso financeiro, e alinhados com os diferentes prazos de fornecimento e instalação.

Por meio deste modelo, observa-se que o planejamento do desembolso financeiro para aquisição das máquinas mais simples, como os tornos e bancada, são efetivados em momentos diferentes, e de modo que sejam instalados e operacionalizados ao mesmo tempo em que a máquina de maior *lead time* de fornecimento dentro da composição do projeto. Isso resulta em maior eficiência financeira para os projetos, e preserva o fluxo de caixa da organização.

Observa-se ainda que, o modelo demanda maior capacidade de planejamento e gerenciamento dos projetos, pois envolve fatores de riscos externos à organização, como a produção e logística de entrega das máquinas por parte dos fornecedores.

Em relação ao conhecimento e aplicação das técnicas de gestão de ativos, é possível observar, por meio do estudo de caso, que a empresa gerencia seus recursos, conhece e aplica as técnicas de gestão de ativos, e decide com base em indicadores: i) de carga e capacidade de produção; ii) de custos da qualidade; iii) de custos de manutenção; iv) de custos de produção; v) de margem de contribuição dos programas para o resultado da organização.

Observa-se também, que a variação cambial pode influir nos resultados dos investimentos, em especial quando direcionados para a aquisição de tecnologias avançadas de fabricação, normalmente adquiridas por meio de importação.

### 5.1.4 *Características das máquinas Multitarefa em relação à Manufatura Enxuta*

Em relação às características das máquinas Multitarefa que podem facilitar a aplicação dos princípios e técnicas da Manufatura Enxuta, destacam-se seis: i) a capacidade de realizar várias operações; ii) a quantidade de ferramentas disponíveis no magazine e disponibilidade de troca automática; iii) o nível de tecnologia e automação representados pela multiplicidade de eixos de usinagem, com movimentos complexos e independentes; iv) a capacidade de realizar furação profunda; v) o sistema de troca automática das ferramentas de furação profunda sem interferência do operador; vi) a precisão de posicionamento e

repetibilidade de posicionamentos dos eixo e movimentos.

Cada uma dessas características contribui para a aplicação dos princípios e técnicas da Manufatura e possibilitam os seguintes resultados:

A capacidade de realizar várias operações possibilita reduzir os ciclos de fabricação, uma vez que concentrar várias operações em uma única máquina, também aumenta a flexibilidade do processo, tal como ocorre ao aplicar o conceito de célula de manufatura. Permite reduzir a quantidade de material em processo (WIP), reduz espaço físico, e possibilita disponibilizar outras máquinas. Todos esses aspectos positivos possibilitam a aplicação do primeiro pilar do Sistema Toyota de Produção – a entrega *Just in Time*.

O nível de tecnologia e automação, possibilitam reduzir ou eliminar a interferência do operador no processo, e isso representa importante contribuição para a aplicação do segundo pilar do Sistema Toyota de Produção - a automação Jidoka.

A quantidade de ferramentas no magazine e a troca automática, o que representa a aplicação do conceito de troca rápida (SMED) e com isso leva à redução dos tempos de set up.

A multiplicidade de eixos de usinagem, com movimentos complexos e independentes, permite usinar peças cada vez mais complexas, com menor tempo gasto para o desenvolvimento de novos produtos, e isso pode gerar vantagens competitivas sobre os concorrentes.

A capacidade de realizar furação profunda eliminar a necessidade de aquisição de máquinas especiais, também contribui para a redução do espaço físico e melhora o fluxo do processo.

As características de precisão, em termos de posicionamento e repetibilidade de posicionamentos dos eixos e movimentos, melhoram a qualidade e promovem a eliminação dos desperdícios relativos às perdas por defeitos

Em conjunto, todas essas características observadas, contribuem para a eliminação das sete perdas previstas pelo Sistema Toyota de Produção: i) Defeitos; ii) Superprodução; iii) Espera; iv) Transporte; v) Processamento; vi) Movimentação; vii) Estoque.

O uso da Máquina Multitarefa também possibilita elevar o moral de todos os envolvidos no processo, e exige que sejam investidos recursos em capacitação técnica e sistemas periféricos de apoio.

Como obstáculos para a utilização das máquinas Multitarefa, pode-se considerar o elevado custo, uma vez que as pequenas e médias empresas não possuem capacidade de investimento neste tipo de tecnologia, e a dificuldade em encontrar programadores e operadores qualificados para este tipo de tecnologia, uma vez que, os centros de formação e capacitação ainda não possuem máquinas e sistemas tão sofisticados.

Outro aspecto a ser considerado é que a filosofia *Lean* recomenda explorar sempre o máximo da capacidade dos equipamentos existentes, e das possibilidades de melhoria e redução de desperdícios, antes de se recorrer aos investimentos e, portanto, investir na aquisição de novos ativos deve ser sempre uma última alternativa.

#### 5.1.5 Fatores de caracterização e integração entre os itens da pesquisa

Além dos resultados apresentados no item 5.1 (e subitens), a pesquisa se propôs também a apresentar a integração entre os itens da pesquisa (Máquina Multitarefa, Manufatura Enxuta, Gestão de Ativos e Planejamento e Controle da Produção) e suas características, conforme observado por meio do Quadro 8.

