WILSON ANTONIO MANCIA

**HEURÍSTICA PARA LOGÍSTICA REVERSA DE MATERIAL NÃO
CONFORME NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Título de Mestre em
Engenharia.

São Paulo

2005

WILSON ANTONIO MANCIA

**HEURÍSTICA PARA LOGÍSTICA REVERSA DE MATERIAL NÃO
CONFORME NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do Título
de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia de Produção
Orientador: Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro

São Paulo

2005

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência do seu orientador.

São Paulo, 30 de Agosto de 2005.

Wilson Antonio Mancia

Miguel Cezar Santoro

FICHA CATALOGRÁFICA

Mancia, Wilson Antonio

HEURÍSTICA PARA LOGÍSTICA REVERSA DE MATERIAL NÃO CONFORME NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA. São Paulo, 2005. 88p.

Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Não conformidade
2. Reparo
3. Logística reversa
4. Sucata
5. Modelagem Heurística

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Miguel Cezar Santoro, pela importante experiência que me passou durante o tempo que trabalhamos juntos mostrando, discretamente, seu grande conhecimento nos assuntos discutidos.

À Embraer, pelo apoio na realização neste trabalho e por acreditar na pesquisa brasileira.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para esta realização.

À minha esposa Andréa em especial, que sempre me motivou a acreditar que era possível e por ter feito minha vida ainda mais bonita, não cabe agradecer e sim dividir esta conquista.

RESUMO

Em qualquer setor onde exista fornecimento de materiais, as decisões da recuperação do material não conforme são relevantes. Este trabalho estuda as decisões da recuperação de material não conforme na indústria Aeronáutica, onde o seu produto final tem um longo ciclo de fabricação e de suprimento e elevado custo o que exige que o tempo dessa recuperação seja o mínimo possível.

O material não conforme tem diferentes destinos, podendo ser recuperado através do retorno ao fornecedor ou oficina autorizada, ou ainda ser destruído. Esse trabalho utiliza o conhecimento da Logística Reversa como suporte para essa decisão de recuperação, porém sob a ótica do cliente e não do fornecedor como a maioria da literatura apresenta. Muitas vezes, o custo dessa recuperação é muito maior que o de uma nova aquisição e nesse tipo específico de indústria 95% do material comprado é importado tornando a logística ainda mais difícil.

Este trabalho propõe a utilização de um modelo heurístico, que decide o destino do material não conforme. Os parâmetros para medidas de desempenho desse modelo é a comparação de dados do histórico de itens recuperados pela empresa estudada com os dados obtidos pelo modelo heurístico.

ABSTRACT

In any company where supply of materials exists, the decisions of recovering non-conform materials are relevant. This paper studies these decisions in an aerospace company, which its finished product has a long production and supply cycles with a high cost, what demands that the time of this recovery be as short as possible.

The non-conform material has different destinies, being recovered through the return to the supplier or authorized workshop, or still to be destroyed. This paper uses the knowledge of the Reverse Logistics as a support for that recovery decision, however under the customer's point of view and not of the supplier as most of the literature presents. A lot of times, the cost of that recovery is much larger than the one of a new acquisition and in that specific type of industry 95% of the bought material is imported turning the reverse logistics still more difficult.

This work proposes the use of a heuristic model, which decides the destiny of the non-conform materials. The parameters for measures of acting of that model are the comparison of data of the report of items recovered by the company studied against the data obtained by the heuristic model.

SUMÁRIO

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Quadros

Lista de Abreviaturas e Siglas

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Cenário	1
1.2. Formulação do Problema.....	2
1.3. Abrangência com que o problema será tratado	9
1.4. Relevância do problema	9
1.5. Motivo da escolha	10
1.6. Objetivo da pesquisa	10
1.7. Dados sobre a indústria aeronáutica.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1. Qualidade e material não conforme	14
2.2. Logística	18
2.3. Logística reversa	19
2.4. Logística internacional	24
2.5. Legislação.....	29
2.6. Tributação.....	32
2.7. Conceitos de custos	37
2.8. Modelagem	38
2.8.1. Modelos de Programação da produção	39
2.8.2. Modelos de Programação Matemática	41
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	45
3.1. Método de pesquisa.....	45
3.2. Custos considerados na operação.....	45
3.2.1. Custos Variáveis	46
3.2.2. Custos Fixos	48
3.3. O Modelo Matemático	52
3.4. Heurística proposta	59
4. TESTES	71
4.1. Geração do conjunto de testes	71
4.2. Resultados computacionais.....	73
4.2.1. Desempenho do modelo otimizante	73
4.2.2. Desempenho do modelo heurístico	74

4.3. Resultados qualitativos.....	78
5. CONCLUSÃO	83
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

Lista de Figuras

Figura 1.	Destinos do material não conforme.....	1
Figura 2.	Origens do material não conforme.	3
Figura 3.	Macro-processo de substituição em garantia.....	5
Figura 4.	Macro-processo de reparo.	6
Figura 5.	Custos de reparo x custos de uma nova aquisição.	6
Figura 6.	Macro-processo de venda como defeituoso.....	7
Figura 7.	Macro-processo de sucata.	7
Figura 8.	Modelo decisório atual	8
Figura 9.	Escopo do trabalho.....	9
Figura 10.	Sistema, objeto de estudo, e fluxo dos materiais não conformes.	11
Figura 11.	Distribuição dos ciclos de aquisição e reparo.	47
Figura 12.	Diferença sobre o custo de aquisição do material utilizando o cálculo de juros simples ao invés de compostos, comparados aos ciclos de aquisição e reparo.	47
Figura 13.	Esquema do problema.....	53
Figura 14.	Relacionamento entre as rotinas do modelo heurístico.	59
Figura 15.	Algoritmo resumido da Rotina II.....	66
Figura 16.	Comparativo de custos variáveis com a retirada de um item da fila da oficina.....	68
Figura 17.	Algoritmo resumido da Rotina III.....	69
Figura 18.	Dispersão da quantidade de itens por teste, para 98% dos testes executados.....	71
Figura 19.	Dispersão da quantidade de variáveis de decisão por teste.	72
Figura 20.	Dispersão da quantidade de variáveis de decisão por teste, para 98% dos testes.....	72
Figura 21.	Distribuição das variáveis de decisão por processo, para os 420 testes.....	73
Figura 22.	Dispersão do tempo de execução dos testes, para 98% das execuções.	75
Figura 23.	Distribuição dos testes com, pelo menos, uma decisão tomada pela rotina I e dos testes decididos pelas demais rotinas.....	76
Figura 24.	Dispersão da redução média do tamanho máximo da fila máxima após execução da rotina I, para 98% dos testes.	77
Figura 25.	Variação do tempo de execução dos testes em função do tamanho máximo das filas após a execução da rotina I.	77
Figura 26.	Distribuição do melhor custo individual entre o modelo heurístico e o histórico analisado.....	80
Figura 27.	Distribuição do melhor custo total por teste entre o modelo heurístico e o histórico.....	80
Figura 28.	Dispersão da melhora % do custo total calculado pelo modelo Heurístico em relação ao custo total histórico, num intervalo de confiança de 98%.....	81
Figura 29.	Dispersão e média de igualdade entre as decisões de processo entre o modelo heurístico e o histórico, para 98% dos testes.....	82
Figura 30.	Dispersão e média de igualdade entre as decisões de processo e oficinas entre o modelo heurístico e o histórico, para 98% dos testes.	82

Lista de Tabelas

Tabela 1.	Ciclos médios para decisão de recuperação externa.....	4
Tabela 2.	Comparativo entre os ciclos planejados de recuperação e nova aquisição e os ciclos reais de recuperação externa.	4
Tabela 3.	Conjunto de dados Dentrada $\{i,p,o\}$	63
Tabela 4.	Conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$, após execução da rotina I.....	64
Tabela 5.	Exemplo do conjunto de dados U $\{i,o\}$	65
Tabela 6.	Matriz S $\{i,o\}$, da melhor seqüência nas oficinas.	67
Tabela 7.	Conjunto de dados SAUX $\{i,o\}$, após a primeira iteração.	69
Tabela 8.	Conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$, após a execução dos procedimentos heurísticos.....	70
Tabela 9.	Tempos de execução dos testes do modelo otimizante.	74
Tabela 10.	Amostra do conjunto de dados testados, para os testes que tiveram o maior número de variáveis de decisão.	76
Tabela 11.	Amostra comparativa entre os custos calculados pelo modelo heurístico e o real histórico.....	79
Tabela 12.	Amostra comparativa da equivalência entre as decisões tomadas pelo modelo heurístico e o real histórico.	79
Tabela 13.	Comparativo entre o custo total calculado pelos modelos otimizante e heurístico, para os testes onde o modelo otimizante finalizou a execução.	81

Lista de Quadros

Quadro 1. Comparativo entre os ciclos planejado e real de recuperação do material não conforme, para as oficinas com maior volume de reparo.	8
Quadro 2. Caracterização de artigos em fluxo de contrário por tipo e origem Adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (2001).	21
Quadro 3. Códigos de razão de retorno Adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (1998).....	23
Quadro 4. Categorias de Re-manufatura e reforma Segundo Thierry, et al. (1995), adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (1998).	24
Quadro 5. Incidência de custos por área e processo.	50
Quadro 6. Resumo da execução do modelo teórico desenvolvido em What's best 7.0.	73

Lista de Siglas

AFRMM	-	Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante
CACEX	-	Carteira de Comércio Exterior do Banco do Brasil S.A.
CIDE	-	Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico
CLM	-	<i>Council of Logistics Management</i>
COFINS	-	Contribuição Para Financiamento da Seguridade Social
DEREX	-	Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior
ICMS	-	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
II	-	Imposto de Importação
<i>Incoterm</i>	-	<i>International Commercial Term</i>
IPi	-	Imposto sobre Produtos Industrializados
IR	-	Imposto de Renda
ISSQN	-	Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza
<i>JIT</i>	-	<i>Just in Time</i>
NBM	-	Nomenclatura Brasileira de Mercadorias
NCM	-	Nomenclatura Comum do Mercosul
OMC	-	Organização Mundial do Comércio
PASEP	-	Patrimônio do Servidor Público
PIS	-	Programa de Integração Social
<i>RMA</i>	-	<i>Return Material Authorization</i>
SECEX	-	Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
SH	-	Sistema Harmonizado de Designação e Codificação de Mercadorias
SRF	-	Secretaria da Receita Federal

1. INTRODUÇÃO

1.1. Cenário

O presente capítulo descreve o ambiente estudado, onde o problema se enquadra. O processo produtivo estudado nessa dissertação é um processo de montagem, aonde os materiais chegam à empresa e em vários processos, desde o recebimento até a montagem, os materiais podem ser identificados como “não conformes”. Após essa identificação, são separados e ficam em uma área chamada de quarentena onde os materiais não conformes são estocados até a decisão final para sua destinação. Como ilustrado na figura 1, existem dois grupos de destinos para o material não conforme, os quais são decididos na área de quarentena:

Fluxos reversos.

O material retorna para o fornecedor ou oficina autorizada como Devolução, Substituição em garantia, Reparo ou Venda como defeituoso.

Sucata.

O material é descaracterizado podendo ou não ser seguido de re-suprimento.

Dentro do grupo de fluxos reversos, o processo de reparo é tratado como um problema de programação de produção onde o grande objetivo é conseguir escolher a oficina que forneça o menor atraso em relação à data de necessidade do item na produção.

Assim o material não conforme precisa seguir por um processo de recuperação ou descarte e é este processo decisório o alvo deste estudo.

Figura 1. Destinos do material não conforme.

