

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS CURITIBA / DIRGE-CT / DIRPPG  
CPGEI - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E  
INFORMÁTICA INDUSTRIAL**

**PAULO ROBERTO DREVEK**

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE UMA LINHA DE PINTURA DE  
VEÍCULOS POR MEIO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE FINANCEIRA**

**DISSERTAÇÃO**

**CURITIBA  
2016**



**PAULO ROBERTO DREVEK**

**AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE UMA LINHA DE PINTURA DE  
VEÍCULOS POR MEIO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE FINANCEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Magatão

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues

**CURITIBA**

**2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

D775a Drevek, Paulo Roberto  
2016 Avaliação da produtividade de uma linha de pintura de veículos por meio de simulação e análise financeira / Paulo Roberto Drevek.-- 2016.  
129 f. : il. ; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês  
Disponível também via World Wide Web  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Curitiba, 2016  
Bibliografia: f. 121-126

1. Automóveis – Paraná – Fabricação. 2. Automóveis – Paraná. 3. Automóveis – Projetos e construção. 4. Indústria automobilística – Inovações tecnológicas. 5. Indústria automobilística – Simulação por computador. 6. Engenharia elétrica – Dissertações. I. Magatão, Leandro. II. Rodrigues, Luiz Carlos de Abreu. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. IV. Título.

---

CDD: Ed. 22 – 621.3

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Título da Dissertação Nº. \_\_\_\_\_

# **Avaliação da Produtividade de uma Linha de Pintura de Veículos por meio de Simulação e Análise Financeira.**

por

**Paulo Roberto Drevek**

Orientador: Prof. Dr. Leandro Magatão (UTFPR)

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues (UTFPR)

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE EM CIÊNCIAS – Área de Concentração: **ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO E SISTEMAS** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, às 9h do dia 07 de outubro 2016. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores doutores:

---

Prof. Dr. Leandro Magatão  
(Presidente – UTFPR)

---

Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto  
(UFPR)

---

Prof. Dr. Ricardo Lüders  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

---

Prof. Jean Carlos Cardozo da Silva, Dr.  
(Coordenador do CPGEI)



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Menino Jesus de Praga e à Nossa Senhora Auxiliadora, por todos os caminhos iluminados e decisivos na minha vida, presente em todos os momentos.

À minhas filhas Simone Cristina, Ana Paula e Elaine Aparecida, que sempre me apoiaram neste desafio e incentivaram para continuar nesta caminhada.

Reverencio o meu orientador Prof. Dr. Leandro Magatão e meu coorientador Prof. Dr. Luiz Carlos de Abreu Rodrigues, pelo apoio e aconselhamento nos momentos difíceis, que foram compartilhados e que sempre conduziram com sábias palavras. Pessoas com quem muito aprendi e de quem mantenho um grande respeito e admiração. Agradeço pela amizade, competência e alto nível de profissionalismo a mim proporcionado ao longo deste desafio.

Ao então coordenador do CPGEI, Prof. Dr. Ricardo Lüders, que aceitou o projeto no programa de pós-graduação.

Ao colega João Alfredo Sikorski Van Der Neut Eng., por ter proporcionado minha participação junto ao projeto “Prêmio Renault Experience” realizado em 2014, cujo trabalho desenvolvido foi vencedor do concurso em nível nacional.

A todos os meus colegas de Mestrado, em especial ao Marcelo Meira e Paulo Cesar Bernaski, pela amizade, companheirismo, convivência, palavras de incentivos, orientações e aprendizado e pelo graduando Ruan Rithelle de Faria Franco Chagas, pela inestimável ajuda.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da UTFPR que muito contribuiu para que eu pudesse vislumbrar novos conhecimentos.

Aos colegas Regimar Michelin, Fabíola Campos, Felipe Souza, Egnaldo Lazarini, Eide Souza, Maximiliano Silva, Dante Fabianowski e Paulo Manoel Pinto Fernandes, profissionais da divisão industrial no Brasil, que disponibilizaram parte de seu tempo para participar do desenvolvimento das atividades e tecer considerações de grande valia para a estruturação e validação das atividades.



“Vivemos num mundo que é cheio de miséria e ignorância, e o dever simples de cada um e de todos é de tentar e fazer com que o pequeno recanto que possa influenciar seja um pouco menos miserável e um pouco menos ignorante do que era antes”.

Thomas Henry Huxley (1825–1895)



## RESUMO

DREVEK, Paulo Roberto. AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE UMA LINHA DE PINTURA DE VEÍCULOS POR MEIO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE FINANCEIRA. 129 p. Dissertação – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

O presente trabalho avalia a possibilidade de aumento da produtividade de uma linha de pintura de veículos localizada na região de Curitiba-PR, Brasil. A linha de pintura estudada tem um total de 117 postos de trabalho, ou estações, onde 30 deles são postos de *buffer* produtivo. A linha é alimentada por dois modelos de veículos, os quais podem ser pintados em várias cores sólidas ou metálicas, de acordo com a demanda. Uma diferença significativa ocorre, entretanto, no tratamento destas pinturas. Um *mix* de produção (quantidade e sequenciamento) que envolve cabines de cores sólidas e cores metálicas compartilham a mesma linha. Além disso, cores metálicas requerem operações adicionais devido à aplicação de verniz após a pintura. Neste caso, os mesmos robôs executam tanto a pintura quanto a aplicação de verniz. Diferenças de tempos de processamento das cabines nos postos podem ter impacto de ociosidade ao longo da linha de pintura, fato avaliado no presente trabalho. Há também outras razões para a ociosidade, como retrabalhos e retoques de defeitos ao longo do processo, comportamento e condições de inicialização (*warm-up*) e as incertezas na alimentação da linha. Devido à incerteza mencionada isso faz com que ocorra impacto no rendimento e, conseqüentemente, perdas na capacidade de produção. Por meio do modelo de simulação, busca-se avaliar a viabilidade das alternativas de solução do problema. A abordagem utilizada, neste caso, é dupla: *i*) uma simulação a eventos discretos é realizada utilizando *software* SIMIO®, que identifica a formação de gargalos produtivos e permite sugerir condições para aumento da produtividade; e *ii*) uma análise de viabilidade econômico-financeira é realizada no intuito de dimensionar os investimentos máximos, de acordo com critérios da empresa, para viabilizar os aumentos de produtividade indicados pela simulação a eventos discretos. Assim, enquanto o modelo de simulação tem como objetivo verificar como o processo é afetado por variações dos tempos de processamento nos postos, alimentação da linha, sequenciamento, retrabalhos, bem como a saída dos veículos pintados, a análise financeira indica se o aumento de produtividade sugerido é viável de ser implementado do ponto de vista de investimento necessário e retorno à companhia. Para o estudo de caso, a empresa forneceu dados de seis meses de operações da linha de pintura. Os resultados obtidos pela simulação sugerem a possibilidade de aumentos de produtividade de até 10% atuando-se em pontos específicos da linha (*e.g.*, posto gargalo detectado). A análise financeira indica investimentos necessários para tal condição produtiva otimizada. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem uma sistemática para avaliação da viabilidade de projetos no contexto da indústria automotiva.

Palavras-chave: Produtividade, Simulação a Eventos Discretos, Análise Financeira, Sequenciamento Produtivo, Pintura de Cabines de Veículos.



## ABSTRACT

DREVEK, Paulo Roberto. PRODUCTIVITY ASSESSMENT OF A VEHICLE PAINTING LINE BY SIMULATION AND FINANCIAL ANALYSIS. 129 p. Dissertation - Graduate Program in Electrical and Computer Engineering, Federal University of Technology - Paraná. Curitiba, 2016.

This study evaluates the possibility of increasing the productivity of a vehicle painting line located in the region of Curitiba, PR, Brazil. The studied painting line has a total of 117 stations, where 30 of them are buffer stations. The line is powered by two types of vehicles, which can be painted in several solid or metallic colors, according to demand. A significant difference occurs, however, between the treatments of paintings. A production mix (quantity and sequencing) involving solid colors and metallic colors share the same line. Moreover, metallic colors require additional steps due to the application of varnish after painting. In this case, the same robots perform both: painting and application of varnish coating. Differences in cabins' processing times at stations may cause idle times along the painting line, a fact evaluated in the presented study. There are also other reasons for idleness as rework fixes, startup conditions (warm-up), and uncertainties in the supply line. The mentioned uncertainty can cause impact on income and, consequently, losses in production capacity. By means of the simulation model, the viability of alternative solutions for the problem is evaluated. The approach used is twofold: *i*) a discrete event simulation is performed using SIMIO® software, which identifies the formation of production bottlenecks and it suggests conditions for increasing productivity; and, *ii*) a financial analysis is performed in order to scale the maximum investment, according to the company's criteria, to enable productivity increase indicated by the discrete event simulation. So, while the simulation model aims to determine how the process is affected by variations in processing times at stations, supply conditions of the line, sequencing, rework and the output of painted vehicles, financial analysis indicates whether the suggested increase in productivity is feasible to be implemented from the point of view of required investment and return to the company. For the case study, the company has provided data from six months of painting line operations. The results obtained by simulation suggest the possibility of productivity increase of 10% acting on specific points of the line (*e.g.*, detected bottleneck position). The financial analysis indicates the necessary investments for such optimized production condition. The obtained results in this study suggest a systematic assessment of the feasibility of projects in the context of the automotive industry.

Keywords: Productivity, Discrete Event Simulation, Financial Analysis, Production Scheduling, Paint Vehicles Cabs.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos Ciclos de Pintura de Cabines em Análise.....	37
Tabela 2 – <i>Layout</i> do custo unitário da pintura de cabines sólidas e metálicas.....	79
Tabela 3 – Demonstrativo de custo dos materiais da pintura de cabines sólidas e metálicas.....	80
Tabela 4 – Demonstrativo de custo de oportunidades e/ou monetários da pintura de cabines sólidas e metálicas.....	80
Tabela 5 – Demonstrativo de custo de conversão da pintura de cabines sólidas e metálicas.....	82
Tabela 6 – Demonstrativo de custo unitário da pintura de cabines sólidas e metálicas .....	82
Tabela 7 – Demonstrativo de outros custos da pintura de cabines sólidas e metálicas .....	83
Tabela 8 – Cálculo da redução de custos e produtividade.....	84
Tabela 9 – Cálculo da redução de custos de cabines sólidas e metálicas .....	85
Tabela 10 – Cálculo da produtividade de cabines sólidas e metálicas .....	86
Tabela 11 – Sumarização do comportamento observado nas estações para avaliação de gargalos produtivos. ...	90
Tabela 12 – Valores para avaliação da redução dos tempos de gargalo nos experimentos.....	92
Tabela 13 – Experimentos realizados.....	92
Tabela 14 – Cabines descartadas no processo.....	95
Tabela 15 – Custo unitário da pintura de cabines sólidas.....	97
Tabela 16 – Custo unitário da pintura de cabines metálicas.....	98
Tabela 17 – Ganhos de produtividade e redução de custos.....	103
Tabela 18 – Análise de Investimentos com TIR 10% .....	106
Tabela 19 – Análise de Investimentos com TIR 15% .....	109
Tabela 20 – Análise de Investimentos com TIR 20% .....	112



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estatística de Produção de Caminhões no Brasil (ANFAVEA, 2016) .....	21
Figura 2 - Ilustração do Processo de Pintura em Análise .....	28
Figura 3 - Detalhamento da Etapa <i>Top-Coat</i> do Setor de Pintura em Análise .....	30
Figura 4 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 87 a 89 .....	31
Figura 5 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posição 89 .....	31
Figura 6 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posição 90 .....	32
Figura 7 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 91 e 92 .....	33
Figura 8 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 93 a 95 .....	33
Figura 9 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 96 a 104 .....	34
Figura 10 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 105 e 106 .....	35
Figura 11 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 107 a 114 .....	35
Figura 12 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Posições 115 a 117 .....	36
Figura 13 - Etapa <i>Top-Coat</i> : Câmara Robotizada de Pintura .....	38
Figura 14 – Exemplificação de Processo.....	41
Figura 15 – Exemplificação de Erro em Processo (GALVÃO E MENDONÇA, 1999).....	42
Figura 16 – Estrutura de distribuição de custos (adaptado de BERNASKI, 2009).....	61
Figura 17 – Custeio por características (BRIMSON, 2001).....	65
Figura 18 – Sistemática de Análise de Produtividade Proposta .....	68
Figura 19 –Entidades utilizadas no modelo.....	68
Figura 20 – Exemplo de <i>Source</i> utilizado no modelo.....	69
Figura 21 – Exemplo de <i>Server</i> utilizado no modelo .....	69
Figura 22 – Exemplos de <i>Sink</i> utilizados no modelo.....	70
Figura 23 – Exemplos de Conectores utilizados no modelo.....	70
Figura 24 – Exemplo de Tabela de dados de entrada. ....	71
Figura 25 – Ilustração da parte inicial do modelo de simulação. ....	72
Figura 26 – Parte principal do modelo de simulação .....	73
Figura 27 – Parte final do modelo. ....	73
Figura 28 – Exemplificação da <i>Lookup Table</i> .....	74
Figura 29 – Ilustração de um <i>mix</i> produtivo 3x1 .....	75
Figura 30 – Exemplos de gráficos de pizza associados aos <i>servers</i> .....	75
Figura 31 - Resultados de um Experimento. ....	77
Figura 32 – Área Robotizada de Pintura.....	78
Figura 33 – Comportamento das estações com uma batelada de 500 cabines. ....	91

Figura 34 – Gráfico de produção de cabines com sequência 3x1.....	93
Figura 35 – Gráfico de produção de cabines com sequência aleatória.....	93
Figura 36 – Gráfico de custos da pintura de cabines sólidas x metálicas.....	98
Figura 37 – Avaliação da produtividade e redução de custos.....	99
Figura 38 – Cálculo de redução de custos.....	100
Figura 39 – Cálculo da produtividade.....	101
Figura 40 – Exemplificação de Cálculo e Resultados Obtidos para o OHPU.....	102
Figura 41 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 467.000.....	106
Figura 42 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 935.000.....	107
Figura 43 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 1.400.000.....	107
Figura 44 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 445.000.....	109
Figura 45 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 890.000.....	110
Figura 46 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 1.340.000.....	110
Figura 47 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 427.000.....	112
Figura 48 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 855.000.....	113
Figura 49 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 1.283.000.....	113
Figura 50 – Análise de Sensibilidade das Opções de Investimentos.....	114

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CSP	<i>Car Sequencing Problem</i>
DMI	<i>Direct Material Input</i>
DPO	<i>Domestic Processed Outputs</i>
DST	<i>Design Standard Time</i>
DSTR	<i>Design Standard Time Ratio</i>
EOM	<i>Equipment Original Manufacturers</i>
ET	Estação de Trabalho
FIG	Figura
FTE	<i>Full-Time Equivalent jobs or person</i>
h	Hora
HPU	<i>Hour Per unit</i>
HPV	<i>Hour Per Vehicle</i>
<i>n</i>	Número da Estação
NBR	Norma Brasileira
OHPU	<i>Organizational Hours per Unit</i>
p.	Página
PM	Pintura Metálica
PS	Pintura Sólida
%	Porcentagem
R\$	Reais
TCPA	Tempo na Cabine de Pintura
TDO	<i>Total Domestic Output</i>
TE	Tempo de Entrada
TG	Tempo de Gargalo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TP	Tempo de Postos
UM, \$	Unidade Monetária
un.	Unidade
US\$	Dólar Americano
VAUE	<i>Valor Anual Uniforme Equivalente</i>
VPL	Valor Presente Líquido



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1	O PROBLEMA ABORDADO.....	22
1.2	JUSTIFICATIVA .....	23
1.3	OBJETIVOS .....	25
1.3.1	Objetivo Geral .....	25
1.3.2	Objetivos específicos.....	25
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	25
1.5	ESTRUTURA.....	26
<b>2</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA DE PINTURA DE CABINES PARA VEÍCULOS EM ANÁLISE .....</b>	<b>27</b>
2.1	O SETOR DE PINTURA AUTOMOTIVA EM ANÁLISE.....	27
2.2	PROCESSO <i>TOP-COAT</i> .....	29
2.2.1	Detalhamento das Estações de Trabalho da Etapa <i>Top-Coat</i> .....	30
2.3	CÂMARA ROBOTIZADA DE PINTURA.....	37
2.4	DADOS TEMPORAIS DO ESTUDO DE CASO .....	38
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>41</b>
3.1	PROCESSOS E PRODUTIVIDADE.....	41
3.2	DESPERDÍCIOS NO PROCESSO PRODUTIVO.....	45
3.3	GARGALO DE PRODUÇÃO .....	47
3.4	O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO DE VEÍCULOS .....	49
3.5	VIÉS ECONÔMICO .....	50
3.5.1	Análise de Investimentos.....	50
3.5.2	Taxa Mínima de Atratividade - TMA .....	52
3.5.3	Fluxo de Caixa.....	52
3.5.4	Método do Valor Presente Líquido - VPL .....	53
3.5.5	Taxa Interna de Retorno – TIR.....	54
3.5.6	Tempo de Recuperação do Capital – <i>PAYBACK</i> .....	56
3.5.7	Índice de Lucratividade .....	57
3.5.8	Teoria da Decisão .....	57
3.5.9	Custo do Produto .....	58
3.5.10	Definição de Custos x Receitas x Despesas .....	59

3.5.11	Metodologias de Estimativa de Custeio de Produtos e Serviços.....	63
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA: MODELO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE FINANCEIRA .....</b>	<b>67</b>
4.1	MODELO DE SIMULAÇÃO: RECURSOS UTILIZADOS .....	68
4.1.1	<i>ModelEntity</i> .....	68
4.1.2	<i>Source</i> .....	68
4.1.3	<i>Server</i> .....	69
4.1.4	<i>Sink</i> .....	70
4.1.5	Conectores .....	70
4.2	MODELO DE SIMULAÇÃO: ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO.....	70
4.3	MODELO DE SIMULAÇÃO: COLETA DE RESULTADOS.....	75
4.4	ANÁLISE ECONÔMICA: MÉTODO DO CÁLCULO DE CUSTOS .....	77
4.4.1	Detalhamento de Custos Utilizados no Modelo .....	80
4.4.2	Redução de Custos e Produtividade .....	83
4.5	ANÁLISE ECONÔMICA: AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS.....	87
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>89</b>
5.1	MODELO DE SIMULAÇÃO: RESULTADOS OBTIDOS .....	89
5.1.1	Modelo de Simulação: Identificação de gargalos.....	89
5.1.2	Modelo de Simulação: Experimentos realizados. ....	91
5.2	ANÁLISE FINANCEIRA: RESULTADOS OBTIDOS .....	96
5.2.1	Análise Financeira: Determinação de Custos.....	96
5.2.2	Análise Financeira: Viabilidade de Investimentos .....	103
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>117</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE 1 – TABELA DOS TEMPOS DO PROCESSO EM ANÁLISE.....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE 2 – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE SAÍDA DO SOFTWARE SIMIO</b>	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização e os processos manufatureiros fazem parte hoje de um contexto produtivo que vai em face a otimizações, redução de desperdícios e aumento de produtividade. Toma-se por premissa que a concorrência e a competitividade de mercado, ainda mais com exportações, reforça esta hipótese e, assim, a produtividade com qualidade são fatores importantes e relevantes para sobrevivência de uma empresa no mercado. Isto se aplica num contexto de vários setores produtivos, não sendo diferente no setor automobilístico: desde as montagens até todas as atividades e ações do processo produtivo, o sentimento pela otimização é uma constante. A Figura 1 a seguir ilustra o crescimento da produção de caminhões fabricados no Brasil ao longo das últimas décadas. Melhorias obtidas nos processos produtivos tendem a beneficiar um volume significativo de unidades a serem produzidas.



Figura 1 - Estatística de Produção de Caminhões no Brasil (ANFAVEA, 2016)

Dentro deste viés, e tomando-se por base os processos de manufatura na indústria automobilística, chega-se à questão da produção das cabines de veículos. Um ponto específico neste contexto é a pintura das cabines, a qual possui várias etapas. Uma etapa de revestimento final da pintura, denominada etapa *top-coat*, pode ser aplicada às pinturas do tipo sólidas e metálicas, etapa esta de significativa dificuldade operacional e que será estudada no presente trabalho.

A linha produtiva em análise é a mesma tanto para cabines sólidas quanto para metálicas, porém a pintura metálica requer um ciclo adicional de circulação na etapa de *top-coat* (recirculação) em relação à pintura sólida, que passa somente uma vez pelos postos de trabalho. A recirculação para pinturas metálicas, com a devida aplicação de verniz às cabines, é uma característica que pode

gerar gargalos produtivos. É necessário observar questões relativas a, por exemplo, o sequenciamento produtivo das cabines na linha compartilhada.

Dadas as características e particularidades de uma linha de pintura de cabines de veículos na etapa *top-coat*, induz-se à necessidade de aplicação de processos produtivos otimizados. Não raras são as perdas de tempo na produção devido à existência de cabines sólidas e metálicas coexistindo na mesma linha de pintura e, neste viés, desperdícios e perdas econômicas são geradas. Faz-se necessário uma atenção especial a esse caso, visto que a produção em série acumula erros e perdas (através de desperdícios de tempo). Assim, para avaliar esse problema, é necessário observar conceitos de produção otimizada, diminuição de desperdícios e processos ociosos. Dessa forma, o problema em análise merece trato científico.

## 1.1 O PROBLEMA ABORDADO

O processo de pintura de cabines de veículos em análise envolve, em toda amplitude de seu contexto *top-coat*, uma série de posições (postos da linha) e, posição por posição, um tempo médio de ação e atividade nas mesmas. Cada posição tem uma finalidade dentro do processo e da sequência, de tal sorte que, atrasos até mesmo aparentemente pequenos podem causar prejuízos finais relevantes ao fluxo produtivo.

A linha de pintura estudada tem um total de 117 postos, ou estações, onde 30 deles são postos de *buffer* produtivo. A linha é alimentada por dois modelos de veículos, os quais podem ser pintados em várias cores sólidas ou metálicas, de acordo com a demanda. A operação da linha não é afetada significativamente por tempos de preparação em função das diferenças de cores (*set-up*), devido a investimentos já realizados na automação de processos. Uma diferença significativa ocorre, contudo, no tratamento de pinturas do tipo sólida e do tipo metálica. Um *mix* de produção (quantidade e sequenciamento) que envolve cabines de cores sólidas e cores metálicas compartilham a mesma linha. Os 87 (117-30) postos produtivos associados à linha de pintura podem ter diferentes tempos de processamento. Além disso, cores metálicas requerem operações adicionais devido à aplicação de verniz após a pintura. Neste caso, os mesmos robôs executam tanto a pintura quanto a aplicação de verniz. Diferenças de tempos de processamento das cabines nos postos podem ter impacto de ociosidade ao longo da linha de pintura, fato avaliado no presente trabalho. Há também outras razões para a ociosidade, como correções, retrabalhos de defeitos, os tempos de manutenção de linha, condições de inicialização (*warm-up*) e as incertezas na alimentação da linha.

No Capítulo 2 detalha-se todas as etapas envolvidas no processo de pintura, enfatizando-se a de acabamento final (*top-coat*). Ressalta-se que um atraso de segundos nesta etapa final da linha torna-se cumulativo, gerando perdas, gargalos e esperas. Desta forma, é um processo que precisa ser otimizado buscando-se a redução de desperdícios.

Tomando exclusivamente a etapa *top-coat* e sua diversidade de postos de trabalho, cada qual com sua função, segue-se a busca por uma solução a possíveis problemas gerados por diferenças entre pinturas sólidas/metálicas e formação de gargalos, lançando-se o estudo delineado pela seguinte problemática: **É viável, do ponto de vista técnico/econômico, otimizar a produtividade da etapa *top-coat* do setor de pintura de cabines sólidas e metálicas de uma indústria automobilística em estudo?**

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a importância e relevância do trato do presente tema, em termos industriais e de manufatura na produção de cabines de veículos, visto que os resultados do estudo poderão, de maneira direta ou indireta, acarretar em benefícios para a pintura de cabines de veículos, para o mercado consumidor deste produto e estado atual do conhecimento científico no tema. Afinal, a redução de perdas e o estudo de problemas em uma linha produtiva já, por si só, são impactantes e benéficos.

Com relação à pintura de cabine de veículos, busca-se que os resultados do trabalho possam vir a reduzir os desperdícios de tempo e, conseqüentemente financeiros, no que diz respeito à otimização dos processos automatizados de pintura na área de *top-coat*. Isto observado, por exemplo, por condições adequadas de abastecimento que evitem a formação de gargalos produtivos. Conforme levantamento técnico efetuado, a cabine metálica requer uma passagem adicional no ciclo de pintura, em especial nas estações de aplicação de verniz através de robôs, cujo processo não é utilizado pelas cabines de pintura sólida. Menciona-se que essas cabines podem estar passando no segundo ciclo juntamente com as cabines sólidas de ciclo único e que as metálicas demoram aproximadamente duas vezes mais tempo na etapa *top-coat* para ficarem prontas do que as sólidas. Se não houver um abastecimento adequado, certamente haverá gargalos, perdas de tempo e impactos negativos de custos. Os resultados do trabalho buscam evidenciar tal fato e evitar este risco potencial.

Já com relação ao mercado consumidor das cabines de veículos, observa-se que o benefício a eles deverá vir por intermédio da redução do preço de aquisição. Neste viés observa-se que,

evitando-se desperdícios junto ao processo manufatureiro, reduz-se o custo da produção e, conseqüentemente, esta redução pode ser repassada para o cliente em forma de menores preços. Ressalta-se que, em um processo otimizado, tanto fornecedores quanto compradores possuem benefícios potenciais.

Sobre a questão da educação (ciência), reforça-se que os resultados do trabalho podem, como apresentados, vir a incentivar novas pesquisas e estudos a respeito. Ainda e por questões pedagógicas, junto às instituições de ensino superior de engenharia de produção e manufatura, induz-se que os resultados podem ser disseminados, até mesmo em sala de aula, possibilitando uma formação específica mais detalhada no que concerne ao processo abordado, no caso a pintura de cabine de veículos.

Por fim, e pelo lado do estado atual do conhecimento, ressalta-se que os resultados da pesquisa evidenciam um incremento do que já se conhece sobre a operacionalização de pinturas de cabine de veículos. Releva-se essa importância, dentro do contexto produtivo visto que, a nível nacional e internacional, existem poucas indústrias que lidam com esses processos. A saber, são processos caros e de empresas específicas. Envolvem tecnologias avançadas e de elevados custos de processos e equipamentos dispendiosos, o que torna as referidas linhas de pintura bastante características e, muitas vezes, não abordadas adequadamente pela pesquisa e produção de conhecimento. De sorte, o resultado do trabalho é um avanço nesta direção.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar do ponto de vista operacional e econômico-financeiro a viabilidade de incremento da produtividade de uma linha de pintura de cabines de veículos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Investigar o setor de pintura de cabines de uma empresa localizada na região metropolitana de Curitiba-PR, obtendo detalhes operacionais e dados de funcionamento do setor;
- b) Implementar um modelo de simulação a eventos discretos que represente, do ponto de vista operacional, o setor de pintura em análise, em particular a etapa *top-coat*;
- c) Realizar experimentações com o modelo de simulação no intuito de evidenciar possibilidades de incrementos de produtividade e as condições necessárias para que estes incrementos ocorram;
- d) Realizar análise econômica-financeira que evidencie os investimentos máximos possíveis para implementar as mudanças sugeridas pelo modelo de simulação, em prol do incremento de produtividade.
- e) Sugerir uma sistemática para análise de viabilidade de projetos a partir de uma simulação a eventos discretos seguida de uma análise econômica-financeira.

## 1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O estudo delimita-se segundo os conceitos e entendimentos das ciências tecnológicas, direcionando-se para a engenharia. Enfoca a questão da operacionalização de processos, buscando a redução de ociosidades de tempo. A abordagem proposta é exclusiva para o setor de pintura de cabine de veículos em estudo, considerando as possíveis combinações de variáveis pintura sólida (PS) e pintura metálica (PM). O enfoque do trabalho dá-se à etapa (atividade) *top-coat*, atividade com postos de trabalho automatizados.

## 1.5 ESTRUTURA

Estruturalmente o texto é disposto segundo seis capítulos, dentre os quais a introdução e as considerações finais.

O Capítulo 1, “Introdução”, apresenta de forma breve o trabalho, de modo a traçar as linhas gerais da condução lógica e metodológica do mesmo. Mostra a motivação (problemática) e justificativa (importância e relevância) para o trato do problema em análise, objetivos a serem alcançados, limitações e a disposição estrutural do trabalho.

O Capítulo 2 descreve o “Problema” abordado, possibilitando ao leitor uma visão preliminar de características do problema em estudo.

No Capítulo 3 é apresentada a “Fundamentação Teórica” do trabalho. Tem como objetivo apresentar uma revisão de alguns estudos sobre casos diretos ou paralelos que envolvem o tema delimitado.

O Capítulo 4 traz a “Metodologia” adotada para a avaliação do aumento de produtividade da linha de pintura de veículos em análise, a qual consistiu de uma abordagem com dois estágios complementares, envolvendo um modelo de simulação a eventos discretos e uma análise financeira.

O Capítulo 5 traz os “Resultados” evidenciados pelo modelo de simulação desenvolvido, quando aplicado aos dados do estudo de caso, e também os indicadores determinados pela análise financeira a partir das sugestões dadas pelo modelo de simulação.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as “Considerações Finais do Trabalho” indicando, também, recomendações para trabalhos futuros.

## 2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA DE PINTURA DE CABINES PARA VEÍCULOS EM ANÁLISE

O presente capítulo detalha o problema em estudo. Aspectos a serem considerados para a análise de produtividade realizada *a posteriori* são ressaltados.

### 2.1 O SETOR DE PINTURA AUTOMOTIVA EM ANÁLISE

A pintura automotiva pode ser entendida como um processo produtivo envolvendo ações, atividades e processos, nos quais o objetivo final é a pintura da cabine como um todo ou de partes e peças que a compõe. No caso em estudo, tem-se uma linha de modelo misto (SCHOLL, 1999) onde são pintadas cores sólidas e metálicas.

A Figura 2, a seguir, ilustra o processo de pintura em análise. A linha é composta por processos específicos nos quais são desempenhadas diferentes atividades. É necessário seguir a sequência numérica dos postos para delinear o fluxo produtivo no chão-de-fábrica (Entrada no posto 1; Saída no posto 117).

Ao entrar no setor de pintura, a cabine, primeiramente, passa pelo **pré-tratamento** e aplicação do *e-coat*, processo no qual são realizados banhos de imersão e por jatos, cujo objetivo nestas primeiras etapas é realizar a limpeza da cabine. Posteriormente, é aplicada uma camada de proteção anti-corrosão nas chapas que compõem a cabine.

Entre o primeiro processo e o segundo há um estoque intermediário com capacidade para quinze cabines. A principal razão desse estoque é para o esvaziamento completo da área do *e-coat*, visto que as cabines não podem permanecer tempos muito longos nesse setor.

O segundo processo é denominado **selante**. Na área de aplicação do selante, ocorre também a aplicação de um produto de calafetação, responsável por evitar a passagem de água entre as juntas das chapas, além de melhorar a resistência do material contra possíveis impactos de pedras e outros objetos na parte inferior da cabine. O processo de selante termina com a passagem da cabine por uma estufa para cura do produto. Em seguida, a cabine é transportada para uma área de resfriamento.

## Entendendo o Processo de Pintura

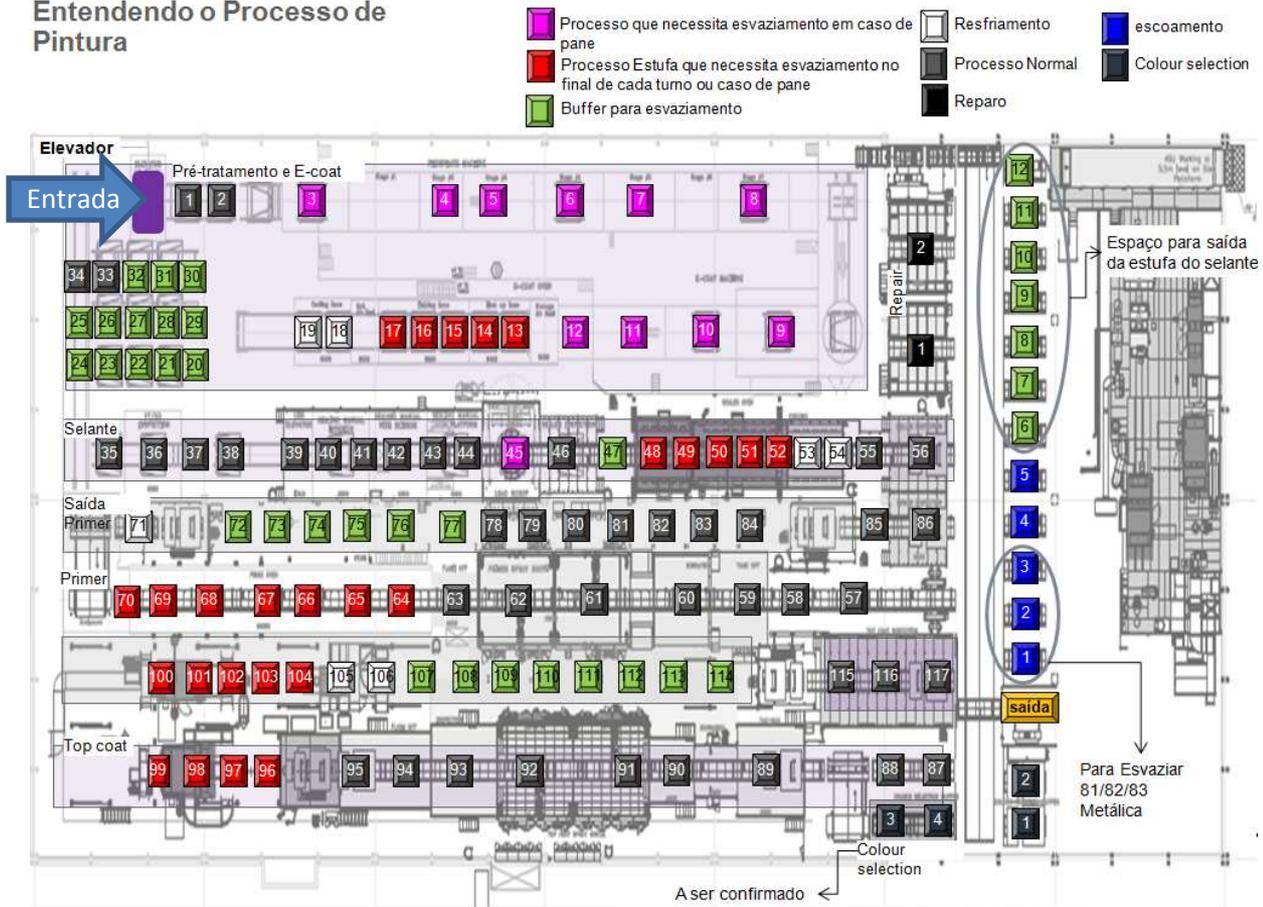


Figura 2 - Ilustração do Processo de Pintura em Análise

O setor posterior ao selante é denominado *primer*, processo no qual ocorre a aplicação robotizada e manual de uma camada de tinta, também chamada de *primer*. Vale ressaltar que existem peças plásticas que fazem parte da cabine e passam por um processo separado da cabine até a entrada do *primer*, local em que as peças plásticas e metálicas são unidas (o jargão operacional para este fato é “casamento”) e passam a acompanhar a cabine nos demais processos. Por esse motivo, a alteração da sequência de produção das cabines é praticamente inviável até esse ponto do processo, pois seria também necessário reorganizar o sequenciamento das peças plásticas. Ou seja, a cabine já possui uma sequência pré-determinada na entrada do *primer*. Existe, contudo, uma pequena flexibilidade para o caso de falhas ou problemas de qualidade no processo, porém não suficiente para absorver uma grande alteração na sequência produtiva.