Quadro 7: Caracterização dos itens da pesquisa

| Item da Pesquisa<br>Característica | Máquina Multitarefa                             | Manufatura Enxuta (STP – Lean)                                   | Gestão de Ativos  | Programação e Controle (PCP)              |
|------------------------------------|---|--|---|---|
| Fundamento ou Conceito             | Capacidade de realizar várias operações         | Eliminar o desperdício   | Usar técnicas para decisão sobre investimentos            | Programar as ordens e atender aos pedidos |
| Diretrizes para aplicação          | - Realizar investimentos<br>- Capacitar pessoas | - Identificar o Valor<br>- Identificar o Fluxo do Valor          | Ambiente preparado para utilização das técnicas de gestão | - MRP e MRPII<br>- ERP<br>- TOC<br>- Lean |
| Foco principal                     | Inovação tecnológica e automação                | Fluxo Contínuo com Automação <i>Jidoka</i> e <i>Just in Time</i> | Tomada de decisão e gestão dos ativos                     | Atendimento à demanda                     |
| Principal benefício esperado       | Melhora da qualidade e redução do ciclo         | Agregação de valor   | Acerto na tomada de decisão                               | Entregas em dia                           |

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2015.

Ao analisar, por meio do Quadro 8 que apresenta cada um dos itens da pesquisa com suas respectivas características, é possível observar uma relação entre os conceitos, as diretrizes para aplicação, o foco principal e o principal benefício esperado por cada um dos itens da pesquisa.

Para exemplificar a interpretação da tabela, verifica-se em relação ao uso da máquina Multitarefa que ela possui como fundamento a capacidade de realizar várias operações, e o benefício principal é melhorar a qualidade e reduzir o ciclo de fabricação. Consequentemente esta característica contribui para o fundamento da Manufatura Enxuta que é a eliminação dos desperdícios e também com a aplicação da característica de “principal benefício esperado”, que na Manufatura Enxuta é a agregação de valor.

## 5.2 Limitações da Pesquisa

Dentre as limitações da pesquisa destacam-se:

A escassez de empresas que tenham investido em máquinas Multitarefas tornou o estudo de caso restrito a uma única empresa com uma população amostrar demasiadamente pequena e muito homogênea, impossibilitando, assim, a aplicação de formulários de pesquisa e estratificações estatísticas acerca das características dos atores.

Em relação ao formato do programa de pesquisa, pode ser considerado como uma limitação, uma vez que estabelece um prazo limite de vinte e quatro meses para conclusão do trabalho, e isso pode implicar na impossibilidade de maior detalhamento e aprofundamento de certas questões, restando então, a opção de apresentar, após as considerações gerais e finais, algumas propostas para a realização de trabalhos futuros.

## 5.3 Considerações Gerais e Finais

Durante a pesquisa empírica observou-se que o *Lean* implantado na Embraer, por meio do programa P3E, pela importância das células de melhoria contínua e pela realização dos eventos *Kaizen*.

Em relação ao processo de investimento estudado foi possível observar que o projeto B (máquina Multitarefa) apresentou-se mais vantajoso em relação ao projeto A (várias

máquinas), tendo ambos sido avaliados por meio das técnicas do VPL, Período de Recuperação do capital e Taxa Interna de Retorno.

Ainda em relação à identificação e direcionamento dos investimentos, observou-se por meio do estudo de caso que, na maioria das vezes, os investimentos realizados pela empresa direcionaram-se à aquisição de máquinas Multitarefa, e também que, de acordo com os dados de flutuação do câmbio levantados no período de observação, a variação cambial pode influir no retorno sobre os investimentos, podendo levar à inviabilidade de projetos quando o dólar estiver mais valorizado em relação à moeda interna, ou, ao contrário, tornando muito mais atrativos os investimentos em máquinas Multitarefa em cenários de maior valorização da moeda nacional.

Além das técnicas de Manufatura Enxuta, da TOC e dos sistemas MRP e ERP, o sucesso na gestão operacional depende de outras ferramentas e técnicas, dentre as quais se destacam: i) o PDCA - Sigla em Inglês que significa Planejar, Executar, Verificar e Agir (*Plan, Do, Check, Act*); ii) o Six Sigma – Metodologia de Engenharia da Qualidade que busca a eficiência do processo por meio de técnicas estatísticas para de gestão dos processos; iii) o MPT – Sistema de Manutenção Participativa Total que envolve a participação dos empregados e busca manter os meios de produção sempre disponíveis e em boas condições de funcionamento e que baseia-se na filosofia do *TPM (Total Particative Maintenance)*.

Embora as máquinas Multitarefa sejam eficazes no sentido de reduzir os tempos de setup e quantidade de operações, reduzir o tamanho do lote, flexibilizar a produção e melhorar a qualidade e o nível de automação, ainda não são amplamente difundidas e aplicadas na indústria aeronáutica Brasileira, mesmo sendo considerado um segmento cujos processos utilizam tecnologia de ponta.

A baixa utilização pode ser devido a diversas razões como alto custo de investimento, falta de fabricantes nacionais, falta de profissionais para programação e operação, falta de centros de formação técnico-profissional para este tipo de equipamento, escassez ou inexistência de pós-processadores para os programas CNC e falta de visão de técnicos e, principalmente, da liderança que decide sobre os investimentos.

Kidd (1994) afirma que a Manufatura Enxuta requer a interação com o uso de tecnologias avançadas e para Yasin et al. (2001), a adoção de novas tecnologias apresenta, em muitos casos, ganhos operacionais e estratégicos quando implementas em conjunto com



técnicas de Manufatura Enxuta. Portanto, mesmo nas empresas que utilizam as máquinas Multitarefa recomenda-se a conexão com as práticas de Manufatura Enxuta e TOC, dentre outras, para que o benefício máximo no processo seja obtido.