1.2. Formulação do Problema

O sistema objeto de estudo

Existem várias origens onde os materiais não conformes são identificados e, após essa identificação seguem diferentes processos com vários destinos, cada qual com custos e restrições diferentes.

Origens do material não conforme

Como mostra a figura 2, existem dois tipos de materiais não conformes na empresa estudada, o usado e o novo. Essa divisão se faz necessária, pois as decisões tomadas para cada um dos tipos são diferentes, apesar de passarem pelo mesmo processo de gestão da não conformidade. As origens do material não conforme estão detalhadas a seguir:

Material Novo

- Processo de Recebimento: O material não conforme, identificado na inspeção de recebimento, é consequência de duas diferentes situações:
 - Material danificado no transporte entre o fornecedor e a empresa. Esta não-conformidade gera um documento de sinistro junto à seguradora da empresa;
 - Material discrepante ao solicitado, isto é, diferente da especificação enviada ao fornecedor. Esta não-conformidade gera um fluxo reverso ao fornecedor.
- Estoques: O material não conforme, originário dos estoques, é identificado pelo sistema da qualidade baseado nas datas de validade desses materiais. É o caso dos itens perecíveis com vida útil vencida. Acontece também por sugestão da área de suprimentos quando os itens têm avanço de revisão e se tornam “não conformes”.
- Produção: material não conforme é identificado no momento da sua utilização pelo processo produtivo, podendo ser danificado pelo transporte, manuseio interno ou no processo produtivo como também, recebido não conforme e não detectado no recebimento.

Material Usado

- Serviço de atendimento ao Cliente: material não conforme oriundo de desvios no campo, enviado pelos clientes para substituição na empresa. Em geral, pode ser recuperado para revenda futura como material usado.
- Protótipos: são materiais usados, identificados como não conformes pela produção, durante sua instalação para testes, num produto em desenvolvimento (protótipo).
- Centro de serviços: material não conforme originário de aeronaves de clientes, recebidas para manutenção. É recuperado para reutilização na aeronave do cliente, após sua manutenção, também são materiais usados.

Figura 2. Origens do material não conforme.

Análise da não conformidade

A análise começa com a geração do relatório de não-conformidade que é baseado na informação fornecida pela pessoa que a identificou e enviou o material para a área responsável. A informação inicial recebida contém os dados do item e a razão da não-conformidade.

Nessa fase é analisado tecnicamente o ocorrido e identifica se houve algum problema no processo fabril, de forma a corrigir a reincidência dessas não-conformidades. Após a análise, como decisão final sobre o item, seguem-se os processos:

- Envio para fornecedores ou oficinas de reparo;
- Sucata

Para decisão de qual processo o material deverá seguir, alguns pontos são analisados:

- **Planejamento:** O analista recebe informações do item para verificar, dentre os caminhos possíveis de recuperação, se a necessidade da produção será atendida e, ao retornar, o item não estará obsoleto. Para isso, é necessário comparar os ciclos, de recuperação externa, de uma nova aquisição e também os logísticos envolvidos em ambos os processos. As tabelas 1 e 2 mostram esses ciclos, atualmente utilizados, para decisão de envio do material não conforme, para recuperação externa.
- **Viabilidade técnica:** É uma análise que identifica se o tipo de não-conformidade informada é possível de recuperação, baseado em informações de engenharia e qualidade.
- **Responsabilidade da não-conformidade:** Também sustentado por informações de engenharia e qualidade, aponta se a não-conformidade foi causada por manuseio indevido ou se no item ocorre uma falha funcional de responsabilidade do fornecedor. Essas análises servem para identificar se o reparo ou substituição está em garantia.

Tabela 1. Ciclos médios para decisão de recuperação externa.

Região	Ciclo médio (dias)		
	Logístico	Recuperação	Total
Nacional	3	20	23
Internacional	34	35	69

Tabela 2. Comparativo entre os ciclos planejados de recuperação e nova aquisição e os ciclos reais de recuperação externa.

Item	Ciclo médio (dias)	
	Nova aquisição	Recuperação
a	25	135
b	18	135
c	13	20
d	6	135
e	2	135

Destinos do Material Não Conforme

Os materiais não conformes seguem por dois grupos de destinos, podendo ter um fluxo reverso aos fornecedores ou oficinas de reparo, ou então ser descartados como sucata.

Fluxo Reverso aos fornecedores ou oficinas de reparo

Esse destino trata-se de um fluxo reverso do cliente para o fornecedor ou oficina de reparo, tratando-se de uma logística reversa no ponto de vista do cliente, onde o material não conforme segue para uma empresa externa. As exigências legais e fiscais devem ser atendidas para que esse material siga. O fluxo reverso pode ser dividido em outros três processos, os processos de **Substituição em Garantia, Reparo e Venda como defeituoso**.

O processo de Substituição em Garantia consiste no envio do material para o fornecedor, com todas as despesas logísticas por conta deste, o qual tem um tempo contratual para retorná-lo.

No caso de o material ser importado, cerca de 95% dos itens, é necessário que seja aberto um processo de exportação temporária para substituição em garantia, seguindo algumas premissas fiscais e aduaneiras para essa execução.

Como ilustra a figura 3, o primeiro passo do processo de Substituição em Garantia é a solicitação do RMA (“*Return Material Authorization*”), onde o fornecedor concorda em trocar o material em garantia, assumindo todos os custos logísticos dessa troca. Em seguida um processo de expedição, uma confirmação de chegada desse material no fornecedor e do mesmo ter expedido uma nova unidade que encerrará o processo com seu recebimento.

Figura 3. Macro-processo de substituição em garantia.

O processo de Reparo consiste no envio do material à oficina reparadora. Cerca de 25% dos materiais recuperáveis, estudados na empresa analisada, seguem para recuperação em oficinas externas de reparo. Essas oficinas são autorizadas pelos fabricantes para execução destes serviços, e podem cobrar ou não pelo mesmo de acordo com os contratos de garantia acordados entre a empresa e os fornecedores.

Como resumido na figura 4, o processo de Reparo se inicia com a solicitação do RMA (“*Return Material Authorization*”), onde o fornecedor ou oficina autorizada concorda em receber esse material para análise e possível recuperação, informando para qual endereço esse material deverá ser enviado e, em seguida, um processo de expedição e outro de envio e confirmação da chegada desse material no fornecedor, acontecem.

Figura 4. Macro-processo de reparo.

Começa então um processo de análise de responsabilidade da não conformidade por parte do fornecedor ou oficina autorizada, com o objetivo de iniciar um orçamento dos serviços a serem realizados e a responsabilidade desse pagamento. Em algumas situações o custo do reparo pode atingir o custo de uma nova aquisição, como ilustra a figura 5.

Figura 5. Custos de reparo x custos de uma nova aquisição.

Feito isso existe uma negociação de preços, quando for o caso, e uma autorização da execução do serviço, que se inicia na sequência, desde que o fornecedor ou oficina autorizada tenha recursos disponíveis para essa execução. A maior dificuldade nesse processo é a disponibilidade dos recursos, já que para a tomada de decisão é preciso ordenar os itens nas oficinas para a sua recuperação e comparar a entrega programada à data de necessidade do item na montagem. Como colocam Morton e Pentico (1993), trata-se de um problema de *scheduling*.

Após a execução do serviço, o material retorna para a empresa por um processo logístico de retorno e é recebido encerrando assim o processo de Reparo.

A figura 6 ilustra o processo de Venda como defeituoso que se inicia com a solicitação do RMA (“Return Material Authorization”), onde o fornecedor ou oficina autorizada oferece um valor pelo material usado e concorda em receber esse material.

Na sequência, um processo de exportação, onde os tributos são recolhidos, de acordo com o regime de importação feito para esse material, no caso de material importado. Após a documentação estar de acordo, segue-se um processo de expedição e outro logístico até a confirmação da chegada desse material no fornecedor. E por fim o recebimento dos valores acordados pelas partes, no RMA.

Figura 6. Macro-processo de venda como defeituoso.

Sucata

O material não conforme é descartado quando não existe condição técnica de recuperação ou quando os demais destinos são considerados inviáveis economicamente.

O processo de sucateamento é um processo simples. Dependendo do regime de aquisição do material, os tributos deverão ser recolhidos. Existem ainda as exigências da área de qualidade a qual se preocupa com as garantias de segregação do material para evitar que o mesmo seja usado indevidamente. Na sequência, o material é então destruído, e em seguida, vendido como sucata, como ilustrado na figura 7.

Figura 7. Macro-processo de sucata.

Objetivos, decisões e restrições

O objetivo da gestão do material não conforme é chegar à decisão de mínimo custo sobre o destino do mesmo, levando em consideração algumas restrições:

- Atendimento às datas de necessidades produtivas. O material não conforme deve atender às demandas de necessidade da produção. Dessa forma, a data estimada de retorno do material pode restringir um determinado processo.
- Capacidade nas oficinas. A empresa estudada atualmente não leva em consideração essa restrição, porém esse fator deve ser considerado, pois os ciclos estimados baseados nos históricos não são atingidos e isso se deve à falta de capacidade, como mostra o quadro 1.

Quadro 1. Comparativo entre os ciclos planejado e real de recuperação do material não conforme, para as oficinas com maior volume de reparo.

Oficina	Volume %	Ciclo médio (dias)	
		Planejado	Real
a	25	135	200
b	18	135	145
c	13	20	38
d	6	135	105
e	2	135	100

- Ciclos de abastecimento. Em alguns casos o custo logístico somado ao do conserto são superiores ao valor de aquisição de uma nova unidade, sugerindo a sucata do mesmo seguido de um re-suprimento, desde que esse ciclo atenda as necessidades da produção.
- A análise de responsabilidade se faz necessária para verificar a possibilidade de utilização do processo de Substituição em Garantia. Feito isso é feita à escolha entre os quatro processos possíveis, levando-se em conta o ciclo de cada processo, pois o atendimento é o objetivo principal do atual modelo. A figura 8 ilustra o processo decisório atual.

Figura 8. Modelo decisório

1.3. Abrangência com que o problema será tratado

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo que permita escolher o destino de menor custo, dentre todos os possíveis, para qualquer componente comprado e classificado como não conforme, aos quais correspondem processos logísticos específicos.

Como o processo de devolução não passa por um fluxo decisório, e os materiais usados têm fluxos específicos, para objeto de estudo deste trabalho consideram-se apenas os materiais novos. As origens e destinos do material não conforme que serão estudados ficam ilustrados na figura 9.

Figura 9. Escopo do trabalho.

1.4. Relevância do problema

Segundo Leite (1999), cerca de 4% dos materiais fabricados no setor industrial retornam através do fluxo reverso para sua origem por estarem fora dos padrões negociados na compra.

Para Morton (2003), o custo dos retornos de produto aos fornecedores norte-americanos supera US\$ 100 bilhões a cada ano.

No setor Aeronáutico a grande quantidade de itens, seu alto valor agregado e o alto ciclo de suprimento fazem com que grande parte de seus materiais não conformes retorne aos fornecedores para serem recuperados tornando um modelo de decisão preciso, fundamental para a geração de economia neste setor.

Uma aeronave regional possui cerca de quinze vezes mais itens que um automóvel de passeio conforme Brito (2004), e devido ao seu alto ciclo de aquisição e aos altos nervosismos do mercado, existem estoques mais altos sofrendo o risco de obsolescência. Ainda, devido aos requisitos de qualidade e exigências do setor a grande maioria das oficinas reparadoras são os próprios fornecedores e, freqüentemente localizados a milhares de quilômetros de distância do ponto de uso, em outros países, tornando esse fluxo reverso ainda mais custoso e complexo.