O processo de *primer* termina após a passagem da cabine pela estufa de *primer*, mais especificamente no posto 86, mostrado na Figura 2. Após a passagem pelo posto 86, a cabine é conduzida via mesa transportadora, que pode levá-la para o *buffer* intermediário em frente à linha de *primer*, ou para o posto 87 que é a entrada da etapa denominada de *top-coat*. No *top-coat*, a última camada de tinta é aplicada na cabine de maneira robotizada. Contudo, na etapa *top-coat* o fluxo de cabines com cores sólidas é diferente das cores metálicas, bem como seu tempo total no

processo. Assim, a camada final da pintura de cabines de veículos concentra-se nas estações de trabalho (ET) da etapa denominada *top-coat* (et 87 a 117). A seção, a seguir, faz a caracterização desta etapa, dando ênfase especial à câmara robotizada de pintura.

## 2.2 PROCESSO *TOP-COAT*

A Figura 3, a seguir, ilustra a etapa *top-coat* do setor de pintura em análise, a qual envolve as estações de trabalho 87 a 117. As cabines de cores sólidas ao saírem do *primer* no posto 86 entram no *top-coat* pelo posto 87 e passam por todo o processo de aplicação do *top-coat*, incluindo as estufas de cura da pintura e posterior resfriamento. As cabines de cores metálicas também realizam este mesmo processo, porém duas vezes, ou seja: quando a cabine é pintada com uma cor metálica e/ou perolizada, é necessário repetir o processo para que, na segunda passagem (recirculação), seja aplicado verniz como camada final. Além disso, a aplicação da primeira camada de tinta metálica possui um tempo de ciclo superior ao da camada de tinta sólida. Dessa forma, surgem alguns problemas de produtividade relacionados ao *mix* e à sequência de cabines sólidas e metálicas na linha de pintura. Uma cabine metálica ocupa um tempo superior ao de cabines sólidas para ser pintada, conforme indicado no Apêndice 1, afetando, assim, a capacidade de produção.

O Departamento de Planejamento e Controle de Produção (PCP) programa a sequência de cabines que entram na área de pintura visando diminuir a influência das cabines de cores metálicas no tempo de ciclo do processo. No ambiente fabril supõe-se que um número elevado de cabines metálicas em sequência pode sobrecarregar o setor de pintura, elevando em demasia o tempo de ciclo, ou seja, afetando a produtividade do sistema. Há, também restrições nesta sequência de cabines devido a limitações impostas pelo setor de solda, o qual “alimenta” o setor de pintura. Contudo, nem sempre o setor de solda fornece as cabines conforme o sequenciamento programado. Isso ocorre porque o setor de solda possui três linhas diferentes e, caso ocorra algum problema em uma delas, a sequência previamente determinada pode ser alterada antes de entrar na pintura.

Dentro do escopo do presente trabalho estuda-se a influência de alterações da sequência de entrada no setor de pintura de cabines a serem pintadas com cores sólidas/metálicas, a influência do tempo de entrada entre as cabines na pintura, ou seja, o tempo necessário para que a solda forneça as cabines para a pintura e a influência da variação do tempo de operação nos postos gargalo. Todos esses fatores são avaliados quanto ao seu respectivo impacto na produtividade do sistema.

## Entendendo o Processo de Pintura



### Para Pintura Sólida (Ciclo 1):

Entra no 87 e segue o ciclo até 117. Passa pela Câmara de Pintura Robotizada (91 e 92) com tinta sólida e sai em 117.

### Para Pintura Metálica: (Ciclo 1 + Ciclo 2)

Completado o ciclo 1, a cabine retorna no posto 87 e inicia o ciclo 2. A diferença do ciclo 1 é que na Câmara de Pintura Robotizada (91 e 92), a cabine já com a tinta sólida, recebe a camada de verniz. Continua o resto do ciclo e sai em 117.

Figura 3 - Detalhamento da Etapa *Top-Coat* do Setor de Pintura em Análise

## 2.2.1 Detalhamento das Estações de Trabalho da Etapa *Top-Coat*

### a) Posições de 87 e 88

Estas duas estações possuem características especiais onde, além da entrada das cabines para a aplicação do *top-coat*, são selecionadas as cores a serem utilizadas na pintura das respectivas cabines. Além disso, nestas estações de trabalho há uma oportunidade de contatar com o pessoal do laboratório de preparação de tintas e, quando necessário, comunicar eventuais necessidades de adequação ou correção no abastecimento dos materiais composto por tintas e vernizes. A Figura 4 ilustra as posições 87 e 88.



Figura 4 - Etapa *Top-Coat*: Posições 87 a 89

b) Posição 89

Ilustrada na Figura 4 e Figura 5, é uma estação de preparação, limpeza e retirada de eventuais aderências e/ou impurezas existentes nas cabines. Eventuais resíduos poderão desencadear contaminação e, conseqüentemente, possível retrabalho e riscos de *scrap* (fragmentos). Nesta estação utilizam-se produtos específicos e o *Tag Rag*, uma espécie de pano (tecido) para realizar a limpeza da cabine. De fato, na estação 89 ocorre o “teste de pano” para identificação de possíveis falhas no processo anterior e preparação para a aplicação de *top-coat*.



Figura 5 - Etapa *Top-Coat*: Posição 89

c) Posição 90

Após a limpeza na estação 89, a cabine é transportada para a estação de aplicação de ar ionizado (Figura 6), também para a retirada de impurezas e possíveis contaminações. Este trabalho é executado pelo operador da estação por meio de uma pistola pneumática. Inicia-se o processo pelas peças plásticas e depois nas partes internas e externas da cabine. Os movimentos devem ser constantes e uniformes, de cima para baixo.



Figura 6 - Etapa *Top-Coat*: Posição 90

d) Posições 91 e 92

Área de trabalho responsável pela aplicação efetiva da camada *top-coat* nas cabines e peças plásticas, conforme ilustrado na Figura 7. O trabalho é realizado integralmente por 6 robôs de aplicação programados para a execução da tarefa. Nestas estações são aplicadas as camadas finais de tintas e vernizes. A estação 91 é responsável pela primeira demão e a estação 92 pela segunda demão de aplicação dos materiais de cobertura final da pintura. As cabines de cores sólidas passam somente uma vez nestas estações, enquanto as cabines de cores metálicas e/ou perolizadas passam duas vezes ou seja: uma passagem para a pintura de tinta e outra passagem para a cobertura final de verniz.

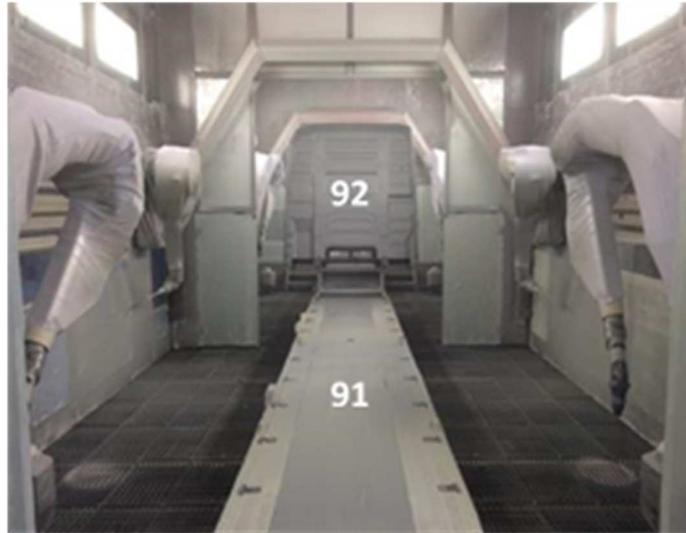


Figura 7 - Etapa *Top-Coat*: Posições 91 e 92

e) Posições 93 a 95

Nestas estações de trabalho (Figura 8) ocorre a evaporação do solvente aplicado nas cabines após a etapa *top-coat*. Esta operação é parte integrante do processo de pós-tratamento da cobertura, com a função de eliminar, através da aplicação de solvente por evaporação, ou *flash off*, todo resíduo volúvel da composição dos materiais aplicados na pintura de cabines.

A Figura 8 indica a presença de uma mesa e um elevador. Estes elementos não são numerados na Figura 3, e possuem a tarefa de transferir a cabine para a estufa onde será realizada a cura do *top-coat*.



Figura 8 - Etapa *Top-Coat*: Posições 93 a 95

## f) Posições 96 a 104

A estufa de cura do *top-coat* possui capacidade de produzir a cura de até nove cabines por vez. A cura tem a função de secagem rápida e uniforme da camada de tinta e/ou verniz aplicados nas cabines por meio de robôs. Na estufa são realizados ciclos de cura do *top-coat* em temperatura de 80°C. O controle de qualidade do processo indica a obrigatoriedade de esvaziamento do compartimento de cabines quando não houver operação nesta área, ou seja, não devem permanecer cabines nesta área em caso de parada de linha ou troca de turnos de trabalho. Em termos práticos, é usual ocorrer um deslocamento dos turnos de trabalho de alguns operadores de forma a evitar a necessidade de total esvaziamento desta área a cada troca de turno.



Figura 9 - Etapa *Top-Coat*: Posições 96 a 104

## g) Posições 105 e 106

Após o processo de cura das cabines nas estações anteriores é realizado o resfriamento das mesmas nas estações 105 e 106. Esta operação tem a finalidade de reduzir a temperatura das cabines que são retiradas da estufa a aproximadamente 80°C para temperatura ambiente, em torno de 22°C. O processo é executado de modo que as unidades possam na sequência ser manuseadas pelos operadores. Dentre estas posições estão a estufa da secagem da aplicação do *top-coat*.

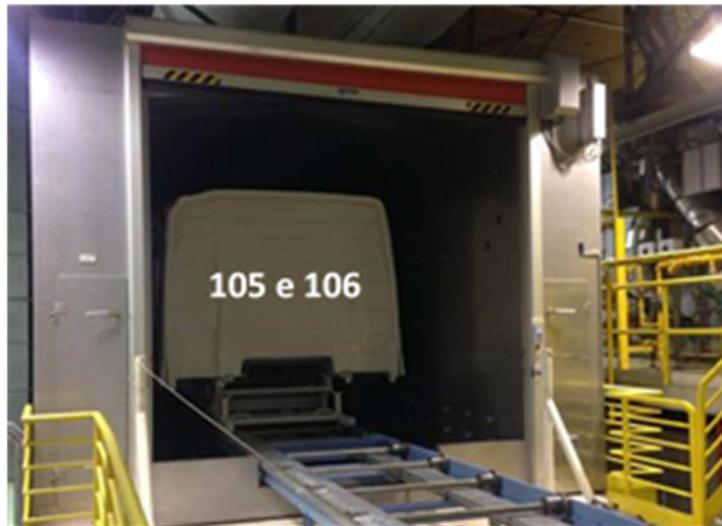


Figura 10 - Etapa *Top-Coat*: Posições 105 e 106

h) Posições 107 a 114

Estas estações de trabalho possuem a função específica de *buffer* de esvaziamento da área de estufa de cura do *top-coat*. Este *buffer* de esvaziamento das cabines ocorre após a passagem pelas estações de aplicação de *top-coat* e resfriamento das cabines. Há necessidade operacional, em casos de esvaziamento completo das estações de cura (posições 96 a 104), destas estações de trabalho antes da inspeção final e liberação das cabines.



Figura 11 - Etapa *Top-Coat*: Posições 107 a 114

## i) Posições 115 a 117

Há um elevador que desce as cabines do *strip out* para as posições 115 e 116. Estas estações que antecedem a inspeção final permanecem como *buffer* das cabines para serem inspecionadas no posto 117.

A inspeção final é realizada apenas na estação 117 (“palco de inspeção”), onde se encontram os acessos da cabine, como escada para inspeção do teto e das partes superiores das laterais. Esta inspeção final é feita de forma sistêmica e o operador, munido das informações dos postos anteriores, efetua a inspeção final. Na sequência, a cabine é liberada para o estoque final, localizado na área externa da fábrica, de onde é transportada para a área de montagem de veículos, localizada em outro prédio do ambiente fabril. Se algum item da cabine necessitar de reparo, a mesma será transferida para a área de retrabalhos, localizada nos postos 3 e 4 próximos à saída da inspeção final.

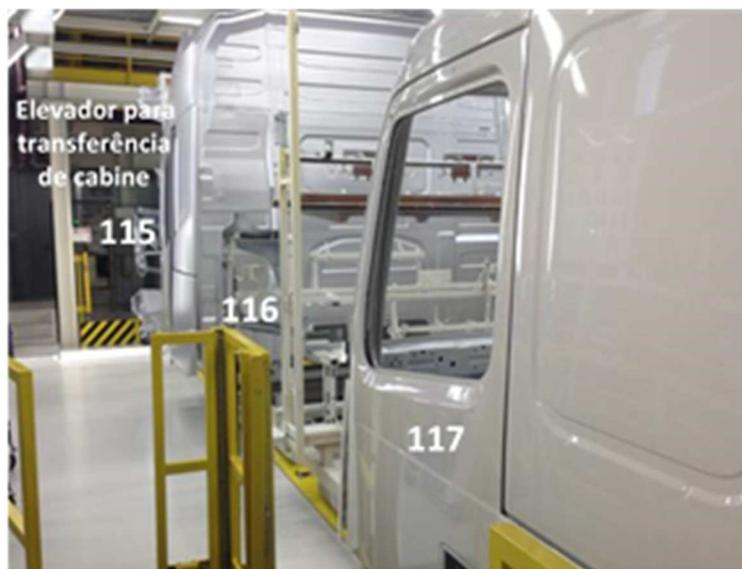


Figura 12 - Etapa *Top-Coat*: Posições 115 a 117

A Tabela 1, a seguir, sumariza o ciclo de pintura de cabines em cores sólidas, e também o primeiro ciclo para cabines metálicas, para o cenário analisado. A diferença fundamental para a pintura metálica é a aplicação do verniz na câmara robotizada de pintura (Figura 7) em uma repetição deste ciclo, conforme ilustrado na Figura 3.

Tabela 1 – Resumo dos Ciclos de Pintura de Cabines em Análise

	Passos	Posições	Descrição	O que é feito
<b>CICLO 1</b>  Para Pintura Sólida e Primeiro Ciclo da Metálica	1	87 a 88	Entrada das cabines na linha <i>Top Coat</i>	Deslocamento das cabines até a câmara de pintura robotizada com opção de seleção de cores.
	2	89	<i>Tag Rag Top-Coat</i>	Estação de preparação, limpeza e retirada de eventuais aderências e/ou impurezas existentes nas cabines e no ambiente de trabalho.
	3	90	Aplicação de Ar Ionizado	Estação onde é executado o trabalho de limpeza com ar ionizado pelo operador por meio da utilização de pistola pneumática.
	4	91 e 92	Câmara Robotizada de Pintura.	Compartimento destinado à operação de aplicação robotizada à base de tinta de acabamento para cobertura final de pintura das cabines com base em processo eletrostático.
	5	93 a 95	Câmara de Vento com Evaporação ou <i>Flash off</i>	Espaço destinado a eliminação de partículas existentes no ambiente de pós-pintura, evitando-se, assim, os riscos de contaminação das cabines pintadas.
	6	96 a 104	Estufa de cura	Compartimento fechado com temperaturas médias de 80°C, utilizado para a secagem e cura das cabines pintadas na estação anterior. Este compartimento deve ser esvaziado sempre que houver paradas ou trocas de turnos de trabalho.
	7	105 e 106	Resfriamento de Cabines	Reduzir, através de processo de resfriamento, a temperatura das cabines que são retiradas da estufa de cura com temperatura de 80°C reduzindo para temperatura ambiente, em torno de 22°C.
	8	107 a 114	<i>Buffer</i> ou <i>Strip-Out</i> de esvaziamento	<i>Buffer</i> de retirada das cabines do processo de cura antes da inspeção final e eventual espaço para troca de turno.
	9	115 a 117	Inspeção final e liberação	Estação de inspeção final e entrega de cabines para a área de estoque intermediário da linha de produção de veículos.

### 2.3 CÂMARA ROBOTIZADA DE PINTURA

A Figura 13 a seguir ilustra operações de aplicação de tinta ocorrendo na câmara robotizada de pintura. Conforme mencionado, a etapa *top-coat* envolve a operação robotizada de pintura à base de tinta para cobertura das cabines e acabamento final, em compartimento específico na linha de pintura, com a utilização de robôs no processo industrial (postos 91 e 92).

Na Figura 13 destacam-se as posições (a) a (f), elencando-se a evolução das cabines desde a entrada (a) até a saída do posto 92 (f). Vale notar que na posição (d) há o “casamento” das peças plásticas com a parte estrutural da cabine. Deste modo, as peças plásticas de um referido veículo são

pintadas juntamente com a estrutura do veículo ao qual serão destinadas, evitando-se eventuais diferenças de tonalidade na pintura, além de um melhor aproveitamento de tempos e materiais.

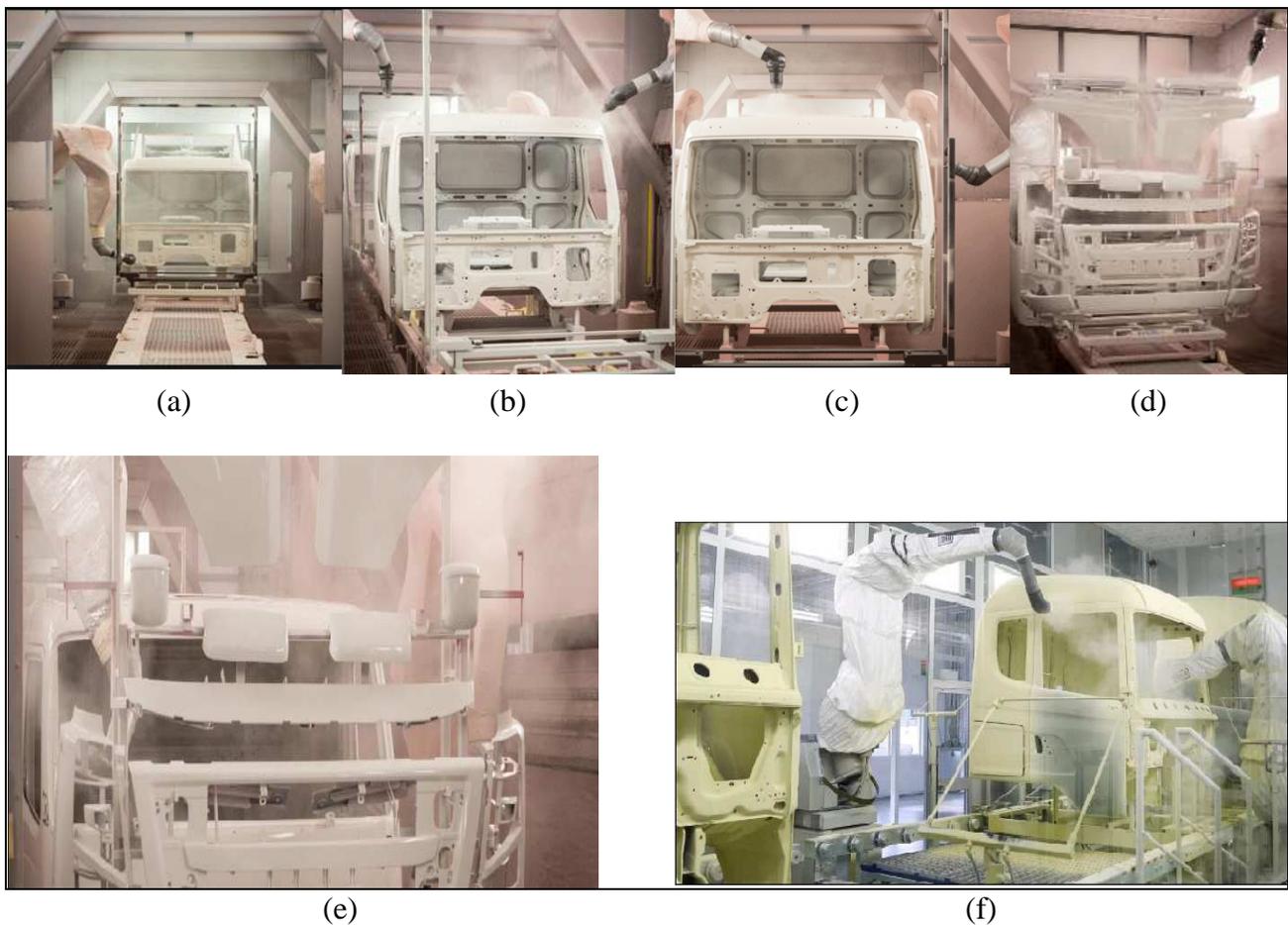


Figura 13 - Etapa *Top-Coat*: Câmara Robotizada de Pintura

## 2.4 DADOS TEMPORAIS DO ESTUDO DE CASO

As informações coletadas nos relatórios e apontamentos diários de produção, junto ao controle de qualidade do processo de pintura de cabines de veículos, constituem informações relevantes aos aspectos qualitativos e quantitativos do presente trabalho. Para o levantamento de dados, foi efetuada uma coleta durante um período de seis meses de produção. Foram coletadas informações em relação à probabilidade de ocorrência de distúrbios no processo de produção, como exemplo: retoques, retrabalhos e rejeições (*scrap*). Também foram coletados os tempos de processos e durações praticadas de turnos de trabalho. Ressalta-se que os retoques e retrabalhos são distúrbios ocorridos durante o processo de preparação e pintura das cabines, cujos defeitos identificados nas inspeções são encaminhados para intervenção em área específica destinada à

atividade de recuperação. Após o evento a cabine é devolvida para a estação de trabalho de onde foi retirada. A rejeição ou *scrap* ocorre por uma falha grave no processo de preparação e pintura (e.g., queima da cabine na estufa de cura). Neste caso, não há condição de recuperação e a cabine é levada para uma área específica, para descarte.

Os dados apresentados no Apêndice 1 detalham os tempos de processamento de cada estação avaliada. As equações (1) e (2), a seguir apresentadas, resumem a obtenção do tempo total de processamento associado às cabines sólidas ( $TPsol$ ) e metálicas ( $TPmet$ ), valores dados em unidades temporais (U.T.). Ressalta-se que ao longo do período de observação de seis meses notou-se que os tempos em si dos processamentos nas estações de trabalho não variavam significativamente, podendo ser considerados determinísticos. Justifica-se este fato também por meio da explicação do processo realizada nas seções 2.2 e 2.3, onde nota-se a predominância de procedimentos automatizados nos processos.

$$TPsol = \sum_{n=1}^{117} Tsolida(n) = 524,53 \text{ U. T.} \quad (1)$$

$$TPmet = \sum_{n=1}^{117} Tmetal\_1(n) + \sum_{n=87}^{117} Tmetal\_2(n) = 630,31 \text{ U. T.} \quad (2)$$

onde,  $n$  é o número da estação,  $Tsolida(n)$  inclui o tempo de processo e o tempo de movimentação de cabines sólidas em cada estação  $n$ ;  $Tmetal\_1(n)$  inclui o tempo de processo e de movimentação de cabines metálicas em cada estação  $n$ , primeira passagem;  $Tmetal\_2(n)$  inclui o tempo de processo e de movimentação de cabines metálicas em cada estação  $n$ , segunda passagem, todos valores retirados do Apêndice 1.

Desta forma, sumariza-se as seguintes informações coletadas ao longo do período de observação de seis meses:

- Tempos dos processos produtivos nas estações de trabalho (Apêndice 1);
- Ocorrências de retoques e retrabalhos;
- Ocorrências de rejeições (*scrap*).

A ocorrência dos distúrbios no período analisado (6 meses) soma as seguintes incidências, em percentuais:

- Retoques e Retrabalhos na Aplicação de *E-Coat*, Selante e *Primer* (et1 à et86): **0,20%**.
- Retoques e Retrabalhos na Aplicação de *Top-Coat* (et87 à et117): **7,90%**.
- Ocorrências de rejeições (*scrap*): **0,30%**.

As informações relativas à duração dos turnos de trabalho podem ser sumarizadas conforme segue, valores dados em horas:

▪ 1º Turno	<b>8,25 h</b>
▪ 2º Turno	<b>7,75 h</b>
▪ 3º Turno	<b>5,50 h</b>
▪ Total de horas em 3 turnos	<b>21,50 h</b>

A partir da descrição temporal dos principais dados do processo em estudo, e das demais características do problema a ser abordado tratada nas subseções preliminares ao presente capítulo, segue-se no Capítulo 3 a fundamentação teórica da dissertação. Assim, já com a apresentação prévia ao leitor do problema em estudo (Capítulo 2) objetiva-se facilitar a observação entre os aspectos teórico-práticos do trabalho.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo a revisão de alguns estudos sobre casos diretos ou paralelos que envolvem o tema delimitado. Surge de maneira a dar consistência na proposta de pesquisa apresentada.

#### 3.1 PROCESSOS E PRODUTIVIDADE

Os processos podem ser entendidos como um conjunto de atividades e ações que, dentro de um todo maior, alinham-se a favor de um objetivo. Funcionam basicamente como transformadores, onde tem-se um *input*, um *processamento* e um *output*. No *input* geralmente entram as matérias primas; no *processamento* faz-se as mudanças e agregação de valores, tempos e correlatos; no *output* tem-se a saída do produto ou serviço, acabado ou semi acabado, destinando-se ao estoque final ou entrega ao cliente consumidor/usuário.

O DMI (*Direct Material Input*) ou entrada direta de material, mede a entrada de materiais usados na economia, de valor econômico e os utilizados na produção e consumo de atividades (equivalente a extração doméstica mais importações); os DPO's (*Domestic Processed Outputs*) ou saídas domésticas processadas, representam a massa total de materiais que tenham sido usados na economia interna antes de fluir para o ambiente; e o TDO (*Total Domestic Output*) ou saída doméstica total equivale a soma de DPO e a eliminação de extração doméstica não utilizada. (COELHO, 2013 p.32)

A Figura 14, a seguir, exemplifica simplificadamente essa situação.



Figura 14 – Exemplificação de Processo

Tem-se como premissa que um problema isolado nos processos pode ocasionar um desequilíbrio sistêmico e falhas no resultado final, considerando a interrelação entre homem, máquina e procedimentos. Os resultados parciais vão se transformando como parte do processo, de modo que, ao final do mesmo, pode-se ter um resultado satisfatório ou um desvio do que se esperava (erro), conforme ilustra a Figura 15.

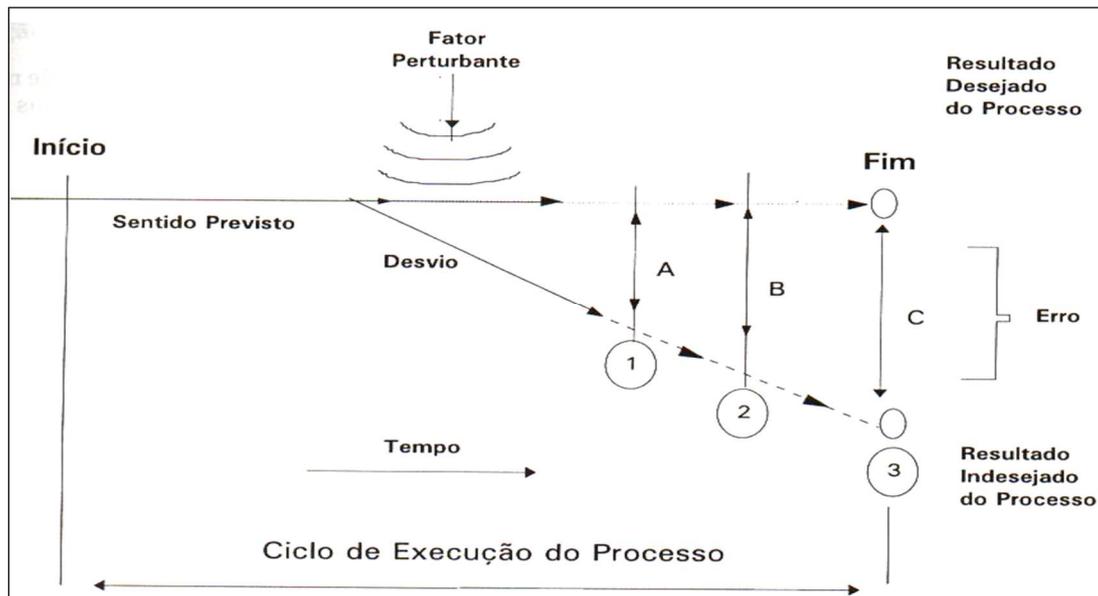


Figura 15 – Exemplificação de Erro em Processo (GALVÃO E MENDONÇA, 1999)

Existem ainda os processos de produto, segundo Contador (2004), “uma sequência de atividades, que transforma as entradas dos fornecedores em saídas para os clientes, com um valor agregado gerado pela unidade, e um conjunto de causas que gera um ou mais efeitos”.

A gestão dos processos produtivos em uma empresa significa gerir todos os recursos envolvidos durante o todo para garantir o melhor desempenho em relação ao nível máximo de produtividade. Conforme Ritzman e Krajewski (2009), “gerenciamento de processos é a seleção dos insumos, das operações, dos fluxos de trabalho e dos métodos que transformam insumos em resultados”.

A metodologia do gerenciamento de Processos é usada para a busca da melhoria contínua, partindo de uma mudança cultural. O gerenciamento de Processos propõe que a organização conheça melhor os seus processos, identificando-os e definindo seus cliente e fornecedores. Além disso, o mapeamento dos processos conduz a uma visão ampla e clara do fluxo de atividades e informações. Facilitando a identificação de oportunidades para melhoria. Portanto, no Gerenciamento de Processos induz ao aumento da eficiência dos processos e da organização como um todo. (CAIO, 2014. P.11).

Conforme De Sordi (2008), um dos principais desafios é “identificar atividades que estejam reduzindo a capacidade produtiva do processo, permitindo estabelecer regras que tenham o *throughput* e o tempo de execução das atividades como parâmetros para o disparo de ações corretivas”.

Os processos de serviço, conforme Gianesi e Corrêa (1994), apresentam características que tornam possível distingui-los por meio de operações. Estas estão ligadas a pessoas ou equipamentos inseridos ao processo, nível de contato com o cliente, participação deste no processo, personalização do serviço, nível de julgamento pessoal dos profissionais que atendem a este cliente e, por fim, grau de tangibilidade do serviço.

O controle de processos de serviço, sob o enfoque do projeto de um serviço, visa identificar as atividades ou processos do serviço novo ou modificado que necessitam de uma definição ou um controle mais detalhado da forma como deve ser realizado ou fornecido, facilitando o treinamento dos funcionários e preparando-os para o seu futuro lançamento, garantindo que os clientes recebam um serviço consistente, ou seja, confiável. (MELLO; COSTA NETO; TURRIONI, 2006. p. 68).

As ações e as movimentações humanas estão relacionadas a processos. Nelas são observados tempos de produção, uso de ferramentas, maquinários, mão de obra, estoques, logística, processamentos e afins, de tal forma que de maneira organizada a produção se dá de forma cumulativa. Envolve etapas, sequências, resultados parciais, entradas e saídas, de forma a satisfazer o resultado final. São notadas em indústrias, prestação de serviço, lojas de serviço, de tal forma que a partir da matéria prima chega-se ao produto acabado ou final a que se destina.

Todas as movimentações, quer mecânicas, quer humanas, que não estejam relacionadas diretamente com o aumento de valor do produto, são consideradas desperdício. No caso de movimentos mecânicos poderão ser más programações ou distâncias desapropriadas entre máquinas; no caso de movimentações humanas poderá ser por deslocamentos desnecessários causados pela falta de ergonomia no posto de trabalho, o que resulta em perdas de tempo no processo de produção, diminuindo a produtividade e podendo também diminuir a qualidade dos produtos. (RIBEIRO, 2011. p. 12)

No que se refere à produtividade, tem-se a questão do processamento ou da produção de produtos e serviços com relação ao tempo. Está relacionada com desempenhos, eficiência, eficácia e índices de desempenho, também a questão de lucratividade da empresa. Afinal e numa relação econômica da dinâmica mercadológica e produtiva, quanto maior for a produtividade maior a possibilidade de redução de custos e oferta mais atrativa ao mercado.

A produtividade é, basicamente, uma relação entre a produção e os fatores de produção utilizados. Os fatores de produção são definidos como sendo pessoas, máquinas, materiais e outros.

Quanto maior for a relação entre a quantidade produzida por fatores utilizados, maior é a produtividade (SAARI, 2006).

O conceito de eficiência é uma relação entre o valor produzido e o esforço dispensado na atividade. A habilidade de um processo ou ferramenta realizar sua tarefa é a performance. A eficiência do processo vai depender da qualidade e quantidade produzidas. O aumento da eficiência vai depender do desenvolvimento da qualidade, ou seja, suas características e do aumento de quantidade envolvido no uso do processo (SAARI, 2006).

Ainda baseado no conceito de eficiência, conforme (ALEGRE, 2010), há um indicador denominado OHPU (*Organizational Hours Per Unit*), normalmente utilizado para comparar desempenho entre as plantas de uma organização industrial. Este índice mede a relação de horas totais trabalhadas pelo volume de produção realizado, ou seja, a relação entre volume produzido e a força do trabalho total aplicada em unidades por empregado. Utiliza a estrutura total da planta incluindo as áreas suportes até a atividade principal da empresa.

O termo produtividade total é um conceito mais genérico e leva em conta o crescimento econômico e efeito de preço, volume, entre outros fatores. A medição da produtividade também pode ser calculada através do valor agregado. A produtividade também pode ser avaliada em termos de custo, utilizando custos de capital e trabalho. Os índices de eficiência, no qual se expressa a razão entre o valor produzido e o sacrifício realizado para produzir, é disponível em várias formas. Saari (2006) afirma, ainda, que trabalho como dado de entrada é uma das mais importantes formas de avaliar a produtividade em muitos processos de produção.

Ressalta-se a interrelação de homem-máquina e tecnologia, neste contexto, num viés de melhorar ou vir em detrimento da produtividade.

Para atingir seus objetivos de redução de custos, prazos de entrega e melhoria da qualidade, o *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta) foca a eliminação de sete tipos básicos de desperdícios:

- i) Defeitos nos produtos;
- ii) Excesso de produção de mercadorias desnecessárias;
- iii) Estoque de mercadorias à espera de processamento ou consumo;
- iv) Processamento desnecessário de materiais;
- v) Movimento desnecessário de pessoas;
- vi) Transporte desnecessários de materiais;
- vii) Espera (WERKEMA, C.,2006, p.15).

Desta forma, a atuação nas sete formas de desperdício elencadas pode contribuir significativamente para a elevação da produtividade de um sistema, fato desejado no estudo de caso em análise na presente dissertação.

### 3.2 DESPERDÍCIOS NO PROCESSO PRODUTIVO

Sob um contexto empresarial e industrial, os desperdícios podem ser vistos como excessos ou sobras/perdas ou, ainda, ociosidades. Podem estar relacionados com perdas de tempos, de materiais, de hora/homem ou afins, de sorte que, numa linha produtiva, causam atrasos. Ligam-se de maneira direta a prejuízos, e isso com um reflexo econômico. No geral, vinculam-se a resultados indesejáveis, tanto na fase de projeto como na execução.