A eficiência operacional e a estratégia são ambas essenciais ao desempenho excelente que é o objetivo principal de qualquer organização, sendo que as diferenças entre as empresas em termos de custos ou preços advêm do conjunto de atividades necessárias à criação, produção, venda e entrega dos seus produtos ou serviços (PORTER, 1999).

Portanto, é preciso preparar a organização para plena eficiência operacional por meio da criação de um ambiente voltado a uma estratégia de inovação tecnológica e investimentos em recursos produtivos de última geração. É preciso também promover a aplicação das técnicas de gestão da produção baseadas no Pensamento Enxuto - STP, na Teoria das Restrições e nas técnicas de Gestão de Ativos fundamentadas pela engenharia econômica.

E como os temas não se exaurem em uma única pesquisa, resta então que, por meio de trabalhos futuros, sejam exploradas algumas das propostas apresentadas a seguir:

- 1) Capacitação técnica dos programadores CNC no Brasil, para atender aos requisitos de programação em máquinas Multitarefa no setor de usinagem aeronáutica;
- 2) Contribuição das Máquinas Multitarefa para aplicação do conceito do *Lean Design* em projetos aeronáuticos.
- 3) Ampliação do escopo desta pesquisa para avaliação de todo um parque de usinagem composto por diversos tipos de máquinas, em relação à manufatura enxuta e quanto ao retorno sobre a totalidade dos investimentos realizados.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem concluir que a pesquisa atingiu seus objetivos propostos, uma vez que, por meio da aplicação empírica, foi possível identificar, e apresentar, como ocorre a integração entre as técnicas de planejamento, os princípios da Manufatura Enxuta e as técnicas de gestão de ativos, durante o ciclo de investimento e implantação de dois projetos mutuamente excludentes. Os resultados também possibilitaram a elaboração do quadro com as características e fatores relacionados aos temas da pesquisa.

Os resultados também permitiram obter as respostas para as questões, uma vez que: a) foram identificadas as características do setor aeronáutico que usina peças complexas b) foi possível observar como surge a necessidade de investimento em uma nova máquina neste segmento c) foram identificadas as características das máquinas Multitarefa que facilitam ou dificultam a aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta; iv) ao aplicar o método de estudo de caso, observou-se que as técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e *Payback*), aplicadas para decidir entre a compra de um conjunto de máquinas ou uma Máquina Multitarefa, projeto A e Projeto B, permitiram identificar a alternativa de projeto mais vantajosa.

Outras conclusões podem ser obtidas em relação aos temas explorados.

A aplicação da Manufatura Enxuta mostra-se eficaz, e quando aplicada em conjunto com a Gestão de Ativos, tornam mais efetivos os resultados sob o ponto de vista de eliminação dos desperdícios, promoção o fluxo contínuo e agregação de valor.

A máquina Multitarefa, como tecnologia avançada de fabricação, eleva o nível de automação do processo e elimina fases de fabricação por meio da execução de operações múltiplas. Constitui-se, portanto, em alternativa para elevar o nível tecnológico do processo, mesmo em empresas que possuam em seus parques de usinagem Centros de Usinagem e Tornos CNC, uma vez que nesses tipos de máquinas a usinagem de peças com geometrias simultaneamente prismáticas e cilíndricas precisam passar por duas ou mais máquinas e isso “quebra” a sequência dos processos, e exige a duplicação de recursos como os operadores, os programadores CNC, os dispositivos de fixação, as atividades de preparação das ferramentas, dos dispositivos e das próprias máquinas.

Durante o estudo de caso as técnicas de avaliação de projetos de investimentos mutuamente excludentes mostraram-se eficazes e suficientes para direcionar as decisões.

## REFERÊNCIAS

ABMAQ, 2014. **Consulta Processos. Consulta Processos em Andamento**. Abimaq – Associação Brasileira das Indústrias de Máquinas. Brasil: 2014. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/site.aspx/Consulta-Processos>. Acesso em: 02/02/2014;

ACKERT, S. **Comercial Apects of Aircraft Customization**. Aircraft Monitor: San Francisco, California, 2013.

ACSP. **Índices Econômicos - Associação Comercial de São Paulo**. 2016. Disponível em: [http://portal.acsp.com.br/assets/html/indicadores/indicadores\\_iegv/iegv\\_dolar.html](http://portal.acsp.com.br/assets/html/indicadores/indicadores_iegv/iegv_dolar.html). Acesso em: 20/Jan/2016.

ALVARES, R. R., ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção**. Gest. Prod. vol.8 no.1 São Carlos, Apr. 2001.

ANAC, 2009. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – Certificação de Produto Aeronáutico. RBAC nº 21**. ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. Brasil, 2009. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencias/RBAC%2021%20-%20AnexoResolucao.pdf>. Acesso em: 25/Mai/2014.

\_\_\_\_\_, 2013. **Manual de Procedimentos. MPR 400 Revisão 1. Certificação Suplementar de Tipo**. ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. Brasil. 2013. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/certificacao/MPR/Textos/MPR-400-001-P.pdf>. Acesso em 30/Mai/2014.

\_\_\_\_\_, 2014. **Lista de Fornecedores da Helibrás**. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/certificacao/Organizacao/Protudos/Lista%20de%20Fornecedores%20Helibras%20-%20ANAC%20REV%20A.pdf>. Acesso em: 09/11/2015.