Tang, Yung & Andrew (2004) colocaram que dentro de um ambiente global de manufatura os custos logísticos são as maiores despesas.

1.5. Motivo da escolha

Hoje não existem regras claras se é ou não viável a recuperação de um componente ou a possível sucata do mesmo. Analisando o histórico dos componentes reparados, fica muito claro que em muitos casos este reparo sai mais caro que o custo de um novo componente, já em outros não. Isso nos leva a necessidade deste estudo que nos possibilitará transformar esta despesa em oportunidades pela economia gerada com a decisão correta.

1.6. Objetivo da pesquisa

Tem-se um problema de minimização do atraso em máquinas paralelas. Como foi demonstrado por Du e Lung (1990) é um NP-*hard*, sendo praticamente impossível chegar a uma solução ótima em tempo razoável. O objetivo desta dissertação é apresentar um modelo heurístico para tomada de decisão sobre o destino dos materiais não conformes que tem como finalidade a minimização de custos.

O modelo determina o processo de destino para o material não conforme e, sendo reparo o processo escolhido, qual oficina irá realizar o conserto. O modelo é aplicável aos materiais comprados, identificados como não conforme, adquiridos de fornecedores de vários lugares no mundo, os quais poderão ser destinados pelos processos de substituição em garantia, reparo, venda como defeituoso ou sucata. As escolhas dos destinos deverão atender às necessidades de produção e a capacidade nas oficinas. A figura 10 resume o sistema objeto de estudo, e o fluxo dos materiais.

Figura 10. Sistema, objeto de estudo, e fluxo dos materiais não conformes.

1.7. Dados sobre a indústria aeronáutica

Com o objetivo de entendimento da complexidade e das particularidades da indústria estudada, este tópico apresenta alguns conceitos da Cadeia de Suprimentos de uma empresa produtora de aeronaves, entre os quais os ciclos, as modalidades de fornecimento, os desafios logísticos e as características peculiares próprias desse tipo de mercado.

Distribuição das aeronaves

O endereço eletrônico www.oag.com, o qual fornece dados sobre companhias aéreas e vôos comerciais, pode-se verificar que mais de 60% das aeronaves comerciais encontram-se nos Estados Unidos e Europa.

O transporte aéreo e a indústria aeronáutica

De acordo com (Wells, 1984), o transporte aéreo é uma indústria cíclica altamente sensível a flutuações na economia, que requer o uso intensivo de capital e mão-de-obra para aquisições, operação e manutenção de aeronaves e, por possuir ciclos logísticos muito longos, requer economia de escala e respostas rápidas ao crescimento ou retração do mercado, incluindo a alta competitividade entre as companhias aéreas.

A necessidade de respostas rápidas ao mercado conflita com os ciclos de entrega de novas aeronaves que geralmente são longos. Essa característica exige uma antecipação de demanda e, conseqüentemente, de compras por parte das companhias aéreas.

Características da indústria aeronáutica

Para (Perrons, 1997), a indústria aeronáutica difere de outros setores da economia, e dessas características, citam-se:

- **Pequena base de clientes:** Atualmente existem menos de 100 grandes companhias aéreas, que adquirem poucas unidades por ano.
- **Baixo volume de produção:** Enquanto algumas indústrias produzem dezenas de milhares de produtos, a indústria aeronáutica produz um volume bem mais reduzido.
- **Necessidade intensiva de capital:** Devido a essa característica, existem neste mercado poucos montadores e fabricantes de componentes de maior complexidade.
- **Arquitetura dos componentes:** Uma aeronave possui uma arquitetura “integral” de seus componentes. Isso significa que o projeto do produto deve ser integrado entre a montadora e seus fornecedores para desenvolvimento dos sistemas.
- **Importância do conteúdo tecnológico:** Nenhum produto comercial possui tanto refinamento das técnicas de metalurgia, eletrônica e computação como uma aeronave a jato. Essa característica é mais acentuada no mercado de defesa, no qual o alto nível de sofisticação e inovação de equipamentos muitas vezes é desconhecido em outros setores da economia.
- **Criticidade dos equipamentos:** Os equipamentos aeronáuticos não podem falhar, pois facilmente podem levar às catástrofes e perdas de vidas humanas. Os fabricantes de aeronaves e componentes devem obedecer a uma série de regras de segurança e qualidade de seus produtos.

A Cadeia de Suprimentos na indústria aeronáutica

Segundo Brito (2004), o projeto de uma nova aeronave exige uma integração da cadeia de suprimentos desde o início, na procura de fornecedores e parceiros que irão participar de todo o desenvolvimento da aeronave.

Os produtos aeronáuticos se caracterizam, principalmente, pelo alto valor agregado. Trata-se de uma indústria de ciclos produtivos muito longos, com ciclos elevados e com níveis de estoque altos. Segundo a CAPS Research (1999), os maiores valores (benchmark) de giro dos estoques (número de vezes que o estoque movimenta durante o ano) dessa indústria nos

Estados Unidos da América foram 6,8 para os fabricantes de estruturas e 15,0 para as companhias de transporte aéreo. Isso mostra que o segmento aeronáutico é uma indústria com estoques elevados, quando comparados aos demais setores industriais. Esses elevados estoques são oriundos, principalmente da dificuldade de planejamento que ocorre devido aos grandes ciclos de aquisição, as oscilações de mercado e mudanças realizadas pelos clientes ou pela engenharia de produto nas especificações da aeronave, levam a oscilações de demanda que aumentam os níveis dos estoques de segurança (Santoro, 2001) ou proporcionam itens sem utilização definida que ficam em estoque.

Para Brito (2004), outro fator que eleva o valor dos estoques e reduz o giro é a necessidade de manutenção em estoque, por parte do fabricante, durante quinze anos após a descontinuidade da fabricação de determinada aeronave, as peças de reposição para abastecimento do mercado.

A Cadeia de Suprimentos na indústria aeronáutica brasileira

A indústria aeronáutica no Brasil possui desafios principalmente na logística de aquisição, transportando materiais dos fornecedores até as unidades produtivas. Seus fornecedores e clientes estão localizados nos Estados Unidos da América, Europa e Extremo Oriente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo discorre sobre conhecimentos específicos, importantes para o desenvolvimento das idéias contidas nesta dissertação. Eis a seqüência adotada para a revisão bibliográfica:

- Qualidade e material não conforme;
- Logística;
- Logística reversa;
- Logística internacional
- Legislação;
- Tributação;
- Custos;
- Modelagem.

2.1. Qualidade e material não conforme

Evolução da gestão da qualidade

Segundo Guzzetta (1993), após a segunda Guerra Mundial, houve quatro períodos distintos de relações de fornecedor / comprador.

Período da inspeção de recebimento

Antes de 1970, a filosofia de obter e aceitar partes de fornecedores consistiu na crença na idéia "você faz isto, eu inspeciono isto". O cliente, consciente da qualidade, usou planos de amostras complexas para decidir se o material produzido pelo seu fornecedor era aceitável.

O resultado não só era caro para o fornecedor, mas também para o seu cliente que necessitou:

- Um recebimento bem equipado para conferir o material recebido e comparar com os padrões.
- Uma área controlada para material questionável.
- Um grande contingente de pessoas capacitadas tais como inspetores técnicos, desenhistas, técnicos de laboratório, expedição de material e outras de apoio além de organizações dedicadas a solucionar divergências.

- Armazéns com materiais sofisticados e sistemas para controlar e localizar o inventário de pelo menos seis meses. JIT - "*Just in time*" ainda não era praticado.
- Bloqueio do pagamento se o material fosse classificado como "não conforme".

A área de qualidade sofreu durante esse período por várias razões:

- Uma vez, descoberto um problema, levavam-se meses para correção do sistema, selecionando componentes discrepantes misturados com material novo.
- A peça re-trabalhada nunca era a mesma.
- As instruções e inspeção de montagem final tinham que ser modificadas para adicionar pontos de conferência para assegurar que peças re-trabalhadas seriam aceitáveis, ou ainda que partes inaceitáveis não tivessem sido percebidas em outros postos de inspeção. A inspeção deste tipo era incerta, cara e ineficaz.

Período da garantia de qualidade do fornecedor

Durante o "Período de inspeção de recebimento" muitas corporações perceberam uma necessidade de melhorar a forma como peças e conjuntos eram adquiridos, recebidos e aceitos. Começando nos anos 60 e continuando pelos anos 80 o "Período de garantia de qualidade do fornecedor" prosperou, consistiu em duas atividades principais:

- Qualificação do fornecedor e aprovação. Normalmente, consistiram em executar uma extensa pesquisa de qualificação do fornecedor por um membro da organização da qualidade do cliente. A pesquisa avalia a estrutura organizacional do fornecedor, instalações, equipamentos, processos, etc. O ambiente industrial é avaliado para assegurar um sistema consistente para produzir material aceitável ou sem defeitos e componentes para o cliente por um longo prazo.
- Inspeção na fonte. Envolveu negociações, seguidas por um acordo que permitia aos membros da área de qualidade do cliente o acesso para inspecionar o material antes do transporte. Essas negociações consistiram em discutir sobre a emissão de documentos, sanar essa deficiência e, desse modo, evitando problemas logísticos (transporte, embalagens, etc.). Finalmente o fornecedor e cliente estavam dialogando construtivamente um com o outro. Para o cliente, isso ajudaria na redução do número de incidentes que resultassem no envio de material questionável.

- Estabelecida uma comunicação harmoniosa entre fornecedor e cliente, passou-se, em seguida, a busca da melhoria na qualificação do produto, começando então, o controle estatístico de processo e a variação de processo pôde ser medida e observada com o passar do tempo.

Período da Certificação

Fornecedores estavam agora qualificados e o histórico de resultados assegurava que aqueles níveis de qualidade mais altos eram mantidos. Assim como os transportadores, os fornecedores estavam certificados para embarcar produtos com pouca ou nenhuma interferência por parte dos clientes. Esse seria o melhor dos mundos, desde que material pudesse fluir com qualidade das áreas de trabalho do fornecedor à linha do cliente, o JIT tinha, pois, chegado. Infelizmente, o processo de certificação para uma empresa não era aceito por outras, enquanto resultados no fornecedor repetiam esse processo para todos os clientes. Mas, apesar de suas redundâncias, o processo tinha êxito estabelecendo uma única fonte e relações de longo prazo entre os clientes e fornecedores.

Período ISO 9000

Este período estabelece sistemas que efetivamente administram qualidade, fabricação e organizações de serviço para reduzir, eliminar e, ultimamente, prevenir deficiências na qualidade de produtos e serviços. ISO 9000 é uma tentativa de alcançar reconhecimento universal de companhias que buscam uma qualidade holística. A padronização ajuda uma organização a documentar todos os processos chaves de trabalho, assegura que a implementação desses processos esteja de acordo com a documentação, identifica e direciona para ações corretivas, e tudo isso propicia um ambiente de melhoria contínua no processo e além de poder abrir mercados em países que agora requeiram inscrição de ISO.

Segundo Banas (2003), pouco tempo atrás, a maioria dos programas de qualidade sugeria 100% de inspeção. Assim, identificar defeitos antes dos produtos chegarem ao cliente era importante evitando que danos ocorressem. Gastou-se tempo e dinheiro na produção de produtos ou serviços ruins. Desta maneira, o termo qualidade começou a ser entendido como prevenção e não mais inspeção. Prevenção é a administração efetiva, medida e, controle dos processos empresariais a qual garanta que, produtos ou serviços sejam feitos corretamente em primeiro lugar. Sobre a metodologia de garantia de qualidade moderna, o foco está no processo que cria o produto final ou serviço. Com a monitoria do processo, podem ser feitos ajustes antes que o produto ruim seja de fato confeccionado.