A busca de uma tecnologia de produção que utilize a menor quantidade de equipamentos e mão-de-obra para produzir bens sem defeitos no menor tempo possível, com o mínimo de unidades intermediárias, entendendo como desperdício todo e qualquer elemento que não contribua para o atendimento da qualidade, preço ou prazo requeridos pelo cliente. Eliminar todo desperdício através de esforços concentrados da administração, pesquisa e desenvolvimento, produção, distribuição e todos os departamentos da companhia (SHINOHARA, 1988 p.97).

Dentro dos desperdícios produtivos, os principais estão relacionados à superprodução, estoque, espera, transporte, defeitos, movimentação nas operações, processamento, conforme expõe-se na sequência da seção.

A **superprodução** ocorre geralmente quando a empresa acaba produzindo ou desenvolvendo materiais acima das necessidades, ficando com sobras em seus estoques. Isso representa capital parado, ou seja, prejuízos. É considerado um dos piores tipos de desperdício, visto que nasce de falta de gestão. Pode ser evitado por produção por demanda e não simplesmente para produção para estoque.

Produzir mais do que o necessário ou requerido, cria um incontável número de outros desperdícios: área de estoque, deterioração, custos de energia, manutenção de equipamentos, escamoteamento de problemas operacionais e administrativos através de “estoques de segurança” (BRAGA, 2013 p.18).

O desperdício por **estoque** ocorre quando a empresa possui estoque de produtos acabados, ou em andamento, maiores que o necessário. O resultado de uma desproporção entre a oferta e a demanda, refletindo em produtos e capital parado “estocado”. Além de tudo ocupa-se espaços na indústria. Uma maneira de se evitar esse tipo de desperdício é trabalhar no conceito *just in time*. Vale ressaltar, entretanto, que devido às particularidades de certos tipos de negócios esse tipo de política acaba sendo difícil de ser operacionalizada.

O principal objetivo do controle de estoques é garantir a acuracidade nas posições de armazenagem e evitar eventuais perdas e extravios de produto garantindo a integridade dos estoques dos clientes, protegendo seus investimentos, garantindo a disponibilidade do produto para a venda e eventuais *recall's* (OLIVEIRA; LOPES, 2011 p.3)

O desperdício por **espera** é considerado um gargalo produtivo que atrasa todos os sistemas e linhas de produção. Ocorre, por exemplo, por *setup* de máquina ou, até mesmo, por esperas de processo oriundas do sequenciamento produtivo. É um tempo relativo à espera de matéria prima, mão de obra e afins. Ocorre, muitas vezes, pela produção em série em uma mesma linha produtiva de produtos diferentes ao invés de produção em paralelo.

(...) quando o operador permanece ocioso, assistindo uma máquina em operação. Ou quando o processo precedente não entrega seu produto na quantidade, qualidade e tempo certo; nenhuma atividade ou operação sendo executada; “nada sendo feito” (BRAGA, 2013 p.18).

O desperdício por **transporte** está relacionado ao tempo perdido com a movimentação de cargas e produtos semi acabados / peças, dentro do pátio industrial. Ocorre por motivos naturais ou imprevistos, observando-se aí a influência de fatores subjetivos e humanos. Para reduzir ou até mesmo evitar esses desperdícios, a automação é uma opção. Ressalta-se, entretanto, que sob o viés industrial, não são todas as operações que podem ser automatizadas.

Perda por transporte é aquela em que são realizados deslocamentos desnecessários ou estoques temporários. Encaradas como desperdícios de tempo e recursos, as atividades de transporte e movimentação devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo, através da elaboração de um arranjo físico adequado, que minimize as distâncias a serem percorridas. Além disso, custos de transporte podem ser reduzidos se o material for entregue no local de uso (RENI, 2006).

Os **defeitos** podem ser caracterizados como características dos produtos / serviços que estão fora das especificações ou resultados desejados. São discrepâncias ou erros que geram descartes ou refugos. Além de tudo, os defeitos causam retrabalhos e perdas de tempo.

Há de conferir o máximo número de funções e responsabilidades a todos os operadores que adicionam valor ao produto na linha, e a adotar um sistema de tratamento de defeitos imediatamente acionado a cada problema identificado, capaz de alcançar a sua causa raiz (WOMACK; JONES; ROSS, 1992).

Há, também, desperdícios oriundos de movimentações (mal planejadas) nas operações, que geram perdas de tempo na procura de materiais, peças ou equipamentos que foram colocados sem

ordenação, ou ainda em lugares errados. Desperdícios que podem ser evitados por ocasião de melhor planejamento de *layout* e postos de trabalho.

A ausência de estudos e análises que visam a possibilidade de identificação e redução de perdas de movimentações desnecessárias do produto em seu processo de transformação pode acarretar em aumento dos custos de produção, sendo necessário agregá-lo ao produto final. As empresas devem buscar formas para entregar aos seus clientes o produto final desejado. Mas o atraso na entrega do produto ao cliente pode comprometer todo o seu processo interno e externo, além de tudo causar insatisfação do cliente (MIRANDA et. al. 2012 p.7).

Os desperdícios por **processamento** inadequado levam, na íntegra, a prejuízos que podem ser imensuráveis, afetando inclusive a reputação da empresa. Acarretam, também, problemas de produtividade, que aumentam o custo de processamento. Tais problemas poderiam ser reduzidos pela eliminação de tarefas ou atividades desnecessárias, ou ainda pela sistematização de operações.

No próprio processo, pode haver fontes de desperdício. Algumas operações existem apenas em função do projeto de componentes ou manutenção mal elaborados, podendo, portanto, ser eliminados. Este tipo de desperdício também pode ser encontrado quando há uma escolha equivocada de um conjunto de ferramentas ou procedimentos que devem ser utilizados em alguma atividade (FERRAZ, 2006. p.22).

Os desperdícios apontados não são os únicos, mas dentro de uma concepção clássica de engenharia de produção e logística, podem ser vistos como relevantes e importantes. Devem ser evitados a favor da otimização de sistemas, de tal sorte que principalmente impactos financeiros e de falta de satisfação possam ser evitados. Desta forma, a presente dissertação visa propor soluções operacionais que contribuam para a diminuição dos desperdícios no cenário avaliado.

### 3.3 GARGALO DE PRODUÇÃO

Gargalo é qualquer obstáculo no sistema produtivo que restringe e determina o seu desempenho e a sua capacidade de obter uma maior rentabilidade. Em um processo produtivo, o gargalo é a etapa com menor capacidade produtiva e que, via de regra, impede a empresa de atender plenamente a demanda por seus produtos. Por outro lado, a existência de níveis excessivos de capacidade produtiva em algumas etapas não-gargalos em relação à etapa gargalo, resulta em investimentos ociosos, que influenciam negativamente o desempenho da empresa. Assim, aumentar a capacidade produtiva da etapa gargalo e/ou redimensionar os investimentos ociosos nas etapas

não-gargalos pode constituir decisões estratégicas capazes de promover um maior retorno sobre o investimento (PESSOA E CABRAL, 2005).

Em raciocínio complementar, em um processo produtivo que tenha uma capacidade produtiva superior à demanda por seus produtos, a eventual formação de gargalos tende a não ser impactante no atendimento da demanda, pois há níveis excessivos de capacidade produtiva. Ainda assim, o adequado uso dos recursos pode propiciar a redução de investimentos e ociosidades, promovendo uma maior rentabilidade para a empresa (PESSOA E CABRAL, 2005). Além disto, no caso de incremento da demanda, o eficaz uso dos recursos pode propiciar uma condição em que a companhia evite realizar investimentos para responder ao aumento da demanda.

Segundo Krajewski e Ritzman (2009), gargalo é um tipo especial de restrição que se relaciona à falta de capacidade de um processo. É definido mais especificamente como qualquer recurso cuja capacidade disponível limita a competência da organização de atender ao volume de produto, ao *mix* de produtos ou à flutuação de demanda exigidos pelo mercado. Para os autores, existem alguns passos necessários para a aplicação e o tratamento de gargalos produtivos, seguindo-se um viés imposto pela Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*):

- (i) Identificar os gargalos do sistema;
- (ii) Explorar os gargalos do sistema, ou seja, criar programações que maximizem o rendimento dos gargalos;
- (iii) Subordinar todas as outras decisões ao passo (ii), programando todos os recursos que não são gargalos de forma que apoiem a programação do gargalo e não produzam mais do que ele pode operar;
- (iv) Elevar os gargalos, ou seja, caso eles ainda sejam uma restrição ao ganho deve-se considerar o aumento de capacidade do gargalo. Investimentos adicionais podem ser considerados nesta etapa;
- (v) Não permitir que a inércia se instaure após os quatro primeiros passos, pois as restrições do sistema podem ser alteradas. Dessa forma, o processo inteiro deve ser repetido a fim de encontrar e agir sobre o novo conjunto de restrições.

Conforme razões elencadas, o conhecimento da existência de gargalo no processo produtivo é fundamental. A sua identificação é passo primordial para se tentar sanar os problemas criados. Ressalta-se a implementação de estratégias e soluções no sentido de obter o equilíbrio entre os obstáculos existentes no processo gargalo e os investimentos a serem realizados em prol da produtividade e rentabilidade do sistema produtivo.

No presente trabalho realiza-se a identificação de gargalo produtivo no processo de pintura em análise e sugere-se alterações de sua produtividade, avaliando-se o impacto resultante no setor de pintura.

### 3.4 O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO DE VEÍCULOS

No contexto da presente dissertação avalia-se um problema de sequenciamento de cabines no setor de pintura de uma indústria automotiva. De acordo com Ribeiro *et al.* (2008), o problema de sequenciamento de carros (CSP – *Car Sequencing Problem*) consiste em sequenciar um determinado volume diário, minimizando o número de violações de restrições de montagem e o número de alterações de cores da pintura na linha de produção.

O CSP configura-se um problema combinatorial de difícil solução. No trabalho de Solnon *et al.* (2008) descreve-se sobre um problema desafio patrocinado pela empresa Renault (ROADEF'2005). No evento foram abordados e discutidos os requisitos de montagem que geram restrições de capacidade e sequenciamento na linha de montagem, utilizando abordagens simples (com possibilidade de interferência) e complexas (sem possibilidade de interferência). No trabalho foram apresentados e revisados os métodos exatos e heurísticos da literatura proposta para a solução do problema. Também foram abordadas as restrições no uso e consumo de solventes, na preparação e aplicação da tinta na área de pintura.

Conforme indicado em Magatão (2005), dada a complexidade de problemas de sequenciamento, abordagens de decomposição e meta-heurísticas costumam ser encontradas para o tratamento desta classe de problemas. Por exemplo, Ribeiro *et al.* (2008), relatam o desenvolvimento de uma versão multi-objetivo para abordagem de solução do CSP. Foram definidas prioridades nas restrições, de acordo com o tamanho dos lotes e cores, incluindo o ranking de otimização de volumes através da função objetivo. O desenvolvimento foi baseado no uso das meta-heurísticas VNS (*Variable Neighbourhood Search*) e ILS (*Iterated Local Search*). Em outro exemplo, Joly & FREIN (2008) desenvolveram uma abordagem de solução do problema de sequenciamento de veículos numa linha de montagem incluindo a área de pintura. Foi desenvolvida uma heurística com construção progressiva de sequência a partir de soluções oriundas de três meta-heurísticas. Foi considerado no estudo o tempo de computação como sendo um fator decisivo para selecionar a meta-heurística apropriada. Após os testes efetuados, sugeriu-se o MOEA (*Multi-Objective Evolutionary Algorithm*) para se obter um conjunto de soluções, inclusive para sequenciar

os volumes de veículos produzidos num dado intervalo temporal. O problema se mostrou computacionalmente difícil de ser tratado.

No presente contexto de estudo não será proposto um modelo ou abordagem meta-heurística para o sequenciamento de veículos em si mas, ao invés, testar-se-á sequências dentro de um contexto conhecido *a priori* (e.g., três cabines sólidas a cada cabine metálica) e seu respectivo impacto na produtividade do sistema. A proposição de uma abordagem detalhada para o sequenciamento otimizado dos veículos é um tema que pode ser detalhado em trabalhos futuros.

### 3.5 VIÉS ECONÔMICO

Os modelos de Clark & Fujimoto (1991), Pahl *et al.* (2005), Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et al.* (2006) mencionam a gestão econômica e gestão de custos como um fator importante durante o desenvolvimento do produto. Os métodos citados pelos autores dizem respeito, principalmente, às técnicas de análise de investimento. Isto é explicável na medida em que o processo de desenvolvimento de produto pode ser tratado como um projeto, e nesses, historicamente, são feitas aplicações de métodos de análise financeira.

Segundo Iglesias (1999), os métodos de análise de investimento apresentam características eficazes no que tange os aspectos econômicos. No entanto, a validade das informações fornecidas por esses métodos depende dos dados incluídos na avaliação. Este autor menciona que as informações, geradas pelo sistema de custeio, fornecem dados cruciais para uma análise de investimento adequada. Portanto, informações adequadas de custos são essenciais para que os métodos de análise de investimentos sejam eficazes. Logo, informações ruins, relativas aos custos dos produtos, levam a previsões econômicas ruins e, por consequência, podem indicar investimentos errôneos na sua fase de implementação.

#### 3.5.1 Análise de Investimentos

No tocante à análise de investimentos, conforme Souza (2003), investimento constitui a troca de algo certo (recursos econômicos) por algo incerto (fluxos de caixas a serem gerados pela aplicação do capital), ou seja, é o comprometimento de dinheiro ou outros recursos na expectativa de colher benefícios no futuro.

O empreendedor ao investir para desenvolver determinado projeto, imobiliza seus recursos e seus insumos afetando o fluxo de caixa. A comparação entre a perda liquidez de capital e o ciclo de

retorno é que leva aos indicadores principais da análise de investimentos. Ressalta-se que o empreendedor perde poder de compra, imobilizando-se, quando investe para ganhar poder de compra no futuro, em montante maior, assim fica a seu critério analisar se os indicadores são os esperados para tal investimento (LIMA JUNIOR, 1998).

Pode-se definir investimentos em projetos de acordo com Woiler e Mathias (*apud* SOUZA, 2003, p.68):

O conjunto de informações internas e/ ou externas à empresa, coletadas e processadas com o objetivo de analisar-se (e, eventualmente, implantar-se) uma decisão de investimento. Nestas condições, o projeto não se confunde com as informações, pois ele é entendido como sendo um modelo que, incorporando informações qualitativas e quantitativas, procura simular as decisões de investir e suas implicações.

Segundo Galesne (*apud* SOUZA, 2003, p.68) “fazer um investimento consiste, para a empresa, em comprometer capital, sob diversas formas, de modo durável, na esperança de manter ou melhorar sua situação econômica”.

Há uma associação direta entre o projeto de investimento e o surgimento de uma oportunidade, ou percepção de necessidade da empresa, pois após a sua visualização elabora-se o plano de viabilidade econômica, o planejamento e os insumos necessários para avaliar a possibilidade apresentada, de acordo com Souza (2003).

Importante salientar que o investimento pressupõe um conjunto de benefícios futuros, porém uma decisão que reconfigura, ou redesenha, um novo processo para agregar valor mantém uma parcela de risco..

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2008), as decisões de investimento de um projeto devem considerar:

- Critérios econômicos: rentabilidade do investimento;
- Critérios financeiros: disponibilidade de recursos;
- Critérios imponderáveis: fatores não conversíveis em dinheiro.

Além disso, sugerem também como métodos de análise, os seguintes indicadores:

- Método do Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE);
- Método do Valor Presente Líquido (VPL);
- Método da Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Tempo de Recuperação do Capital (*PAYBACK*).

Ressalta-se que a NBR 14653-4 (ABNT, 2002, p.11), considera que “o resultado final das análises de viabilidade econômica pode ser expresso sob a forma de taxas internas de retorno, valor presente líquido, custo anual, períodos de recuperação (*payback*) e índices de lucratividade (...)”.

Os indicadores que refletem a qualidade dos investimentos financeiros relacionados com o retorno é que levarão o empreendedor a se orientar sobre a decisão de investir ou não no projeto, conforme relata Lima Junior (1998).

Além disso, de acordo com Heineck, Barros Neto e Abreu (2008), também é necessário analisar a viabilidade econômica de um projeto, empregando as técnicas gerais de engenharia econômica, acrescidas das peculiaridades relativas do mercado.

### 3.5.2 Taxa Mínima de Atratividade - TMA

Quando se efetua uma proposta de um novo investimento, deve-se considerar o fato de estar deixando a oportunidade de registrar ganhos com a aplicação do mesmo capital em outras atividades e/ou outros projetos. A nova proposta para ser justificada deve render, no mínimo, a taxa mínima de atratividade, segundo Casarotto Filho e Kopittke (2008).

Para as pessoas físicas, no Brasil, é comum a taxa mínima de atratividade ser igual à rentabilidade da caderneta de poupança. Na verdade, é um *benchmark* para as opções de investimentos sobre a premissa de que “a alternativa idealizada deve ter retorno semelhante ao valor apurado pelo índice de referência”, segundo Casarotto Filho e Kopittke (2008). Para empresas, o parâmetro é relativo ao seu grau de participação da fatia de mercado e sua maturidade.

### 3.5.3 Fluxo de Caixa

Para qualquer projeto que venha a ser proposto a uma empresa potencialmente interessada no mesmo ou, ainda, a um órgão possivelmente financiador do projeto, terá um estudo de viabilidade técnico-econômica a respaldá-lo, segundo Motta e Calôba (2002).

A construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento deve ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas à tomada de decisão sobre a implantação ou não. O fluxo de caixa é implantado mediante estimação dos valores de entradas e saídas de recursos financeiros. Em alguns casos, a venda dos produtos referentes ao projeto de investimento considerado pode interferir nas vendas de outros produtos comercializados pela empresa (SOUZA, 2003, p.125).

Dessa forma, o fluxo de caixa consiste no cálculo do saldo entre despesas e receitas, segundo um período de tempo (mês a mês, por exemplo). Na forma simplificada, mais apropriada para as análises expedidas, o saldo não tem a consideração das diferenças decorrentes da difusão das despesas e receitas no tempo, que são consideradas no fluxo de caixa descontado (GONZÁLEZ, 2003).

Assim, uma das etapas mais relevantes para o estudo financeiro da viabilidade de projetos em empresas é a análise de fluxo de caixa gerado pelas operações (VIEIRA, 2005). Caso haja falta

de geração de caixa, a partir de sua atividade fim, obriga a organização a obter recursos próprios ou de terceiros, que podem ser por meio de financiamentos de recursos normalmente junto as instituições financeiras.

Os movimentos de recursos e capitais que formam o fluxo de caixa das empresas são decorrentes das atividades operacionais, da distribuição dos investimentos e financiamentos. Assim, entende-se a projeção de fluxo de caixa como sendo um instrumento para auxiliar na análise de projetos e dá forma às expectativas do novo negócio a ser implantado.

#### **3.5.4 Método do Valor Presente Líquido - VPL**

O Valor Presente Líquido é um dos métodos de análise mais empregados, ao lado da TIR (Taxa Interna de Retorno), a qual reflete a riqueza do investimento no momento inicial, em valores monetários, utilizando um fluxo de caixa. Corresponde a um valor único, equivalente ao fluxo de caixa do investimento, convertido em valores presentes através de um fluxo de caixa descontado, permitindo a comparação de alternativas. (GONZÁLEZ, 2003).

O VPL de um fluxo de caixa é obtido pela soma de todos os valores do fluxo de caixa, trazidos para a data presente, ou seja, desconta-se os valores futuros para a data presente e soma-se estes valores descontados com o valor que o fluxo de caixa apresenta na data inicial. Como taxa de desconto, utiliza-se a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) do investidor (HOCHHEIM, 2006).

Hirschfeld (1989) entende que o método do valor presente líquido tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado de uma série de receitas e dispêndios ajustados a taxa de desconto. Então escolhe-se a opção que apresenta melhor valor presente líquido

Para um melhor entendimento Silva *et al.* (2007), define o VPL de um projeto de investimento como sendo igual à diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa, associadas ao projeto e o investimento inicial necessário, com o desconto dos fluxos de caixa feito a uma taxa “K” definida pela empresa.

Segundo Costa e Attie (1990), o método do valor presente líquido é considerado como um dos principais meios para a tomada de decisões e consiste em trazer a uma única data todos os valores do fluxo de caixa distribuídos em diferentes períodos. Em princípio, é atendido o critério de viabilidade econômico-financeira quando o VPL é maior que zero, o que sugere que as entradas de capital no fluxo de caixa são superiores às saídas.

Caso o resultado seja maior que zero, conclui-se que existe viabilidade econômica no empreendimento. Se for negativo, conclui-se pela inviabilidade, e se VPL for nulo, o projeto é

indiferente (limite de viabilidade), ou seja, tem o mesmo rendimento que a alternativa empregada para comparação (GONZÁLEZ, 2003).

O VPL descontado é definido por Motta e Calôba (2002) como sendo a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados para o instante presente ( $t = 0$ ), a uma dada taxa de juros ( $i$ ), conforme apresentado na equação (3), a seguir:

$$VPL = \frac{FC0}{(1+i)^0} + \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n} \quad (3)$$

Onde:

- $FC0, FC1, FC2, FC3, \dots, FCn$ : representam os retornos gerados, ou o valor da diferença entre entradas e saídas do fluxo de caixa;
- $i$ : taxa de juros, concebe o que a empresa espera do investimento, ou seja, a taxa mínima de atratividade do investimento, a fim de avaliar se as entradas proporcionam um VPL positivo.

As principais vantagens do VPL consideradas por Heineck, Barros Neto e Abreu (2008) são:

- É uma medida absoluta de valor;
- Evidencia uma noção do risco envolvido;
- Considera o valor do dinheiro no tempo;
- É consistente com o objetivo das organizações;
- Considera todos os fluxos de caixa envolvidos.

No entanto, Heineck, Barros Neto e Abreu (2008) relatam como desvantagem do VPL a impossibilidade de comparação em termos de taxa.

Assim, o VPL é um indicador que exterioriza se as projeções de entradas líquidas de caixa fornecerão retorno positivo sobre a taxa mínima de atratividade, ao longo do tempo. Ou seja, desconta-se dos fluxos de caixa, a taxa mínima que a empresa espera receber no investimento.

### 3.5.5 Taxa Interna de Retorno – TIR

A taxa interna de retorno é definida como a taxa de juros pago sobre o saldo devedor de um empréstimo, conforme Newnan e Lavelle (2000). No entanto, quando se trata de investimentos, Newnan e Lavelle (2000) definem a taxa interna de retorno como a taxa de juros ganho sobre o investimento não recuperado, de tal sorte que o esquema de pagamento reduza a zero, o investimento não recuperado no final da vida do investimento.

A taxa interna de retorno (TIR) representa a taxa que devolve o valor presente das entradas de caixa, associadas ao projeto, igual ao investimento inicial, ou seja, a taxa interna de retorno é a taxa de desconto que anula o valor atual líquido do projeto de investimento (SOUZA, 2003). O critério de decisão, utilizando este método de análise, dá-se em decorrência dos projetos de investimento que apresentarem maior taxa. O ponto de “Zero”, ou seja, o montante que equivale ao valor atual líquido do projeto pode ser obtido a partir da equação (4), a seguir apresentada:

$$\text{Zero} = \frac{FC0}{(1 + TIR)^0} + \frac{FC1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FC3}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n} \quad (4)$$

Onde:

- $FC0, FC1, FC2, FC3, \dots, FCn$ : representam os retornos gerados, ou o valor da diferença entre entradas e saídas do fluxo de caixa;
- $TIR$ : taxa interna de retorno. A TIR busca igualar as entradas líquidas à zero, descontando, então, a taxa interna de retorno projetada para o investimento.

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (2008) o método TIR requer o cálculo da taxa que zera os valores presentes dos fluxos de caixa. Enquanto Lima Junior (1998) refere-se à taxa de retorno como uma medida de alavancagem de poder de compra oferecida pelo projeto, levando em consideração os investimentos e os retornos, no prazo em que se dão os ganhos.

A TIR é um índice relativo que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, desde que ocorram receitas (entradas) e investimentos (desembolsos), conforme Motta e Calôba (2002).

Os investimentos em que a TIR for maior que TMA (Taxa Mínima de Atratividade) são considerados viáveis. Já o inverso torna o projeto inviável perante a margem de ganho pretendida, logo, descartável para averiguações.

Segundo Ross, Westerfield, Jaffe (2002) não é tão simples optar por investimentos utilizando apenas sob o método da TIR, pois pode-se ter uma TIR menor, mas um VPL maior que justifica o investimento. Desta forma, desenvolveu-se o conceito da TIR incremental, que é caracterizada pela avaliação do investimento adicional resultante da escolha do projeto.

São aceitos investimentos e financiamentos que apresentam a TIR maior ou igual ao custo de oportunidade, de acordo com o critério de aceitação da TIR utilizado por Heineck, Barros Neto e Abreu (2008). Os autores também entendem que a TIR não é um bom critério de comparações de projetos onde há possibilidade de ocorrência de situações onde o projeto de maior TIR tenha menor VPL. Neste caso, a melhor alternativa é o VPL, que representa uma medida absoluta de valor em

moeda (\$) - Unidades Monetárias). A TIR é melhor utilizada como critério para auxiliar o VPL na tomada de decisão. Ainda segundo os autores, há situações onde se encontram múltiplas taxas internas de retorno ou não se obtém nenhuma taxa interna de retorno. Para ambas, recomenda-se a utilização do critério do VPL.

### 3.5.6 Tempo de Recuperação do Capital – *PAYBACK*

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2008), *payback* estima o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial. No mesmo sentido a NBR 14653-4 (ABNT, 2002) define como sendo o período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do projeto equivalem aos investimentos.

Silva, Ferreira, Pazzini e Abrantes (2007) definem o método de avaliação financeira como o tempo de retorno do investimento (*payback*), que consiste na quantificação do tempo necessário para que o dispêndio de capital (valor do investimento) seja recuperado por meio dos benefícios líquidos (fluxos de caixa) gerados pelo projeto, conforme ilustrado na equação (5) a seguir:

$$Payback = \frac{\text{Valor do Investimento}}{\text{Valor Total dos Fluxos de Caixa}} \quad (5)$$

Conforme entendimento de Motta e Calôba (2002, p. 96) “O *Payback*, ou *payout*, é utilizado como referência para julgar a atratividade relativa das opções de investimento. Deve ser interpretado com reservas, apenas como um indicador, não servindo para seleção entre as alternativas de investimento”.

Portanto, o *payback* é o período de recuperação de um investimento e consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio de capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxos positivos). É mais uma medida de risco do que propriamente de retorno de investimento. Um projeto com *payback* menor do que outro indica que o mesmo tem grau menor de risco (KASSAI, 1999, p. 277).

O *payback* consiste na análise do período necessário para se obter o retorno do investimento inicial sem considerar nenhum tipo de juros. A desvantagem deste critério é que ele é utilizado como um critério de rentabilidade de projetos, quando, na verdade, ele se caracteriza mais como uma medida da liquidez do capital investido no projeto (GONZÁLEZ, 2003).

### 3.5.7 Índice de Lucratividade

Segundo a NBR 14653-4 (ABNT, 2002), o índice de lucratividade é a relação entre o valor presente das receitas líquidas e os investimentos.

Considerando esse índice de lucratividade, o projeto será considerado viável quando seu valor for igual ou superior à base, para uma taxa de desconto equivalente ao custo de oportunidade de igual risco, segundo a NBR 14653-4 (ABNT, 2002).

### 3.5.8 Teoria da Decisão

A análise de investimentos implica simular o comportamento do retorno do projeto para, através desse procedimento, extrair os indicadores que estarão incorporados no modelo usado para simulação (LIMA JUNIOR, 1993).

Para realizar essa análise utiliza-se o método da Teoria da Decisão, que conforme Oliveira (2009), é um campo de estudo que versa sobre como são feitas as escolhas e alternativas, do ponto de vista de quem toma decisão, buscando maximizar a utilidade, otimizar os recursos e, por consequência, agregar um maior valor às decisões tomadas.

A tomada de decisões é uma forma de julgamento, visto que todos os julgamentos possuem riscos associados. Harvard (2001) afirma, ainda, que uma tomada de decisão deve considerar poucas avaliações, mas com entendimento conceitual elevado.

Para tomadas de decisões devem utilizar um processo com elementos claramente definidos e ordenados, a fim de satisfazer as expectativas do seu processo de gestão perante a organização, conforme Harvard (2001). Neste sentido, estabelecer um panorama para análise de investimentos torna-se condição essencial para a efetividade do estudo.

As situações de decisão são muito variadas, envolvem um amplo espectro. Pode-se, então, ter situações não triviais, não óbvias, em que o aspecto econômico não é significativo ou simplesmente não influirá na decisão. Ao decidir sobre quais os princípios éticos deverão nortear a empresa, a consideração dos aspectos econômicos é inoportuna, principalmente se for feita através de um método estruturado (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2008, p. 284).

O processo estruturado de decisão concentra-se em encontrar alternativas a questões no âmbito da estratégia no contexto empresarial. Verificada a necessidade da tomada de decisão, define-se a sua estrutura. Na visão de Oliveira (2009), deve-se definir quais são os valores importantes, a estratégia e o objetivo do tomador de decisão, a fim de estruturar um plano em relação aos ambientes previamente previstos.

Na visão de Casarotto Filho e Kopittke (2008), as situações analisadas deverão apresentar as seguintes condições:

- Serem suficientemente importantes para justificar o esforço de se utilizar um método estruturado;
- A decisão não é óbvia, é necessário entender o problema;
- O aspecto econômico é significativo e influenciará na decisão.

Assim, recorrer a um processo metodológico para avaliar uma situação sem significado econômico e estratégico é, no mínimo, dispêndio de tempo e recurso.

### 3.5.9 Custo do Produto

O termo custos retrata um elemento de extrema importância, quando do surgimento de um novo produto, ao longo do seu desenvolvimento e durante o seu tempo de vida. Existe uma dificuldade de entendimento das abordagens que consideram custos, em função de legislações complexas, diferentes interpretações entre pessoas, empresas e órgãos reguladores, além de influências de fatores globais sobre custos.

Custo pode ser interpretado como gastos relativos ao bem ou serviços utilizados na produção de outros bens ou serviços (*e.g.*, matéria-prima, energia elétrica, máquinas e mão-de-obra). Assim, para colocar em movimento certo processo de produção são necessários, por exemplo, o local onde serão produzidos os produtos, instalações, infra-estrutura (luz, água, telefone e escritório), máquinas e equipamentos, o trabalho humano e os insumos necessários para a produção dos produtos, de acordo com Martins (2003).

A empresa faz o investimento na expectativa de gerar recursos econômicos, ou riquezas, daquilo que é consumido para a produção de seus produtos. Todo o processo de produção e criação de riquezas baseia-se na premissa de que, no processo produtivo, sejam geradas mais riquezas do que se consomem recursos na produção. Este saldo é o lucro que se consegue para cada empresa ou unidade econômica. Assim, o lucro é a diferença que existe entre a receita que se obtém nas operações e o custo total destas operações.

Os materiais são adquiridos e geram novos produtos através da sua transformação. Os custos são apurados e, pelas vendas a empresa tem condições de repor seu estoque. A utilização do trabalho humano origina os custos dos salários e dos encargos sociais.

Os recursos aplicados no processo de montagem e utilização da estrutura administrativa da empresa geram diversos gastos denominados “*overheads*” (custos e despesas indiretas fixas), que vão desde as remunerações dos diretores e gerentes, até a depreciação de máquinas e equipamentos entre outros.

Muitas organizações utilizam o gerenciamento dos custos e orçamentos do projeto, executado pelos próprios especialistas da área financeira da empresa. Existe uma carência muito grande de conhecimentos sobre custos para muitos grupos de projeto. Portanto, é importante

apresentar de forma sucinta, as principais metodologias de custeio indispensáveis à estrutura de conhecimentos, para capacitar todos os envolvidos no processo decisório, desde a negociação de um contrato com um cliente e a obtenção de um custo inicial do projeto, até a mensuração do desempenho do contrato, seus custos, fluxo de caixa, prazo de retorno do capital investido (*pay-back*) e seus riscos associados.

As falhas que normalmente ocorrem no planejamento dos custos, de acordo com Schulte (2002), são responsáveis pela inviabilidade e pelo insucesso de muitos projetos com problemas de descontrole marginal dos custos. As mudanças quando necessárias, devem ser tomadas em tempo hábil para a conclusão eficaz de um projeto. Importante salientar que o controle dos custos e dos prazos de entrega são fundamentais para uma decisão estratégica e um bom gerenciamento de um projeto.

### 3.5.10 Definição de Custos x Receitas x Despesas

Custos, receitas e despesas são definidos de acordo com Martins (2003), da seguinte forma:

**Custo** é todo gasto que ocorre em uma atividade industrial. São classificados em fixos e variáveis. Os principais custos podem ser citados como: matéria prima (MP), mão de obra (MO) e Gastos Gerais de Fabricação (GGF). Inclui depreciação, energia elétrica, manutenção, materiais de escritório para fábrica, viagens de pessoas ligadas à produção. Os custos também podem ser classificados em:

- Diretos = matéria-prima, mão de obra (funcionários dos centros de custos produtivos);
- Indiretos = mão de obra (funcionários dos centros de custos que prestam serviços compartilhados na fábrica: manutenção, almoxarifado, ferramentaria, gerência e planejamento).

**Receita** é a entrada bruta de recursos que ocorre no curso das atividades de uma empresa, quando tais entradas resultam em aumento do patrimônio líquido, excluídos aqueles decorrentes de contribuições dos proprietários, acionistas ou cotistas. Importâncias cobradas por conta e em favor de terceiros, tais como impostos sobre vendas, mercadorias e serviços e impostos de valor agregado, não são considerados benefícios econômicos para a empresa e não resultam em aumentos no patrimônio líquido e, portanto, são excluídos da receita conforme (MARTINS, 2003).

**Despesa** é saída ou decréscimo de recursos econômicos, que ocorre no curso das atividades de uma empresa, excluídas as reduções patrimoniais decorrentes de pagamento de recursos efetuados aos proprietários, acionistas ou cotistas. As despesas que surgem das atividades normais da empresa incluem, por exemplo, o custo das vendas, salários e depreciação. Perdas incluem, por

exemplo, acidentes como incêndios e inundações, assim como as que decorrem da venda de ativos patrimoniais.

Ainda segundo Martins (2003), geralmente os custos e despesas indiretas pertencem a alguma das seguintes categorias:

- Custos de fabricação, exceto gastos com matéria-prima, energia elétrica, alguns insumos de produção e salário dos operários;
- Despesas administrativas;
- Despesas com vendas, exceto comissão de vendedores;
- Despesas financeiras.

A formação do preço de venda e a conseqüente recuperação dos custos se faz através de cálculo contendo margem de lucro suficiente para gerar recursos e para dar continuidade das operações. Embora tenha como referência os custos, depende em grande parte do mercado e da sua participação neste mercado.

Custo é “qualquer gasto voluntário feito pela empresa para a elaboração de seus produtos”, de acordo com Zucchi (1992). Além do custo, existem outros tipos de gastos que uma empresa deve registrar denominados voluntários, os quais estão ligados diretamente a elaboração dos produtos. Existem também as despesas involuntárias ou perdas. Além dos custos, das despesas e das perdas, existem ainda os investimentos relativos à aquisição de bens (imobilizado), os quais são registrados no ativo permanente.