\_\_\_\_\_, 2015. **Cadeia Produtiva ANAC 2015**. Disponível em: [http://www2.anac.gov.br/certificacao/Organizacao/Protudos/ListaFornecedoresNacionaisI\\_OrgCodi\\_000332.pdf](http://www2.anac.gov.br/certificacao/Organizacao/Protudos/ListaFornecedoresNacionaisI_OrgCodi_000332.pdf). Acesso em: 09/11/2015.

ANFAVEA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2010. **ANFAVEA**. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario2010/AnuarioAnfavea2010.pdf>. Acesso em: 10/Jan/2015.

AMERICAN HELLER CORP. **Deep Hole Drilling System**. 2011. Disponível em: <http://www.americanheller.com/skivingburnishing-main.html>. Acessado em: 24/Out/2015.

AZEKA, C. **Identificação dos principais autores em planejamento e controle da produção**: 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

BUCHANAN, L; O'CONNELL, A. Uma breve história da tomada de decisão. **Harvard Business Review**, v. 84, n. 1, 2006.

BGTB. Examples of BGTB chamber boring technology. **Consulting company for drilling and machining**. Disponível em: [http://www.auskammern.de/chamber\\_boring.html](http://www.auskammern.de/chamber_boring.html). Acesso em: 10, nov, 2014.

BERTUOL, D. A. **Caracterização e Utilização do Resíduo Sólido Gerado no Acabamento de Peças de Zamac como Matéria-Prima para a Obtenção de Materiais Cerâmicos**. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2003.

BLACK, J.T. **O projeto da fábrica do futuro**. Porto Alegre: Bookman, 1998.

CALVOSA, M; FREITAS, J. ANGEL INVESTOR: Empreendedorismo fomentado através de uma nova modalidade de investidor. **Revista Cadernos de Administração**, v. 1, n. 2, p. 1-18, 2008.

CAMPOS, R. et al. A ferramenta 5S e suas implicações na gestão da qualidade total. In: **Simpósio de Engenharia de Produção**. 2005.

CAMPOS, V. F. **Controle da qualidade total**. Fundação Christiano Ottoni, Belo Horizonte, 1992.

CASTILLO, W. J. G. **Furação Profunda de Ferro Fundido Cinzento GG25 com Brocas de Metal-Duro com Canais Retos**. UFSC, Santa Catarina, 2005.

CHIARINI, A. Lean Thinking. In: From Total Quality Control to Lean Six Sigma. **Springer Milan**, 2012. p. 29-36.

CRESHWELL, J.W. Research design: quantitative and qualitative approaches. **Sage**, Londres, 1994.

CHRYSSOLOURIS, G. et al. Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: **Journal of Engineering Manufacture**, v. 223, n. 5, p. 451-462, University of Patras, Greece, 2009.

CUNNINGHAM, J. B. Case study principles for diferent types of cases. **Quality and Quantity**. Berlim, vol. 31, n. 4, p. 401 – 423, 1997.

DALMAS, V. **Avaliação de um Layout celular implementado: Estudo de caso de uma indústria de auto-peças**. Tese de Mestrado (Engenharia de Produção), 133 f. UFRGS, Porto Alegre, 2004.

DARVIN, C. A. C. D. Os Benefícios da Inovação Tecnológica na Ferramentaria de uma Indústria Automobilística: Utilizando o Conceito de Alta velocidade de Corte. **Centro de Pesquisas em Administração**, São Paulo, 2003.

DCTA, 1997. **Catálogo de Empresas do Setor Aeronáutico**. DCTA – Departamento de Ciência e Tecnologia Aeronáutica. São José dos campos, 1997. Disponível em: [http://www.ifi.cta.br/sites/default/files/ifi/documentos/produtos-servicos/cesaer/catalogo\\_cesaer.pdf](http://www.ifi.cta.br/sites/default/files/ifi/documentos/produtos-servicos/cesaer/catalogo_cesaer.pdf). Acesso em: 19/10/2015.

DENIS, P. **Fazendo acontecer a coisa certa**. São Paulo: Lean Institute do Brasil, 2007.

DINIZ, A. E; MARCONDES, F. C; COPINE, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: MM editora, 2008.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton university press, 1994.

EDER, C. F. et al. **Avaliação dos métodos da taxa interna de retorno modificada: uma aplicação prática**. UFRGS. Porto Alegre, 2004.

EMBRAER, 2011. **Desempenho Operacional**. Disponível em: <http://www.embraer.com.br/relatorioanual2011/port/ra/27.htm>. Acesso em: 08/nov/2015.

\_\_\_\_\_, 2012. **Embraer Executive Aviation Overview**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/embraerri/vae-embraer-day2012>. Acesso em 07/nov/2015.

\_\_\_\_\_, 2013. **Embraer Corporate Excellence Program – P3E**. Disponível em: [file:///C:/Users/user/Downloads/Embraerday\\_2013\\_26march\\_short%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/Embraerday_2013_26march_short%20(1).pdf). Acesso em 08/nov/2015.

\_\_\_\_\_, 2015-a. **Embraer em Números**. Disponível em: <http://www.embraer.com/pt-br/conhecaembraer/embraernumeros/paginas/home.aspx>. Acesso em: 27/Dez/2015.

\_\_\_\_\_, 2015-b. **Embraer Informações Divulgadas ao Mercado**. Disponível em: <http://ri.embraer.com.br/show.aspx?idCanal=iM2P2p1lloUsWi5mzDbdbA==>. Acesso em: 27/Dez/2015.

ERICKSEN, P. D.; STOFLET, N. J.; SURI, R. **Manufacturing Critical-path Time (MCT): The QRM Metric for Lead time**. Technical Report, Center for QRM, Wisconsin-Madison, 2007.