Para Smith (1992), uma das maiores preocupações de qualquer equipe de compras deveria ser a qualidade dos materiais comprados, principalmente quando esse produto será incorporado em produtos ou serviços providos pelo comprador original. Poderão ocorrer surpresas desagradáveis nos produtos comprados, o que pode piorar, se entregues aos clientes do comprador. Uma das maneiras de focalizar essa preocupação é verificar o padrão do produto comprado antes de aceitá-lo. Por várias razões, muito famosas, aceitação de amostras veio ser a principal maneira usada para esse propósito. Aceitação da amostra, baseado em planos do produto, é essencialmente um sistema em que uma amostra do produto é selecionada e inspecionada comparando-a a um padrão e o número de não-conformidades é contado. Se o número de não-conformidades for maior do que o número de aceitações, definido para o produto, então o lote recebido será classificado como “não conforme”.

Material não conforme

Várias indústrias criaram padrões específicos que incorporaram exigências ISO 9000, como QS 9000 para a indústria automobilística, AS 9000, para a indústria aeroespacial, e M-1003, para a indústria férrea. Através desses padrões podemos definir:

Especificação – são requisitos, que o produto ou serviço deve atender. A especificação pode incluir desenhos, normas, padrões ou outros documentos relevantes em que devem estar indicados os meios e critérios, baseados nos quais a conformidade deve ser verificada.

Não-conformidade – não-atendimento a um requisito especificado. Segundo Campanella (1999), o custo da não-conformidade são os gastos por causa da falha no processo existente.

Material não conforme – Apresenta uma não-conformidade, ou seja, não atende a, pelo menos, um dos requisitos especificados.

Disposição – instrução técnica de implementação imediata, definida para tratar de uma não-conformidade identificada. As disposições podem ser: aceitação ou uso no estado, re-trabalho, reparo ou refugo (Sucata ou devolução ao fornecedor).

Assim: *“Conformidade é definida como tudo relacionado à satisfação das exigências especificadas. Quando uma ou mais características de um produto não satisfazem as exigências especificadas, este produto é chamado de um produto não conforme”*.

2.2. Logística

Copacino (2003) afirma que o CLM (*“Council of Logistics Management”*) define logística como:

"Aquele parte da cadeia de suprimentos que planeja, implementa controla o fluxo eficiente e não só a armazenagem de bens e serviços como também a informação relacionada entre o local de origem e o ponto de consumo de produtos para satisfazer as exigências do cliente".

Logística é uma atividade em constante evolução. Busca ganho de competitividade e baixo custo diante do desafio global. Até pouco tempo, era considerada como função de apoio, não vital ao sucesso dos negócios. Essa percepção vem sendo alterada em direção ao reconhecimento da Logística como área estratégica de uma empresa.

Faria (2003) contextualiza Logística como uma atividade de origem remota. O estrategista militar, muito antes dos executivos tomarem consciência da real dimensão da Logística no meio empresarial, utilizava-a para movimentar exércitos, travar batalhas e alcançar vitórias.

Para Brimer (1995), logística é um serviço de atendimento ao consumidor, uma atividade de apoio ao produto que afeta o lucro da companhia, o custo e a satisfação do usuário final do produto. A eficiência dessa utilidade organizacional tem um efeito direto nas outras atividades associadas com o produto. Tão importante é este serviço que estruturas organizacionais inteiras são estabelecidas para apoiar as funções da logística.

Delaney (1996) define logística, de forma mais simples, como “a administração de inventário em movimento e em repouso... (e que) a meta do gerente de logística é alcançar o mais baixo nível de investimento em inventário consistente de modo a assegurar atendimento ao consumidor e manter eficiência na produção”.

Para Rutner e Langley (2000), o conceito de proporcionar ao cliente altos níveis de serviço se tornou uma meta do profissional de logística. Então, atendimento ao consumidor se tornou um componente fundamental de qualquer definição de logística que sugira algum conceito de valor. Em resumo, a literatura apresenta vários pontos importantes. Primeiro, existiam várias definições de logística que se preocupavam com tempo e lugar e o custo proveniente disso, conforme os estudiosos da logística.

Segundo, o atendimento ao consumidor é um componente crítico de qualquer definição de logística. O terceiro ponto é que o termo valor não é definido claramente, mas fica implícito. Finalmente, a idéia de qualidade ou aparece inserida em definições de valor de logística ou é usado como um substituto desse termo.

Rutner e Langley (2000) concluem que, embora muitos gerentes não tenham reconhecido o potencial de incorporar logística dentro da cadeia de suprimentos de suas companhias, houve muitos outros que priorizaram seguir carreira nessa área. O estudo identificou os três aspectos fundamentais de valor de logística: atendimento ao consumidor, custo / margem, e qualidade.

Graves *et al.* (1993) explicam que é imprescindível a distinção entre logística e distribuição. O termo logística tem uma extensão mais ampla na área administrativa e distribuição um significado mais técnico e está relacionada às “ferramentas” matemáticas que aperfeiçoam a entrega de bens ou artigos.

2.3. Logística reversa

Segundo Leite (1999), a logística reversa tem sido citada com frequência e de forma crescente em livros modernos de logística empresarial, em artigos internacionais e nacionais, demonstrando sua aplicabilidade e interesse em diversos setores empresariais e apresentando novas oportunidades de negócios na cadeia de abastecimento reverso. No Brasil, mais recentemente, o interesse empresarial por ela tem sido demonstrado em inúmeras palestras, seminários e consultas realizadas em associações, empresas e universidades e até na inclusão como disciplina curricular em cursos de especialização em logística empresarial.

De acordo com Rogers e Tibben-Lembke (1999) a Logística Reversa é definida como:

“Processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques de processo, produtos acabados e as respectivas informações, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recapturar valor ou adequar o seu destino”.

Mais tarde, Rogers e Tibben-Lembke (2001), relatam que uma das primeiras definições de logística reversa foi de Lambert e Stock em 1981. Eles descreveram isso como "andando na contramão em uma rua de mão única porque a grande maioria de remessas de produto flui em uma direção única". Isto se assemelha a uma definição de Murphy em 1986, para logística reversa como o "o movimento de bens de um consumidor para um produtor por um canal de

distribuição". Ao longo dos anos oitenta, a extensão de logística reversa foi limitada ao movimento de material contra o fluxo primário, do cliente para o produtor.

Stock (1998) definiu Logística reversa como "o papel da logística no retorno de produtos, redução na fonte, reciclagem, substituição de materiais, reutilização de materiais, disposição de resíduos, reforma, reparo, e re-manufatura".

Leite (1999) entende a Logística Reversa como a área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio de canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

Origens da Logística Reversa

Para Carneiro (2002), o aperfeiçoamento da sociedade e a competição entre as empresas deram origem a Logística Reversa. Gradativamente, novas e sofisticadas leis ambientais vêm obrigando as empresas a serem responsáveis pelo ciclo completo do produto e pelo impacto que estes causam no meio ambiente. Ao mesmo tempo, grupos ecológicos têm pressionado para que sejam desenvolvidas e aperfeiçoadas as leis e as regulamentações pertinentes. Hoje, a busca de vantagem competitiva em custos por parte das empresas e a oferta de serviços adicionais dos produtores aos clientes faz com que as soluções da logística reversa apresentem formas inteligentes de redução de custos, com aumento de sua competitividade.

Atividades da Logística Reversa

Como as definições anteriores ilustram, há muitas atividades que poderiam ser enquadradas pela logística reversa. Como definir isso? De todos os elos da cadeia de abastecimento numa empresa, quais atividades se qualificam como logística reversa?

A pesquisa de Rogers e Tibben-Lembke (2001) indicou as seguintes atividades como inerentes à logística reversa:

- Re-manufatura;
- Reforma;
- Reciclagem;
- Aterro sanitário;

- Re-embalagem;
- Processo de devolução;
- Salvado.

Logística reversa pode ser dividida em duas áreas gerais, a Logística Reversa de Produto e a Logística Reversa de Embalagem. Esta divisão é feita na dependência de o fluxo inverso consistir principalmente de produto ou de embalagem. A Logística Reversa de Produto poderia estar no fluxo inverso por várias razões, como re-manufatura ou reforma, ou porque um cliente devolveu-o. Geralmente a Logística Reversa de Embalagem flui no sentido inverso porque é reutilizável, ou porque legislações restringem sua disposição (plásticos corrugados). Logística Reversa de Produto e de Embalagem podem ser reciclados ou aterrados, mas, se eles vierem a ser usado novamente, podem passar por uma variedade de processos diferentes. O quadro 2 resume as razões mais comuns por que um produto ou embalagem pode ser enviado no fluxo reverso.

Quadro 2. Caracterização de artigos em fluxo de contrário por tipo e origem
Adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (2001).

	Parceiros da cadeia de abastecimento	Usuários finais
Produto	Retorno para balancear estoques Retorno de mercado Final de vida do produto Estação	Produtos defeituosos Produtos não desejados Devolução em garantia Disposições ambientais
Embalagem	Cargas reutilizáveis Embalagens retomáveis Exigências de disposição	Reutilização Reciclagem Restrições de disposição

Importância da Logística Reversa

Uma estimativa conservadora é a de que a logística reversa seja uma porção significativa de custos da logística norte-americana. Porém, é difícil determinar com exatidão a dimensão da atividade de logística reversa porque a maioria das companhias não levanta custos de logística reversa cuidadosamente.

A pesquisa de Rogers e Tibben-Lembke (1998) mostra que as empresas estudadas consideraram a logística reversa, em média, como aproximadamente 4% de custos totais com logística. O tamanho, extensão, e impacto da logística reversa variam por indústria e posição de canal como também o tipo de canal de distribuição. Contudo, está claro que a quantia global de atividade de logística reversa na economia é grande e continua crescente, conforme Rogers e Tibben-Lembke (2001).

Dentro de indústrias específicas, atividades de logística reversa podem ser críticas para a empresa. Geralmente, quando o valor do produto é grande, ou a taxa de retorno é grande, muito mais esforço deve ser gasto para melhorar processos de retorno. Bons exemplos estão presentes nas indústrias naval, automobilística e aeronáutica.

Para Morton (2003), um melhor gerenciamento da logística reversa se paga com aumento da satisfação do cliente. O custo dos retornos de produto aos fornecedores norte-americanos supera US\$ 100 bilhões a cada ano. Pequenas empresas de logística em desenvolvimento envidam esforços procurando modos para ganhar maior controle do processo reverso. Nenhum segmento de indústria experimenta o fluxo reverso como o de varejo, e esse fato é até mais comum em varejistas on-line. Em média, são devolvidos 20% dos produtos de um varejista.

Gerenciando o fluxo reverso

Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1998), existem elementos-chave no gerenciamento do fluxo reverso. Este trabalho destaca alguns desses elementos que se alinham ao escopo da dissertação.

Um elemento crítico para administração da logística reversa é ter um ciclo de disposição curto. É difícil tomar decisões, se as regras de decisão não são claras e as exceções frequentes.

Um bom sistema de informações que gerencie o fluxo reverso é outro elemento-chave nesse gerenciamento. Em um sistema integrado de uma cadeia de abastecimento, qualquer produto pode ser rastreado por qualquer elo da cadeia, porém poucas são as cadeias que realmente têm esse processamento trabalhando bem, e no fluxo reverso praticamente não existem cadeias que funcionem.

Existem empresas que não conseguem rastrear o fluxo reverso dentro de sua própria organização e muito menos fora. Ainda nesse elemento, as autorizações de retorno de material

precisam ser sistêmicas para garantir o rápido fluxo do material dentro da organização. A padronização dos códigos de motivos de retorno e de disposição também é um ponto importante relacionado ao elemento sistema de informações. O quadro 3 mostra como Rogers e Tibben-Lembke ilustraram os possíveis códigos de retorno.