A Figura 16, a seguir apresentada, retrata um modelo de distribuição da estrutura de custos a partir de análise realizada na literatura supracitada e da observação prática em relação ao cenário estudado. Nesta classificação de custos (fixos, variáveis, diretos e indiretos), estão relacionados os principais itens de custos geralmente alocados nos produtos das empresas industriais. Vale observar nesta figura que os termos “*Blue collar*” e “*White collar*” fazem alusão a como os funcionários na empresa em estudo são identificados.

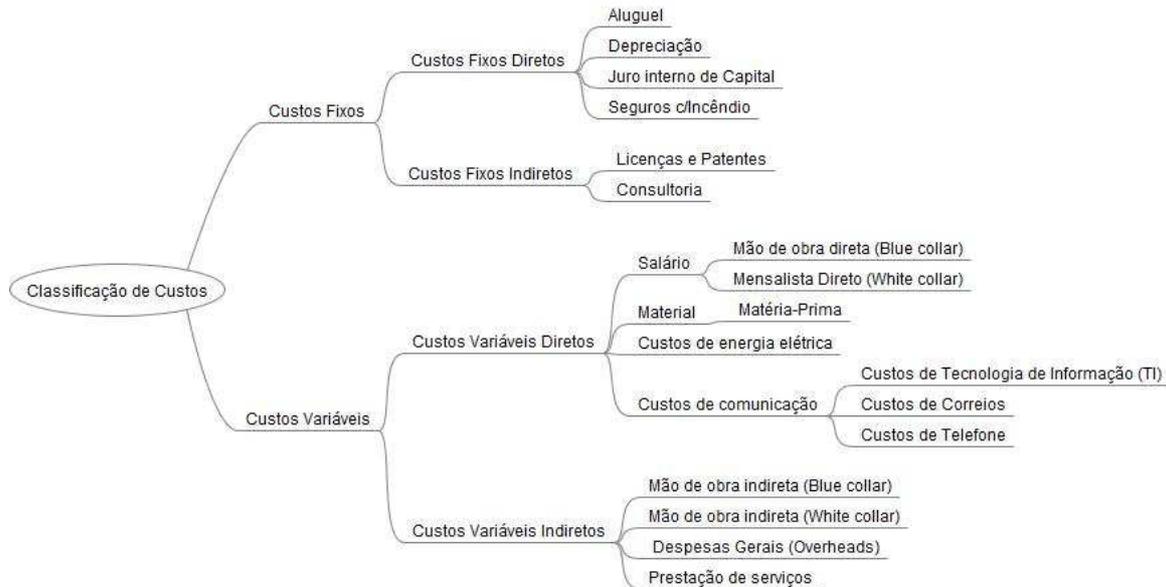


Figura 16 – Estrutura de distribuição de custos (adaptado de BERNASKI, 2009)

Os sistemas de custos tradicionais de acordo com Di Domenico (1994), normalmente usados nas indústrias para cálculo e controle de inventários, são baseados na metodologia do sistema de custo total, também conhecido como custo completo ou integral. Porém, estes sistemas não determinam os custos de uma forma precisa, sendo as despesas indiretas de fabricação definidas através de rateios aleatórios, utilizando taxas previamente definidas. Desta forma, o usuário não sabe o que ela representa e não é capaz de relacioná-la com as atividades e tarefas que são executadas, causando uma visão distorcida dos custos e assim, as decisões a respeito de preços, *mix* de produtos e promoções podem estar distorcendo a lucratividade da empresa em médio e longo prazos. As empresas podem estar cometendo eventuais lapsos nas decisões de fazer ou comprar (*make or buy*), podendo promover produtos com margens negativas e negligenciando produtos com margens positivas, além dos riscos de afastamento daqueles clientes lucrativos para a empresa.

Ainda segundo Di Domenico (1994), a contabilidade de custos pode ser definida ainda como um conjunto de registros específicos, baseados em escrituração regular (contábil) e apoiada por elementos de suporte (planilhas, rateios, cálculos, controles) utilizados para identificar, mensurar e informar os custos das vendas de produtos, mercadorias e serviços. Há elementos importantes no custo de um produto fabricado que devem ser destacados:

- a) Material Direto: todo material integrante do produto acabado que possa ser convenientemente atribuído a unidades físicas específicas. Certos materiais de apoio ou menos importantes podem ser considerados suprimentos ou materiais indiretos, devido à dificuldade ou impraticabilidade de atribuir esses itens às unidades físicas específicas do produto;

- b) Mão-de-Obra Direta: toda mão-de-obra que nitidamente se relacione e seja claramente consignável aos produtos específicos. Alguns casos de mão-de-obra, como por exemplo, a do pessoal do manejo e limpeza de materiais e vigilância, é considerada indireta, devido à dificuldade ou impraticabilidade de atribuir esses itens às unidades físicas específicas do produto. O termo “direto” em custeio de produto envolve em grande parte os itens de custo que podem ser convenientemente identificados com uma partida do produto;
- c) Custos Indiretos de Fabricação: todos os custos de fábrica, exceto os materiais diretos e ou a mão-de-obra direta. Outras denominações como: carga de fabricação, despesas indiretas de fabricação. Existem dois tipos principais de custos indiretos na fábrica:
  - c.1) Custos Indiretos de Fabricação Variáveis: os dois exemplos principais são os suprimentos e a maior parte da mão-de-obra indireta. Para que o custo de uma mão-de-obra indireta seja variável ou não, vai depender de seu comportamento na empresa;
  - c.2) Custos Indiretos de Fabricação Fixos: Normalmente são custos distribuídos através de tabela de rateios. Entre os exemplos mais comuns são: aluguéis, seguros, depreciação e salários de supervisão.

A seguir são apresentadas as principais etapas relativas ao esquema básico para apuração de custos dos produtos, de acordo com (MARTINS, 2003):

- 1) Separação entre custos e despesas;
- 2) Apropriação dos custos diretos de fabricação aos produtos;
- 3) Apropriação dos custos indiretos aos departamentos;
- 4) Rateio dos custos diretos comuns e dos da Administração Geral da produção aos diversos departamentos, quer de produção quer de serviços;
- 5) Escolha da sequência de rateios dos Custos acumulados nos departamentos de serviço e sua distribuição aos demais departamentos;
- 6) Atribuição dos custos indiretos que agora só estão nos Departamentos de Produção aos produtos segundo critérios pré-fixados.

O rateio dos acumulados nos departamentos de serviços compartilhados e análise dos custos dos processos são facilitados quando efetuado mediante a técnica dos custos baseados em atividades.

### 3.5.11 Metodologias de Estimativa de Custeio de Produtos e Serviços

Após o conhecimento dos conceitos e definições de custo, serão tratados nesta seção os conceitos de metodologias e apropriações de custeio mais utilizadas, as quais são citadas: *i)* de custeio por absorção; *ii)* custeio direto ou marginal; *iii)* de custeio baseado em atividade; e *iv)* modelo de custeio por características.

#### 3.5.11.1 Custeio por absorção

O custeio por absorção é o mais utilizado pelas empresas por ser o único aceito pelas autoridades fiscais. Consiste na apropriação de todos os custos de produção aos bens elaborados. Todos os gastos relativos ao esforço de produção são distribuídos para todos os produtos ou serviços elaborados, de acordo com (MARTINS, 2003).

Segundo Wernke (2004), As principais vantagens do custeio por absorção, são:

- a) Atende à legislação fiscal e deve ser usado quando a empresa busca o uso do sistema de custos integrados à contabilidade;
- b) Permite a apuração do custo por centro de custos e a apuração do custo total de cada produto.

Ainda de acordo com Wernke (2004), a principal desvantagem do custeio por absorção, consiste na utilização de chaves de rateios para distribuir os custos entre os departamentos e/ou produtos.

Segundo Martins (2003), existe também uma condição particular do Custeio por Absorção que é o processo de departamentalização, que pode ser bastante útil para a eliminação das arbitrariedades das chaves de rateio. Normalmente são os serviços compartilhados de mão-de-obra prestada pelos departamentos.

#### 3.5.11.2 Método do custeio direto ou marginal

De acordo com Martins (2003), O custeio Marginal surgiu na década de 30 com o objetivo de tornar mais flexível o processo de decisão em relação a preços e custos e decisões de fabricação. O método do custeio marginal elimina as possíveis variações das chaves de rateio transformando os custos indiretos de fabricação em Despesas Fixas de Fabricação, alocando os Custos Indiretos de Fabricação (CIF) não individualmente aos produtos objetos de custeio, mas diretamente à Demonstração de Resultados da Empresa.

Ainda segundo Martins (2003), o custeamento marginal destina-se a auxiliar no processo de planejamento e na tomada de decisões. Tal afirmativa baseia-se no pressuposto que os custos variáveis são fixos por produto. Ou seja: o produto que apresentar maior margem de contribuição total será o mais interessante para a empresa.

Para a implantação do custeamento marginal faz-se necessário a classificação dos custos em fixos e variáveis e é preciso classificar também os custos em diretos e indiretos, tal como é feito no custeamento por absorção, finaliza (MARTINS, 2003).

#### 3.5.11.3 Sistema de custeio baseado em atividades

Segundo Martins (2003), O sistema de custeio ABC (*Activity Based Costing*) é um método de custeamento cujo objetivo está associado ao gerenciamento por projetos e processos. Basicamente, suas principais funções estão associadas à mensuração dos custos fixos das atividades e à identificação das atividades que mais agregam valor e, também, à eliminação daquelas atividades que não agregam valor.

O custeio ABC é um método de análise de custos que busca “rastrear” os gastos de uma empresa para analisar e monitorar o consumo dos recursos diretamente identificáveis com suas atividades mais relevantes e destas para os produtos ou serviços, segundo considera Nakagawa (1995).

Para saber o que é o ABC, é necessário responder a quatro questões básicas de acordo com (KAPLAN & COOPER, 1998):

- a) Que atividades estão sendo executadas pelos recursos organizacionais?
- b) Quanto custa executar estas atividades organizacionais nos processos de negócios?
- c) Por que a empresa precisa executar estas atividades e processos de negócios?
- d) Quanto de cada atividade é necessário para os produtos, serviços e clientes do meu negócio?

No Custeio Direto, os custos indiretos de fabricação são considerados como Despesas Fixas de Produção e alocados diretamente aos resultados globais da empresa. No custo ABC, os custos indiretos de fabricação são rastreados e alocados às atividades e, estas últimas, aos clientes e produtos. No Custeio por Absorção, os custos indiretos são alocados através de rateio.

#### 3.5.11.4 Modelo de custeio por características

De acordo com Brimson (2001), no projeto de desenvolvimento do produto, este deve ser tratado como um somatório de características na sua composição. A previsão do custo do produto passa por uma estimativa de acordo com suas características. Ainda segundo Brimson (2001), uma das atividades iniciais do processo de desenvolvimento do produto é a definição do custo-alvo e, a partir deste, determinam-se as características do produto ou serviço de tal forma que atendam às necessidades dos clientes. Esta é uma justificativa para o desdobramento do objeto de custeio em características.

Brimson (2001) indica ainda, segundo a Figura 17, que nem todos os custos podem ser rastreados até as suas características, tendo em vista que alguns custos provêm de serviços compartilhados, os quais são alocados diretamente aos produtos. Verifica-se, além disso, que alguns custos não são rastreáveis e devem usar outra base de rateio para sua apropriação aos produtos.

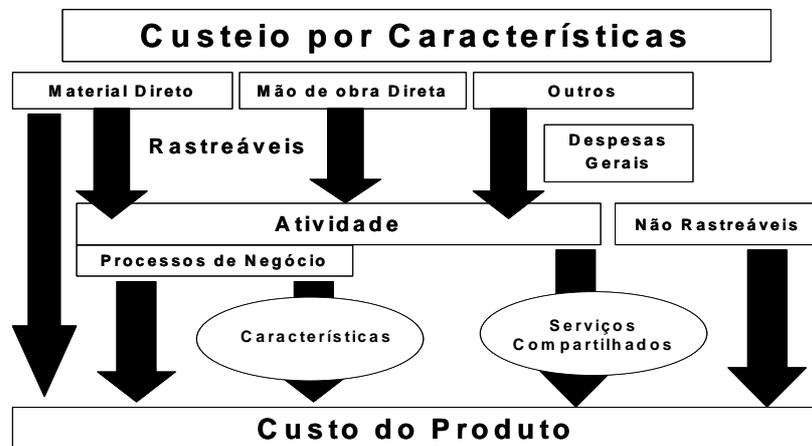


Figura 17 – Custeio por características (BRIMSON, 2001)

Conclui-se que as metodologias de estimativa de custeio de produtos e serviços buscam diferenciais sob a forma de reduções de custos, necessários para competitividade e tomadas de decisões estratégicas. Assim, diferenciações em produtos e serviços, tornam-se primordiais à adoção de sistemas de custeio que melhor se adaptem a realidade das empresas.

Ressalta-se que as definições e conceitos abordados na seção 3.5 do presente capítulo (Viés Econômico) tratam sobre conceitos de custos e indicadores de desempenho, os quais são de fundamental importância para o desenvolvimento da metodologia para avaliação da produtividade do sistema em estudo, apresentada no Capítulo 4 a seguir. Esta metodologia, identifica um gargalo produtivo e avalia, do ponto de vista financeiro, o investimento viável a ser realizado a partir do aumento de produtividade verificado como possível no gargalo.



#### 4 METODOLOGIA: MODELO DE SIMULAÇÃO E ANÁLISE FINANCEIRA

Para a avaliação do aumento de produtividade da linha de pintura de veículos em análise, fez-se uso de uma abordagem com dois estágios complementares:

- (i) Inicialmente, um modelo de simulação a eventos discretos foi utilizado para determinar a viabilidade técnica de aumento da produção, indicando “pontos gargalo” do processo a serem aprimorados para viabilizar o aumento de produtividade;
- (ii) Na sequência, uma análise financeira foi utilizada para determinar os montantes máximos que poderiam ser investidos para implementar as mudanças sugeridas pelo modelo, segundo critérios econômicos definidos pela companhia.

Para a simulação do sistema de manufatura em estudo foi desenvolvido um modelo de simulação a eventos discretos no *software* Simio (SIMIO, 2016). Os principais recursos utilizados deste *software* para a construção desse modelo são explicados a seguir na seção 0. A seção 4.2 apresenta o modelo em si, enquanto a seção 4.3 indica como foi realizada a coleta dos resultados obtidos. Já a partir da seção 4.4 apresenta-se a metodologia utilizada para realizar a análise financeira proposta. Justifica-se o uso do *software* Simio por apresentar recursos de estado da arte para a implementação de modelos de simulação a eventos discretos (SIMIO, 2016).

A seguir na Figura 18 apresenta-se o fluxograma das atividades realizadas na pesquisa, a qual poderá ser desenvolvida em indústrias do setor automotivo a partir das diretrizes delineadas no presente trabalho. Configura-se um método detalhado para este tipo de avaliação de viabilidade econômica-financeira e apresenta-se como uma contribuição da presente dissertação.

O fluxo da Figura 18 está em consonância com o objetivo específico e), definido na subseção 1.3.2. Trata-se de uma forma dinâmica de apresentação e detalhamento da sistemática de análise de produtividade proposta utilizando os *softwares* correspondentes (Simio e Excel), em cada uma das etapas dos trabalhos desenvolvidos.

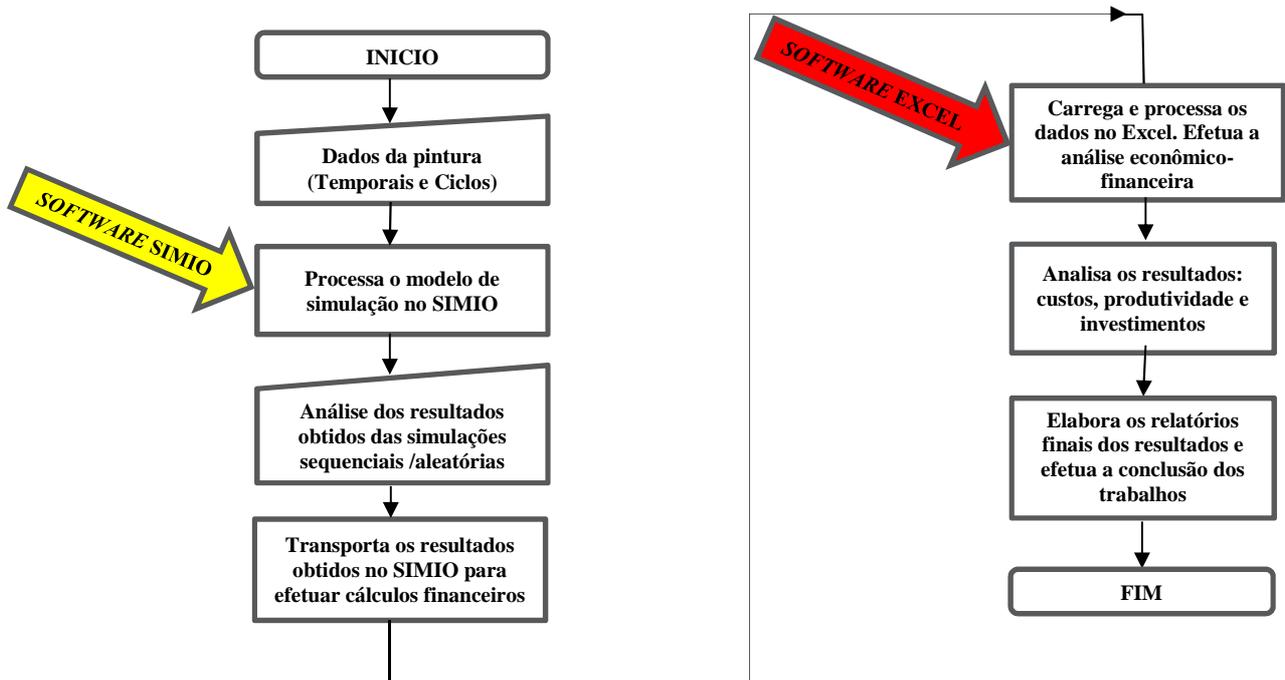


Figura 18 – Sistemática de Análise de Produtividade Proposta

#### 4.1 MODELO DE SIMULAÇÃO: RECURSOS UTILIZADOS

Antes da exposição e detalhamento do modelo de simulação proposto (seção 4.2), são apresentados, a seguir, os principais recursos utilizados para o desenvolvimento do modelo de simulação a eventos discretos usando-se o *software* Simio (SIMIO, 2016).

##### 4.1.1 ModelEntity

Este elemento, também chamado de entidade, representa o recurso que vai ser avaliado no modelo. Para este trabalho as entidades são cabines sólidas e metálicas, como apresentado na Figura 19.



Figura 19 –Entidades utilizadas no modelo.

##### 4.1.2 Source

Este elemento “fonte” é responsável pela criação de entidades. Tem como parâmetros de entrada uma lista, se a ordem de cabines a serem geradas tiverem uma sequência definida. Por exemplo, é usual a existência de uma proporção de três cabines do tipo sólida a cada cabine

metálica produzida. Ou seja, a repetição de uma sequência 3x1 (três cabines sólidas seguidas de uma metálica) pode ser considerada na entrada do modelo. Se o modelo tiver uma ordem de entrada de cabines aleatória, se tem como parâmetro de entrada o *mix* desejado e o espaço de tempo utilizado entre a criação de uma entidade e outra. Por exemplo, se for desejado fazer um *mix* de 10% de cabines metálicas e 90% de cabines sólidas é necessário atribuir os valores 1 e 9 para cada tipo de cabine, respectivamente. O *source* do modelo elaborado é ilustrado na Figura 20.

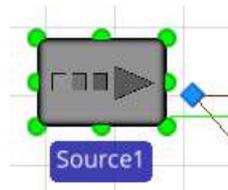


Figura 20 – Exemplo de *Source* utilizado no modelo

#### 4.1.3 *Server*

Este elemento é o responsável por fazer o processamento da entidade em um tempo definido. Neste processo pode apenas haver um gasto de tempo, ou também pode ocorrer troca de características da entidade, como, por exemplo, a mudança de cor da mesma. Esse elemento está representado na Figura 21, onde também é possível notar a presença de três linhas. A primeira (a esquerda da figura) representa o *buffer* de entrada, a segunda (ao centro da figura) os elementos que estão sendo processados e a terceira o *buffer* de saída. O *server* tem uma cor padrão dependendo da ação que está realizando. Ele fica verde quando está processando alguma cabine, fica cinza quando está vazio e amarelo quando está bloqueado. As características dessas ações estão detalhadas na seção 4.3.

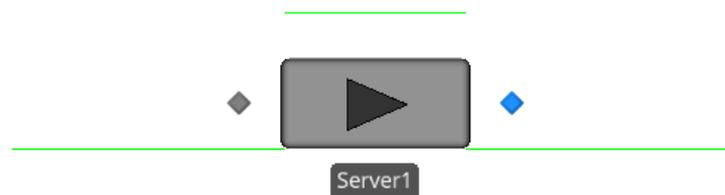


Figura 21 – Exemplo de *Server* utilizado no modelo

#### 4.1.4 Sink

Este elemento é o responsável pela “destruição” das entidades criadas. Para este modelo foram utilizados apenas os parâmetros de entrada padrões desse elemento. Os elementos do tipo *sink* utilizados no modelo são ilustrados na Figura 22.

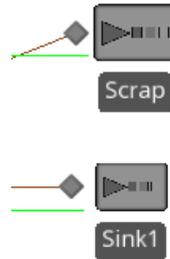


Figura 22 – Exemplos de *Sink* utilizados no modelo

#### 4.1.5 Conectores

Para a construção do modelo foram utilizados dois tipos de conectores, o *TimePath* e o *Connector*, que são responsáveis por fazer a ligação entre os demais elementos. Na Figura 23, a seguir colocada, exemplificam-se estes dois conectores.

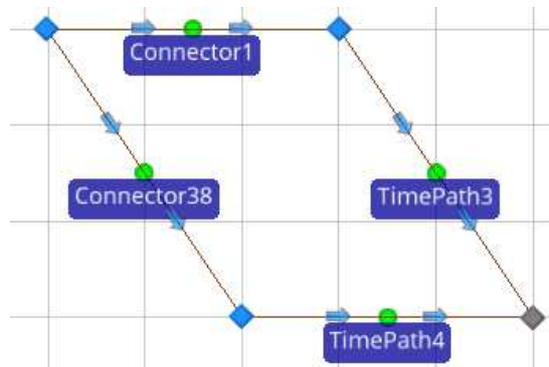


Figura 23 – Exemplos de Conectores utilizados no modelo

## 4.2 MODELO DE SIMULAÇÃO: ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

O modelo desenvolvido apresenta duas variantes para o tratamento da entrada de cabines. No primeiro caso utiliza-se uma sequência definida da ordem das cabines na entrada. No segundo, utiliza-se um *mix* de entrada aleatório. Para o caso com a entrada de cabines em uma ordem definida foi utilizado um *source* para a criação de cabines. Essas cabines são representadas por *ModelEntity*: a sólida de cor vermelha e a metálica com cor azul, quando passa pela primeira vez no processo.

Quando a metálica passa pela segunda vez no processo a cor utilizada para representação foi o preto. O *source* fornece as cabines de acordo com a *table* “DadosDeEntrada”, que é composta pelos elementos “OrdensDeCabine”, “TemposDeCabine” e “Prioridades”. Todos os dados devem ser definidos pelo usuário na hora de realizar as simulações, conforme ilustrado na Figura 24.

	Ordens De Cabine	TemposDeCabine (Minutes)	Prioridades
1	Solida	0	1
2	Solida	7.5	2
3	Solida	15	3
4	Metalica	22.5	4
5	Solida	30	5
6	Solida	37.5	6
7	Solida	45	7
8	Metalica	52.5	8
9	Solida	60	9
10	Solida	67.5	10
11	Solida	75	11
12	Metalica	82.5	12
13	Solida	90	13
14	Solida	97.5	14
15	Solida	105	15
16	Metalica	112.5	16
17	Solida	120	17
18	Solida	127.5	18
19	Solida	135	19
20	Metalica	142.5	20

Figura 24 – Exemplo de Tabela de dados de entrada.

A coluna “OrdensDeCabine” é a responsável pelo sequenciamento de cabines no *source*. Portanto, é ela que define a ordem de entrada das cabines. A coluna “TemposDeCabine” define o tempo a partir do início da simulação que cada cabine sairá do *source*. Esses tempos são igualmente espaçados seguindo a especificação:

$$t(x) = \begin{cases} 0, & x = 1 \\ t(x - 1) + n, & x > 1 \end{cases}$$

onde,  $t(x)$  é o tempo que a cabine irá sair do *source*;  $x$  é o número da ordem onde a cabine se encontra na fila, isto é, a primeira cabine a sair do *source* tem o número 1, a segunda tem o número 2 e assim sucessivamente. O elemento  $n$  é o espaço de tempo entre a saída de duas cabines. Esse espaço de tempo é fornecido em unidades de tempo (U.T.). “Prioridades” é o dado que possibilita a

segunda passagem da metálica no processo ter prioridade sobre a sólida e a primeira passagem da metálica.

Após o *source*, são adicionados dois elementos de *Timepath*, que são responsáveis por fazer a diferenciação entre as cabines metálica e sólida. Após isso é colocado um *Server* com nome *EcoatSelantePrimer*, que é uma estação que representa toda a primeira parte do processo de pintura. Essa estação tem o tempo de 423.35 U.T. (vide Apêndice 1), que é o somatório dos tempos de todas as estações dos processos de *e-coat*, selante e *primer*. A Figura 25 a seguir ilustra esta parte inicial do processo. Alternativamente à implementação realizada, poder-se-ia desenvolver uma configuração no *software* de simulação com viés de medir também o padrão de solicitação de cabines da linha, fato a ser tido em conta para trabalhos futuros.

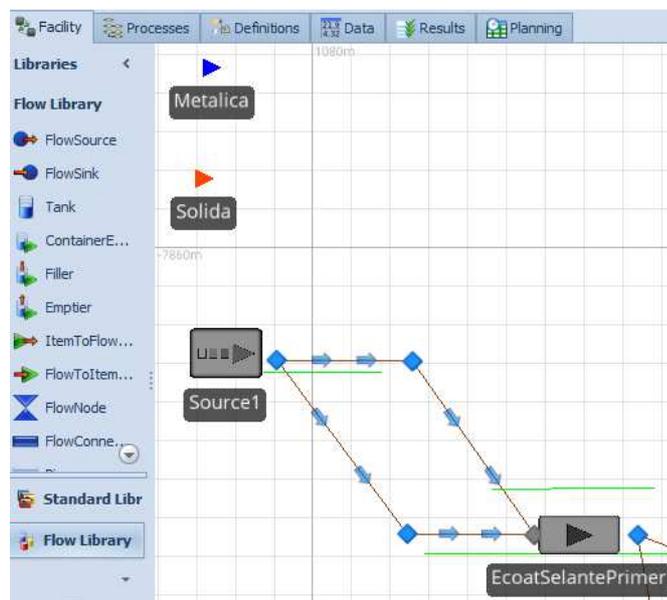


Figura 25 – Ilustração da parte inicial do modelo de simulação.

Conforme ilustrado na Figura 26, a seguir, na saída do *server EcoatSelantePrimer*, as cabines podem seguir o processo normalmente, indo para a estação *et87*, ou podem ir para a estação *retoque2*; esta última tem 0.2% de possibilidade de ocorrência. Esse dado foi retirado de uma amostragem real fornecida pela empresa (vide Seção 2.4). Assim, a probabilidade de ocorrência de distúrbios no processo, como retoques, retrabalhos, rejeições (*scraps*) podem afetar cada simulação executada. No final da estação *et117* também há uma saída para o *retoque2*, contudo esta saída tem uma probabilidade maior de ocorrer, sendo de 7.9%. Esse parâmetro também foi retirado dos dados fornecidos pela empresa (vide Seção 2.4). O *retoque2* consegue identificar se a cabine veio do *EcoatSelantePrimer* ou da *et117*, e consegue, depois do tempo de reparos, devolver as cabines para

seu devido lugar; isto é, o exato lugar onde ela parou no processo. O *retoque2* é um *server* que representa um lugar na indústria onde são realizados consertos e reparos em cabines que, de alguma forma, foram danificadas durante o processo. A estrutura de decisão do *retoque2* também pode ser vista na Figura 26.

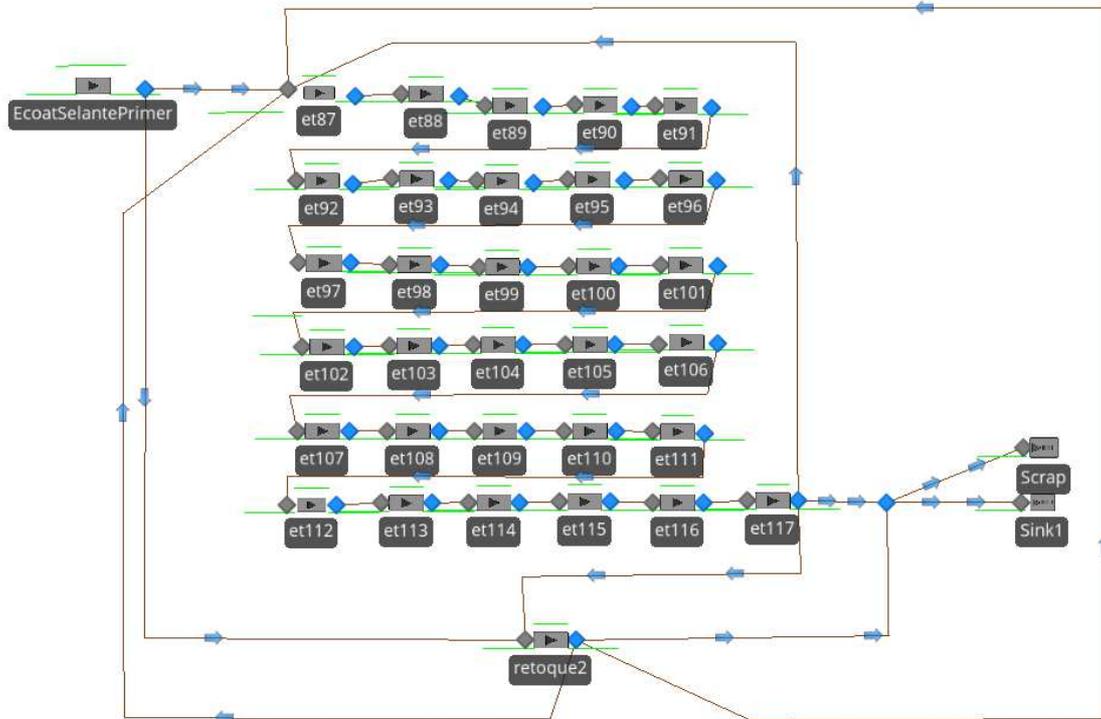


Figura 26 – Parte principal do modelo de simulação

Se a cabine não tem como ser reparada, ela é levada para o *scrap*, indicando que a cabine será descartada. No modelo, o *scrap* está em paralelo com o *sink1*. O *scrap* tem 0.3% de possibilidade de ocorrência no volume total de cabines produzidas, sendo esse dado fornecido a partir de uma amostragem feita pela indústria (vide Seção 2.4). A Figura 27, a seguir, destaca os elementos *scrap* e *sink* mencionados.

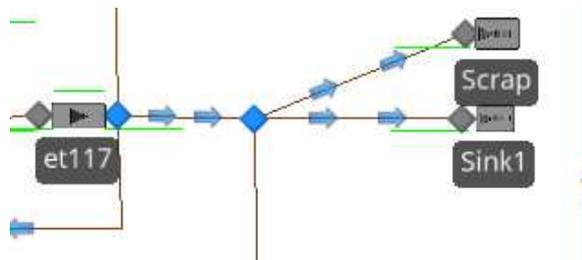
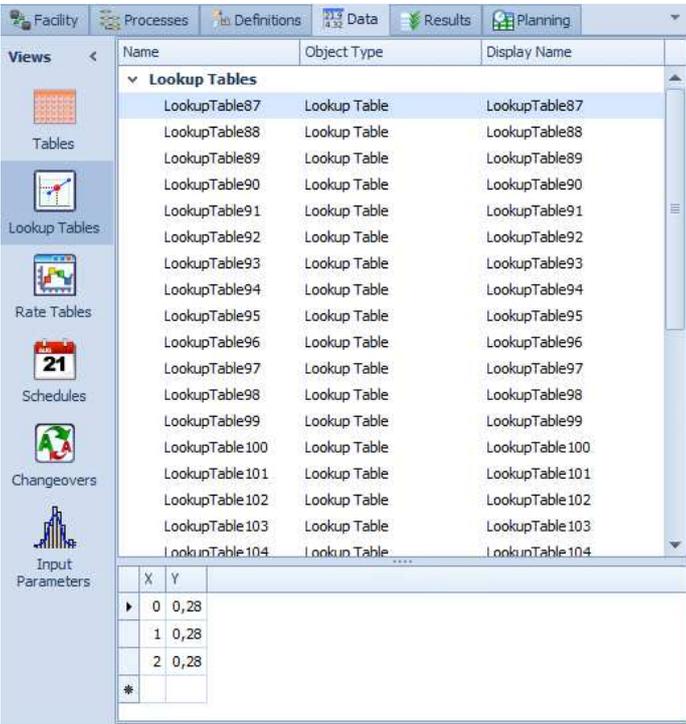


Figura 27 – Parte final do modelo.

No modelo também podem ser encontrados 31 *servers* que vão do et87 até o et117; esses *servers* representam as estações de trabalho que realizam a parte do *Top-coat* da pintura das cabines. A estação et87 tem associado um elemento de *buffer* que tem o espaço para suportar 12 cabines. O *server* et87 também consegue identificar se é uma cabine sólida, ou se é a primeira passagem da metálica ou a segunda passagem da metálica na linha. Essas estações também têm seus tempos definidos por trinta e uma *Lookup Tables* que definem o tempo que sólidas e metálicas terão em cada estação. A Figura 28 ilustra a tabela mencionada. Cada *Lookup Table* está relacionada a uma estação específica. Na coluna X é colocada cada tipo de cabine, sendo o valor “0” para metálicas na primeira passagem, “1” para metálicas na segunda passagem e “2” para sólidas. Na coluna Y são colocados os tempos de processamento para cada tipo de cabine, respectivamente.



The screenshot shows a software interface with a menu bar (Facility, Processes, Definitions, Data, Results, Planning) and a sidebar with icons for Tables, Lookup Tables, Rate Tables, Schedules, Changeovers, and Input Parameters. The main window displays a list of Lookup Tables with columns for Name, Object Type, and Display Name. Below the list is a small table with columns X and Y.

Name	Object Type	Display Name
LookupTable87	Lookup Table	LookupTable87
LookupTable88	Lookup Table	LookupTable88
LookupTable89	Lookup Table	LookupTable89
LookupTable90	Lookup Table	LookupTable90
LookupTable91	Lookup Table	LookupTable91
LookupTable92	Lookup Table	LookupTable92
LookupTable93	Lookup Table	LookupTable93
LookupTable94	Lookup Table	LookupTable94
LookupTable95	Lookup Table	LookupTable95
LookupTable96	Lookup Table	LookupTable96
LookupTable97	Lookup Table	LookupTable97
LookupTable98	Lookup Table	LookupTable98
LookupTable99	Lookup Table	LookupTable99
LookupTable100	Lookup Table	LookupTable100
LookupTable101	Lookup Table	LookupTable101
LookupTable102	Lookup Table	LookupTable102
LookupTable103	Lookup Table	LookupTable103
LookupTable104	Lookup Table	LookupTable104

X	Y
0	0,28
1	0,28
2	0,28
*	

Figura 28 – Exemplificação da *Lookup Table*

Para o modelo com cenário de entrada aleatório, o *source* não fica relacionado com a *table* “DadosDeEntrada”, ou seja, a maioria dos parâmetros são colocados diretamente no *source*. O único dado que é colocado em uma tabela é o *mix* de produção, apresentado na Figura 29. Pode-se observar que são criadas duas colunas, onde a primeira representa o tipo do veículo e a segunda apresenta a proporção em que cada tipo de veículo vai ser gerado pelo *source*. Neste projeto foi utilizado o *mix* 3x1, pois esse dado é muito próximo do *mix* real observado. O *source* também tem como parâmetro de entrada o tempo que leva entre a criação de uma cabine e outra.