FERNANDÉZ, A; LACALLE, L.N. L.; UGALDE, U.J. Torno-fresado ortogonal como proceso alternativo al torneado a punta de cuchilla. **XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica**, Universidade do País Vasco, 2010.

FERNANDES, F. C. F. et al. Identificação dos principais autores em planejamento e controle da produção por meio de um survey mundial com pesquisadores da área. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 14, n. 1, p. 83-95, jan.-abr. 2007.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Carlos: Edgard Blocker, 1969.

FERREIRA, G. K. A.; et al. Gestão Estratégica da Informação: Influência do Sistema ERP (sistema integrado de gestão) nas ações estratégicas organizacionais sob a ótica dos consultores da TOTVS – S.A. Belo Horizonte. **Gestão Contemporânea**, Porto Alegre., 2012.

FONSECA, P. V. R.; GOMES, S. B. V.; QUEIRÓZ, V. S. O mercado do transporte aéreo dos Estados Unidos e perspectivas para o financiamento à exportação de jatos comerciais brasileiros. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 39, p. 343-387, mar. 2014.

FRANCINI, W. S. Knowledge management: connecting strategy and firm value. **RAE eletrônica**, v. 1, n. 2, p. 02-16, 2002.

FRANCISCO, B. R.; HATAKEYAMA, K. Diagnóstico da utilização de 10 ferramentas da produção enxuta no ramo madeireiro. **XX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Salvador, 2009.

FRANCO, F. C. **Integração entre a filosofia 5S e a dinâmica do conhecimento para a formação do cidadão produtivo: análise prospectiva da teoria e da prática visando à formação de uma proposta preliminar de ação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), 187 p. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

GALANTE, S. Helicópteros - Grande Demanda e mais Tecnologia. São Paulo: **Revista Flap Internacional**, Julho/2011. Disponível em: [http://www.bhs-helicopteros.com.br/clipping/flap\\_internacional\\_jul2011.pdf](http://www.bhs-helicopteros.com.br/clipping/flap_internacional_jul2011.pdf). Acesso em: 25/Jan/2016.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIUNTINI, N. et al. Teoria das Restrições: uma nova forma de “ver e pensar” o gerenciamento empresarial. **Laboratório de Desenvolvimento Profissional**, 2002.

GITMAN, L. J. **Princípios da Administração Financeira**. São Paulo: editora Harbra, 1987.

GOLDRATT, E. M. e COX, J. **A Meta**, São Paulo: Educator Editora, 1997.

GOMES, S. B. V.; FONSECA, P. V. R.; QUEIRÓZ, V. S. O setor aeronáutico de helicópteros civis no Brasil e no mundo. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 12/Out/2015.

HENRY, C. Investment decisions under uncertainty: the "irreversibility effect". Pittsburgh, PA: **The American Economic Review**, p. 1006-1012, 1974.

HESS, P. J.; BICKSLER, J. L. Capital asset prices versus time series models as predictors of inflation: The expected real rate of interest and market efficiency. **Journal of Financial Economics - Elsevier**, v. 2, n. 4, p. 341-360, 1975.

HYNEK, J.; JANECEK, V. Advanced Manufacturing Technology projects justification. **Proceedings of International Conference on Mechatronics**. Kumamoto, Japan, 2007. Disponível em:

[https://scholar.google.com.br/scholar?q=HYNEK%2C+J.%3B+JANECEK%2C+V.+Advanced+Manufacturing+Technology+projects+justifi+cation.+Proceedings+of+International+Conference+on+Mechatronics.+Kumamoto%2C+Japan%2C+2007&btnG=&hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5](https://scholar.google.com.br/scholar?q=HYNEK%2C+J.%3B+JANECEK%2C+V.+Advanced+Manufacturing+Technology+projects+justifi+cation.+Proceedings+of+International+Conference+on+Mechatronics.+Kumamoto%2C+Japan%2C+2007&btnG=&hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5). Acesso em: 04, Out, 2015.

IMAI, M. **Kaizen: A estratégia para o sucesso competitivo do Japão**. 51 ed. São Paulo: IMAM, 1994.

JURAN, J; GRYNA, F. **Controle da Qualidade Handbook**. São Paulo: Makron Books, 1991.

KASSAI, J. R. **Conciliação entre a TIR e ROI: uma abordagem matemática e contábil do retorno do investimento**. São Paulo: Caderno de Estudos FIPECAFI, n. 14, p. 1-29, 1996.

KIDD, P. T. **Agile Manufacturing: Forging new frontiers**. New York: Addison-Wesley, 1994. p. 10-50.

LAURINDO, F. J. B; MESQUITA, M. Material Requirements Planning: 25 anos de história; uma revisão do passado e prospecção do futuro. **Revista Gestão & Produção**, v. 7, n. 3, p. 320-337, 2000.

LEFLEY, F. et al. Manufacturing investments in the Czech Republic: an international comparison. **International Journal of Production Economics**, n. 88, p.1-14, 2004.

LEITE FILHO, G. D. S., TÀVORA JUNIOR, J. L. Investimentos em Tecnologias Avançadas de Manufatura: um framework para a avaliação sob a ótica das opções reais. **Biblioteca Digital BNDES**, Rio de Janeiro, p. 283 – 338, 2011. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 24/Out/2015.

LIKER, J. K.; MORGAN, J. M. The Toyota way in services: the case of lean product development. **The Academy of Management Perspectives**, v. 20, n. 2, p. 5-20, 2006.