Quadro 3. Códigos de razão de retorno

Adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (1998).

Reparo / Códigos de conserto
Reparo de fábrica - Retorno para fornecedor para conserto
Serviço / Manutenção
Erro de ordem de vendas - Vendedor que erra pedido
Erro de ordem de cliente - Cliente que pede errado
Erro de entrada - Erro de processamento sistêmico
Erro transporte - Transportou material errado
Remessa incompleta - Ordem com artigos faltantes
Quantidade errada
Remessa duplicada
Ordem de cliente duplicada
Não pedido
Parte faltante
Danificada / Defeituoso
Danificada - Cosmético
Morto na chegada - Não funciona
Defeituoso - Não trabalha corretamente
Acordos Contratuais
Excesso de estoque - Muito estoque disponível
Ajuste de estoque - Giro de estoque baixo
Obsoleto - Vencido
Outros
Reclamação de transporte - Estragado durante remessa
Vários

Re-manufatura e reforma são outros elementos identificados por Rogers e Tibben –Lembke (1998) como chave na gestão do retorno. Segundo eles, Thierry, et al (1995) definiram cinco categorias para re-manufatura e reforma e estão ilustradas no quadro 4. As três primeiras categorias: Categoria reparo, Categoria reforma e Categoria re-manufatura, envolvem condicionamento do produto e atualização. Estas opções diferem no grau de melhoria no produto. Assim, reparo envolve menos esforço para atualizar o produto enquanto reforma envolve mais. Já desmonte é simplesmente a recuperação de um conjunto restrito de peças dos produtos usados e reciclagem é o reuso dos materiais que foram partes de outro produto ou subconjunto.

Arima e Battaglia (2002) colocam que, no ato da compra, as empresas devem atentar para a questão do pós-fornecimento devendo colocar nas questões de contrato que a criação de

indicadores de performance não compreenda somente a entrega no prazo e na qualidade esperada, mas também no tratamento dado aos itens rejeitados, incluindo cláusulas punitivas.

Quadro 4. Categorias de Re-manufatura e reforma

Segundo Thierry, et al. (1995), adaptado de Rogers e Tibben-Lembke (1998).

Categorias	
1.	Reparo
2.	Reforma
3.	Re-manufatura
4.	Desmonte
5.	Reciclagem

2.4. Logística internacional

Segundo Smith (1983), no comércio estabelecido entre as nações, o país deveria exportar as mercadorias que conseguisse produzir com menos custo que os demais e importar aquelas que produzissem internamente a um custo maior. Dessa forma, o país produziria mais dos bens e serviços onde é mais eficiente, utilizando menos horas de trabalho, e reduziria a sua produção onde não apresentasse uma eficiência tão elevada. Como resultado, o país poderia consumir mais produtos do que seria capaz sem o comércio entre as nações.

Bizelli e Barbosa (1994) reproduziram dois parágrafos do manual do importador, editado na década de 70, pela Carteira de Comércio Exterior do Banco do Brasil S.A. (CACEX), e concluem que estes sintetizam com muita propriedade a essência da política de importação do Brasil e de outros países, desenvolvidos ou não.

“O comércio internacional é o setor de primordial importância tanto para os países menos desenvolvidos, como para os países atingiram estágio superior em desenvolvimento. Nos primeiros, os governos estão conscientes de que, da expansão de intercâmbio e da melhoria das condições de troca, muito depende o crescimento econômico; nas nações mais poderosas os esforços são renovados, visando melhores posições no mercado mundial, necessárias à manutenção do ritmo de desenvolvimento e, assim, do prestígio de que desfrutam entre as demais nações. Indistintamente, portanto, países pobres e países ricos lutam para obter no comércio exterior recursos que favoreçam o

incremento de suas importações de bens de capital, produtos intermediários, serviços e bens de consumo, indispensáveis ao progresso social e à elevação dos padrões de vida de suas populações. A política de comércio exterior brasileira está basicamente voltada para o desenvolvimento econômico, tendo como meta prioritária a elevação das receitas provenientes da exportação em níveis compatíveis com as exigências do progresso do País, isto é, aqueles necessários ao atendimento da crescente procura de matérias-primas, produtos semi-elaborados, máquinas e equipamentos imprescindíveis à expansão e à renovação do parque industrial e bem assim dos compromissos decorrentes de importações destinadas à execução de projetos prioritários setoriais e regionais”.

Para entendimento deste trabalho, alguns conceitos são necessários e então pré-definidos a seguir:

A. Território Aduaneiro

Para Bizelli e Barbosa (1994), o território aduaneiro compreende todo o território nacional, e estão divididos, para fins de jurisdição dos serviços aduaneiros, em “Zona Primária” e “Zona Secundária”. A Zona Primária compreende as faixas internas de portos e aeroportos, recintos alfandegados e locais habilitados na fronteira terrestre, bem como outras áreas nas quais se efetuem operações de carga e descarga de mercadorias, ou embarque de passageiros, procedentes do exterior ou a ele destinados. A Zona Secundária compreende o restante do território aduaneiro, nela incluídas as águas territoriais e o espaço aéreo.

B. Câmbio

Segundo Bizelli e Barbosa (1997), a compra e venda de moedas estrangeiras no Brasil não é livre. O mercado cambial é monopolizado pelo Banco Central do Brasil e operado somente por estabelecimentos autorizados pelo órgão. No que concerne às importações brasileiras, estas podem ser com ou sem cobertura cambial. Deve-se entender como cobertura cambial o pagamento ao exterior do preço da mercadoria, mediante a contratação de câmbio. Inversamente, nas operações conduzidas sem cobertura cambial, não há pagamento da mercadoria ao exterior, ou, se houver, é feito em moeda nacional, quando autorizado. As operações de compra e venda de moedas estrangeiras, realizadas entre uma pessoa ou empresa e um estabelecimento autorizado, são formalizadas por meio de um contrato de câmbio.

C. Nacionalização

A Nacionalização, por Bizelli e Barbosa (1994), é a seqüência de atos que transfere a mercadoria de economia estrangeira para economia nacional. A nacionalização ou, quando não autorizada, faz com que o importador fique sujeito ao pagamento de multa de 30% calculada sobre o valor aduaneiro, frete e seguro internacionais da importação.

D. Exportação Temporária

Considera-se exportação temporária a saída, do País, de mercadoria nacional ou nacionalizada, condicionada a re-importação em prazo determinado, no mesmo estado ou depois de submetida a processo de conserto, reparo ou restauração (Decreto-Lei 37/66, artigo 92).

O regime de exportação temporária aplica-se a:

- I) Mercadoria destinada a feiras, competições esportivas ou exposições, no exterior;
- II) Produtos manufaturados e acabados, inclusive para conserto, reparo ou restauração para seu uso ou funcionamento;
- III) Animais reprodutores para cobertura, em estação de monta, com retorno cheia, no caso de fêmea, ou com cria ao pé, bem como animais para outras finalidades;
- IV) Veículos para uso de seu proprietário ou possuidor.

O regime será concedido pelo prazo de até um ano, prorrogável por período não superior a um ano. Em casos especiais poderá ser concedida nova prorrogação por período não superior, em seu total, há cinco anos.

Quanto da re-importação da mercadoria exportada temporariamente não ocorrerá fato gerador do imposto de importação, não havendo, por conseguinte, imposto a ser pago. Se, por outro lado, as mercadorias houverem sido objeto de conserto, reparo ou restauração no exterior, tendo-se lhes agregado material estrangeiro, será apurado, por ocasião do regresso dos bens, o valor aduaneiro do material agregado para fins de pagamentos de impostos.

E. “Incoterms”

Segundo Vasquez (1999), “*Incoterms*” ou “*International Commercial Terms*” forma um conjunto de regras para uso nos contratos Internacionais, mas por serem facultativos, os

termos aplicam-se somente nas relações entre comprador e vendedor e, sem regulação nas modalidades de transporte, uma vez que este é regido pelo contrato entre comprador / vendedor e transportador.

Para Srio (1993), em transações comerciais internacionais, provisões contratuais aparentemente ambíguas como condições de comércio e preço de faturas podem ser interpretadas diferentemente em várias áreas do mundo por causa de alfândegas discrepantes por particularidades comerciais, localidades ou leis diferentes. Para ajudar a evitar o incidente de ineficiências econômicas óbvias ou disputas de contratos internacionais e litígios, a Câmara de Comércio Internacional tem publicado definições das condições de comércio internacional para a movimentação de bens desde 1936. Chamadas de “*Incoterms*”, essas normas discutem como são alocados custos, riscos, e obrigações entre o vendedor e comprador e, indiretamente, o que o preço da fatura inclui, de acordo com as variantes do comércio. Eles assim fornecem uma ferramenta efetiva para alocar os riscos e custos de movimentação, os custos de seguro, e as obrigações para importação e liberação de exportação.

Reis (2001) propõe que “A transferência de mercadorias entre países é uma atividade de risco, exigindo conhecimento abrangente das fases envolvidas no processo e cuidados especiais na sua realização. Uma das dificuldades encontra-se na fixação das bases dos contratos internacionais de venda de mercadorias, principalmente no tocante à divisão de responsabilidades, quanto a riscos e custos logísticos, entre o vendedor (exportador) e o comprador (importador)”.

F. Nomenclaturas e Classificação de Mercadorias

Para Bizelli e Barbosa (1994), com a criação do Sistema Harmonizado de Designação e Codificação de Mercadorias, os organismos internacionais objetivaram uma nomenclatura base, compatível com o atual estágio tecnológico do mundo e com o volume global do comércio internacional, que pudesse ser adotada, se não pela totalidade dos países, ao menos pela maioria deles como “linguagem aduaneira comum” em nível mundial.

O Sistema Harmonizado foi concebido para ser utilizado na elaboração das tarifas de direitos aduaneiros e de fretes e, das estatísticas do comércio de importação e de exportação, de produção dos diferentes meios de transporte de mercadorias, entre outras aplicações.

Segundo o Departamento de Relações Internacionais e Comércio Exterior – Derex, a classificação de mercadorias é um instrumento importante no comércio exterior, tendo como principais características: a uniformidade, linguagem aduaneira comum e constituição sistemática. Como outras ferramentas é utilizada amplamente, principalmente na identificação de produtos e para fins estatísticos.

Nas operações de importação e exportação, a classificação de mercadorias é necessária para facilitar a análise nos processos de comércio exterior de entrada e saída de mercadorias. É usada para verificar o tratamento administrativo antes de preencher a Licença de Importação, se necessário, e a Declaração de Importação para controle aduaneiro, entre outros documentos. É possível constatar a incidência dos impostos de importação sobre produtos industrializados e ICMS e também saber se o produto está negociado em acordos comerciais com benefício que permite a redução do imposto de importação, entre outras informações.

Hoje em dia, é utilizada a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) baseada no "Sistema Harmonizado de Designação e Codificação de Mercadorias" - SH para facilitar as transações intra-blocos. Assim, Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai estabeleceram a tarifa externa comum em conjunto. No Brasil ela está conjugada com a tabela de incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI.

O SH é uma nomenclatura de seis dígitos de uso múltiplo e uma estrutura baseada em uma série de posições subdivididas em quatro dígitos, 1.241 posições em 96 capítulos que estão ordenados em 21 seções.