Para o modelo aleatório, o *source* não fica relacionado com a *table* “DadosDeEntrada”. Quase todos os dados são colocados diretamente no *source*. O único dado que é colocado em uma tabela é o *mix* produtivo em si, conforme Figura 29.

Tipos De Carro		Dados De Entrada	Sequencsol	Sequencemet
	Tipos	Real Property1		
▶ 1	Solida	3		
2	Metallica	1		
*				

Figura 29 – Ilustração de um *mix* produtivo 3x1

### 4.3 MODELO DE SIMULAÇÃO: COLETA DE RESULTADOS

Para a coleta de resultados foram utilizados dois recursos. O primeiro é pautado em gráficos de pizza. Foi colocado um gráfico para cada *server* presente no modelo. Os gráficos trazem uma avaliação constante do que está ocorrendo em uma determinada estação. No final da simulação indicam como cada estação ocupou seu tempo durante o processo. Esse recurso está apresentado na Figura 30.

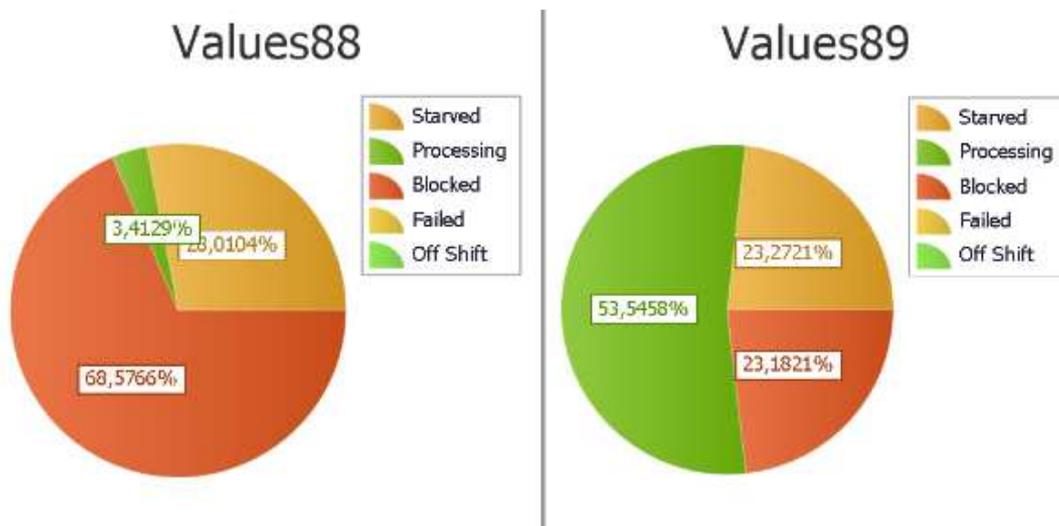


Figura 30 – Exemplos de gráficos de pizza associados aos *servers*

Pode-se notar que são utilizados três *status* (indicações) principais nestes gráficos. O primeiro é o *Starved* que indica o tempo em que a estação ficou vazia (sem alimentação). O segundo é o *Processing* que avalia o tempo em que a estação ficou processando cabines. E o

terceiro é o *Blocked* que representa o tempo que, após ser processada uma cabine, ela não consegue sair da estação, pois a estação posterior está ocupada. Esse recurso foi usado principalmente para avaliar possíveis regiões de gargalos.

O segundo recurso utilizado foi a função *Experiments* do Simio (SIMIO, 2016). Ela tem como parâmetros de entrada o tempo de simulação, o número de replicações e também o *Warm-up*. O *Warm-up* é o tempo necessário para o modelo entrar em um regime de funcionamento. A partir desse tempo se inicia a coleta efetiva de resultados para a análise. Desta forma, evita-se que condições de inicialização do experimento (*e.g.*, linha “vazia”) interfiram nos resultados obtidos. Na prática, a linha real em análise tende a ter os postos de trabalho “preenchidos” em uma condição de inicialização.

Para a coleta de resultados foram utilizadas 100 replicações, num total de 33,5 horas de simulação das quais 12 horas de *warm-up*. O número de replicações foi fixado a partir de observação prática que mostrava que o intervalo de confiança não sofria alterações significativas em relação a exemplos iniciais executados com 1000 replicações. Alguma diferença era observada, contudo, para casos executados com somente 10 replicações. Desta forma, estabeleceu-se, de modo conservador, o valor de 100 replicações como o adotado nos experimentos realizados. Logo, a coleta efetiva de dados é de 21,5 horas por simulação, que é o resultado do somatório dos tempos de três turnos seguidos em um dia de produção. Este valor do tempo total dos turnos foi um dado fornecido pela empresa (vide Seção 2.4).

As respostas obtidas são fornecidas em tabelas como a que está apresentada na Figura 31. Nessa tabela é possível coletar todas as informações da simulação. Pode-se observar que, para este caso, foram fornecidos o número de cabines que passaram pelo *sink* e retoque. Também é possível obter os resultados do tempo que cada estação dispendeu processando, vazia e bloqueada. Outro ponto que pode ser observado na Figura 31 é a presença do elemento *Half Width*, que é um intervalo de confiança em torno da média dos valores encontrados nas replicações (SIMIO, 2016).

Drop Filter Fields Here									
Average						Scenario 1			
Object Type	Object N...	Data Source	Category	Data Item	St...	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Sink	Sink1	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	161,080	157,0000	167,0000	0,4722
	Scrap	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	0,450	0,0000	2,0000	0,1633
Server	retoque2	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	16,3600	6,0000	25,0000	1,0587
		[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	0,2520	0,0879	0,4097	0,0172
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	99,7480	99,5903	99,9121	0,0172
	et99	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	81,5803	81,4884	81,5814	0,0025
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	18,4197	18,4186	18,5116	0,0025
	et98	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	81,5741	81,4884	81,5814	0,0066
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	18,4259	18,4186	18,5116	0,0066
	et97	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	81,5442	81,4884	81,5814	0,0042
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	18,4558	18,4186	18,5116	0,0042
	et96	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	81,4927	81,4884	81,5814	0,0041
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	18,5073	18,4186	18,5116	0,0041
	et95	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	4,3176	4,2977	4,3194	0,0016
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	95,6824	95,6806	95,7023	0,0016
	et94	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	4,3176	4,2977	4,3194	0,0016
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	95,682	95,6806	95,7023	0,0016
	et93	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	4,3188	4,2977	4,3194	0,0007
		[Resource]	ResourceState	TimeStarved	Percent	95,681	95,6806	95,7023	0,0007
	et92	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	100,0000	100,0000	100,0000	0,0000
et91	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	100,0000	100,0000	100,0000	0,0000	
et90	[Resource]	ResourceState	TimeBlocked	Percent	31,3792	31,3310	31,4698	0,0068	
	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	68,6208	68,5302	68,6690	0,0068	
et89	[Resource]	ResourceState	TimeBlocked	Percent	31,9934	31,9481	32,0868	0,0070	
	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	68,0066	67,9132	68,0519	0,0070	
et88	[Resource]	ResourceState	TimeBlocked	Percent	95,681	95,6806	95,7023	0,0007	
	[Resource]	ResourceState	TimeProcessing	Percent	4,3188	4,2977	4,3194	0,0007	

Figura 31 - Resultados de um Experimento.

Desta forma, conforme apresentado na presente seção, configurou-se um modelo de simulação a eventos discretos capaz de representar o processo de pintura em análise.

#### 4.4 ANÁLISE ECONÔMICA: MÉTODO DO CÁLCULO DE CUSTOS

A partir dos resultados da simulação obtidos através do *software Simio* (SIMIO, 2016), com os resultados técnicos indicando ser viável o aumento de capacidade através da identificação dos gargalos, prosseguiu-se para a análise de viabilidade econômica-financeira do projeto. Por se tratar de um caso inspirado em uma situação real, essa análise é conduzida com o objetivo de avaliar a decisão sobre investimento no projeto, baseado nos benefícios de produtividade sugeridos pelo modelo de simulação, e do potencial de redução de custos avaliado na análise financeira. Uma

questão central a ser observada é: Qual o montante máximo que pode ser investido para viabilizar o aumento da produtividade sugerido pelo modelo de simulação?

O modelo de cálculo de custos obedece aos critérios e sistemáticas de demonstração financeira de acordo com as Normas Internacionais de Contabilidade (CPC 26, 2011) e tem como objetivo representar o caso atual de apuração de custos decorrentes das operações na área de pintura de cabines, baseado em dados e parâmetros coletados na Empresa. Os valores são apresentados em Unidades Monetárias (UM ou \$), para preservação de informações de caráter sigiloso.

Os resultados preliminares obtidos por meio de testes com o modelo de simulação a eventos discretos, conforme detalhamento apresentado *a posteriori* na seção 5.1, indicaram uma significativa perda na capacidade de produção, motivada por gargalos observados em duas áreas distintas: (i) área robotizada de pintura (vide Figura 32), e (ii) área de solda, responsável pela entrega de cabines para a área de pintura. Desta forma, a análise financeira desenvolvida tem seu foco na avaliação destes pontos identificados.



Figura 32 – Área Robotizada de Pintura

O volume diário de produção da área de pintura de cabines, considerando 3 turnos, indica uma capacidade de produção de aproximadamente 150 cabines nas versões de cores metálicas e sólidas, com um *mix* produtivo atual de 3x1, ou seja, sendo pintadas sequencialmente 3 cabines sólidas e 1 cabine metálica.

A Tabela 2, a seguir, ilustra o *layout* geral proposto para o cálculo e apropriação de custos de cabines sólidas e metálicas de acordo com o levantamento de dados obtidos *in loco*. Estes dados foram coletados ao longo de um período de 6 meses por meio de apontamentos na unidade de produção, utilizando critérios, instruções e procedimentos padronizados pela empresa. Esta tabela e as seguintes serão extensamente usadas no Capítulo 5, Resultados, onde os valores numéricos serão apresentados e discutidos.

Tabela 2 – *Layout* do custo unitário da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- MATERIAIS</b>			
TINTAS			
VERNIZES			
PRIMER			
SURFACER			
SELANTE			
MATRL.AUXILIARES (Solvente, Estopa, Etc.)			
<b>TOTAL DOS CUSTOS COM MATERIAIS</b>			
<b>- CUSTOS DE OPORTUNIDADES - MONETÁRIOS</b>			
JUROS CALCULADOS S/INVENTÁRIOS (0,5%)			
JUROS CALCULADOS S/FERRAMENTAIS (15% aa)			
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE OPORTUNIDADES</b>			
<b>- CUSTOS DE CONVERSÕES</b>			
REJEIÇÕES E REPAROS (1%)			
LOGÍSTICA E TRANSPORTES			
HORISTAS DIRETOS - MÃO-DE-OBRA DIRETA			
HORISTAS INDIRETOS - MÃO-DE-OBRA INDIRETA			
DESPESAS GERAIS DE FABRICAÇÃO			
OUTROS CUSTOS			
RECUPERAÇÃO DE CUSTOS			
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE CONVERSÃO</b>			
<b>- CUSTOS DE CAPITAL - MONETÁRIOS</b>			
DEPRECIAÇÃO			
JUROS CALCULADOS S/ATIVOS FIXOS (15% aa)			
<b>TOTAL CUSTOS DE CAPITAL</b>			
<b>- OUTROS CUSTOS</b>			
CUSTOS INICIAIS DE PROJETOS			
CUSTOS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS			
OUTROS CUSTOS			
<b>TOTAL OUTROS CUSTOS</b>			
<b>TOTAL DE CUSTOS DO PRODUTO</b>			

O *layout* de custo é definido através de orientações técnicas e financeiras e possui características próprias de acordo com as atividades de cada empresa. Este necessita atender diversas finalidades direcionadas aos gestores para tomada de decisão, além de atender às questões relacionadas aos aspectos contábeis, legais e tributários na esfera pública. Sua classificação é definida como custos fixos e variáveis, diretos e indiretos, conforme detalhado na seção 3.5. Os itens de custos da pintura de cabines para veículos, foram baseados na realidade da empresa do setor automotivo e apresentam a subdivisão a seguir elencada:

1. Custos de Materiais e/ou Matérias Primas;
2. Custos Financeiros e/ou Oportunidades;
3. Custos de Conversão;
4. Custos de Capital e/ou Monetários;
5. Outros Custos.

#### 4.4.1 Detalhamento de Custos Utilizados no Modelo

##### a) Custos de Materiais e/ou Matérias Primas

Neste item são alocados todos os materiais classificados e utilizados no processo de pintura de cabines. São integrantes do produto acabado, ou em processo de fabricação, todos os materiais que são utilizados convenientemente e atribuídos às unidades físicas específicas da produção. Certos materiais menos importantes tais como solventes, estopas, lixas e cola, por exemplo, podem ser considerados suprimentos ou materiais indiretos, devido à impraticabilidade de atribuir esses itens às unidades físicas específicas do produto. Para este trabalho são apresentados todos os itens de custos de materiais conforme exemplificado na Tabela 3.

Tabela 3 – Demonstrativo de custo dos materiais da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- MATERIAIS</b>			
TINTAS			
VERNIZES			
PRIMER			
SURFACER			
SELANTE			
MATRL.AUXILIARES (Solvente, Estopa, Etc.)			
<b>TOTAL DOS CUSTOS COM MATERIAIS</b>			

##### b) Custos de Oportunidade e/ou Monetários

Todo capital investido na produção deve ser remunerado através da sua alocação nos custos de produção, da parcela que corresponde às taxas de juros financeiros remunerados pelas instituições financeiras (bancos e conglomerados financeiros). Isto significa que todo produto deve receber esta parcela de custo equivalente aos rendimentos das aplicações financeiras, se porventura o capital tivesse sido aplicado no mercado financeiro ao invés de um projeto. Para os custos de oportunidades e/ou monetários foram remunerados à taxa de mercado, os ônus dos inventários na proporção de 0,5% sobre a permanência deles em poder da empresa (média de 5 dias) e 15% ao ano relativo aos investimentos em ferramentais junto à rede de fornecedores, conforme destacado na Tabela 4.

Tabela 4 – Demonstrativo de custo de oportunidades e/ou monetários da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- CUSTOS DE OPORTUNIDADES - MONETÁRIOS</b>			
JUROS CALCULADOS S/INVENTÁRIOS (0,5%)			
JUROS CALCULADOS S/FERRAMENTAIS (15% aa)			
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE OPORTUNIDADES</b>			

### c) Custos de Conversão

Conforme destacado na Tabela 5, estes custos pertencem à categoria de transformação dos materiais e matérias primas em produto acabado. Classificam-se neste segmento de custos, os principais itens que direta ou indiretamente são necessários para que ocorra a transformação da origem (matéria-prima) para o destino (produto acabado). Os principais itens de custos são: rejeições e reparos, logística e transportes, mão-de-obra direta, mão-de-obra indireta e despesas gerais de fabricação, conforme a seguir detalhado.

**c.1) Rejeições e Reparos** representam uma parcela dos custos relativos às perdas de pequena monta na produção. Estatísticas da linha em estudo apontam um percentual médio de 1% de incidente sobre o custo dos materiais alocados no produto final.

**c.2) Logística e Transportes** são alocados no custo baseado nas despesas ocorridas com os transportes aéreos, marítimos e rodoviários e outros eventuais gastos inerentes ao processo de locomoção e manuseio dos materiais utilizados na linha de produção.

**c.3) Mão-de-Obra Direta e/ou Horistas Diretos** é aplicada sobre a totalidade dos horistas diretos com estreito relacionamento com a produção por se tratar de custos diretos variáveis no manuseio dos processos de produção. O termo “direto” no custeio do produto analisado envolve em grande parte os itens de custo que podem ser identificados com envolvimento direto no processo fabril, por exemplo os operários alocados na montagem do produto na linha de produção.

**c.4) Mão-de-Obra Indireta e/ou Horistas Indiretos** são todos os operários horistas alocados na produção de forma indireta (pessoal de apoio à produção e supervisão) dedicados à produção de forma indireta.

**c.5) Despesas Gerais de Fabricação** todos os custos de fábrica, exceto os materiais diretos e a mão-de-obra direta, são considerados custos indiretos, nos quais está inclusa a mão-de-obra indireta. Existem dois tipos principais de custos indiretos:

c.5.1) Custos de Fabricação Indiretos Variáveis: Como exemplos principais são os suprimentos e a maior parte da mão-de-obra indireta. Para que o custo de uma mão-de-obra indireta seja variável ou não, isto depende da política de contratação da empresa em dado cenário;

c.5.2) Custos de Fabricação Indiretos Fixos: são normalmente os custos distribuídos através de rateios. Entre os exemplos estão alugueis, seguros, depreciação e salários de supervisão.

**c.6) Outros Custos** são classificados nesta categoria quando não se enquadram em nenhum dos itens anteriores apropriados no produto, por exemplo, o pagamento eventual de uma multa pela política de produção que feriu legislações.

**c.7) Recuperação de Custos:** os custos recuperados motivados, por exemplo, por reclassificações contábeis ocorridas na empresa ou até mesmo motivados por decisões judiciais favoráveis, são contabilizados neste subitem de recuperação.

Tabela 5 – Demonstrativo de custo de conversão da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- CUSTOS DE CONVERSÕES</b>			
REJEIÇÕES E REPAROS (1%)			
LOGÍSTICA E TRANSPORTES			
HORISTAS DIRETOS - MÃO-DE-OBRA DIRETA			
HORISTAS INDIRETOS - MÃO-DE-OBRA INDIRETA			
DESPESAS GERAIS DE FABRICAÇÃO			
OUTROS CUSTOS			
RECUPERAÇÃO DE CUSTOS			
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE CONVERSÃO</b>			

#### d) Custos de Capital e/ou Monetários

Todo capital investido na produção deve ser remunerado. Isto ocorre por meio da alocação nos custos de produção da parcela que corresponderia às taxas de juros financeiros remunerados pelas instituições financeiras (bancos e conglomerados financeiros). Isto significa que todo produto deve receber esta parcela de custo equivalente aos rendimentos das aplicações financeiras como forma de remunerar o capital investido no projeto. Os principais itens destacados na Tabela 6 para o caso de estudo são:

d.1) **Juros calculados s/Ativos Fixos:** Apropriados no custo do produto à taxa anual de 15% de retorno financeiro, relativo a todos os investimentos realizados na fábrica. Por exemplo: terrenos, barracões industriais, equipamentos, estrutura da linha de montagem, ferramentaria e outros investimentos aplicados à produção.

d.2) **Depreciação:** aplicação de taxa anual equivalente à perda de valor do bem patrimonial, seja por deterioração ou obsolescência. Não é desembolso, porém é uma despesa e como tal, pode ser abatida como custo, baseado nas suas características e classificados de acordo com a vida útil do bem, obedecendo às normas e procedimentos emitidos pela Receita Federal, que classifica cada tipo de bem patrimonial. Por exemplo: imóveis (25 anos ou 4% aa), equipamentos em geral (10 anos ou 10% aa), veículos (5 anos ou 20% aa). São apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Demonstrativo de custo unitário da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- CUSTOS DE CAPITAL - MONETÁRIOS</b>			
JUROS CALCULADOS S/ATIVOS FIXOS (15%aa)			
DEPRECIÇÃO			
<b>TOTAL CUSTO DE CAPITAL</b>			

#### e) Outros Custos

Os produtos lançados no mercado em estudo consomem enormes quantias de valores monetários para a criação e desenvolvimento. Valores esses dispendidos desde a sua concepção inicial, pesquisa de mercado, seu desenvolvimento e lançamento no mercado. A apropriação de uma parcela destes custos no produto atual obedece a critérios de rateio, baseado em uma tabela de distribuição de custos previamente discutida, avaliada e aprovada entre as diversas unidades fabris do Grupo. A estruturação dos dados utilizada no estudo é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Demonstrativo de outros custos da pintura de cabines sólidas e metálicas

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS	CUSTOS VARIÁVEIS	CUSTOS TOTAIS
<b>- OUTROS CUSTOS</b>			
CUSTOS INICIAIS DE PROJETOS			
CUSTOS DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS			
OUTROS CUSTOS			
<b>TOTAL OUTROS CUSTOS</b>			

#### 4.4.2 Redução de Custos e Produtividade

Para a implementação da análise financeira proposta foram utilizadas planilhas com auxílio do *software Microsoft Excel*. Considerou-se para as análises aumentos de volumes diários de até 10% em relação a um volume referencial de cabines produzidas. Os valores numéricos adotados para as análises são explicitados e justificados no Capítulo 5. Ressalta-se que estes aumentos são obtidos por meio das sugestões realizadas pelo modelo de simulação a eventos discretos. Por exemplo, a partir de um volume referencial de 150 cabines diárias estuda-se aumentos de produção para 155, 160 e 165 cabines diárias e impactos na geração de gargalos.

No estudo desenvolvido foram calculados os custos de pintura baseados em opções de aumentos de volumes produtivos a partir de variações de parâmetros “*te*” (tempo de entrada na pintura a partir da solda) e “*tg*” (indicador de tempo do gargalo; *e.g.*, 100% - sem redução do tempo no gargalo; 96% - redução de 4% no tempo original das peças no gargalo), conforme ilustrado na Tabela 8. A Tabela 12, na seção 5.1.2, apresenta os valores de tempo correspondentes aos vários percentuais de “*tg*”.

Tabela 8 – Cálculo da redução de custos e produtividade

DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3		TESTE 4	
	Sólida	te=7,7 / tg 100	Metálica	te=7,7 / tg100	Sólida	te=8,0 / tg. 96	Sólida	te=7,5 / tg 92
	Redução Custo	Produtividade	Redução Custo	Produtividade	Redução Custo	Produtividade	Redução Custo	Produtividade
VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO BASE								
VOLUME TOTAL À SER PRODUZIDO								
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)								
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)								
CUSTO VARIÁVEL UNITÁRIO (\$)								
PRODUTIVIDADE TOTAL ANUAL (\$)								
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS UNITÁRIO (\$)								
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS ANUAL (\$)								

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

Para o cálculo dos indicadores econômicos foi elaborada a planilha contendo quatro testes de reduções de custos e avaliação de produtividade para as cabines sólidas e metálicas, com base em um volume diário de produção. A partir desta base projetou-se acréscimo de volumes de 5, 10 e 15 cabines diárias. A planilha contém oito linhas de informações a serem calculadas, sendo:

1. Volume total produzido no período base;
2. Volume total a ser produzido;
3. Produtividade calculada (volume adicional diário);
4. Produtividade calculada (volume adicional anual);
5. Custo variável unitário (\$);
6. Produtividade total anual (\$);
7. Redução de custos fixos unitários (\$);
8. Redução de custos fixos anuais (\$).

No seguimento da análise da Tabela 8, mostra-se para cada um dos quatro testes (Teste 1 a Teste 4) duas colunas, sendo a primeira referente ao cálculo da redução de custos e a segunda coluna apresentando o cálculo da produtividade. Com base na sugestão de aumento de volumes, há necessidade de avaliar o impacto que a decisão representaria em termos econômico-financeiros. Por exemplo, considere-se uma capacidade diária inicial de 150 cabines com um tempo de entrada da solda (*te*) de 8,5 U.T. e um tempo de gargalo (*tg*) de 100%. No Capítulo 5, Resultados, são apresentados os valores de *tg*, expressando-os em % e seu correspondente em unidades de tempo (U.T.). A proposta é calcular o impacto considerando um aumento de volumes de 150 para 155, com um *te* de 7,7 U.T. e um *tg* de 100%. Igualmente será simulado para um aumento de produção de 150 para 160 cabines, com um *te* de 8,0 U.T. e um *tg* de 96%. Finalmente, será simulado um

aumento de volumes de 150 para 165, com um  $te$  de 7,5 U.T. e um  $tg$  de 92%. Os principais itens utilizados para a construção desse modelo estão listados a seguir nas subseções 4.4.2.1 e 4.4.2.2.

#### 4.4.2.1 Redução de Custos

A gestão de redução de custos visa dar segurança na continuidade das operações industriais. Sua aplicação tem por essência propiciar confiabilidade na tomada de decisões de gestão do negócio e, em especial, nas gestões de novos investimentos para aumentar a capacidade.

No estudo realizado foram calculadas as reduções de custos de pintura baseadas nas opções de novos aumentos de volumes, conforme ilustrado na Tabela 9. De fato, esta tabela evidencia que o Teste 1 e o Teste 2 fazem alusão à mesma condição produtiva para  $te$  e  $tg$ , mas evidenciando os efeitos em cabines sólidas e metálicas. Já o Teste 3 e o Teste 4 destacam condições de aumento de volume, mas, por simplicidade, apresentam os resultados para as cabines sólidas, as quais representam a maior porção do volume produzido de cabines.

A partir da proposta de aumentar o volume de produção, se estabeleceu um potencial de redução de custos em função de uma melhor alocação e distribuição dos custos fixos. Ou seja, o montante destes custos será alocado em um volume maior de unidades produzidas e ocorrerá uma redução relativa destes custos fixos. Vale notar, adicionalmente, que o investimento necessário para o aumento do volume de produção, é rateado nos volumes totais. A determinação do rateio e apropriação dos novos custos no resultado é numericamente explicitada no Capítulo 5, com os resultados obtidos.

Tabela 9 – Cálculo da redução de custos de cabines sólidas e metálicas

DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DE REDUÇÃO DE CUSTO BASE: $Te=8,5 / Tg=100$ $Te=$ tempo de entrada / $Tg=$ tempo de gargalo	<u>TESTE 1</u>	<u>TESTE 2</u>	<u>TESTE 3</u>	<u>TESTE 4</u>
	Sólida > $te=7,7/tg=100$ Redução Custos	Metálica > $te=7,7/tg=100$ Redução Custos	Sólida > $te=8,0/tg=96$ Redução Custos	Sólida > $te=7,5/tg=92$ Redução Custos
VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO				
VOLUME PROJETADO À SER PRODUZIDO				
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)				
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)				
VOLUME TOTAL ANUAL (Sólidas + Metálicas)				
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS UNITÁRIO (UM)				
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS ANUAL (UM)				

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

#### 4.4.2.2 Produtividade

O método de avaliação da produtividade tem por base a comparação com uma produtividade de referência. Esta referência é o volume produzido em um período de três turnos, ou seja, um “dia” completo de produção. A medição se baseia na variação de volumes produzidos no período, comparada com a produtividade de referência. Neste contexto foi avaliada a produtividade, baseada em valor agregado (custos de mão-de-obra) juntamente com fatores econômicos associados, para três opções de aumentos de volumes produzidos, conforme ilustrado na Tabela 10. A base para avaliar o aumento da produtividade é a diferença de volumes de produção para a referência, multiplicada pelos custos variáveis unitários da mão-de-obra direta e indireta do período. O resultado apurado é representado no Capítulo 5.

Tabela 10 – Cálculo da produtividade de cabines sólidas e metálicas

<b>DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE</b> BASE: Te=8,5 / Tg=100 Te=tempo de entrada / Tg=tempo de gargalo	<b>TESTE 1</b> Sólida > te=7,7/tg=100	<b>TESTE 2</b> Metálica > te=7,7/tg=100	<b>TESTE 3</b> Sólida > te=8,0/tg=96	<b>TESTE 4</b> Sólida > te=7,5/tg=92
	Produtividade	Produtividade	Produtividade	Produtividade
VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO				
VOLUME PROJETADO À SER PRODUZIDO				
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)				
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)				
VOLUME TOTAL ANUAL (Sólidas + Metálicas)				
CUSTO VARIÁVEL UNITÁRIO (UM)				
PRODUTIVIDADE TOTAL ANUAL (UM)				

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

Outro índice também utilizado para medir produtividade é o OHPU (*Organizational Hours Per Unit*). É definido pela relação de horas totais trabalhadas pelo volume de produção realizado, conforme equação (6). O índice HPU representa o total de horas para pintar uma cabine de veículo. A soma de todos os processos vai representar o período de tempo total para produzir uma determinada cabine. A equação desse índice permite a comparação de produtividade de um mesmo produto em diferentes plantas analisadas.

$$HPU_{ik} = \frac{MA_i * EWT_i}{Vol_i} \left[ \frac{UT}{Unit} \right] \quad (6)$$

Onde,

- $HPU_{ik}$  indica UT por unidade produzida no período  $i$  do veículo  $k$ ;
- $MA_i$  indica trabalhadores diretos (*Manpower*);
- $EWT_i$  indica o tempo de trabalho efetivo no período  $i$ ;
- $Vol_i$  indica o volume de produção no mesmo período analisado.

## 4.5 ANÁLISE ECONÔMICA: AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

A disponibilidade de recursos é sem dúvida, um fator imperativo para a concretização de um investimento. Assim, a análise econômica-financeira possui aplicações bastante amplas nas decisões sobre investimentos.

Para se efetuar uma análise econômica de um investimento, é necessário um levantamento dos custos e das receitas decorrentes destes investimentos. Assim, a análise econômico-financeira possui aplicações amplas nas decisões sobre investimentos, suas alternativas e seus custos e benefícios. Decisões de investimentos, normalmente, afetam mais de um ano. De fato, estes podem influenciar as finanças de uma empresa por um período de vários anos.

Para a análise sobre o investimento, no estudo de caso, são considerados os seguintes indicadores para tomada de decisão, os quais foram detalhados no Capítulo 3:

- **Fluxo de caixa – *Cash Flow*:** A análise de Fluxo de Caixa é uma das etapas mais relevantes para as operações e estudos de investimentos. A falta de controle na geração de caixa obriga a empresa a se financiar através da captação de recursos externos e da obtenção de recursos das instituições financeiras, onerando o seu custo operacional. Assim, entende-se a projeção de fluxo de caixa como sendo um instrumento para auxiliar na análise de projetos, pois planifica e dá forma às expectativas do novo negócio a ser implantado, conforme detalhado na seção 3.5.3. No estudo de caso, o período considerado para o fluxo de caixa é de 5 anos (60 meses) com uma taxa de utilização de depreciação média em 10 anos, conforme legislação brasileira; portanto, 10 % ao ano.
- **Valor presente líquido – VPL:** Conforme seção 3.5.4, o VPL, quando positivo, indica que haverá recuperação do capital investido. O VPL representa, simplificada, a concentração de todos os valores esperados do fluxo de caixa no ano zero, conforme explicitado na equação (3), página 53.
- **Taxa mínima de atratividade – TMA:** Conforme seção 3.5.2, a TMA é a taxa nominal a partir da qual o investidor avalia seu investimento e analisa se está obtendo ganhos financeiros. Ao comparar a TMA com a TIR (seção 3.5.5) e perceber que a TIR é maior e, à medida que há um distanciamento maior entre as referidas taxas, significa que há uma elevada rentabilidade e um baixo risco do investimento aplicado.
- **Taxa interna de retorno – TIR:** Conforme seção 3.5.5, a TIR consiste em calcular a taxa que zera o valor presente dos fluxos de caixa das diversas alternativas. Os investimentos com TIR maiores que a TMA são considerados rentáveis e são passíveis de análise. À medida que a TIR se aproxima da TMA, haverá um provável risco no investimento. A TIR

de um fluxo de caixa reflete a taxa para a qual o valor presente do fluxo é nulo, conforme equação (4), página 54.

- **Tempo de retorno – *Payback*:** Conforme seção 3.5.6, o período de retorno do investimento (*payback*), quando ocorre num período curto ou se dá nos primeiros anos do início do projeto, indica baixo risco na decisão de seu aporte e o retorno e recuperação tende a ser seguro. No estudo de caso avaliado, a empresa admite um *payback* de até 5 anos, considerando-se um VPL igual ou maior que zero.

Desta forma, os cinco indicadores acima elencados são utilizados para avaliação da realização de investimentos, fato quantificado no Capítulo 5, resultados.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 MODELO DE SIMULAÇÃO: RESULTADOS OBTIDOS

As simulações foram realizadas com o propósito de identificar três situações principais que poderiam influenciar na produtividade. A primeira é a existência de possíveis gargalos e encontrar uma forma de suavizar seus efeitos na produtividade. A segunda é a possibilidade dos tempos de entrada estarem limitando o número de cabines produzidas. A terceira é a possibilidade do sequenciamento de cabines influenciar na produção.

#### 5.1.1 Modelo de Simulação: Identificação de gargalos

A princípio foi feita uma série de simulações para compreender as características do modelo. Utilizou-se o *software* Simio 7.124.13001 (32 bits), executando em um computador com processador Intel core i5 - 4 núcleos, 3.10 GHz de *clock*, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 10 - 64bits. Os tempos computacionais de cada experimento foram inferiores a 120 segundos. Como se deseja compreender as características do modelo, para evitar problemas com falta de alimentação de cabines, foi inserida uma batelada de 500 cabines na entrada. Este volume é mais que o suficiente para prover a alimentação da linha durante todo o período de análise que, no caso, foi de um “turno” de trabalho de 21,5 horas (vide seção 2.4), adicionado a um período de *warm-up* de 12 horas. Assim, sempre que houvesse necessidade de alimentação de cabines para a linha, estas estavam disponíveis. Observou-se, então, o comportamento das estações no decorrer do processo. Foram realizadas 100 replicações, ou seja, 100 repetições da simulação do modelo com a mesma configuração base de entrada, mas com geração de condições aleatórias. Ressalta-se que, conforme seção 2.4, os tempos de processamento foram considerados determinísticos, mas há uma probabilidade de ocorrência de distúrbios no processo como retoques, retrabalhos, rejeições (*scraps*). Desta forma, os indicadores numéricos dos distúrbios mencionados têm probabilidades de ocorrência que conduzem a valores numéricos teoricamente diferentes entre as replicações. Os resultados obtidos com estas condições de teste estão sumarizados na Tabela 11. Nesta tabela, as estações dizem respeito a cada posto presente na linha em análise. O intervalo de confiança foi inferior a 1% em todos os indicadores observados, para um nível de confiança de 95%. No Apêndice 2 exemplifica-se uma saída do *software* de simulação para um experimento realizado. Os

dados da Tabela 11 são, de fato, obtidos por meio da concatenação dos resultados apresentados pelo Simio.

É possível notar na Tabela 11 que existe uma utilização muito grande das estações 91 e 92 (uso de 100% do recurso processando). As estações 87, 88, 89 e 90 têm um tempo de bloqueio muito grande (entre 34% e 96%), e as estações 93, 94 e 95 têm uma taxa de processamento muito pequena (inferior a 5%). Observando essa situação pode-se concluir que as estações 91 e 92 são os gargalos dessa linha de produção. Esse fato também pode ser visto no decorrer da simulação, como apresentado na Figura 33. Nesta figura, enfatiza-se que o elemento *server* tem uma cor padrão dependendo da ação que está realizando: verde quando está processando alguma cabine; cinza quando está vazio; e, amarelo quando está bloqueado. A observação e análise da Tabela 11 e da Figura 33 conduziu à próxima fase de testes (seção 5.1.2), que simula, por exemplo, a redução percentual dos tempos de processamento destas estações gargalo. Sugere-se, com os testes da seção 5.1.2, uma possibilidade de melhoria da eficiência do gargalo produtivo e verificam-se os consequentes efeitos na produtividade final da linha.