LIMA, J. C. C. de O., et al. A Cadeia Aeronáutica Brasileira e o Desafio da Inovação. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 31-55, mar. 2005. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 17/Out/2015.

LOPES, C. B., SILVA, R. H.; ROCHA, W. A. Sistemas de produção MRP & MRP II. **REGRAD-Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM-ISSN 1984-7866**, v. 6, n. 1, 2014.

LUCINDA, C. R. **Indústria Aeronáutica**. Ribeirão Preto: EBC Núcleo de Estudos de Economia de Baixo Carbono, 2012.



MARTINS, P. G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção** 2ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MASCITELLI, R. **The Lean Desing Guidebook: everething your product development team needs to slash manufacturing cost**. 1 st ed. Northridge: Technology Perspective, 2004.

MATOS, C. M. **Viabilidade e análise de risco de projetos de irrigação: estudo de caso do Projeto Jequitai (MG)**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 142 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MEIRELES, M. **Ferramentas Administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

MORAES, J. D. **Lean Manufacturing – Uma nova visão**. Engenharia Industrial, Betim, 2012. Disponível em: <http://docslide.com.br/automotive/lean-manufacturing-nova-visao.html>. Acesso em: 17, nov, 2015.

MORAES, L. H.; SANTORO, M. C. **Medidas de Eficiência em Linhas de Produção**. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 2006.

MORIWAKI, T. Multi-functional machine tool. **CIRP Annals - Manufacturing Technology** 57, p. 736–749: Neyagawa - Japan: 2008.

MOTTA, R. R., CALÔBA, G. M. **Análise de Investimentos - tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

MOURA JÚNIOR, A. C. N. Novas tecnologias e sistemas de administração da produção-análise do grau de interação e informatização nas empresas catarinenses. **UFSC**, Florianópolis, 1996.

NAGAE, A., et al. History and Current Situation of Multi-Tasking Machine Tools. **Journal of SME**, Japan: 2012.

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

OLIVEIRA, T. M. V. Amostragem não Probabilística: Adequação de Situações para uso e Limitações de amostras por Conveniência, Julgamento e Quotas. **Administração on line**. v.2, n. 3, 2001.

OLIVEIRA, G. N. K. **Avaliação de resultados na AndreeCor Tintas pela implementação de um ERP: “Enterprise Resource Planning”**. 2013. 86 f. Monografia (Bacharel em Administração). Curso de Administração. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2013.



OLIVEIRA, J. R., **Aplicação da Manufatura Auxiliada por Computador (CAM) no Desenvolvimento de Processos de Usinagem: Um Estudo Multi-Caso**. Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção), 75f. UNIVEM, Marília, 2012.

OLIVEIRA, N. N. P. **Do ITA à Embraer: A idéia de progresso dos militares brasileiros para a indústria aeronáutica**. Campinas: UNICAMP, 2004.

PASQUALINI, A. **Minimização de efluentes: estudo de caso aplicado a galvanoplastia**. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção), 125 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PICOLLI, F. **Análise do Torque no Processo de Rosqueamento com Machos de Roscar**. São Leopoldo, UNISINOS, 2010.

PONCIANO, N. J., et al. Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense. **Revista Econômica e Social Rural**, vol. 42, nº 04, p. 615-635, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v42n4/24974.pdf>. Acesso em: 12, nov, 2015.

PORTER, M. E. **Competição: Vantagem Competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

POSSI JUNIOR, R.; PASSOS, R. C.; OLIVEIRA FILHO, O. **Um novo Modelo para Submissão de Ocorrências Aeronáuticas**. Brasília: CENIPA SIPAER, vol. 2, 2010.

REBELLO, M. A. F. R. implantação do Programa 5s para a Conquista de um Ambiente de Qualidade na Biblioteca do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 165-182, jul./dez. 2005.

RESENDE, M. C., BOTELHO, E. C. **O uso de compósitos estruturais na indústria aeroespacial**. *Polímeros* vol. 10 n.2. São Carlos, 2000. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282000000200003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14282000000200003&script=sci_arttext). Acesso em: 09/11/2015.

RIGOLON, F. J. Z. **Opções reais e análise de projetos**. BNDES, Área de Planejamento, Departamento Econômico - DEPEC, 1999. Disponível em: <http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/Op%C3%A7%C3%B5es%20Reais%20e%20An%C3%A1lise%20de%20Projetos.pdf>. Acesso em: 07/11/ 2015

ROBLES JÚNIOR, A. **Modelo de Gestão e Mensuração dos Custos da Qualidade**. Congresso Brasileiro d Gestão Estratégica de Custos. São Leopoldo, 1994. Disponível em: <http://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3521/3521>. Acesso em: 05/03/2016.

\_\_\_\_\_, **Custos da Qualidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

RODRIGUES, L. H; SCHUCH, C; PANTALEÃO, L. H. Uma abordagem para construção de sistemas de indicadores alinhando a teoria das restrições e o Balanced Scorecard. **Encontro da Associação Nacional dos Programas de Pós-Graduação em Administração**, vol. 27, 2003.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar. Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. Lean Institute Brasil, São Paulo:, 1999.

RÜTTIMANN, A.B; FONSECA, P.V.R; PINTO, R.C.C. Perspectivas para o apoio à Embraer à luz de seu posicionamento competitivo e estratégia de crescimento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, p. 283 – 382, 2014.