Exemplo de classificação:

Capítulo: 40 - Borracha e suas obras

Posição: 4011 - Pneumáticos novos de borracha

Posição e subposição: 4011.20 - dos tipos utilizados em ônibus ou caminhões

Posição, subposição e item: 4011.20.10 - de medida 11,00-24

Os quatro países, de comum acordo, adotaram mais dois dígitos para possibilitar um nível maior de especificação. Em relação à antiga Nomenclatura Brasileira de Mercadorias - NBM/SH a NCM é mais genérica.

2.5. Legislação

Para o desenvolvimento deste trabalho, fez-se necessário o estudo da legislação brasileira aplicada ao comércio internacional, extraída da página eletrônica da Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, na Internet, www.receita.fazenda.gov.br. Pela destacam-se:

- Decreto nº 4.543 que regulamenta a administração das atividades aduaneiras, e a fiscalização, o controle e a tributação das operações de comércio exterior de 26 de dezembro de 2002. Substituiu o antigo Decreto nº 91.030, Regulamento Aduaneiro.
- Comunicado DECEX nº 21/97 referente à consolidação das normas do regime de *Drawback* de 11 de junho de 1997.
- Portaria SECEX nº 4 de 11 de Junho de 1997, que se refere à concessão do Regime Aduaneiro Especial de *Drawback*.
- Lei No 10.865, de 30 de Abril de 2004, que dispõe sobre a Contribuição para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidentes sobre a importação de bens e serviços.

Regime aduaneiro especial de Drawback

Neste trabalho, vamos abordar apenas este regime aduaneiro especial, pois a empresa estudada tem suas importações amparadas por esse benefício. As definições que seguem são fornecidas pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, www.mdic.gov.br:

A. Drawback

É um incentivo à exportação que compreende a suspensão ou isenção dos tributos incidentes na importação de mercadoria utilizada na industrialização de produto exportado ou a exportar. Esses tributos compreendem o Imposto de Importação (II), o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), o Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre a Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS), conforme regime de Estados e Distrito Federal, incluídos no âmbito do Confaz, o Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM). As importações amparadas no regime não estão sujeitas ao exame de similaridade nem à obrigatoriedade de transporte em navio de bandeira brasileira.

B. Industrialização

Corresponde a qualquer operação que modifique a natureza, o funcionamento, o acabamento, a apresentação ou a finalidade do produto, ou o aperfeiçoe para consumo. Como a transformação, ou seja, a obtenção de espécie nova, o beneficiamento que modifica o acabamento, a montagem, reunião de produtos que resulta em um novo, a renovação ou recondicionamento de produto para utilização e o acondicionamento ou recondicionamento que altere a apresentação do mesmo.

C. Beneficiária

O benefício poderá ser concedido a empresas industriais ou empresas comerciais habilitadas a operar em comércio exterior.

D. Modalidades

O regime de Drawback compreende três modalidades: suspensão, isenção e restituição. Nas duas primeiras modalidades, o benefício é aplicado pela Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e, na modalidade restituição, pela Secretaria da Receita Federal (SRF).

Suspensão

Nesta modalidade, o benefício é aplicado sob a forma de suspensão do pagamento de tributos devidos sobre a importação de mercadoria a ser exportado após transformação, beneficiamento, montagem, renovação, recondicionamento, acondicionamento ou re-acondicionamento.

Isenção

Nesta modalidade, a empresa poderá importar matérias-primas com isenção de tributos, em quantidade e qualidade equivalentes, destinados à reposição de insumos anteriormente importados utilizados na industrialização de produto exportado.

Restituição

A modalidade de restituição refere-se à devolução total ou parcial de tributos que incidiram sobre a importação anterior de mercadoria que venha a ser exportada após beneficiamento ou que seja utilizada na fabricação, complementação ou acondicionamento de outra mercadoria exportada.

O texto da legislação pertinente também tece as seguintes considerações gerais:

1. O regime de drawback poderá ser concedido a empresas industriais, agroindustriais ou comerciais. Devem ser observadas as seguintes proporções:
 - Relação Importação x Exportação: 40% importado e 60% nacional;
 - Perda: máximo 5%.
2. Em operações especiais, a isenção poderá ser concedida nos seguintes casos:
 - Drawback genérico, exclusivo na modalidade suspensão, que se caracteriza pela discriminação genérica da mercadoria a importar e o seu respectivo valor.
 - Drawback sem cobertura cambial, também exclusivo na modalidade suspensão e que se caracteriza pela não cobertura cambial, parcial ou total, da importação.
 - Drawback solidário, exclusivo na modalidade suspensão e que é caracterizado pela participação solidária de uma ou mais empresas industriais.
 - Drawback intermediário, concedido para suspensão e isenção, e é definido pela importação de mercadorias destinada a processo de industrialização de produto intermediário a ser fornecido a empresas industriais exportadoras, para emprego na industrialização de produto final destinado à exportação.
 - Drawback para embarcação, concedido para suspensão e isenção que se caracteriza pela importação de mercadoria destinada a processo de industrialização de embarcação para fins de venda no mercado interno.
 - Drawback para fornecimento no mercado interno, para a modalidade suspensão e é caracterizado pela importação de matéria-prima, produto intermediário e componente destinados a processo de industrialização, no país, de máquinas e equipamentos a serem fornecidos no mercado interno, em decorrência de licitação internacional.
 - Drawback para reposição de matéria-prima nacional, exclusivo na modalidade isenção e que se define pela importação de mercadoria para reposição de matéria-prima nacional utilizada em processo de industrialização de produto exportado.

O benefício poderá ser concedido à operação que se caracterize como industrialização. Entretanto, não assegura a obtenção de cota de importação ou de exportação para produtos sujeitos a contingenciamento, bem como não exige a importação e a exportação da anuência prévia de outros órgãos, quando necessário.

Para operar no regime de Drawback, as empresas deverão estar habilitadas a operar em comércio exterior nos termos, limites e condições estabelecidos na legislação pertinente. Poderá ser concedido a empresas industriais ou comerciais. O Ato Concessório do mesmo será emitido em nome da empresa comercial que enviará a respectiva mercadoria, por sua conta e ordem, a um estabelecimento para industrialização, devendo a exportação de o produto ser realizada pela detentora da concessão de Regime.

As mercadorias importadas amparadas pelo regime de Drawback englobam as utilizadas no processo de industrialização de produto a exportar ou exportado, as partes, peças, aparelhos e máquinas quando complementares de aparelhos ou equipamentos a exportar ou exportados, as destinadas à embalagem desde que não se caracterizem como embalagem para transporte, os animais destinados ao abate e a posterior exportação; a matéria-prima que seja consumida no processo industrial, as utilizadas no processo de industrialização de embarcação para o mercado interno, as matérias-primas destinadas a processo de industrialização de máquinas a serem fornecidas no mercado interno, em razão de licitação internacional e as destinadas à reposição de matéria-prima nacional utilizada no processo de industrialização de produto exportado.

Situações para recolhimento dos tributos:

A beneficiária deverá regularizar a operação de importação em virtude do descumprimento das condições previstas no Ato Concessório de Drawback, dentro de seu prazo de validade, com recolhimento dos tributos, conforme Art. 42 da Portaria SECEX nº 4 de Junho de 1997.

2.6. Tributação

Como no caso estudado trataremos de materiais importados em regime de Drawback, somente os tributos incidentes sobre este regime são estudados. Ei-los:

- Imposto de Importação (II);
- Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI);
- Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS);
- Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM), aplicável somente ao modal marítimo.

As alíquotas destes tributos variam conforme o tipo do material, segundo sua classificação fiscal e também na Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), no caso do Imposto de Importação (II).

Para cálculo dos tributos, é necessária a verificação da maneira como o tributo incide sobre o valor. O II e o IPI incidem sobre o valor do produto e são calculados através da multiplicação do valor do produto pela alíquota do imposto (conhecido também como por fora). O ICMS encontra-se embutido no valor do produto e é calculado dividindo-se o preço pela unidade decrescida da alíquota (conhecido também como por dentro). Outro fator verificado é a incidência dos tributos sobre o valor acrescido dos impostos (imposto sobre o imposto), pois o IPI incide sobre o II e o ICMS deve ser calculado sobre o valor acrescido do II e IPI. O AFRMM incide na forma de percentual sobre o frete da importação.

As fórmulas abaixo mostram os cálculos dos tributos:

II

$$II = \text{valor do produto} \times \text{alíquota}$$

IPI

$$IPI = (\text{valor do produto} + II) \times \text{alíquota}$$

ICMS

$$ICMS = (\text{valor do produto} + II + IPI) \times \frac{\text{alíquota}}{1 - \text{alíquota}}$$

AFRMM

$$AFRMM = \text{valor do frete} \times \text{alíquota}$$

Obs: A recuperação do ICMS não é considerada, pois esses créditos não são totalmente recuperáveis e o tempo para essa recuperação não pode ser definido.

PIS e COFINS

Como contribuição a este estudo, alguns tópicos da legislação sobre a contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PASEP) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) que incidem sobre a importação de bens e serviços são destacados a seguir:

Segundo a lei No 10.865, de 30 de Abril de 2004, no seu Art. 1º ficam instituídas à contribuição de PIS/PASEP - Importação e COFINS – Importação, o importador de Bens estrangeiros ou Serviços no Exterior.

§ 1º Os serviços ao que se refere o artigo são os provenientes do exterior, prestados por pessoa física ou pessoa jurídica residente ou domiciliada no exterior, nas seguintes hipóteses:

I - executados no país; ou

II - executados no exterior, cujo resultado se verifique no país.

§ 2º Consideram-se também estrangeiros:

I - bens nacionais ou nacionalizados exportados, que retornem ao País, salvo se:

- devolvidos por motivo de defeito técnico para reparo ou para substituição;

Art. 2º As contribuições instituídas no art. 1º desta Lei não incidem sobre:

II - bens estrangeiros idênticos, em igual quantidade e valor, e que se destinem à reposição de outros importados anteriormente que se tenham revelado, após desembaraço aduaneiro, defeituosos ou imprestáveis para o fim a que se destinavam observado a regulamentação do Ministério da Fazenda;

VI - bens aos quais tenha sido aplicado o regime de exportação temporária;

IX - bens avariados ou que se revelem imprestáveis para os fins a que se destinavam, desde que destruídos, sob controle aduaneiro, antes de despachados para consumo, sem ônus para a Fazenda Nacional;

X - o custo do transporte internacional e de outros serviços, que tiverem sido computados no valor aduaneiro que serviu de base de cálculo da contribuição.

Art. 7º A base de cálculo será:

I - o valor aduaneiro, assim entendido, para os efeitos desta Lei, o valor que servir ou que serviria de base para o cálculo do imposto de importação, acrescido do valor do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação

de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS incidente no desembaraço aduaneiro e do valor das próprias contribuições, na hipótese do inciso I do caput do art. 3º desta Lei; ou

II - o valor pago, creditado, entregue, empregado ou remetido para o exterior, antes da retenção do imposto de renda, acrescido do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza - ISSQN e do valor das próprias contribuições, na hipótese do inciso II do caput do art. 3º desta Lei.

Art. 8º As contribuições serão calculadas mediante aplicação, sobre a base de cálculo de que trata o art. 7º desta Lei, das alíquotas de:

I - 1,65% (um inteiro e sessenta e cinco centésimos por cento), para o PIS/PASEP - Importação;

II - 7,6% (sete inteiros e seis décimos por cento), para a COFINS - Importação.

Art. 9º São isentas das contribuições de que trata o art. 1º desta Lei:

I - as importações realizadas:

f) bens importados sob o regime aduaneiro especial de drawback, na modalidade de isenção;

Analisando esta legislação, podemos concluir que, para nosso estudo, as tributações relativas à PIS e COFINS incidem sobre os valores de Material Aplicado e Serviços incidentes sobre o reparo. Regularização de materiais importados sobre o regime especial de Drawback, que não cumpriram as condições previstas no Ato Concessório de Drawback.