Tabela 11 – Sumarização do comportamento observado nas estações para avaliação de gargalos produtivos.

Estação	Vazia (%)	Processando (%)	Bloqueada (%)
87	0,0000	4,1240	95,8760
88	0,0000	4,1240	95,8760
89	0,0000	65,2403	34,7597
90	0,0000	65,8295	34,1705
91	0,0000	100,0000	0,0000
92	0,0000	100,0000	0,0000
93	95,8760	4,1240	0,0000
94	95,8760	4,1240	0,0000
95	95,8760	4,1240	0,0000
96	21,7984	78,2016	0,0000
97	21,7984	78,2016	0,0000
98	21,8814	78,1186	0,0000
99	21,8550	78,1450	0,0000
100	21,7984	78,2016	0,0000
101	21,7984	78,2016	0,0000
102	21,8147	78,1853	0,0000
103	21,9132	78,0868	0,0000
104	21,8070	78,1930	0,0000
105	36,8217	63,1783	0,0000
106	36,9295	63,0705	0,0000
107	95,8543	4,1457	0,0000
108	95,8543	4,1457	0,0000
109	95,8543	4,1457	0,0000
110	95,8543	4,1457	0,0000
111	95,8550	4,1450	0,0000
112	95,8760	4,1240	0,0000
113	95,8760	4,1240	0,0000
114	95,8760	4,1240	0,0000
115	7,3643	92,6357	0,0000
116	7,3760	92,6240	0,0000
117	7,4031	92,5969	0,0000



Figura 33 – Comportamento das estações com uma batelada de 500 cabines.

### 5.1.2 Modelo de Simulação: Experimentos realizados.

Primeiramente foram realizados experimentos com uma ordem de entrada definida de modo que a sequência das cabines fosse necessariamente 3x1, ou seja três cabines sólidas a cada metálica. Após, foram realizados os mesmos experimentos com uma ordem de entrada “aleatória”, mas com um *mix* produtivo que continuasse com uma tendência a ser 3x1, ou seja, em dados instantes não necessariamente a sequência seria três cabines sólidas a cada metálica, mas a longo prazo a proporção 3x1 é mantida. Foram realizados um total de 24 experimentos (cenários) com 100 replicações cada. Para a realização dos experimentos utilizou-se o *software* Simio 7.124.13001 (32 bits), executando em um computador com processador Intel core i5 - 4 núcleos, 3.10 GHz de *clock*, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 10 - 64bits. Os tempos computacionais de cada experimento foram inferiores a 45 segundos.

O tempo de processamento de cabines sólidas e metálicas nas estações gargalo 91 e 92 difere, conforme parâmetros apresentados no Apêndice 1. Para a realização dos experimentos foi usado um sistema de porcentagem para definir a *redução do tempo de gargalo* nestas duas estações. Baseou-se esta porcentagem em um indicador denominado “TG” – porcentagem do Tempo Gargalo. Note-se que 100% é o tempo padrão da estação, apresentado no Apêndice 1. Assim, os

valores presentes na Tabela 12 foram utilizados para realizar as simulações: TG variou de 100% a 88% do valor de referência.

Tabela 12 – Valores para avaliação da redução dos tempos de gargalo nos experimentos

TG (%)	Tempo da primeira passagem da metálica (U.T.)	Tempo de passagem da sólida e segunda passagem da metálica (U.T.)
100	9,08	6,78
96	8,72	6,51
92	8,35	6,24
88	7,99	5,97

Cada experimento é sumarizado na Tabela 13, expondo as características individuais de cada caso e seus respectivos números de identificação para cada cenário. Na Tabela 13, TE é o tempo de entrada, que é o espaço de tempo entre a alimentação de duas cabines consecutivas ao modelo. PS é o volume de cabines produzidas no período (3 turnos ou 21,5 h, conforme seção 2.4), para uma sequência com ordem de entrada 3x1. HWS é o *Half Width* ou intervalo de confiança em torno da média dos valores encontrados nas replicações (SIMIO, 2016). PA é o volume de cabines produzidas com a entrada aleatória e HWA seu *Half Width*. Nesta tabela cada cenário diz respeito a uma simulação realizada com características diferentes.

Tabela 13 – Experimentos realizados.

Cenário	TE (U.T.)	TG (%)	PS	HWS	PA	HWA
1	10,0	100	128,56	0,2264	128,71	0,5185
2	10,0	96	128,56	0,2264	128,78	0,5696
3	10,0	92	128,54	0,2235	128,57	0,4837
4	10,0	88	128,58	0,2644	128,86	0,5054
5	8,5	100	150,57	0,2447	149,87	0,7663
6	8,5	96	150,54	0,2452	150,54	0,7242
7	8,5	92	150,96	0,2691	150,90	0,6830
8	8,5	88	151,03	0,2652	150,74	0,6078
9	8,0	100	154,00	0,3977	153,77	1,1046
10	8,0	96	160,30	0,3722	157,94	0,9590
11	8,0	92	161,38	0,2895	159,94	0,7433
12	8,0	88	160,42	0,2830	159,60	0,7227
13	7,7	100	154,31	0,4661	154,03	1,1538
14	7,7	96	160,64	0,4147	159,43	1,1649
15	7,7	92	166,03	0,3395	163,42	0,9238
16	7,7	88	165,92	0,3745	163,51	1,0710
17	7,5	100	153,96	0,4408	153,86	1,0522
18	7,5	96	160,90	0,4483	160,38	1,2383
19	7,5	92	165,80	0,4259	165,00	1,1912
20	7,5	88	165,96	0,4223	166,02	1,1814
21	0,0	100	154,81	0,4768	154,70	1,1418
22	0,0	96	161,06	0,4456	160,38	1,2110
23	0,0	92	166,54	0,4594	165,72	1,2226
24	0,0	88	165,83	0,4713	165,40	1,2912

A primeira análise que pode ser feita a partir da Tabela 13 é que tende a não existir uma diferença considerável entre os volumes produzidos para o modelo com sequência definida (3x1) e o modelo com ordem de entrada aleatória. Por exemplo, se tomarmos a linha referente ao Cenário 1, colunas PS e PA, é possível observar que os valores indicados são de 128,56 e 128,71, com intervalos de confiança de, respectivamente, 0,2264 e 0,5185. Simplificadamente tem-se:  $128,56 \pm 0,2264$  e  $128,71 \pm 0,5185$ . Nota-se que há sobreposição dos intervalos numéricos e, desta forma, infere-se que não há diferença estatística significativa entre os valores obtidos. Esta situação se repete ao longo das simulações realizadas. Há de se ressaltar, contudo, que os valores de HWA encontrados foram superiores aos de HWS, ou seja, a ordem de entrada aleatória causou um maior desvio nos resultados obtidos em todos os cenários. As Figura 34 e Figura 35 mostram os gráficos dos experimentos com entradas sequencial e aleatória.

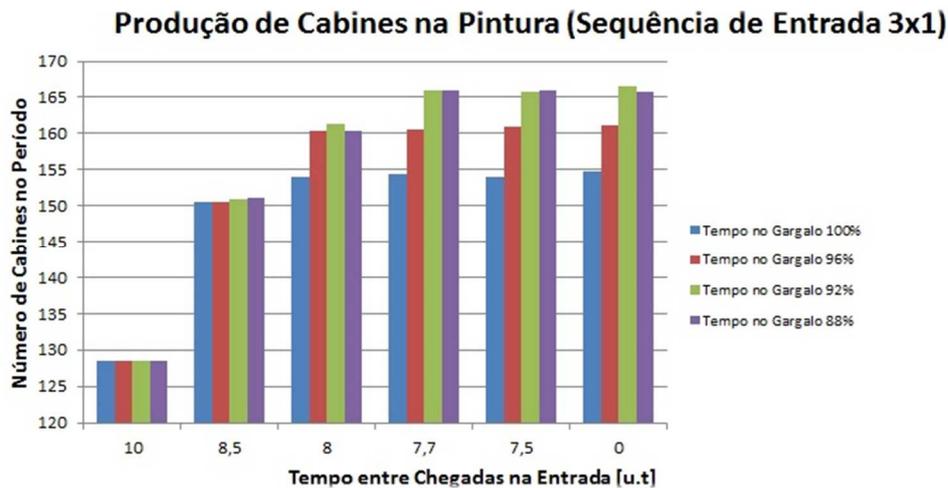


Figura 34 – Gráfico de produção de cabines com sequência 3x1.

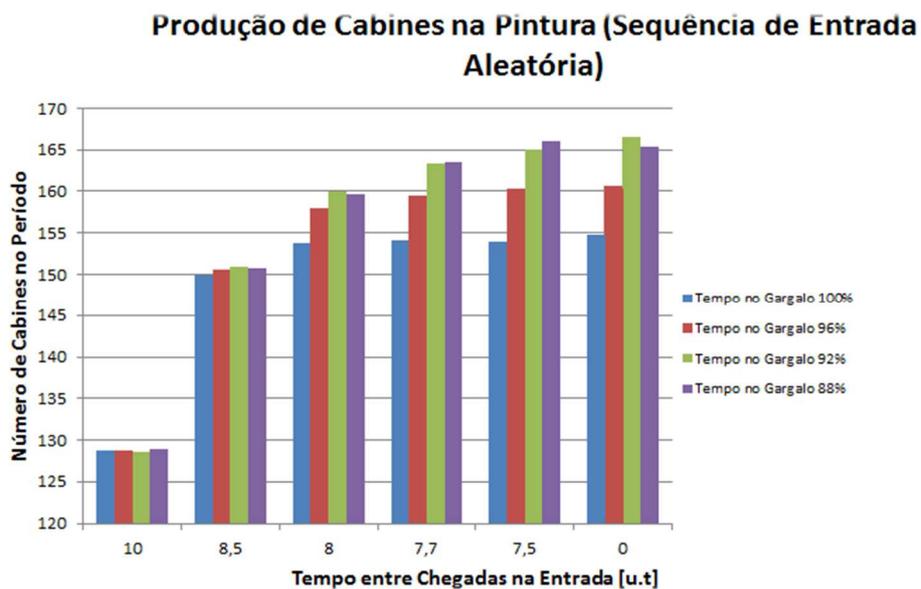


Figura 35 – Gráfico de produção de cabines com sequência aleatória.

Outra peculiaridade da Tabela 13 é que os cenários 21 a 24 estão com tempo de entrada zero. Isto significa que esses experimentos foram feitos na forma de bateladas, fazendo assim com que não exista limitação causada por falta de abastecimento de cabines no processo. Isto resulta na máxima produção em que a linha de processo em questão pode ter. Assim sendo, apenas pela análise feita nestes quatro cenários é possível notar que não é necessária uma redução maior que 8% no tempo do gargalo identificado. Reduções maiores no tempo fariam com que o gargalo “migre-se” para outro ponto da linha e, conseqüentemente, atuações neste novo ponto de gargalo deveriam ser executadas. Ao observar os resultados obtidos nos cenários 23 e 24, não se percebe diferenças estatísticas significativas.

A partir do apresentado na Tabela 13 também é possível notar que, ao analisar os cenários de 1 ao 8, existe uma influência do tempo de entrada na quantidade de cabines produzidas. Tendo como norteador também este fato, foram realizados os experimentos que vão do cenário 9 ao 20. O cenário que melhor representa a situação observada no chão-de-fábrica é o cinco, no qual se tem uma produção diária máxima de, aproximadamente, 150 cabines.

Percebe-se que nos experimentos existem três níveis de produção de cabines superiores a 150. O primeiro é aproximadamente 155. Para chegar a esse nível de produção observou-se como necessário apenas a redução do tempo de entrada médio de 8,5 U.T. para 8 U.T., como apresentado no cenário 9. O segundo nível é o de aproximadamente 160 cabines, que pode ser alcançado diminuindo o tempo de entrada para 8 U.T. e reduzindo o tempo das estações gargalos em 4%, condição representada no cenário 10. O terceiro nível é aproximadamente 165 cabines que pode ser encontrado no cenário 16, no qual é necessário reduzir o tempo dos gargalos em 8% e também obter um tempo de entrada de 7,7 U.T.. Contudo, para este trabalho foi utilizada uma base mais conservadora. Sendo assim, para os cálculos para a viabilidade desta última opção será utilizado o tempo de 7,5 U.T., como apresentado no cenário 19. As simulações com os cenários de 21 a 24 permitem observar que uma maior redução de tempo de entrada apenas fará diferença se outros gargalos adicionais da linha de produção forem encontrados e reduzidos. O mesmo ocorre para a redução de 12% do tempo de gargalo nas estações 91 e 92.

O *scrap* também recebe uma parte das cabines produzidas no processo, conforme destacado na seção 2.4. Contudo, a quantidade de cabines que são descartadas é muito pequena como se pode observar na Tabela 14. Esta tabela inclui os cenários apresentados na Tabela 13. Na Tabela 14, DS é o número de cabines descartadas no processo com a sequência de entrada 3x1 e DHWS é o seu *Half Width* respectivo. O DA é o número de cabines descartadas pelo processo aleatório e o DHWA é o seu *Half Width*.

Tabela 14 – Cabines descartadas no processo.

Cenário	DS	DHWS	DA	DHWA
1	0.43	0.1714	0.34	0.1581
2	0.43	0.1714	0.29	0.1440
3	0.44	0.1717	0.42	0.1579
4	0.41	0.1750	0.30	0.1347
5	0.52	0.1765	0.43	0.1797
6	0.49	0.1923	0.35	0.1494
7	0.45	0.1802	0.43	0.1536
8	0.51	0.1638	0.53	0.2032
9	0.52	0.1724	0.51	0.1997
10	0.53	0.2032	0.40	0.1616
11	0.62	0.2214	0.50	0.1682
12	0.62	0.2214	0.46	0.1804
13	0.43	0.1714	0.54	0.1763
14	0.41	0.1575	0.49	0.1807
15	0.52	0.2103	0.46	0.1679
16	0.44	0.2027	0.36	0.1726
17	0.45	0.1802	0.47	0.1636
18	0.52	0.1681	0.49	0.1846
19	0.44	0.1717	0.55	0.1993
20	0.48	0.1885	0.38	0.1778
21	0.57	0.1791	0.54	0.2101
22	0.44	0.1630	0.50	0.1885
23	0.49	0.1766	0.57	0.2163
24	0.40	0.1704	0.58	0.2022

Os experimentos sumarizados na Tabela 13 evidenciam que aumentos do nível de produção de 150 para 155, 160 ou 165 cabines podem vir a ser obtidos se atuações forem realizadas: (i) no tempo de entrada das cabines na linha; e/ou (ii) diminuições do tempo de execução no gargalo produtivo evidenciado forem realizadas. As soluções tecnológicas necessárias para que estas atuações sejam realizadas podem variar. Por exemplo, podem ser realizadas reprogramações de robôs, de relativo baixo custo, ou aquisições de novos robôs, opção de relativo elevado custo. O montante total disponível para que estas atuações tecnológicas sejam avaliadas é uma questão a seguir explorada nos resultados apresentados pela Análise Financeira. Esta análise objetiva indicar o valor montante limite máximo para intervenções tecnológicas, dado o aumento de produtividade esperado.

## 5.2 ANÁLISE FINANCEIRA: RESULTADOS OBTIDOS

Uma contribuição importante desta dissertação é dada por esta seção. Normalmente, a análise financeira feita numa empresa toma como base um projeto proposto, cuja viabilidade financeira é feita *a posteriori*. No entanto, o que se propõe nesta seção é analisar qual seria o valor limite para um investimento. Ou seja, até quanto se pode investir para que um projeto seja viável do ponto de vista econômico? Isto é exatamente o inverso do praticado nas indústrias.

A partir da vivência de um momento de crise econômica, isso induziu o estudo a ser analisado para diferentes condições de atratividade econômica. Com isso, pode-se intuir sobre o impacto do “Risco-Brasil” na limitação de investimentos, para uma dada atratividade econômica, quando comparado a outras condições, como a europeia, por exemplo, que tem tipicamente taxas médias de atratividade inferiores a 10% (JP-MORGAN, 2016).

Para a implementação de cálculos financeiros e a apresentação de resultados foram utilizados recursos do *software* Microsoft Excel. As demonstrações financeiras estão expressas em unidades monetárias (\$).

A distribuição e alocação das despesas e dos valores monetários foram calculados e apropriados no demonstrativo de custos conforme critérios citados no Capítulo 3 e metodologia explicada na seção 4.4. A análise econômica dos investimentos, seção 5.2.1, tem por base fundamentos apresentados no Capítulo 3 e as explanações dadas na seção 4.5.

### 5.2.1 Análise Financeira: Determinação de Custos

Para a condição atual da empresa, com produção de 150 cabines diárias, a Tabela 15 mostra os custos do modelo de cabine de cor sólida, classificados em custos fixos, variáveis e custos totais. Totaliza-se o valor de \$ 466,54, dos quais o custo fixo possui o valor de \$ 178,64 e o custo variável de \$ 287,90. Neste montante foram classificados por ordem de alocações de cada atividade (materiais, oportunidades, conversão, capital e outros custos). O detalhamento dos custos foi citado no Capítulo 4, seção 4.4.1.

A Tabela 16 reflete o detalhamento de custos da cabine de cor metálica na condição atual (produção de 150 cabines diárias), totalizando-se \$ 529,15, classificado em custos fixos, variáveis e totais. A parcela de custos fixos representa o montante de \$ 182,56 e a parcela dos custos variáveis somam \$ 346,59.

Tabela 15 – Custo unitário da pintura de cabines sólidas.

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS (\$)	CUSTOS VARIÁVEIS (\$)	* CUSTOS TOTAIS (\$)
<b>- MATERIAIS</b>			
TINTAS	-	20,57	20,57
VERNIZES	-	-	-
PRIMER	-	4,99	4,99
SURFACER	-	19,34	19,34
SELANTE	-	7,70	7,70
MATERIAIS.AUXILIARES (Solventes, Estopa, etc.)	-	1,11	1,11
<b>TOTAL DOS CUSTOS COM MATERIAIS</b>	-	<b>53,72</b>	<b>53,72</b>
<b>- CUSTOS DE OPORTUNIDADES - MONETÁRIOS</b>			
JUROS CALCULADOS S/INVENTÁRIOS (0,5%)	-	0,27	0,27
JUROS CALCULADOS S/FERRAMENTAIS (15% aa)	8,06	-	8,06
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE OPORTUNIDADES</b>	<b>8,06</b>	<b>0,27</b>	<b>8,33</b>
<b>- CUSTOS DE CONVERSÕES</b>			
REJEIÇÕES E REPAROS (1%)	-	0,54	0,54
LOGÍSTICA E TRANSPORTES	-	0,34	0,34
HORISTAS DIRETOS - MÃO-DE-OBRA DIRETA	-	125,86	125,86
HORISTAS INDIRETOS - MÃO-DE-OBRA INDIRETA	-	33,29	33,29
DESPESAS GERAIS DE FABRICAÇÃO	-	35,60	35,60
OUTROS CUSTOS	-	38,30	38,30
RECUPERAÇÃO DE CUSTOS	-	(0,02)	(0,02)
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE CONVERSÃO</b>	-	<b>233,91</b>	<b>233,91</b>
<b>- CUSTOS DE CAPITAL - MONETÁRIOS</b>			
DEPRECIAÇÃO	65,54	-	65,54
JUROS CALCULADOS S/ATIVOS FIXOS (15% aa)	103,53	-	103,53
<b>TOTAL CUSTO DE CAPITAL</b>	<b>169,07</b>	-	<b>169,07</b>
<b>- OUTROS CUSTOS</b>			
CUSTOS INICIAIS DE PROJETOS	-	-	-
CUSTOS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	-	-	-
OUTROS CUSTOS	1,51	-	1,51
<b>TOTAL OUTROS CUSTOS</b>	<b>1,51</b>	-	<b>1,51</b>
<b>TOTAL DE CUSTOS DO PRODUTO</b>	<b>178,64</b>	<b>287,90</b>	<b>466,54</b>

\*Valores em UM (\$)

A Figura 36 a seguir evidencia os custos dos dois modelos de cabines (sólidas e metálicas) na condição atual (produção de 150 cabines diárias), representadas pelos demonstrativos da Tabela 15 e da Tabela 16. A diferença de custos de produção (A em relação a B), pode ser expressa por:  $B - A = 529,15 - 466,54 = \$ 62,61$ . Alternativamente, como sendo  $\left(1 - \frac{529,15}{466,54}\right) \times 100 = 13,42 \%$ .

Os cálculos indicam que a cabine de cor metálica possui um custo superior a 13,42% em relação à cabine de cor sólida. Os parâmetros de custos sumarizados na Figura 36 serão utilizados nos cálculos de redução de custos e produtividade.

Tabela 16 – Custo unitário da pintura de cabines metálicas.

ITENS DE CUSTO	CUSTOS FIXOS (\$)	CUSTOS VARIÁVEIS (\$)	* CUSTOS TOTAIS (\$)
<b>- MATERIAIS</b>			
TINTAS	-	25,03	25,03
VERNIZES	-	21,73	21,73
PRIMER	-	4,99	4,99
SURFACER	-	19,34	19,34
SELANTE	-	7,70	7,70
MATERIAIS AUXILIARES (Solventes, Estopa, etc.)	-	1,11	1,11
<b>TOTAL DOS CUSTOS COM MATERIAIS</b>	-	<b>79,91</b>	<b>79,91</b>
<b>- CUSTOS DE OPORTUNIDADES - MONETÁRIOS</b>			
JUROS CALCULADOS S/INVENTÁRIOS (0,5%)	-	0,40	0,40
JUROS CALCULADOS S/FERRAMENTAIS (15% aa)	11,99	-	11,99
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE OPORTUNIDADES</b>	<b>11,99</b>	<b>0,40</b>	<b>12,39</b>
<b>- CUSTOS DE CONVERSÕES</b>			
REJEIÇÕES E REPAROS (1%)	-	0,80	0,80
LOGÍSTICA E TRANSPORTES	-	0,34	0,34
HORISTAS DIRETOS - MÃO-DE-OBRA DIRETA	-	151,20	151,20
HORISTAS INDIRETOS - MÃO-DE-OBRA INDIRETA	-	40,05	40,05
DESPESAS GERAIS DE FABRICAÇÃO	-	35,60	35,60
OUTROS CUSTOS	-	38,30	38,30
RECUPERAÇÃO DE CUSTOS	-	(0,02)	(0,02)
<b>TOTAL DOS CUSTOS DE CONVERSÃO</b>	-	<b>266,28</b>	<b>266,28</b>
<b>- CUSTOS DE CAPITAL - MONETÁRIOS</b>			
DEPRECIÇÃO	65,54	-	65,54
JUROS CALCULADOS S/ATIVOS FIXOS (15% aa)	103,53	-	103,53
<b>TOTAL CUSTOS DE CAPITAL</b>	<b>169,07</b>	-	<b>169,07</b>
<b>- OUTROS CUSTOS</b>			
CUSTOS INICIAIS DE PROJETOS	-	-	-
CUSTOS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	-	-	-
OUTROS CUSTOS	1,51	-	1,51
<b>TOTAL OUTROS CUSTOS</b>	<b>1,51</b>	-	<b>1,51</b>
<b>TOTAL DE CUSTOS DO PRODUTO</b>	<b>182,56</b>	<b>346,59</b>	<b>529,15</b>

\*Valores em UM (\$)

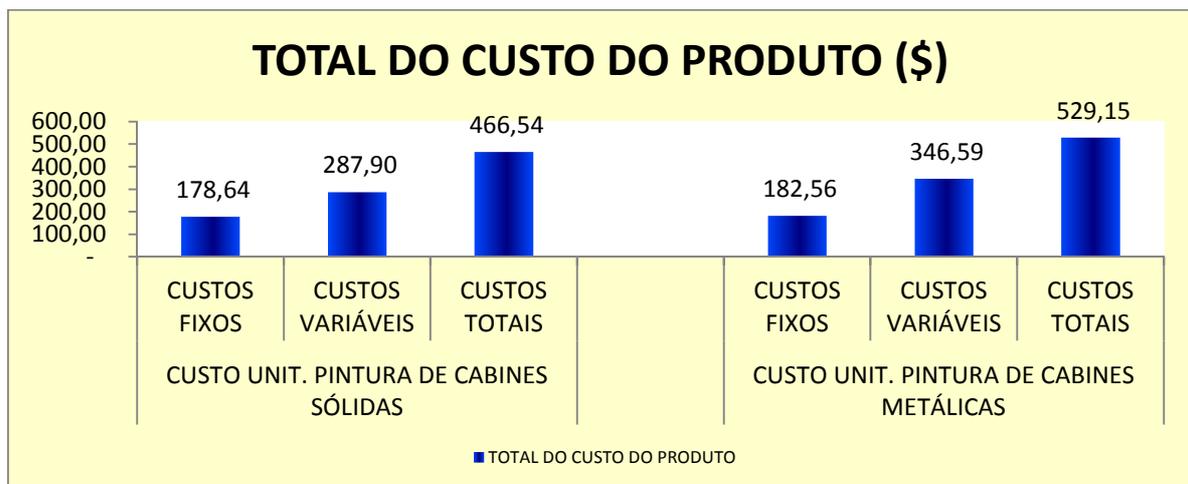


Figura 36 – Gráfico de custos da pintura de cabines sólidas x metálicas.

Na sequência, efetuou-se o cálculo da redução de custos e produtividade das cabines sólidas e metálicas (Figura 37), conforme explicação dada na seção 4.4.2. Entre o Teste 1 e o Teste 2 verifica-se que há maior redução de custos fixos anuais para as cabines metálicas (Teste 2). Para as avaliações que ocorrem na sequência (seção 5.2.2), contudo, optou-se por uma condição de custeio conservadora, fazendo-se análise apenas em relação às cabines sólidas. O volume das cabines sólidas é proporcionalmente maior do que o das cabines metálicas (usualmente um sequenciamento 3x1) e, assim, apesar de desconsiderar o efeito da cabine metálica, há uma vantagem considerável em termos de confiabilidade dos resultados econômicos sugeridos. Isto ocorre uma vez que o efeito de redução de custos em cabines metálicas é ainda maior. Assim, o Teste 1, o Teste 3 e o Teste 4 sugerem aumentos de produtividade de 150 para, respectivamente, 155, 160 e 165 cabines diárias e as análises de custeio nestes testes são apenas para cabines sólidas.

DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS - BASE: Te=8,5 / Tg=100 Te=tempo de entrada / Tg=tempo de gargalo	TESTE 1		TESTE 2		TESTE 3		TESTE 4	
	Sólida > te=7,7 / tg=100		Metálica > te=7,7 / tg=100		Sólida > te=8,0 / tg=96		Sólida > te=7,5 / tg=92	
	Redução	Produtividade	Redução	Produtividade	Redução	Produtividade	Redução	Produtividade
VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO	150	150	150	150	150	150	150	150
VOLUME PROJETADO À SER PRODUZIDO	155	155	155	155	160	160	165	165
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)	5	5	5	5	10	10	15	15
PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)	1.200	1.200	1.200	1.200	2.400	2.400	3.600	3.600
VOLUME TOTAL ANUAL (Sólidas + Metálicas)	37.200	37.200	37.200	37.200	38.400	38.400	39.600	39.600
CUSTO VARIÁVEL UNITÁRIO (\$)		159,15		191,25		159,15		159,15
PRODUTIVIDADE TOTAL ANUAL (\$)		190.980		229.500		381.960		572.940
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS UNITÁRIO (\$)		-2,77		-2,99		-5,37		-7,78
REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS ANUAL (\$)		-103.044		-111.228		-206.208		-308.088

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

Figura 37 – Avaliação da produtividade e redução de custos.

A Figura 38, a seguir, sumariza os custos da Figura 37; especificamente, o cálculo de redução de custos baseado na simulação de aumento diário de volumes de 5 (Teste 1), 10 (Teste 3) e 15 (Teste 4) cabines. Conforme comentando, o Teste 2 foi “incorporado” pelo Teste 1 (metodologia conservadora de redução de custeio).

Considerando o Teste 1, com uma capacidade atual de 150 cabines diárias, sendo adicionado um volume de 5 cabines diárias, perfazem-se 155 cabines. Para um calendário industrial anual com 5 dias de produção semanal e 48 semanas de produção anual, deduzidas as férias por força de lei, tem-se:  $155 \times 5 \times 48 = 37.200$  cabines por ano. Multiplicando-se por \$ 2,77 (redução de custo unitário), indica-se uma redução anual de custos na ordem de  $37.200 \times 2,77 = \$ 103.044$ .

Vale ressaltar que os valores reais de redução de custeio observados podem ser muito maiores que os indicados na Figura 38, uma vez que, para preservação dos dados da empresa, um fator

numérico foi utilizado para mascarar os dados utilizados. Manteve-se, contudo, proporções coerentes entre todos os dados utilizados, preservando ao leitor os efeitos econômicos observáveis no estudo.

Para o Teste 3, o procedimento é similar ao Teste 1 com uma capacidade atual de 150 cabines diárias, sendo adicionado um volume de 10 cabines diárias, perfazendo-se 160 cabines. Considerando o calendário industrial citado anteriormente, o resultado fica assim indicado:  $160 \times 5 \times 48 = 38.400$  cabines por ano. Multiplicando-se por \$ 5,37 (redução de custo unitário), totaliza-se uma redução anual de custos de  $37.200 \times 5,37 = \$ 206.208$ . De modo similar para o Teste 4, o cálculo final com adição de 15 cabines fica:  $165 \times 5 \times 48 = 39.600$  cabines. Multiplicando-se por \$ 7,78, totaliza-se uma redução anual de custos de  $37.200 \times 7,78 = \$ 308.088$ .

<b>DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DE REDUÇÃO DE CUSTOS</b>	<b>TESTE 1</b>	<b>TESTE 2</b>	<b>TESTE 3</b>	<b>TESTE 4</b>
<b>BASE: Te=8,5 / Tg=100</b>	te=7,7 / tg=100	te=7,7 / tg=100	te=8,0 / tg=96	te=7,5 / tg=92
<b>Te=tempo de entrada / Tg=tempo de gargalo</b>	Redução Custos	Redução Custos	Redução Custos	Redução Custos
<b>VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO</b>	150	150	150	150
<b>VOLUME PROJETADO À SER PRODUZIDO</b>	155	155	160	165
<b>PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)</b>	5	5	10	15
<b>PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)</b>	1.200	1.200	2.400	3.600
<b>VOLUME TOTAL ANUAL (Sólidas + Metálicas)</b>	37.200	37.200	38.400	39.600
<b>REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS UNITÁRIO (\$)</b>	-2,77	-2,99	-5,37	-7,78
<b>REDUÇÃO DE CUSTOS FIXOS ANUAL (\$)</b>	<b>-103.044</b>	<b>-111.228</b>	<b>-206.208</b>	<b>-308.088</b>

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

Figura 38 – Cálculo de redução de custos.

A Figura 39, a seguir, incorpora a proposta de mensuração da produtividade por meio do cálculo e análise de viabilidade econômica financeira, avaliando-se o aumento da capacidade de produção para as opções de 5, 10 e 15 cabines diárias.

Para o cálculo da produtividade utiliza-se o conceito de custo aplicado ao trabalho (mão-de-obra direta, indireta e os encargos incidentes sobre os salários), ou seja:  $Produtividade(\$) = volume\ adicional\ de\ produção\ anual \times custo\ variável\ unitário$ . Obtém-se, então, o seguinte resultado: O Teste 1 (incorporando o Teste 2) possui 5 unidades adicionais e um custo variável unitário de \$ 159,15. Logo, o volume anual adicional será representado por:  $5 \times 5 \times 48 = 1.200$  cabines. Na sequência, gera-se o seguinte resultado em unidades monetárias:  $1.200 \times 159,15 = \$ 190.980$ . O Teste 3 com um volume adicional de 10 cabines diárias gera o seguinte resultado:  $10 \times 5 \times 48 = 2.400$  cabines, logo  $2.400 \times 159,15 = \$ 381.960$ . Analogamente, o Teste 4, com 15 cabines adicionais, gera o resultado de:  $15 \times 5 \times 48 = 3.600$  cabines e, então,  $3.600 \times 159,15 = \$ 572.940$ .

DEMONSTRATIVO DO CÁLCULO DE PRODUTIVIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS - BASE: Te=8,5 / Tg=100 Te=tempo de entrada / Tg=tempo de gargalo	<u>TESTE 1</u>	<u>TESTE 2</u>	<u>TESTE 3</u>	<u>TESTE 4</u>
	te=7,7 / tg=100	te=7,7 / tg=100	te=8,0 / tg=96	te=7,5 / tg=92
	Produtividade	Produtividade	Produtividade	Produtividade
<b>VOLUME TOTAL PRODUZIDO NO PERÍODO</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
<b>VOLUME PROJETADO À SER PRODUZIDO</b>	<b>155</b>	<b>155</b>	<b>160</b>	<b>165</b>
<b>PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Diário)</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>
<b>PRODUTIVIDADE CALCULADA (Vol. Adic. Anual)</b>	<b>1.200</b>	<b>1.200</b>	<b>2.400</b>	<b>3.600</b>
<b>VOLUME TOTAL ANUAL (Sólidas + Metálicas)</b>	<b>37.200</b>	<b>37.200</b>	<b>38.400</b>	<b>39.600</b>
<b>CUSTO VARIÁVEL UNITÁRIO (\$)</b>	<b>159,15</b>	<b>191,25</b>	<b>159,15</b>	<b>159,15</b>
<b>PRODUTIVIDADE TOTAL ANUAL (\$)</b>	<b>190.980</b>	<b>229.500</b>	<b>381.960</b>	<b>572.940</b>

Obs. Os novos investimentos foram considerados com o IRR 15%

Figura 39 – Cálculo da produtividade.

Uma forma alternativa de mensurar a eficiência operacional (produtividade) é por meio do OHPU (*Organizational Hours Per Unit*), o qual relaciona as horas totais trabalhadas pelo volume total produzido em um período de tempo (ano). O índice HPU representa o total de horas para a pintura de uma cabine de veículo. No caso em análise foram considerados:

- Número de operários alocados na linha de pintura de cabines = 73;
- Número de horas trabalhadas em 3 turnos = 21,5;
- Número de dias de trabalho por semana = 5;
- Número de semanas trabalhadas por ano = 48.

Conforme ilustrado na Figura 40 o resultado para um aumento de volumes de 5 cabines diárias (ou seja, de 150 para 155 cabines), mostra uma redução de tempo unitário de 0,33h (10,46-10,13), ou uma produtividade de 3,2 pontos percentuais. Para um aumento de volumes de 10 cabines diárias (de 150 para 160 cabines), identifica uma redução de tempo unitário de 0,65h (10,46-9,81), ou uma produtividade de 6,2 pontos percentuais. Finalmente, para um acréscimo de 15 cabines diárias (de 150 para 165 cabines) o resultado apurado foi uma redução de tempo de 0,95h por unidade produzida ou uma produtividade de 9,10 pontos percentuais.