SANTOS, E. C. Fresotorneamento com Ferramentas de cBN do Aço ABNT 8620 Endurecido. **Universidade Nove de Julho**, São Paulo, 2011.

SANTOS, S. F. **O Risco na análise de investimentos**. Dissertação de Mestrado (Ciências Econômicas e Empresariais) 100f. Porto: Universidade Portucalense, 2012.

SCHMALZ, J. P. **Análise de Investimento em Projetos de Células de Manufatura para Prestação de Serviços de Usinagem: uso de planilha eletrônica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) 102 f., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SILVA, B J. V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H.. **Programação da produção de gabaritos de montagem com restrições de adjacência na indústria aeronáutica**. Produção, vol. XX, n. X. São Carlos, 2011.

SILVA, B J. V.; MORABITO, R.; **Planejamento de uma montagem estrutural aeronáutica de jatos utilizando abordagens de programação de projetos com recursos restritos e múltiplos modos**. Gestão & Produção, vol.22 n..2. São Carlos, Apr./June 2015.

SILVA, L. M. A; et al. **O acordo de cooperação militar Brasil-França: análise das alternativas de compra dos caças, sob o prisma da cadeia produtiva do setor aeronáutico brasileiro**. Academia da Força Aérea, Pirassununga, 2013.

SILVA, M.L.; FONTES, A.A. **Discussão Sobre os Critérios de Avaliação Econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET)**. Sociedade de Investigações Florestais, v. 29, n6, p. 931 - 936, Viçosa, 2005.

SOBREIRA, V. C..**Metodologia de Seleção de Município para Recebimento de condomínio Logístico e Análise de Viabilidade Econômica de sua Implantação**. Monografia Graduação (Engenharia de Produção). 70 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

SOUZA, F. B. Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos. **Production Journal**, v. 15, n. 2, p. 184-197, 2005.

STOETERAU, R. L. **Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas**. Brasil: Editora UFSC (2004).

TOMASELLI, T. R. A ACP e a tomada de decisão em investimentos. **Fractal: Revista de Psicologia**, v. 22, n. 3, p. 525-542, 2011. Disponível em: <http://www.uff.br/periodicoshumanas/index.php/Fractal/article/view/190>. Acesso em: 20/10/2015.

TRIPP, D. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. São Paulo: Educação e pesquisa, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

ZAGO, C. A; WEISE, A. D; HORNBURG, R. A. **A Importância do Estudo de Viabilidade Econômica de Projetos nas Organizações Contemporâneas**. In: VI CONVIBRA–Congresso Virtual Brasileiro de Administração, 2009.

ZANINI, M. T; MIGUELES, C. **LIDERANÇA BASEADA EM VALORES** Caminhos para a ação em cenários complexos e imprevisíveis. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**. 4 ed. Rio de Janeiro, Campus, 1998.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T., ROSS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 10 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

YASIN, M. M.; Wafa, M. A.; SMALL, M, H. Just-in-time implementation in the public sector: an empirical examination. **International Journal of Operations & Production Management**, v.21, n.9, p.1195-1204, 2001.

## APÊNDICE A

### PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

#### 1. Visão geral do Estudo de Caso

##### 1.1 Temas

- a) Setor aeronáutico Brasileiro
- b) Lean Manufacturing, Manufatura Enxuta e Sistema Toyota de Produção
- c) Usinagem
- d) Máquinas Multitarefa
- e) Gestão de Ativos
- f) Programação e Controle da Produção

##### 1.2 Título

Aplicação de máquinas Multitarefa para usinagem de peças complexas do segmento aeronáutico brasileiro em conjunto com técnicas de Manufatura Enxuta e gestão de ativos.

##### 1.3 Objetivos do Estudo de Caso

Realizar pesquisas de campo no segmento aeronáutico Brasileiro que usina peças complexas com aplicação de máquinas Multitarefa para verificar o nível de aplicação das técnicas de engenharia econômica e gestão de ativos, técnicas de planejamento da produção, para verificar o nível de integração e aplicação destas técnicas e dificuldades encontradas.

##### 1.4 Questões da Pesquisa

A pesquisa visa responder às seguintes questões relativas ao tema:

- a) Quais são as características do setor aeronáutico que usina peças complexas?
- b) Como surge a necessidade de investimento em nova máquina neste segmento?

c) As técnicas de gestão de ativos (VPL, TIR e Payback) são aplicadas para a tomada de decisão?

d) Quais características das máquinas Multitarefa facilitam ou dificultam a aplicação das técnicas de Manufatura Enxuta?

### **1.5 Envolvidos na Pesquisa**

A) Instituição: Centro Paula Souza – Unidade de Pós Graduação

B) Pesquisador Mestrando: Clivanei Gonçalves de Mello,  
clivanei@hotmail.com

C) Orientador do Mestrando: Carlos Hideo Arima  
charima@uol

## **2. Procedimentos adotados para as pesquisas de campo**

### **2.1 Aspectos Metodológicos**

A pesquisa é de natureza predominantemente qualitativa e realizada por meio de revisão bibliográfica e exploração de documento a que ainda não receberam tratamento analítico.

O estudo de caso é parte da pesquisa que pode ser considerada como pesquisa ação uma vez que o pesquisador trabalhou na empresa durante o período determinado como objeto de observação e participou diretamente dos processos de aquisição e operacionalização das máquinas, implantação dos sistemas de Manufatura Enxuta e realização dos eventos Kaizen, bem como das rotinas de planejamento, programação e controle da produção.

### **2.2 Setor Alvo**

Segmento de usinagem de peças da indústria aeronáutica.