PIS

$$PIS = (\text{valor do serviço} + ICMS) \times 0,0165$$

COFINS

$$COFINS = (\text{valor do serviço} + ICMS) \times 0,076$$

ISSQN

Para análise da incidência do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza – ISSQN, a lei complementar nº 272/03 de 18 de Dezembro de 2003, na qual o Prefeito Municipal de São José dos Campos sanciona o ISSQN, foi estudada. O tributo incide sobre os serviços provenientes do exterior do país ou cujas prestações tenham iniciado no exterior do país. A Base de Cálculo do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza é o preço do serviço. Segundo o Anexo I, Item 14 da referida Lei, os serviços relativos a bens de terceiros, lubrificação, limpeza, lustração, revisão, carga e recarga, conserto, restauração, blindagem, manutenção e conservação de máquinas, veículos, aparelhos, equipamentos, motores, elevadores ou de qualquer objeto e assistência técnica, recolhe-se à alíquota de 3%.

Dessa forma, $ISS = (\text{valor do serviço}) \times 0,03$

CIDE

Seguindo o DECRETO nº 4.195, de 11 de Abril de 2002, que regulamenta a lei nº 10.168, 29 de Dezembro de 2000, que institui a contribuição de intervenção no domínio econômico destinada a financiar o Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para apoio a Inovação que, em seu Art. 10º, decreta que esta contribuição incidirá sobre as importâncias pagas, creditadas, entregues, empregadas ou remetidas, a cada mês, a residentes ou domiciliados no exterior, a título de remuneração, que tenham por objeto:

I – Fornecimento de Tecnologia;

II – Prestação de Assistência Técnica;

E pelo Art. 2º, inciso § 3º da lei 10.168, dispõe o valor da alíquota desta contribuição em 10%. Portanto $CID = (\text{valor do serviço}) \times 0,10$.

IR

Seguindo a lei nº 10.168, 29 de Dezembro de 2000, que institui a contribuição de intervenção no domínio econômico destinada a financiar o Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para o Apoio à Inovação e dá outras providências. Em seu Art. 2º-A, reduz para 15% (quinze por cento), a alíquota do imposto de renda na fonte, incidente sobre as importâncias pagas, creditadas, entregues, empregadas ou remetidas ao exterior a título de remuneração de serviços de assistência administrativa e semelhantes. Então $IR = (\text{valor do serviço}) \times 0,15$

2.7. Conceitos de custos

Custos financeiros da manutenção de estoques

Um outro tipo de custo, essencial à gestão da Logística, sobretudo, no que tange à questão da manutenção de inventários ou incidentes sobre outros ativos logísticos, é o custo de capital que equivale aos retornos exigidos pelos acionistas da empresa do capital investido.

O custo de oportunidade é um custo de capital que não é registrado contabilmente e não implica desembolsos de caixa, pois tem natureza econômica. O custo de oportunidade, de acordo com Martins (2003, p.234), representa o quanto a empresa sacrificou em termos de remuneração por ter aplicado seus recursos numa alternativa ao invés de aplicá-la em outra.

Os custos de capital referem-se ao dispêndio do dinheiro investido no estoque (Ballou, 1999). Podem representar mais de 80% do gasto total do estoque, contudo é o mais intangível e subjetivo dos custos de manutenção.

Segundo Lambert *et al.* (1998), os custos de manter estoques ou custos associados à quantidade estocada, incluem inúmeros componentes de custo e geralmente representam uma das principais parcelas do custo logístico. A magnitude desses custos e o fato dos níveis de estoque estar sob influência do modelo logístico demonstram a necessidade real de obtenção de dados precisos sobre custos de manutenção de estoques.

Custos Logísticos

Neste trabalho, chamados de custos logísticos o que a teoria da contabilidade segrega em custos e despesas, nos quais os custos são gastos relacionados aos sacrifícios ocorridos nos processos produtivos e as despesas gastos incidentes no esforço de obter receitas.

Os custos logísticos, segundo o *Institute of Management Accountants-IMA* (1992), *apud* Faria (2003), são definidos como “os custos de planejar, implementar e controlar todo o inventário de entrada, em processo e de saída, desde o ponto de origem até o ponto de consumo”.

Quanto ao relacionamento com o objeto (cliente, produto, regiões ou canais de distribuição), segundo Faria (2003), os custos podem ser classificados em:

- Custos Diretos – aqueles que podem ser diretamente apropriados a cada tipo de objeto, no momento de sua ocorrência, tal como os de transportes de processos de entrega, para determinado cliente;

- Custos Indiretos - são os que não se podem apropriar diretamente a cada tipo de objeto no momento de sua ocorrência, tal como os gastos com a tecnologia de informação utilizada em um processo logístico que atenda diversos clientes.

Outra análise relevante aos custos da atividade de logística ocorre em virtude de seu comportamento diante do volume de atividade e deles salientam-se:

- Custos Fixos – representam uma grandeza monetária que independe da variação da quantidade no período de tempo. Na Logística, podem ser citados os custos com armazenagem própria, contemplando a depreciação dos ativos logísticos, os gastos com a mão-de-obra mensalista e outros mais gerais;
- Custos Variáveis - estes encontram estreita relação com o volume da atividade, no período de tempo selecionado como objeto de análise. Conhecê-los auxilia em muitas decisões de curto prazo, tal como o ajuste do composto de produtos em face das condições operacionais e de mercado existentes.

Em Logística, volume é um fator preponderante, pois se trabalha muito com volumes produzidos, movimentados, transportados, vendidos, distribuídos, etc. A flexibilidade requerida nos sistemas logísticos é enorme. Muitas vezes os volumes oscilam acentuadamente, sendo este um dos elementos impulsionadores da terceirização por empresas preocupadas em tornar variáveis seus custos fixos.

Para Ballou (1999), além do problema de decidir se um custo é fixo ou variável, determinar o que são custos reais para um embarque particular exige a designação arbitrária de custos, mesmo que os custos totais da operação não sejam conhecidos. A razão é que muitos custos de transporte são indivisíveis. Muitas cargas de tamanhos e pesos diferentes movimentam-se no mesmo transporte. Quanto do custo deveria ser atribuído? Os custos deveriam ser atribuídos com base no peso de cada carga até o total, na proporção de metros cúbicos totais ou em outra base? Não há fórmula simples para a alocação de custos.

2.8. Modelagem

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo matemático de decisão sobre os destinos do material não conforme. Dentro desses destinos está o processo de reparo, onde os itens a reparar devem ser seqüenciados, programados e suas datas de entrega confrontadas às

datas de necessidade do mesmo na montagem. Esse problema é o mesmo do seqüenciamento de atividades em um processo fabril. Dessa forma a revisão bibliográfica sobre modelos matemáticos relacionados à programação de produção se fez necessária.

2.8.1. Modelos de Programação da produção

De acordo com Morton e Pentico (1993), o problema geral de programação de produção é classificado em quatro tipos distintos de problemas:

- **“Scheduling” (Programação)** – É o problema de programação de produção propriamente dito. Consiste em ordenar as atividades nos recursos associando-se datas de início e fim.
- **Seqüenciamento** - Resume-se a associar uma seqüência ou ordem de atividades a cada recurso. O produto do seqüenciamento será o mesmo do problema de programação para os casos em que não houver inserção de esperas nos recursos. Tanto o seqüenciamento como a programação são problemas decorrentes dos sistemas de produção intermitentes que compõem grande parte dos sistemas de manufatura.
- **Balanceamento de linhas** – É a aplicação do problema de programação da produção para o caso de um sistema de produção contínua. Neste caso, o problema de programação consiste em dividir as tarefas de modo a reduzir a diferença entre as quantidades de trabalho alocadas a cada estação.
- **Gerenciamento de projetos** – É um caso especial de produção intermitente, em que cada produto é único e só executado uma vez. Pelas particularidades deste tipo de produção, a abordagem é distinta em relação ao problema de programação e ao seqüenciamento.

Ramasesh (1990) classifica os problemas de programação de empresas com produção intermitente, segundo cinco aspectos:

- **Uma única máquina;**
- **Multi – máquinas;**
- **Máquinas Paralelas;**
- **“Flow-shop”;**
- **“Job-shop”;**

Nosso trabalho é um problema de programação, classificado como de máquinas paralelas, de acordo com Ramasesh (1990), pois existem m máquinas (oficinas) que podem executar a mesma operação.

Segundo Pinedo (1995), o problema de programação consiste na alocação de atividades em recursos limitados no tempo. É um processo decisório visando um ou mais objetivos. As decisões de programação, Morton e Pentico (1993), incluem seqüenciação, data de liberação, sincronismo e roteiros.

Pinedo (1995) classifica o ambiente de máquina da seguinte maneira:

- **Uma máquina.**
- **Máquinas em paralelo idênticas:** Múltiplas máquinas em paralelo. As ordens podem ser alocadas em qualquer máquina com o mesmo tempo de processamento.
- **Máquinas em paralelo proporcionais:** Múltiplas máquinas em paralelo. As ordens podem ser alocadas em qualquer máquina com tempo de processamento definido pela máquina. Se todas as máquinas possuírem a mesma velocidade teremos o caso particular da classificação anterior.
- **Máquinas em paralelo distintas:** Múltiplas máquinas em paralelo. As ordens podem ser alocadas em qualquer máquina com tempo de processamento definido pela ordem e pela máquina.
- **“Flow shop”:** Múltiplas máquinas em série. As ordens devem ser alocadas em todas as máquinas na mesma seqüência.
- **“Flow shop” flexível:** Generalização do “flow shop” e máquinas paralelas. Em vez de “ m ” máquinas em série existem estágios em série com múltiplas máquinas em paralelo em cada estágio.
- **“Open shop”:** Múltiplas máquinas. As ordens são processadas nas máquinas sem restrição de roteiro.
- **“Job shop”:** Múltiplas máquinas. As ordens são processadas nas máquinas com restrição de roteiro.

2.8.2. Modelos de Programação Matemática

A literatura mostra que temos duas alternativas para modelagem, a modelagem otimizante e a modelagem heurística. Vários autores encontraram soluções heurísticas para tratar a minimização do atraso em máquinas paralelas, alguns textos estão aqui citados.

Oishi (2002) enfatiza que os problemas de programação são na sua maioria “*NP-Hard*”, sendo necessário avaliar todas as alternativas para garantir a otimalidade de determinada solução. Em um “job-shop” com n ordens e m máquinas, com todas as ordens passando por todas as máquinas e sem restrição de roteiro, é necessário avaliar $(n!)^m$ possíveis soluções, o que torna a otimização computacionalmente inviável.

Para Morton e Pentico (1993), uma vantagem dos modelos de programação matemática é que, teoricamente, um verdadeiro ambiente de fábrica poderia ser modelado por completo com alta precisão. Também, o “*software*” seria escrito com módulos genéricos, de maneira que as alterações na fábrica pudessem ser modeladas de uma maneira simples através da escolha de alguns módulos, re-conectados aos existentes. Uma dificuldade com este modo é que, o sistema estando modelado em detalhes, poderá levar muito tempo para chegar à solução, mesmo que com a utilização de computadores poderosos. Por outro lado se o sistema é modelado de forma a ser resolvível, muito dos detalhes podem ser perdidos de forma que a solução não atenda. Existem vários procedimentos para projetar sistemas de programação matemática, com um objetivo a ser otimizado e um largo espectro de possíveis métodos para tomada de decisão do mais simples ao mais complexo.