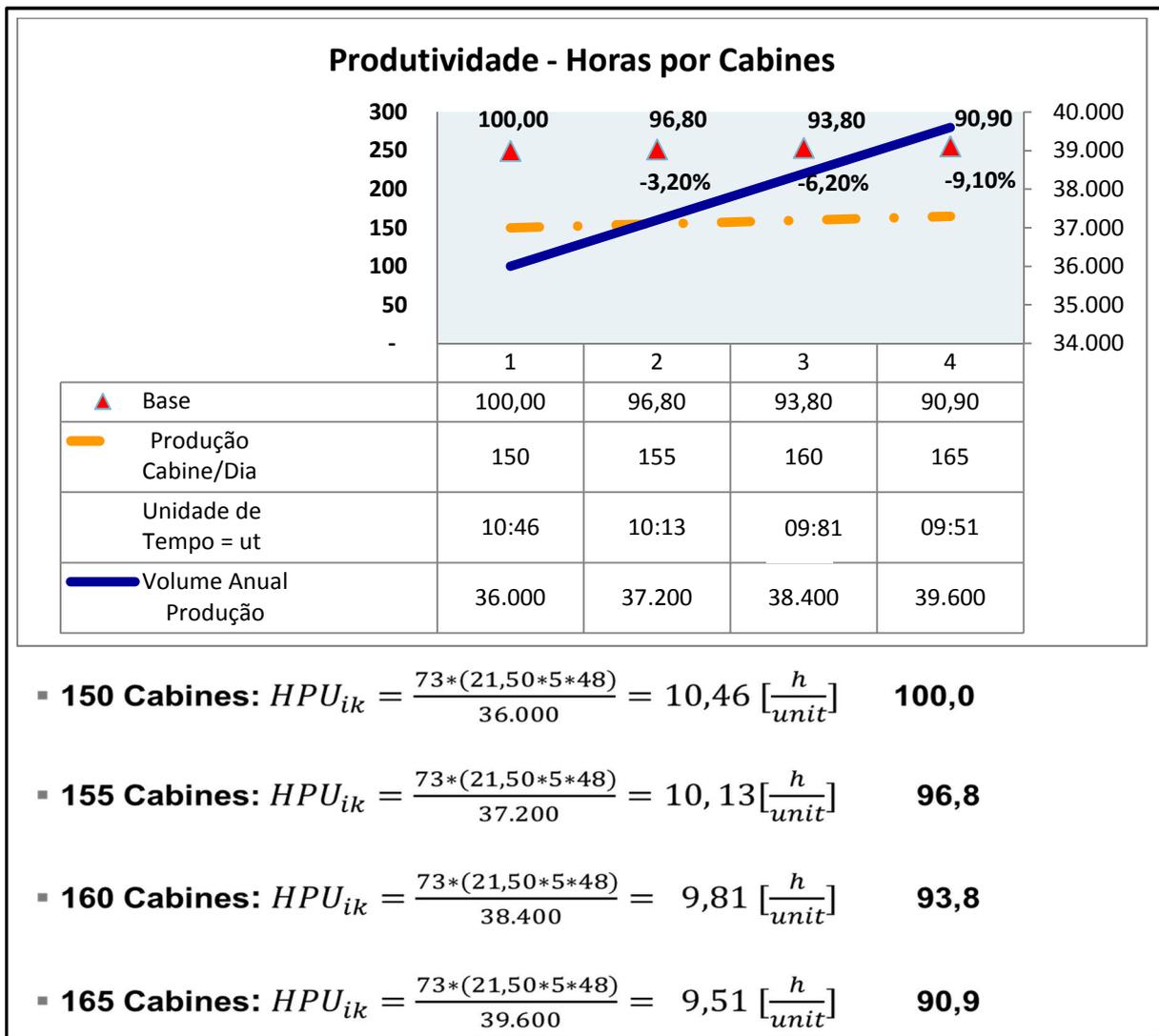


Figura 40 – Exemplificação de Cálculo e Resultados Obtidos para o OHPU.

Sumarizando-se os resultados obtidos através da avaliação financeira, obtêm-se os resultados de ganhos anuais de produtividade, redução de custos e, como consequência, os ganhos oriundos do aumento de volumes produtivos, conforme detalhado na Tabela 17. Os resultados desta tabela mostram ganhos anuais de produtividade e redução de custos para as 3 propostas de aumento dos volumes e da capacidade de produção, a saber: de 150 para 155 cabines; de 150 para 160 cabines; e, de 150 para 165 cabines. Foram realizados cálculos para valores de Taxa Interna de Retorno (TIR) iguais a 10%, 15% e 20%. Pode-se observar que as reduções de custos são afetadas pelo valor da TIR. Por exemplo, no caso de variações de volumes de 150 para 165 unidades, têm-se reduções de custos de \$ 293.040 para TIR de 10%; já com um valor de TIR de 20% esta redução de custos é estimada em \$ 322.344. Isto se deve, conforme fundamentado na seção 3.5.5, por uma melhor absorção de custos fixos devido ao aumento de volume de produção.

Na seção 5.2.2, a seguir, apresenta-se a aplicação dos índices econômicos e financeiros relacionados (*e.g.*, Fluxo de Caixa, VPL, TIR, TMA e Período de Retorno do Capital ou *Payback*), assim como os resultados líquidos obtidos através do estudo econômico financeiro.

Tabela 17 – Ganhos de produtividade e redução de custos.

<b>Variação de Volumes (un.)</b>	<b>TIR (%)</b>	<b>Ganho de Produtividade (\$)</b>	<b>Redução de Custos (\$)</b>
150 → 155	10	190.980	97.464
150 → 160		381.960	195.072
150 → 165		572.940	293.040
150 → 155	15	190.980	103.044
150 → 160		381.960	206.208
150 → 165		572.940	308.088
150 → 155	20	190.980	107.508
150 → 160		381.960	215.040
150 → 165		572.940	322.344

## 5.2.2 Análise Financeira: Viabilidade de Investimentos

A análise de viabilidade técnica de aumentos de produtividade foi estimada a partir dos resultados coletados através dos testes efetuados no *software Simio* (SIMIO, 2016). Os resultados financeiros foram obtidos com o auxílio do *software Microsoft Excel*, tendo por base as diretrizes fundamentadas no Capítulo 4. Com os resultados obtidos, principalmente em relação aos gargalos identificados pelo *software* de simulação, foi analisada a viabilidade de aumento da capacidade de produção através da utilização de novos investimentos. Para esta análise foram efetuados cálculos e análises financeiras utilizando três opções de taxa interna de retorno (TIR): considerou-se valores de TIR de 10%, 15% e 20%. Os estudos são detalhados na sequência nas subseções 5.2.2.1 a 5.2.2.3.

Cabe aqui explicar que a taxa média de atratividade (TMA) praticada pelas empresas é influenciada, também, em função do risco de investir em um país. Assim, uma mesma empresa multinacional pratica diferentes valores de TMA em função do país onde o investimento é feito. O “Risco-País” é um fator relevante, conforme detalhado em (BANCO CENTRAL, 2015). Ao investir em países desenvolvidos e de economia estável a TMA pode ter valores relativamente baixos, inferiores a 10% (JP-MORGAN, 2016). A título de exemplificação, de acordo com experiência profissional relatada por Rodrigues (2016), no Brasil, em 1989, durante o governo Sarney a TMA

(para investimentos analisados em dólares americanos) era superior a 25% nas avaliações de investimento desenvolvidas pelo autor no ambiente industrial.

Na análise financeira desenvolvida no presente trabalho deseja-se identificar, a partir de uma TIR pré-definida, qual será o investimento máximo que satisfaz esta TIR. Ou seja, o que se faz é identificar a função inversa da equação (4), apresentada na seção 3.5.5, com o auxílio de planilhas do *Microsoft Excel*. Os valores adotados de TIR refletem patamares econômicos mais estáveis (TIR em 10%) a menos estáveis (TIR em 20%).

#### 5.2.2.1 Análise Financeira: Avaliações para TIR de 10%

Na Tabela 18 é apresentado o cálculo financeiro para o valor da TIR de 10%. Consideram-se três cenários possíveis de investimentos (nominados Cálculo 1, Cálculo 2 e Cálculo 3). Para a determinação dos indicadores econômicos foram desenvolvidas planilhas explicadas na seção 4.4 e seção 4.5. A Tabela 18 é dividida em 8 colunas. Na primeira são nominadas a Base de comparação e os Cálculos efetuados, de acordo com diferentes cenários produtivos avaliados como viáveis pela etapa de simulação, conforme Tabela 17. Na segunda coluna apresenta-se o volume diário de cabines (unidades – un). Na terceira coluna é apresentado o volume anual produzido (un). Na quarta coluna são apresentados os valores de custos fixos unitários de cabines (\$). Para o valor de Base a determinação deste custo é detalhada na Tabela 15; para os demais cálculos, ocorre de forma análoga. Na quinta coluna apresenta-se a redução de custo (\$) obtida para o cenário em análise. A sexta coluna apresenta o valor limite de investimento (\$) obtido para a referida análise produtiva. A sétima coluna é colocada para destacar que o VPL (\$) obtido nesta condição de limite de investimento é igual a zero. A oitava coluna apresenta o Tempo de Retorno em anos, para os cálculos efetuados.

Como resultado da Tabela 18, para a análise nominada Cálculo 1, pode-se visualizar na Figura 41 que, definida uma TIR igual à 10%, o investimento limite (máximo investimento que gera uma TIR maior ou igual a 10%) é de \$ 467.000 em seu primeiro período (ano) para um volume anual de produção de 155 unidades. Os resultados obtidos são apresentados em forma gráfica do fluxo de caixa, considerando-se uma expectativa de redução de \$ 2,62 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,8 anos e com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). De antemão, um VPL negativo é um indicativo de “pouca atratividade” e provável risco para realizar o investimento sob as referidas condições, conforme fundamentado na seção 3.5.4. Na condição de análise, o VPL será negativo se o valor investido for superior ao limite (\$ 467.000). O leitor deve observar que, basicamente, está-se comparando as equações (3), cálculo

do VPL, com a equação (4), definição da TIR. Se a taxa de juros ( $i$ ) for igual à TIR, o VPL será nulo porque as duas equações (3) e (4) estão igualadas.

Considerando como base de cálculo a Tabela 18, para a análise nominada Cálculo 2, pode-se visualizar na Figura 42 que, definida uma TIR igual à 10%, o investimento limite é de \$ 935.000 no primeiro período (ano), para um volume anual de produção de 160 unidades. Chama-se a atenção do leitor que a Figura 42 apresenta de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 5,08 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,8 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). Ou seja, nesta tabela, como a redução de custo no Cálculo 2 (\$ 5,08 por unidade) é superior à redução de custo considerada no Cálculo 1 (\$ 2,62 por unidade), o investimento limite identificado no Cálculo 2 (\$ 935.000) foi superior ao investimento limite identificado no Cálculo 1 (\$ 467.000).

Ainda com base na Tabela 18, para a análise nominada Cálculo 3, pode-se visualizar na Figura 43 que, definida uma TIR igual à 10%, o investimento limite é de \$ 1.400.000 em seu primeiro período, para um volume anual de produção de 165 unidades. Para este caso, apresenta-se de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 7,40 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,8 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento).

Como análise final dos resultados apresentados nos três cenários da Tabela 18, para uma expectativa de TIR igual à 10%, com diferentes valores de redução de custos, tem-se que o resultado é viável do ponto de vista econômico-financeiro se o investimento real for menor ou igual ao valor limite do investimento obtido para cada caso. É importante mencionar que o cenário apresenta um tempo de retorno médio próximo a 5 anos, configurando um tempo de retorno de investimentos que algumas empresas consideram de longo prazo.

Ressalta-se, ainda, que as soluções tecnológicas necessárias para que as atuações nos gargalos produtivos sejam realizadas podem variar. Por exemplo, a ampliação da área de pintura robotizada (et91 e et92) por meio da instalação adicional de robôs no processo tem um custo associado, que é diferente do necessário para uma simples reprogramação de robôs já existentes. A solução tecnológica a ser adotada deve ser ponderada tendo por base os requisitos de produtividade e o limite de investimento, determinado pela análise financeira a partir dos incrementos de produtividade esperados. Conforme comentado no início da seção 5.2, a prática sugerida pelo presente trabalho é diferente à normalmente adotada nas empresas, onde toma-se como premissa base a necessidade de realização de projeto tecnológico, sem necessariamente mensurar o impacto econômico-financeiro trazido pelo aumento de produtividade de tal projeto. Na presente proposta explicita-se uma forma de medir (limitar) o investimento a ser realizado em função da produtividade esperada.

Tabela 18 – Análise de Investimentos com TIR 10%.

	Volume Diário (un.)	Volume Anual (un.)	*Custo Cabine (\$)	*Redução Custo (\$)	Investimento Limite (\$)	VPL (\$)	Tempo Retorno (anos)
Base	150	36.000	178,64	-	-	-	-
Cálculo 1	155	37.200	176,02	<b>-2,62</b>	<b>467.000</b>	0	<b>4,8</b>
Cálculo 2	160	38.400	173,56	<b>-5,08</b>	<b>935.000</b>	0	<b>4,8</b>
Cálculo 3	165	39.600	171,24	<b>-7,40</b>	<b>1.400.000</b>	0	<b>4,8</b>

\*Valor Unitário

Cálculo 1: TIR 10% define um *Investimento Limite* de \$ 467.000  
Com Redução de Custo de \$ 2,62 e Tempo de Retorno: 4,8 anos

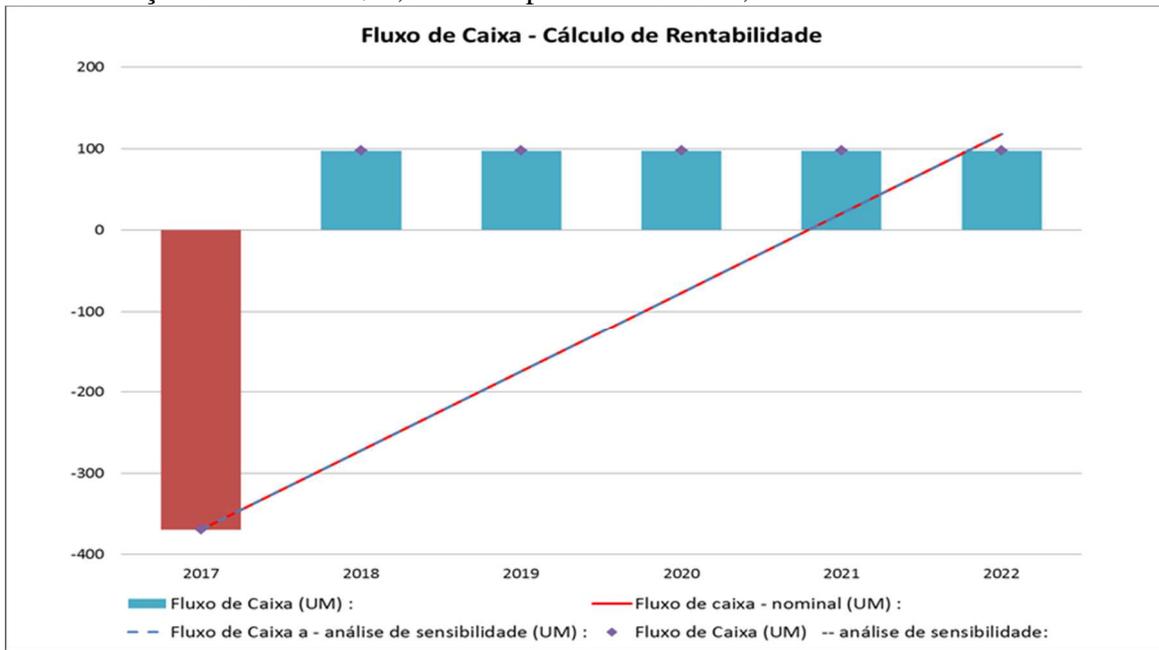


Figura 41 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 467.000

Cálculo 2: TIR 10% define um *Investimento Limite* de \$ 935.000  
Com Redução de Custo de \$ 5,08 e Tempo de Retorno: 4,8 anos

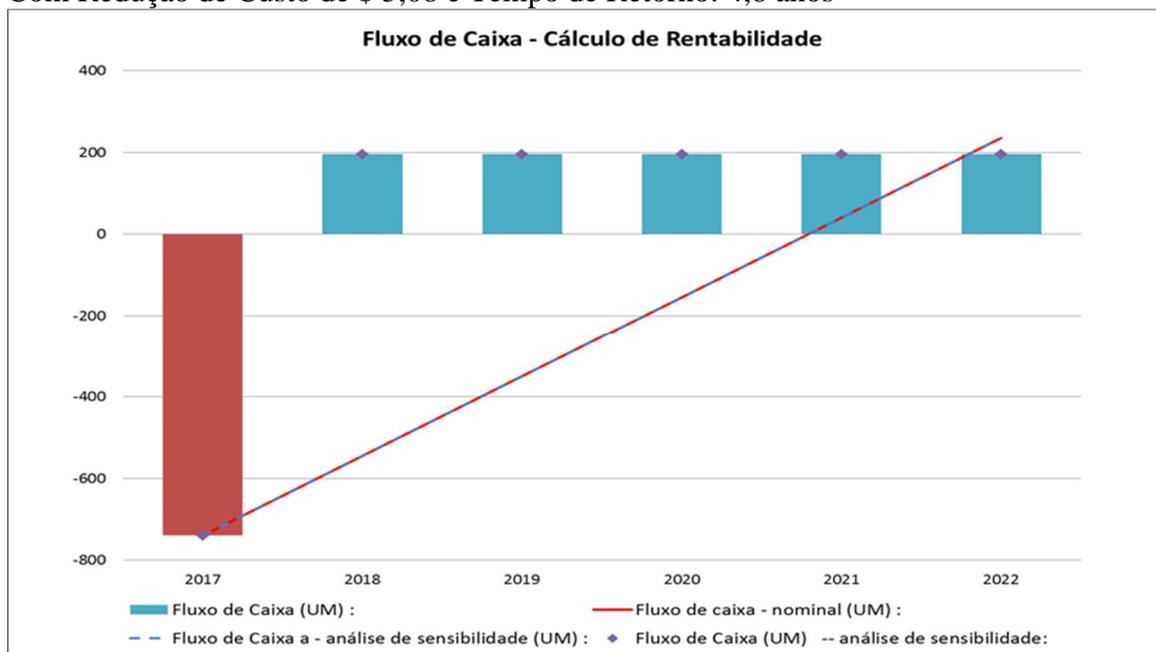


Figura 42 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 935.000

Cálculo 3: TIR 10% define um *Investimento Limite* de \$ 1.400.000  
Com Redução de Custo de \$ 7,40 e Tempo de Retorno: 4,8 anos

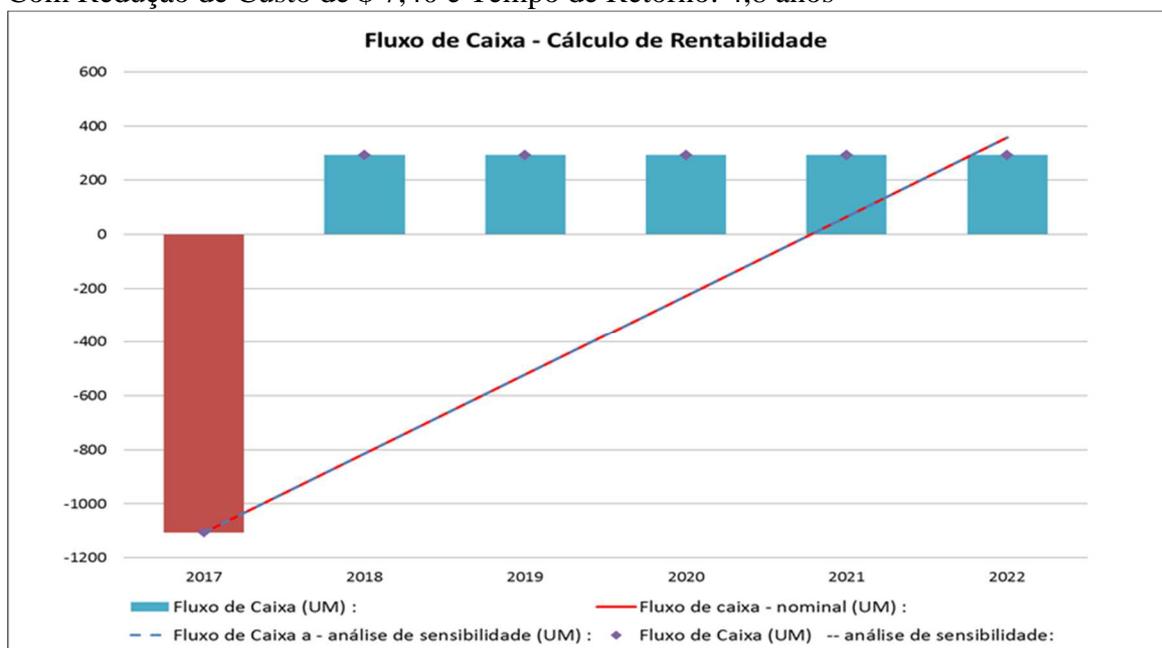


Figura 43 – Gráfico TIR 10% com investimento limite de \$ 1.400.000

### 5.2.2.2 Análise Financeira: Avaliações para TIR de 15%

De modo análogo ao ocorrido na Tabela 18, a Tabela 19 apresenta o cálculo financeiro, mas agora considerando um valor de TIR 15%.

Como resultado da Tabela 19, para a análise nominada Cálculo 4, pode-se visualizar na Figura 44 que, definida uma TIR igual à 15%, o investimento limite (máximo investimento que gera uma TIR maior ou igual a 15%) é de \$ 445.000 em seu primeiro período (ano), para um volume de produção anual de 155 unidades. Os resultados obtidos são apresentados em forma gráfica do fluxo de caixa, considerando-se uma expectativa de redução de \$ 2,77 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,3 anos e com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). De antemão, um VPL negativo é um indicativo de “pouca atratividade” e provável risco para realizar o investimento sob as referidas condições, conforme fundamentado na seção 3.5.4. Na condição de análise, o VPL será negativo se o valor investido for superior ao limite (\$ 445.000).

Considerando como base de cálculo a Tabela 19, para a análise nominada Cálculo 5, pode-se visualizar na Figura 45 que, definida uma TIR igual à 15%, o investimento limite é de \$ 890.000 no primeiro período (ano), para um volume anual de produção de 160 unidades. Chama-se a atenção do leitor que a Figura 45 apresenta de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 5,37 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,3 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). Ou seja, na Tabela 19, como a redução de custo no Cálculo 5 (\$ 5,37 por unidade) é superior à redução de custo considerada no Cálculo 4 (\$ 2,77 por unidade), o investimento limite identificado no Cálculo 5 (\$ 890.000) foi superior ao investimento limite identificado no Cálculo 4 (\$ 445.000).

Ainda com base na Tabela 19, para a análise nominada Cálculo 6, pode-se visualizar na Figura 46 que, definida uma TIR igual à 15%, o investimento limite é de \$ 1.340.000 em seu primeiro período, para um volume anual de produção de 165 unidades. Para este caso, apresenta-se de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 7,78 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,3 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento).

Como análise final dos resultados apresentados nos três cenários da Tabela 19, para uma expectativa de TIR igual à 15%, com diferentes valores de redução de custos, tem-se que o resultado é viável do ponto de vista econômico-financeiro se o investimento real for menor ou igual ao valor limite do investimento obtido para cada caso. O tempo de retorno médio foi ligeiramente superior a 4 anos, configurando um tempo de retorno de investimentos que algumas empresas consideram de longo prazo para o cenário em análise.

Tabela 19 – Análise de Investimentos com TIR 15%.

Cálculo	Volume Diário (un.)	Volume Anual (un.)	*Custo Cabine (\$)	*Redução Custo (\$)	Investimento Limite (\$)	VPL (\$)	Tempo Retorno (anos)
Base	150	36.000	178,64	-	-	-	-
Cálculo 4	155	37.200	175,87	<b>-2,77</b>	<b>445.000</b>	0	<b>4,3</b>
Cálculo 5	160	38.400	173,27	<b>-5,37</b>	<b>890.000</b>	0	<b>4,3</b>
Cálculo 6	165	39.600	170,86	<b>-7,78</b>	<b>1.340.000</b>	0	<b>4,3</b>

\*Valor Unitário

Cálculo 4: TIR 15% define um *Investimento Limite* de \$ 445.000  
Com Redução de Custo de \$ 2,77 e Tempo de Retorno: 4,3 anos

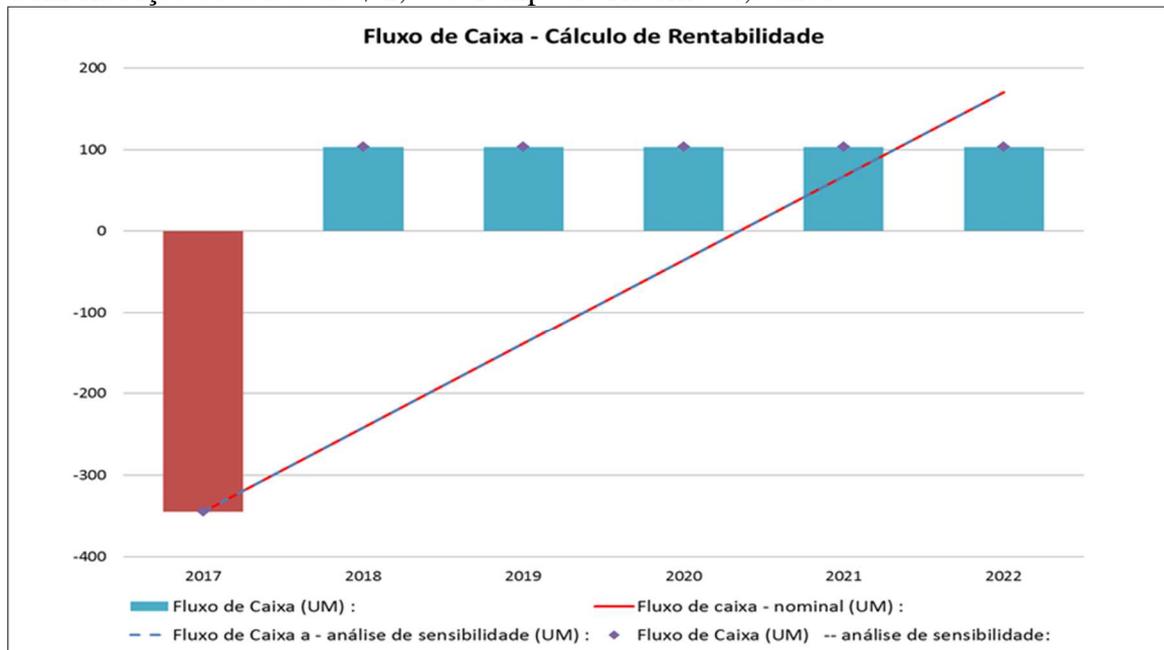


Figura 44 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 445.000

Cálculo 5: TIR 15% define um *Investimento Limite* de \$ 890.000  
Com Redução de Custo de \$ 5,37 e Tempo de Retorno: 4,3 anos

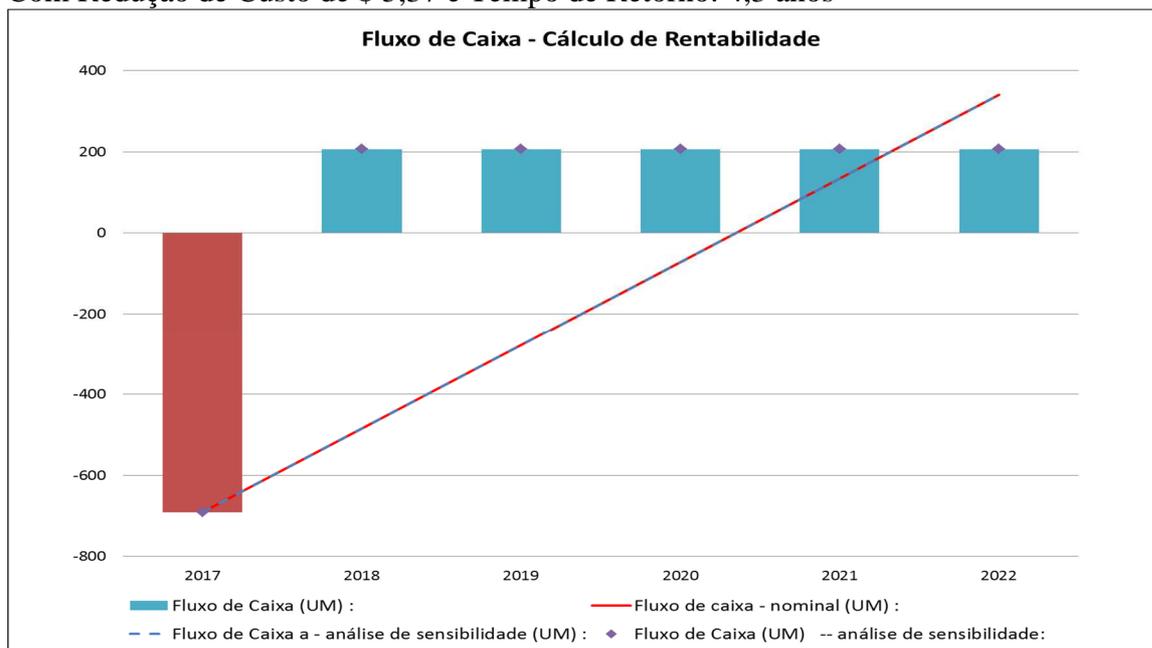


Figura 45 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 890.000

Cálculo 6: TIR 15% define um *Investimento Limite* de \$ 1.340.000  
Com Redução de Custo de \$ 7,78 e Tempo de Retorno: 4,3 anos

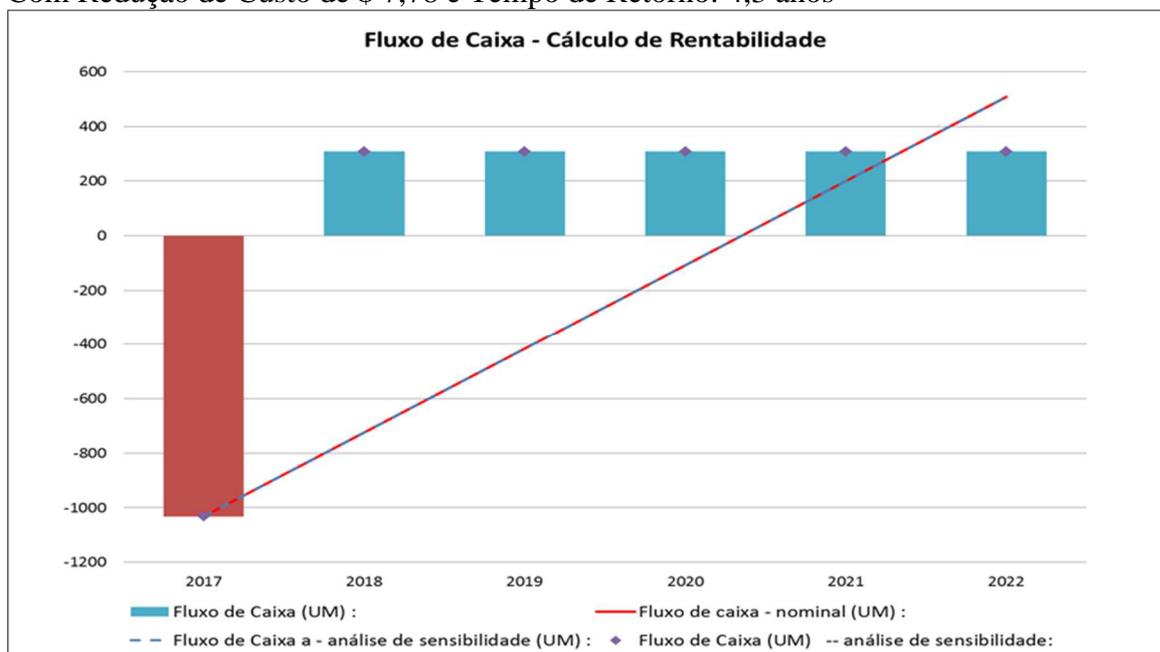


Figura 46 – Gráfico TIR 15% com investimento limite de \$ 1.340.000

### 5.2.2.3 Análise Financeira: Avaliações para TIR de 20%

Na Tabela 20 é apresentado o cálculo financeiro considerando a TIR de 20%. O descritivo do conteúdo das colunas desta tabela é análogo ao realizado para a Tabela 18.

Como resultado da Tabela 20, para a análise nominada Cálculo 7, pode-se visualizar na Figura 47 que, definida uma TIR igual à 20%, o investimento limite (máximo investimento que gera uma TIR maior ou igual a 20%) é de \$ 427.000 em seu primeiro período (ano), para uma produção anual de 155 unidades. Os resultados obtidos são apresentados em forma gráfica do fluxo de caixa, considerando-se uma expectativa de redução de \$ 2,89 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,0 anos e com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). De antemão, um VPL negativo é um indicativo de “pouca atratividade” e provável risco para realizar o investimento sob as referidas condições, conforme fundamentado na seção 3.5.4. Na condição de análise, o VPL será negativo se o valor investido for superior ao limite (\$ 427.000).

Considerando como base de cálculo a Tabela 20, para a análise nominada Cálculo 8, pode-se visualizar na Figura 48 que, definida uma TIR igual à 20%, o investimento limite é de \$ 855.000 no primeiro período (ano), para um volume anual de produção de 160 unidades. Chama-se a atenção do leitor que a Figura 48 apresenta de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 5,60 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,0 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento). Ou seja, na Tabela 20, como a redução de custo no Cálculo 8 (\$ 5,60 por unidade) é superior à redução de custo considerada no Cálculo 7 (\$ 2,89 por unidade), o investimento limite identificado no Cálculo 8 (\$ 855.000) foi superior ao investimento limite identificado no Cálculo 7 (\$ 427.000).

Ainda com base na Tabela 20, para a análise nominada Cálculo 9, pode-se visualizar na Figura 49 que, definida uma TIR igual à 20%, o investimento limite é de \$ 1.283.000 em seu primeiro período, para um volume anual de produção de 165 unidades. Para este caso, apresenta-se de forma gráfica o fluxo de caixa para uma expectativa de redução de custos de \$ 8,14 por unidade, resultando em um Tempo de Retorno de 4,0 anos, com um VPL nulo (se o investimento real for igual ao valor limite do investimento).

Como análise final dos resultados apresentados nos três cenários da Tabela 20, para uma expectativa de TIR igual à 20%, com diferentes valores de redução de custos, tem-se que o resultado é viável do ponto de vista econômico-financeiro se o investimento real for menor ou igual ao valor limite do investimento obtido para cada caso.

Avaliando-se os tempos de retorno médio indicados da Tabela 18 à Tabela 20 verifica-se que os valores estão entre 4 e 5 anos. De fato, conforme, Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20 os valores encontrados para estes tempos foram, respectivamente: 4,8, 4,3 e 4,0 anos. Assim, os tempos de retorno de investimentos podem ser considerados de “longo prazo” para os cenários em análise, mas ainda viáveis sob o ponto de vista econômico-financeiro.

Tabela 20 – Análise de Investimentos com TIR 20%.