### **2.3 Abrangência**

Empresas localizadas no Vale do Paraíba que usinam peças complexas e que investiram em máquinas Multitarefa.

Quanto à cronologia dos fatos considerou-se o intervalo entre 2001 e 2010 como o período de observação e levantamento de dados.

## 2.4 A empresa

A empresa está localizada em São José dos Campos, ocupa uma área de vinte e quatro mil metros quadrados, inicialmente era uma unidade de negócio da Embraer, ainda empresa estatal, cuja razão social era EDE – Embraer Divisão de Equipamentos e em 1999 foi passou a se chamar ELEB – Embraer Liebherr Equipamentos do Brasil S.A., resultado de uma *joint venture* entre a Embraer e a empresa Liebherr da Alemanha. Em julho de 2008 a Embraer, por meio de negociação com a Liebherr, passou a deter cem por cento do controle acionário e a razão social da Eleb passou a ser Eleb – Equipamentos LTDA.

O foco de atuação está na área aeroespacial e o seu mercado abrange os segmentos de aviação comercial de médio porte, helicópteros, aviação executiva e aviação de defesa. Seus principais produtos são: Trens de Pouso, Componentes Hidráulicos e Eletromecânicos.

A empresa domina o ciclo completo do produto, desde sua concepção e desenvolvimento, passando pela parte de testes, certificação, manufatura e até o suporte pós-venda, conta com um moderno centro de serviços, e possui tecnologias de fabricação consideradas de última geração para realizar processos de usinagem, tratamentos térmicos, tratamentos superficiais, shot peening, pintura, montagem e testes.

A partir da *joint venture* a empresa iniciou um processo de modernização do parque tecnológico. Investiu em sua párea de engenharia para capacitar-se para diversos tipos de ensaios de qualificação de sistemas de trem de pouso como: i) queda livre; ii) cargas estáticas; iii) fadiga; iv) durabilidade; v) testes hidráulicos; vi) testes de temperatura e testes elétricos.

Como estratégia competitiva e para servir de piloto para a implantação do SAP na Embraer a Eleb investiu em 2003 na implantação o sistema ERP-SAP para integrar seus sistemas de gestão e tornar-se mais competitiva.

## 2.5 Coleta de Dados

A coleta de dados para a pesquisa foi conduzida por meio de entrevistas não estruturadas com perguntas genéricas e abertas no sentido de orientar o pesquisador na construção do cenário por meio de tabulação de dados.

## 2.6 Fonte de dados

### A) Primárias

- i) Ex-empregados que participaram dos processos de gestão de ativos, investimentos, programação e controle da produção, desenvolvimento dos processos e operacionalização das máquinas;
- ii) Empregados e ex-empregados que participaram da implantação do Lean e da realização dos eventos Kaizen;
- iii) Executivos de empresas que investiram em máquinas Multitarefa;
- iv) Representantes técnicos e vendedores de máquinas, fornecedores de insumos e materiais de apoio ao processo produtivo.

### B) Secundárias

Internas: Levantamento de dados históricos por meio de mensagens eletrônicas e documentos impressos.

Externas: matérias publicadas em revistas especializadas, órgãos governamentais, associações e sindicatos patronais.

A identidade dos entrevistados e daqueles que auxiliaram no fornecimento de dados foi preservada por questões de ética e para dar maior segurança durante o fornecimento das informações.

### 2.6.1 Instrumentos de coleta de dados

Os dados foram coletados por meio de entrevistas pessoais e individuais, contatos telefônicos e mensagens eletrônicas, e também entre os presentes nos dois eventos do CIMATECH nos anos de 2014 e 2015.

### **3. Análise e tratamento dos dados**

Os dados foram analisados e tabulados de forma a preservar as informações sensíveis relativas ao negócio da empresa como:

- números internos de natureza privada e confidenciais
- parâmetros de processamento utilizados nas operações de usinagem
- rotinas e estratégias internas diferenciadas em relação às práticas de mercado e consideradas como diferencial competitivo
- questões de ordem interna pendentes de solução que pudessem comprometer a imagem da empresa no mercado
- números e informações contratuais envolvendo clientes e fornecedores
- questões de ordem interna relativas ao código de ética e às práticas dos valores da empresa por parte da liderança e de seus empregados.

### **4. Aplicação do Estudo de Caso na Pesquisa Empírica**

A aplicação do estudo de caso na pesquisa empírica ocorre por meio de relatório elaborado pelo método analítico com construção de dados representativos para orientar o raciocínio lógico e facilitar a compreensão acerca das questões de pesquisa e seus resultados.



## APÊNDICE B

## Relação de máquinas Multitarefa instaladas na empresa Eleb

| Modelo        | Fabricante   | Origem   | Número de Eixos | Data de Instalação |
|---------------|--------------|----------|-----------------|--------------------|
| Millturn M120 | WFL          | Áustria  | 5 + 2           | 2006               |
| Millturn M65  | WFL          | Áustria  | 5 + 2           | 2006               |
| Integrex 300  | Mazak        | Japão    | 5               | 2006               |
| GMX 400       | Gildermaster | Alemanha | 5               | 2007               |
| Integrex 300  | Mazak        | Japão    | 5               | 2008               |
| Integrex 300  | Mazak        | Japão    | 5               | 2008               |
| GMX 400       | Gildermaster | Alemanha | 5               | 2008               |
| Millturn M120 | WFL          | Áustria  | 5 + 2           | 2009               |
| Millturn M65  | WFL          | Áustria  | 5 + 2           | 2009               |