Cálculo	Volume Diário (un.)	Volume Anual (un.)	*Custo Cabine (\$)	*Redução Custo (\$)	Investimento Limite (\$)	VPL (\$)	Tempo Retorno (anos)
Base	150	36.000	178,64	-	-	-	-
Cálculo 7	155	37.200	175,75	-2,89	<b>427.000</b>	0	4,0
Cálculo 8	160	38.400	173,04	-5,60	<b>855.000</b>	0	4,0
Cálculo 9	165	39.600	170,50	-8,14	<b>1.283.000</b>	0	4,0

\*Valor Unitário

Cálculo 7: TIR 20% define um *Investimento Limite* de \$ 427.000  
Com Redução de Custo de \$ 2,89 e Tempo de Retorno: 4,0 anos

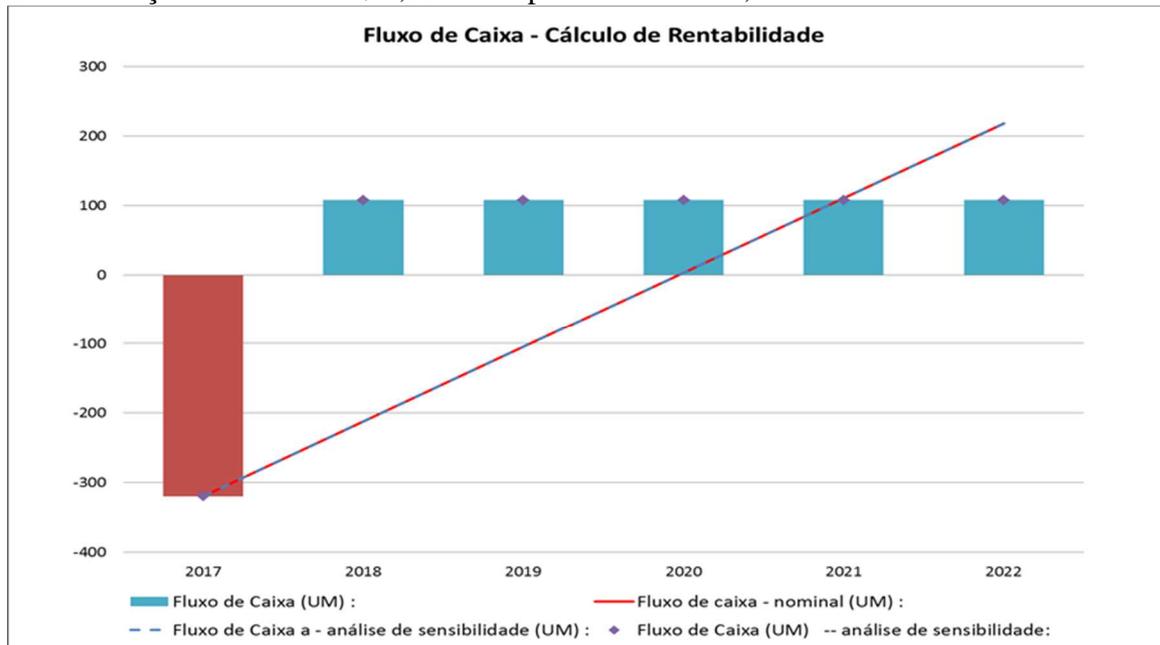


Figura 47 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 427.000

Cálculo 8: TIR 20% define um *Investimento Limite* de \$ 855.000  
 Com Redução de Custo de \$ 5,60 e Tempo de Retorno: 4,0 anos

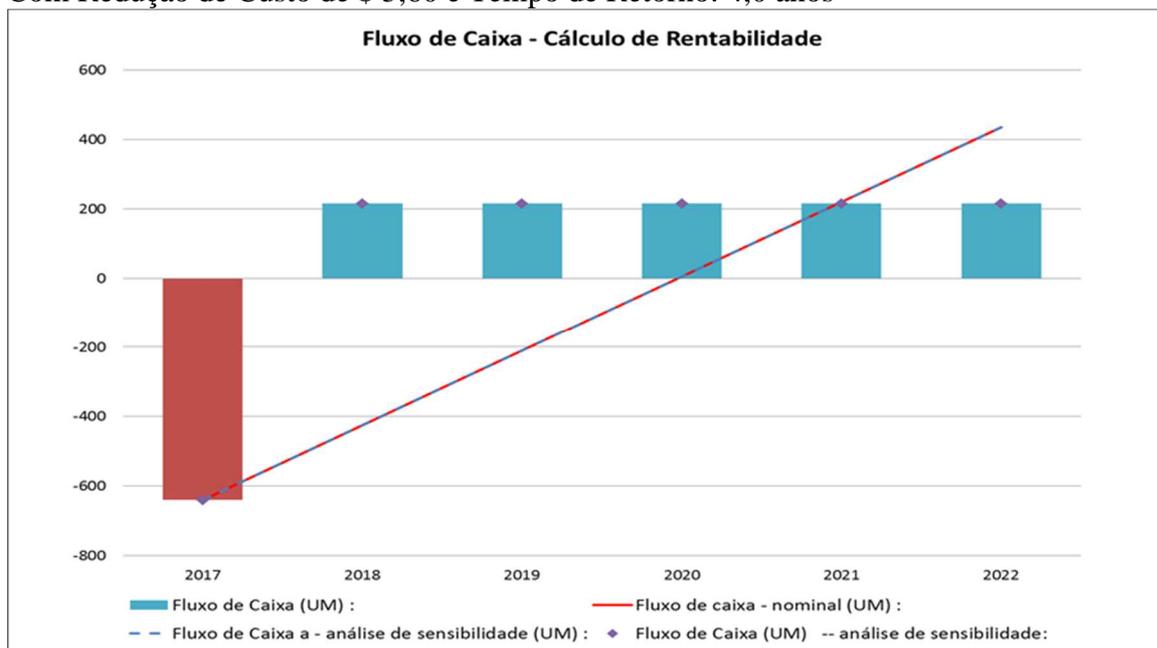


Figura 48 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 855.000

Cálculo 9: TIR 20% define um *Investimento Limite* de \$ 1.283.000  
 Com Redução de Custo de \$ 8,14 e Tempo de Retorno: 4,0 anos

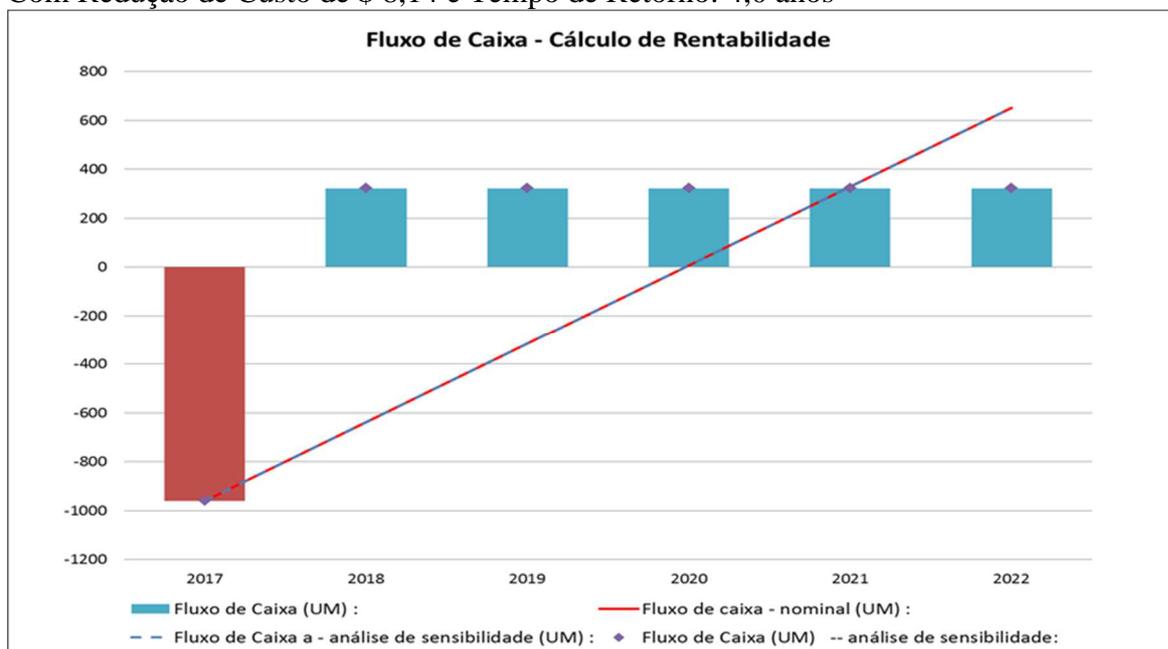


Figura 49 – Gráfico TIR 20% com investimento limite de \$ 1.283.000

#### 5.2.2.4 Análise Financeira: Considerações de opção de investimento

Considerando as análises de rentabilidade apresentadas na Tabela 18, na Tabela 19 e na Tabela 20, as quais avaliam cenários com valores de TIR de, respectivamente, 10%, 15% e 20%, pode-se concluir que os limites de investimento viáveis para uma dada condição de produtividade são influenciados pelos valores de TIR. Por exemplo, se tomarmos um volume diário de produção de 155 cabines e compararmos os resultados obtidos no Cálculo 1 (Tabela 18), Cálculo 4 (Tabela 19) e Cálculo 7 (Tabela 20) verifica-se que os limites máximos de investimento obtidos foram de, respectivamente, \$ 467.000, \$ 445.000 e \$ 427.000. Ou seja, com um valor de TIR 20%, o limite máximo viável de investimento é menor do que o que foi observado para uma TIR 15% e TIR 10%. Situação similar ocorre se realizarmos comparações entre, respectivamente, (i) Cálculo 2 (Tabela 18), Cálculo 5 (Tabela 19) e Cálculo 8 (Tabela 20); e, por fim, (ii) Cálculo 3 (Tabela 18), Cálculo 6 (Tabela 19) e Cálculo 9 (Tabela 20). A Figura 50 a seguir sumariza a análise comparativa mencionada.

Cálculos Comparativos	Volume Diário (un.)	Volume Anual (un.)	*Custo Cabine (\$)	*Redução Custo (\$)	Investimento Limite (\$)	VPL (\$)	Tempo Retorno (anos)
Cálculo 1	155	37.200	176,02	-2,62	467.000	0	4,8
Cálculo 4	155	37.200	175,87	-2,77	445.000	0	4,3
Cálculo 7	155	37.200	175,75	-2,89	427.000	0	4,0
Cálculo 2	160	38.400	173,56	-5,08	935.000	0	4,8
Cálculo 5	160	38.400	173,27	-5,37	890.000	0	4,3
Cálculo 8	160	38.400	173,04	-5,60	855.000	0	4,0
Cálculo 3	165	39.600	171,24	-7,40	1.400.000	0	4,8
Cálculo 6	165	39.600	170,86	-7,78	1.340.000	0	4,3
Cálculo 9	165	39.600	170,50	-8,14	1.283.000	0	4,0

Figura 50 – Análise de Sensibilidade das Opções de Investimentos

Em outras palavras, questões de atratividade econômico-financeira referentes à localização da empresa influenciam nos valores de investimentos máximos que a companhia deve assumir. Contudo, é importante salientar que decisões de investimento conforme sugeridas no contexto da

Tabela 18 à Tabela 20 envolvem uma probabilidade de risco, ainda que baixa dado o VPL ser nulo nos casos avaliados. De fato, um investimento é, por natureza, uma decisão de risco de perder capital ao aceitar a decisão de investir em um projeto.

Ressalta-se que os estudos conduzidos na seção 5.1 são atrelados ao atendimento do Objetivo Específico “c)” elencado na seção 1.3.2:

*“Realizar experimentações com o modelo de simulação no intuito de evidenciar possibilidades de incrementos de produtividade e as condições necessárias para que estes incrementos ocorram”.*

De modo análogo, os estudos conduzidos na seção 5.2 são atrelados ao atendimento do Objetivo Específico “d)” elencado na seção 1.3.2:

*“Realizar análise financeira que evidencie os investimentos máximos possíveis para implementar as mudanças sugeridas pelo modelo de simulação, em prol do incremento de produtividade”.*



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por base um estudo que avalia uma linha de pintura de cabines para veículos, seus produtos e suas características técnicas de produção, envolvendo aspectos ligados ao processo industrial e correlatos como gargalos, desperdícios, sequenciamento produtivo, aumento de volumes de produção e questões relacionadas aos aspectos econômicos e financeiros como custos, investimentos e produtividade.

Buscou-se uma avaliação da produtividade do processo de pintura com a utilização de um *software* de simulação a eventos discretos, no caso o Simio® (SIMIO, 2016). Conforme resultados apresentados na Tabela 11, verificou-se a existência de gargalos na entrada de cabines na linha, conforme ilustrado na Figura 2, e nas áreas de pintura robotizada (etapa denominada *top-coat*, Figura 3). As simulações efetuadas também evidenciaram que atuações nos referidos gargalos poderiam incrementar sensivelmente a produtividade da linha, conforme evidenciado na Tabela 13, Figura 34 e Figura 35. Aumentos de produtividade de até 10% em relação a um valor referencial de produção (150 cabines diárias) mostram-se viáveis pela atuação nos referidos gargalos. As soluções tecnológicas necessárias para que estas atuações possam ser realizadas podem variar, por exemplo: a ampliação da área de pintura robotizada (et91 e et92), através da instalação adicional de robôs no processo, ou mesmo a simples reprogramação de robôs. O montante total a ser investido para que estas atuações sejam viabilizadas é uma questão explorada nos resultados apresentados pela Análise Financeira.

Com o raciocínio de identificação de gargalos e possibilidades de incremento da produtividade pela atuação nestes gargalos, seguiu-se a avaliação por meio de critérios econômico-financeiros de cenários de investimento. A análise financeira foi implementada com a utilização de cálculos efetuados no *software* Microsoft Excel. Em síntese, avaliou-se o potencial aumento de volumes produtivos e quais os investimentos/condições necessários para a viabilidade de implantação destas mudanças de regime produtivo. Os resultados obtidos evidenciam que um novo dimensionamento na capacidade de produção em relação a um volume referencial de cabines produzidas propicia ganhos de produtividade e reduções de custos (*e.g.*, Tabela 17).

Na análise financeira avaliou-se, ainda, os contextos produtivos indicados na Tabela 18, na Tabela 19 e na Tabela 20, os quais representam cenários para investimento com valores de Taxa Interna de Retorno (TIR) de, respectivamente, 10%, 15% e 20%. Pôde-se observar que, dentro do ponto de vista econômico-financeiro, reduções de custo unitário das cabines ocorrem em função do

aumento dos volumes produtivos em relação a um valor referencial de produção de 150 cabines diárias. Ainda, conforme destacado na seção 5.2.2.4, os limites de investimento viáveis para uma dada condição de produtividade são influenciados pelos valores de TIR praticados.

O montante disponibilizado para o investimento pode prover condições para várias soluções técnicas serem viabilizadas no ambiente fabril para se obter, de fato, a produção idealizada de cabines diárias. Por exemplo, a Tabela 20, Cálculo 9, sugere um investimento limite de \$ 1.283.000 com um *payback* de 4,0 anos. Com este montante disponibilizado haveria necessidade de interferência no sistema produtivo para elevar a produção diária de 150 para 165 cabines. Neste contexto, a seguinte questão pode ser formulada: A aquisição de robôs para elevar a capacidade produtiva das estações 91 e 92 (gargalo identificado) seria viável dentro do montante limite sugerido? A esta pergunta cabe a análise técnica do contexto de chão-de-fábrica. Desta forma, apesar de ainda não ter sido validado no chão-de-fábrica, o estudo realizado proporcionou um embasamento teórico para responder de forma positiva à questão elencada no Capítulo 1: É viável, do ponto de vista técnico/econômico, otimizar a produtividade da etapa *top-coat* do setor de pintura de cabines sólidas e metálicas de uma indústria automotiva em estudo?

Do ponto de vista de contribuição à sistemática de análise de problemas correlatos ao analisado, a Figura 18 sumariza o método proposto na presente dissertação, o qual tem por base uma simulação a eventos discretos seguida de uma análise econômica-financeira.

Importante mencionar que o aumento da capacidade de produção e a conseqüente disponibilidade de volumes adicionais refletem uma condição especial de fornecimento ao mercado interno. Na hipótese de não haver demanda suficiente no mercado interno, há evidentemente condições de fornecimento externo dos volumes adicionais de produção, tendo em vista que o mercado global propicia oportunidades para as fábricas onde há disponibilidade de volumes adicionais de produção a custos competitivos.

Como um trabalho futuro sugere-se a implementação de uma forma alternativa de análise de viabilidade técnica e econômico-financeira em relação à realizada. Esta alternativa parte da existência de um montante para investimento como parâmetro conhecido, ou seja, um valor a ser disponibilizado de antemão para investimento. A partir deste parâmetro, objetiva-se determinar os volumes diários efetivamente requeridos para zerar os fluxos de investimento, mediante taxas adotadas. Ainda como trabalhos futuros sugere-se a continuidade da pesquisa no cenário avaliado em prol da efetiva implementação das mudanças sugeridas, buscando-se soluções para obter um processo industrial com maior produtividade. Com base nos resultados obtidos, sugere-se a continuidade/aperfeiçoamento do uso de ferramentas de apoio ao processo de tomada de decisões

no ambiente industrial, como o *software* de simulação a eventos discretos utilizado. Uma frente de pesquisa a ser trabalhada diz respeito ao aprimoramento do modelo de simulação. Por exemplo, sugere-se uma implementação que seja capaz de capturar indicadores de solicitação de cabines na entrada da linha. Outro aprimoramento é a incorporação de avaliações econômicas/financeiras diretamente no *software* de simulação a eventos discretos, de forma a não ser necessário o uso de cálculos auxiliares no ambiente de planilhas eletrônicas.

Ressalta-se que o trabalho desenvolvido evidenciou para o contexto de estudo que a busca de soluções técnicas deve ser complementada por análises de produtividade e rentabilidade financeira. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem uma sistemática para avaliação da viabilidade de projetos no contexto da indústria automotiva, conforme evidenciado por meio da Figura 18. A perfeita coordenação das esferas técnica e de viabilidade financeira mostrou-se fundamental para a tomada de decisão estratégica no setor automotivo em estudo, fator determinante para sua perenidade.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Carlos Alexandre Camargo de; NETO, José de Paula Barros. HEINECK, Luiz Fernando Mahlmann. **Avaliação Econômica de Empreendimentos Imobiliários Residenciais: Uma Análise Comparativa**. XXVIII encontro de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

ALEGRE, João Carlos Archer Cunha. *Performance Measurement on Automotive Assembly Line* - Dissertation Master in Electronics and Computer Engineering Major Automation - Faculty of Engineering of University of Porto - 2010.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.html>>. Acesso em 16/08/2016.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação de bens parte 4: Empreendimentos**. NBR 14653-4. Rio de Janeiro, 2002. 16 p.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BANCO CENTRAL. **Risco-País com informações até março de 2015**. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/gci/port/focus/faq%209-risco%20pa%C3%ADs.pdf>. Acesso em: 14/09/2016.

BERNASKI, P. C. **Ontologia para o Domínio de Aplicação Custos Considerando o Processo de Desenvolvimento de Produto**. Dissertação, PPGEM, UTFPR, 2009.

BRAGA, K. F. **KAIZEN: Estudo de Caso em uma Indústria Automobilística**. Juiz de Fora, 2013.

BRIMSON, J. A. **Using Predictive Accounting to Improve Product Management**. International Journal of Strategic Cost Management, vol. 2, n. 3, 2001.

CAIO, Fernanda. **Análise de processos e desenvolvimento de modelo para gerenciamento de processos de uma agencia de publicidade e propaganda**. TCC. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. UNIVATES. Lajeado, 2014. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/647/1/2014FernandaCaio.pdf>. Acesso em 20/06/2016.

CASAROTTO FILHO, Nelson C.; KOPITTKKE, Bruno H. **Análise de Investimentos**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2008.

\_\_\_\_\_, I. **Administração de recursos humanos: fundamentos básicos**. 4. ed. São Paulo, SP: Atlas, 1999.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry.** Boston, Mass: Harvard Business School Press, 1991.

COELHO, Cristiano Farias. **Análise de fluxo de material no processo de preparação do minério de ferro para indústria siderúrgica.** Dissertação de Mestrado de Engenharia de Produção. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos Dos Goytacazes – RJ. 2013. Disponível em: [http://uenf.br/pos-graduacao/engenharia-de-producao/files/2013/04/An%C3%A1lise-de-Fluxo-de-Material-no-Processo-de-Prepara%C3%A7%C3%A3o-do-Min%C3%A9rio-de-Ferro-para-Ind%C3%A9stria-Sider%C3%BArgica\\_Cristiano-Coelho.pdf](http://uenf.br/pos-graduacao/engenharia-de-producao/files/2013/04/An%C3%A1lise-de-Fluxo-de-Material-no-Processo-de-Prepara%C3%A7%C3%A3o-do-Min%C3%A9rio-de-Ferro-para-Ind%C3%A9stria-Sider%C3%BArgica_Cristiano-Coelho.pdf). Acesso em: 05/02/2016

COMITÊ DE PRONUNCIAMENTOS CONTÁBEIS. CPC 26 (R1) – **Apresentação das Demonstrações Contábeis.** Divulgado em 15 dez 2011 – Disponível em <[http://static.cpc.mediagroup.com.br/Documentos/312\\_CPC\\_26\\_R1\\_rev%2008.pdf](http://static.cpc.mediagroup.com.br/Documentos/312_CPC_26_R1_rev%2008.pdf)>. Acesso em: 30/08/2016.

CONTADOR, José Carlos (Coordenador). **Gestão de operações: A engenharia de produção a serviço da modernização da empresa.** 2ª ed. São Paulo: Edgard Blüncher, 2004.

COSTA, P. H. S., e ATTIE, E. V. **Análise de projetos de investimento.** 3ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1990.

DE SORDI, José Osvaldo. **Gestão de Processos: uma abordagem da moderna administração.** 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

DI DOMÊNICO, G. B. **Implantação de um Sistema de Custos Baseado em Atividades em um Ambiente Industrial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – UNICAMP, Campinas, 1994.

FERRAZ, J. A. C. B. **Manufatura Enxuta: O caso da Becton Dickinson.** Juiz De Fora - MG. 2006.

GALVÃO, Célio; MENDONÇA, Mauro. **Fazendo acontecer na qualidade total: análise e melhoria de processo.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

GIANESI, Irineu G. N.; CORRÊA, Henrique Luiz. **Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente.** São Paulo: Atlas, 1994.

GONZÁLEZ, M. A. S. **Empreendimentos Imobiliários.** Unisinos, 2003.

HARVARD BUSINESS REVIEW. **Tomada de Decisão.** Rio de Janeiro: Campus, 2001.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia econômica e análise de custos.** 4.ed. São Paulo: Atlas, 1989.

HOCHHEIM, N. **Análise de Investimentos Imobiliários**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

IGLESIAS, D.E.T. **Proposta de uma sistemática de avaliação de investimentos utilizando o Método ABC (Activity-Based Costing)**. Dissertação (Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

JOLY, Alexandre; FREIN, Yannick. Heuristics for an industrial car sequencing problem considering paint and assembly shop objectives, *Computers & Industrial Engineering*, p. 295–310, 2008.

JP-MORGAN. **J.P. Morgan Emerging Markets Bond Index (EMBI+)**. Disponível em: <https://datamarket.com/data/set/1dme/jp-morgan-emerging-markets-bond-index-embid#!ds=1dme!x88=7.k.b.9.a.i.4.c.f.g.e.m.2.d.5.h.8.n&display=choropleth&map=world&classifier=natural&numclasses=5>. Acesso em: 14/09/2016.

KAPLAN, ROBERT S.; COOPER, ROBIN. **Custo e desempenho: administre seus custos para ser mais competitivo**. São Paulo: Futura, 1998.

KASSAI, J. R. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. São Paulo: Atlas, 1999.

\_\_\_\_\_, P. **Administração de marketing**. 12. ed. São Paulo: Perason Prentice Hall, 2006.

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN Larry; MALHOTRA Manoj. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIMA JUNIOR, João da Rocha. **Decidir sobre Investimentos no Setor da Construção Civil**. 1998, 74 p. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1998.

\_\_\_\_\_. **Análise de Investimentos: Princípios e Técnicas para Empreendimentos do Setor da Construção Civil**. 1993, 74 p. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1993.

MAGATÃO, Leandro. **Mixed Integer Linear Programming and Constraint Logic Programming: Towards a Unified Modeling Framework**, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

MARTINS, E. **Contabilidade de Custos**. 9ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MELLO, C. H. P.; COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira; TURRIONI, J. B. **Modelo para o projeto e desenvolvimento de serviços: uma proposta brasileira**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 1, p. 61-74, 2006

MIRANDA, A. A.; GONÇALVES, A. A.; PARAGUAI, G. F.; SANTOS, G. F. **Redução de Desperdícios no Processo de Produção de Pontes Rolantes**: uma proposta de um novo arranjo físico. Faculdade de Engenharia de Minas Gérias – FEAMIG. 2012.

MOTTA, Regis R; CALÔBA, Guilherme M. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2002.

NAKAGAWA, M. **ABC: Custeio baseado em atividades**. São Paulo: Atlas, 1995.

NEWNAN, Donald G; LAVELLE, Jerome P. **Fundamentos da engenharia econômica**. Rio de Janeiro: JC, 2000.

OLIVEIRA, A. A. LOPES, J. L. **Gestão de Estoque**: As Dificuldades de Inventário em uma Empresa de Logística Localizada em Barueri – SP. revista da Faculdade Eça de Queiros. 2011.

OLIVEIRA, Antonio Benedito Silva. **Controladoria**: Fundamentos do Controle Empresarial. São Paulo: Saraiva, 2009.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na engenharia**: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PESSOA, P. F. A.; CABRAL, J. E. L. **Identificação e análise de gargalos produtivos**: impactos potenciais sobre a rentabilidade empresarial, 2005 – Disponível em <[http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo\\_657.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_657.pdf)>. Acesso em: 02/06/2016.

RENI, A. M. **Estudo de Caso**: O Lean Manufacturing Aplicado na Becton Dickinson. Juiz de Fora – MG. 2006.

RIBEIRO, Ricardo Nuno Loureiro. **Aplicação de Técnicas de Melhoria Contínua em Processos Produtivos. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**. Universidade do Porto, 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57857/1/000146423.pdf> . Acesso em: 13/05/2016.

RIBEIRO, Celso C; ALOISE, Daniel; NORONHA, Thiago F.; ROCHA, Caroline; URRUTIA, Sebastián. A hybrid heuristic for a multi-objective real-life car sequencing problem with painting and assembly line constraints, *European Journal of Operational Research*, p. 981–992, 2008.

RODRIGUES, Luiz C. A. Comunicação pessoal, 2016.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JAFFE, Jeffrey F. **Administração Financeira**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ROZENFELD, H.; Forcellini, F. A.; Amaral, D. C.; Toledo, J. C.; Silva, S. L.; Alliprandini, D. H.; Scalice, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SAARI, Seppo. Productivity Theory and Measurement in Business - European Productivity Conference, Finland - 2006.

SCHOLL, Armin. **Balancing and Sequencing of Assembly Lines**. 2ª ed., Physica Verlag Heidelberg, 1999.

SCHULTE, Ruthanne. **The Use and Benefits of Earned Value**. Project Magazine, Vol. 3, Issue 7, Sept. 2002.

SHINOHARA, I. **New Production System: JIT Crossing Industry Boundaries**. Productivity Press, 1988.

SILVA, Francimar N.; FERREIRA, Marco A. M.; PAZZINI, Felipe L. S.; ABRANTES, Luis A. Abordagem Determinística e de Simulação de Risco como Instrumentos de Análise de Viabilidade Financeira em Investimentos Imobiliários. **Revista de Negócios da FURB**, Blumenau, v.12, n.3, p.03-17, 2007.

SIMIO. **The Simio Product Family**. Disponível em: <<http://www.simio.com/products/>>. Acesso em: 06/09/2016.

SOLNON, Cristine; CUNG, Van Dat; NGUYEN, Alain and ARTIGUES, Christian. The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem. *European Journal of Operational Research*, p. 912-927, 2008.

SOUZA, Acilon B. **Projetos de Investimento de Capital: Elaboração, Análise e Tomada de Decisão**. São Paulo: Atlas, 2003.

VIEIRA, Marcos V. **Administração Estratégica do Capital de Giro**: São Paulo: Atlas, 2005.

WERKEMA, C. **Lean Sei Sigma: Introdução às Ferramentas do Lean Manufacturing**. 1. ed. v. 4. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

WERNKE, RODNEY. **Gestão de Custos: Uma abordagem prática**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

WIMAN, Oliver. The Harbour Report North America - 2008 - Oliver Wiman Automotive - <http://www.oliverwyman.com/insights/automotive.html> - Consultado em 01/10/2015.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 5 ed. Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda. 1992.

ZUCCHI, Alberto Luiz. **Contabilidade de custos: Uma introdução**. São Paulo: Editora: Scipione, 1992.



## APÊNDICE 1 – TABELA DOS TEMPOS DO PROCESSO EM ANÁLISE

Postos de trabalho na pintura	Tempo de processo e de transporte para cabine sólida	Tempo de processo e transporte da 1ª passagem da cabine metálica	Tempo de processo e de movimentação da 2ª passagem (recirculação) da cabine metálica pelo <i>top coat</i>	Tempo total de permanência no processo para a cabine metálica
1	7,49	7,49	0,00	7,49
2	4,50	4,50	0,00	4,50
3	7,70	7,70	0,00	7,70
4	7,70	7,70	0,00	7,70
5	7,70	7,70	0,00	7,70
6	7,70	7,70	0,00	7,70
7	7,70	7,70	0,00	7,70
8	7,70	7,70	0,00	7,70
9	7,70	7,70	0,00	7,70
10	7,70	7,70	0,00	7,70
11	7,70	7,70	0,00	7,70
12	7,70	7,70	0,00	7,70
13	7,70	7,70	0,00	7,70
14	7,70	7,70	0,00	7,70
15	7,70	7,70	0,00	7,70
16	7,70	7,70	0,00	7,70
17	7,70	7,70	0,00	7,70
18	7,70	7,70	0,00	7,70
19	7,70	7,70	0,00	7,70
20	0,28	0,28	0,00	0,28
21	0,28	0,28	0,00	0,28
22	0,28	0,28	0,00	0,28
23	0,28	0,28	0,00	0,28
24	0,28	0,28	0,00	0,28
25	0,28	0,28	0,00	0,28
26	0,28	0,28	0,00	0,28
27	0,28	0,28	0,00	0,28
28	0,28	0,28	0,00	0,28
29	0,28	0,28	0,00	0,28
30	0,28	0,28	0,00	0,28
31	0,28	0,28	0,00	0,28
32	0,28	0,28	0,00	0,28
33	0,28	0,28	0,00	0,28
34	0,28	0,28	0,00	0,28
35	6,78	6,78	0,00	6,78
36	7,70	7,70	0,00	7,70
37	7,70	7,70	0,00	7,70
38	7,70	7,70	0,00	7,70
39	7,70	7,70	0,00	7,70
40	7,70	7,70	0,00	7,70
41	7,70	7,70	0,00	7,70
42	7,7	7,7	0,00	7,70
43	7,70	7,70	0,00	7,70
44	7,70	7,70	0,00	7,70
45	7,70	7,70	0,00	7,70
46	7,70	7,70	0,00	7,70
47	0,28	0,28	0,00	0,28
48	7,70	7,70	0,00	7,70
49	7,70	7,70	0,00	7,70
50	7,70	7,70	0,00	7,70
51	7,70	7,70	0,00	7,70
52	7,70	7,70	0,00	7,70
53	7,70	7,70	0,00	7,70
54	7,70	7,70	0,00	7,70
55	7,70	7,70	0,00	7,70
56	7,70	7,70	0,00	7,70
57	7,70	7,70	0,00	7,70
58	5,98	5,98	0,00	5,98
59	5,51	5,51	0,00	5,51
60	5,30	5,30	0,00	5,30

Postos de trabalho na pintura	Tempo de processo e de transporte para cabine sólida	Tempo de processo e transporte da 1ª passagem da cabine metálica	Tempo de processo e de movimentação da 2ª passagem (recirculação) da cabine metálica pelo <i>top coat</i>	Tempo total de permanência no processo para a cabine metálica
61	6,84	6,84	0,00	6,84
62	0,28	0,28	0,00	0,28
63	0,28	0,28	0,00	0,28
64	6,49	6,49	0,00	6,49
65	6,49	6,49	0,00	6,49
66	6,49	6,49	0,00	6,49
67	6,49	6,49	0,00	6,49
68	6,49	6,49	0,00	6,49
69	6,49	6,49	0,00	6,49
70	6,49	6,49	0,00	6,49
71	7,28	7,28	0,00	7,28
72	0,28	0,28	0,00	0,28
73	0,28	0,28	0,00	0,28
74	0,28	0,28	0,00	0,28
75	0,28	0,28	0,00	0,28
76	0,28	0,28	0,00	0,28
77	0,28	0,28	0,00	0,28
78	7,70	7,70	0,00	7,70
79	7,70	7,70	0,00	7,70
80	7,70	7,70	0,00	7,70
81	4,42	4,42	0,00	4,42
82	0,28	0,28	0,00	0,28
83	0,28	0,28	0,00	0,28
84	0,28	0,28	0,00	0,28
85	0,28	0,28	0,00	0,28
86	0,28	0,28	0,00	0,28
<b>Sub-Total</b>	<b>423,35</b>	<b>423,35</b>	<b>0,00</b>	<b>423,35</b>
87	0,28	0,28	0,28	0,56
88	0,28	0,28	0,28	0,56
89	4,42	4,42	4,42	8,84
90	4,46	4,46	4,46	8,92
91	6,78	9,08	6,78	15,86
92	6,78	9,08	6,78	15,86
93	0,28	0,28	0,28	0,56
94	0,28	0,28	0,28	0,56
95	0,28	0,28	0,28	0,56
96	5,30	5,30	5,30	10,60
97	5,30	5,30	5,30	10,60
98	5,30	5,30	5,30	10,60
99	5,30	5,30	5,30	10,60
100	5,30	5,30	5,30	10,60
101	5,30	5,30	5,30	10,60
102	5,30	5,30	5,30	10,60
103	5,30	5,30	5,30	10,60
104	5,30	5,30	5,30	10,60
105	4,28	4,28	4,28	8,56
106	4,28	4,28	4,28	8,56
107	0,28	0,28	0,28	0,56
108	0,28	0,28	0,28	0,56
109	0,28	0,28	0,28	0,56
110	0,28	0,28	0,28	0,56
111	0,28	0,28	0,28	0,56
112	0,28	0,28	0,28	0,56
113	0,28	0,28	0,28	0,56
114	0,28	0,28	0,28	0,56
115	6,28	6,28	6,28	12,56
116	6,28	6,28	6,28	12,56
117	6,28	6,28	6,28	12,56
<b>Sub-Total</b>	<b>101,18</b>	<b>105,78</b>	<b>101,18</b>	<b>206,96</b>
<b>TOTAL</b>	<b>524,53</b>	<b>529,13</b>	<b>101,18</b>	<b>630,31</b>

\*\* Tempos em U.T.

\* Tempo de transporte é de 0,28 U.T. entre cada estação

APÊNDICE 2 – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE SAÍDA DO SOFTWARE SIMIO

The screenshot shows the SIMIO software interface with a report window open. The report is for Scenario 1 and displays the following data:

Object Type	Object Name	Data Source	Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Sink	Sink1	InputBuffer	Throughput	NumberEntered	Total	165,9600	162,0000	170,0000	0,4223
				NumberExited	Total	165,9600	162,0000	170,0000	0,4223
	Scrap	Throughput	NumberEntered	Total	0,4800	0,0000	3,0000	0,1885	
Server	et67	InputBuffer	Content	NumberInStation	Average	0,0004	0,0001	0,0007	0,0000
				Maximum	Maximum	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000
	HoldingTime	TimeInStation	Minimum	Minimum	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
		Average (Ho...)	Average (Ho...)	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001		
	Throughput	NumberEntered	Total	Minimum (Ho...)	Minimum (Ho...)	0,0043	0,0013	0,0047	0,0001
				NumberEntered	Total	210,6000	207,0000	213,0000	0,3673
				NumberExited	Total	210,6000	207,0000	213,0000	0,3673