Du e Leung (1990) mostram que o problema de minimização do atraso em uma máquina é “*NP-hard*”. E indica que, para este tipo de problema, é praticamente impossível obter uma solução ótima em um tempo razoável, mesmo para problemas de porte médio. Isso ocorre porque esse tipo de problema é complexo o suficiente para que o tempo computacional requerido pelos *softwares* de otimização seja viável.

De acordo com Baker (1995), a noção de complexidade refere-se ao esforço computacional requerido por um algoritmo. O esforço computacional é descrito pela notação da ordem da magnitude. Por exemplo, supondo que estamos usando um particular algoritmo para solucionar um problema de tamanho “ n ” (tecnicamente, “ n ” denota o montante de informação necessária para descrever o problema.), o número de cálculos necessários pelo algoritmo é restringido superiormente por uma função de “ n ”.

Pacheco e Santoro (1999) colocam que algoritmos otimizantes são computacionalmente viáveis quando aplicados a problemas reais pequenos, com objetivos limitados. Para problemas de porte similar aos encontrados no ambiente real, costuma-se sacrificar a obtenção de uma solução otimizante por uma solução subótima obtida por meios heurísticos, com tempo computacional aceitável.

Para Tang *et al.* (2004), os métodos de solução heurísticos se tornam métodos importantes e populares na solução de sistemas de decisão integrados para produção, transporte, estoques e redes logísticas com múltiplos fornecedores, múltiplos produtos e múltiplos destinos.

Chiang e Robert (2004) apontam que devido ao fato da maioria dos problemas reais de redes logísticas envolverem múltiplos fornecedores, múltiplos armazéns e múltiplos destinos, os modelos de decisão integrados são complexos e difíceis de se obter uma solução ótima, assim os métodos heurísticos são importantes para sua solução.

Segundo Yamashita (1996) a literatura sobre o problema de minimização do atraso em máquinas paralelas não é muito vasta. Este é um problema “*NP-hard*”, pois o problema para uma máquina também o é, como Du e Leung (1990). Devido a sua complexidade, o problema de atraso em máquinas paralelas idênticas é geralmente abordado através de heurísticas.

Mokotoff (2001) apresenta uma avaliação da pesquisa dedicada aos problemas de programação em máquinas paralelas idênticas onde os problemas de programação com mais de uma máquina envolvam distribuição de recursos e seqüenciamento, ao invés de simplesmente seqüenciamento. O trabalho aponta que a complexidade cresce exponencialmente, tornando os problemas intratáveis. Desde então não foram achados algoritmos exatos eficientes em 50 anos de pesquisas, levando a imaginar que será impossível encontrar. Nesse texto também coloca que devido ao crescimento destes problemas na ciência da computação, algoritmos heurísticos têm sido extensivamente desenvolvidos para resolver problemas reais com resultados muito bons. Porém, em muitos casos, algoritmos polinomiais que garantam soluções próximas ao ótimo ainda não são conhecidas.

Li e Cheng (1994) mostraram que quando a seqüência da programação e as datas de entrega devem ser determinadas o problema é NP-completo.

Cao, Chen e Wan (2005) mostram uma heurística para solução de um problema “*NP-hard*” para programação de máquinas paralelas que minimiza o custo do atraso e também a soma dos custos fixos das máquinas. Este algoritmo localiza as soluções ótimas ou próximas às

ótimas, baseado em uma busca tabu. Este trabalho mostra através de exemplos que o algoritmo desenvolvido é efetivo e computacionalmente eficiente.

Yalaovi e Chu (2003) mostram uma heurística que resolve o problema de minimização do “*makespan*” na programação de máquinas paralelas idênticas com dependência de tempos de preparação de máquinas e divisão dos trabalhos. O seu método dividiu o problema em 2 partes. Na primeira reduz o problema trabalhando com apenas uma única máquina, transformando-o no problema conhecido como “Caixeiro viajante” que Padberg e Rinaldi (1991) mostram ser de difícil resolução. Na segunda parte utiliza-se o resultado da primeira como uma possível solução. Esta é então melhorada de uma maneira “passo a passo” considerando-se o tempo de preparação das máquinas e a divisão das tarefas.

Nauss (2003) utilizou uma heurística para problemas de minimização de custos na programação de tarefas, onde cada atividade é designada exatamente para um recurso e a capacidade desse recurso é respeitada. Para Nauss (2003) esses problemas “*NP-hard*”, com até 3000 variáveis binárias, têm aplicação que incluem programação, roteirização de tarefas e carga para sistemas de manufatura flexível desde que a prova de otimalidade não seja uma necessidade absoluta.

O trabalho de Xiao e Li (2002) propõe uma heurística para minimização do atraso em um grupo de tarefas, com uma data de entrega comum, a ser programado em um conjunto de máquinas paralelas ou centros de trabalhos paralelos. A heurística minimiza o atraso em relação à data de entrega, bem como o atraso e antecipação total das tarefas.

Glass, Pofits e Strusevich (2001) estudam uma heurística para um problema de programação em grupos para duas máquinas em seqüência ou em paralelo. Cada máquina processa operações em grupos e o tempo de processamento do grupo é a soma dos tempos de processamento das operações em cada grupo. O tempo de preparação da máquina é requerido antes de um grupo ser processado em uma máquina e todas as tarefas em um grupo permanece na máquina até o grupo todo ser processado. O objetivo é agrupar e colocar em seqüência os grupos em cada máquina de forma a minimizar o *makespan*.

Pacheco e Santoro (1999) dividem os modelos heurísticos para programação de produção em dois grupos, os de passo único e os de busca. Quando a seqüência pode ser obtida de uma única vez temos um modelo heurístico de passo único e quando a seqüência é obtida através da exploração de um subconjunto de soluções possíveis é chamada de heurística de busca.

Modelos heurísticos de passo único

As heurísticas de passo único podem ser focadas nas seqüências das operações ou nos gargalos de produção. Os modelos orientados aos gargalos são caracterizados por definir as seqüências priorizando as máquinas críticas quanto à utilização da capacidade.

Apesar de classificados como modelos de passo único, alguns modelos de solução orientados aos gargalos utilizam procedimentos em múltiplos estágios ou iterativos para identificação dos recursos gargalos e estimadores de “*lead time*”. Em muitos casos, segundo Morton e Pentico (1993), a qualidade destes estimadores afeta significativamente o desempenho destas regras.

Modelos heurísticos de busca

Para Pacheco e Santoro (1999), os modelos heurísticos de busca são classificados quanto a existência ou não de mecanismos de intensificação. Laarhoven e Aarts (1987), a aplicação de um algoritmo de melhoria iterativa, ou intensificação, pressupõe a definição de configurações, função de custo e um mecanismo de geração, isto é, uma simples prescrição para gerar a transição de uma configuração para outra através de uma pequena perturbação. O mecanismo de geração define uma vizinhança “ R_i ”, para cada configuração “ i ”, que consiste em todas as configurações que podem ser obtidas de “ i ” em uma transição.

Partindo de uma configuração, uma seqüência da iteração é gerada. Cada iteração consiste de uma possibilidade de transição da configuração atual para uma configuração selecionada a partir de uma vizinhança da configuração atual. Se essa configuração vizinha tem menor custo, a configuração atual é substituída por esse vizinho, de outra forma outro vizinho é selecionado e tem seu custo comparado. O algoritmo termina quando a configuração obtida não tem custo pior que seus vizinhos.

Segundo Oishi (2002), os trabalhos relacionados com busca em vizinhança realizam comparações entre os diversos modelos referentes a melhoria obtida, ou qualidade do resultado medido, e pelo esforço computacional empregado.

Como esse trabalho é o mesmo de minimização do atraso em máquinas paralelas e tem uma dificuldade dos modelos “*NP-hard*”, decidimos utilizar uma saída heurística construtiva para sua solução.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1. Método de pesquisa

O método de pesquisa utilizado é o de pesquisa experimental. Consiste do levantamento e estudo bibliográfico para a busca ou construção de um modelo adequado para minimização do atraso em máquinas paralelas, no caso oficinas de reparo.

Como na literatura estudada não encontramos um modelo que atendesse à nossa necessidade e, para esse porte de problema, a maioria dos autores encontrou saída através de heurísticas, desenvolveu-se um modelo heurístico.

A heurística será testada e validada com dados reais de materiais não conformes enviados para recuperação por uma empresa real. Nesse estudo formulamos também o modelo de programação matemática otimizante que será utilizado para testar o desempenho da heurística em problemas pequenos. Além disso, os resultados qualitativos obtidos pelo modelo heurístico serão comparados com a realidade histórica, para uma análise de sensibilidade e conclusões sobre os resultados.

Como descrito no capítulo 1, o objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um modelo heurístico que decida pela minimização do custo total, restrito ao atendimento de datas. Como este custo é função da alocação dos materiais a serem recuperados em oficinas de reparo, podemos utilizar modelos de programação de produção encontrados na literatura que minimizam o atraso.

3.2. Custos considerados na operação

Podemos dividir os custos de recuperação de material não conforme considerados na modelagem em dois grandes blocos, sendo custos variáveis, que são função do ciclo de recuperação do item e os demais custos fixos. A seguir resumimos os custos considerados antes da descrição detalhada dos mesmos:

Custos de Estocagem ou Armazenagem

Custo do Atraso

Custos Logísticos

Custos Internos

Custos do Processo

3.2.1. Custos Variáveis

Custos de Estocagem

É o retorno financeiro que a empresa deixa de receber com o valor do material indisponível para uso, durante o processo de recuperação, considerando-se que a entrega de outra unidade foi antecipada para repor sua falta. Esse retorno financeiro é calculado sobre uma taxa de atratividade de capital. No processo de modelagem considerou-se uma taxa de atratividade de 16% ao ano. Tal valor refere-se a uma taxa razoável de remuneração ao acionista, visto que todos os valores considerados referem-se ao mercado internacional e encontra-se em dólares. O custo de oportunidade é um custo de capital que não é registrado contabilmente, e não implica desembolsos de caixa, pois tem natureza econômica.

O custo de oportunidade, de acordo com Martins (2003, p.234), representa o quanto à empresa sacrificou em termos de remuneração por ter aplicado seus recursos numa alternativa ao invés de em outra.

Os custos de estoque referem-se ao custo do dinheiro investido no estoque (Ballou, 1999). Podem representar mais de 80% do custo total do estoque, contudo é o mais intangível e subjetivo de todo o custo. Primeiramente, o estoque representa uma combinação de recursos a curto e longo prazo, porque alguns estoques podem ser mantidos para satisfazer padrões de demanda de prazo mais longo. Em segundo, o custo do capital pode variar da taxa de juros principal ao custo da oportunidade do capital, por n períodos, e a fórmula de cálculo de juros compostos (onde os juros são também incrementados sobre o juro do período anterior) é assim escrita: $Custo\ Estoque = EM \times (1+i)^n - EM$.

Onde: EM: valor do estoque do material.

n : número de períodos em análise.

i : taxa de atratividade.

Esse método de cálculo torna nosso modelo não linear, dificultando ainda mais sua solução, dessa maneira decidimos substituir o cálculo de juros compostos por juros simples, de forma a tornar o modelo linear. Esse artifício foi possível porque a diferença sobre o custo de aquisição do material representa muito pouco em nossos resultados. A figura 11 mostra que os ciclos de aquisição e reparo máximos estão próximos a 200 dias onde a variação sobre o custo de aquisição do material pode chegar até 0,22% como mostra a figura 12.

Figura 11. Distribuição dos ciclos de aquisição e reparo.

Figura 12. Diferença sobre o custo de aquisição do material utilizando o cálculo de juros simples ao invés de compostos, comparados aos ciclos de aquisição e reparo.

Assim temos:

$$\text{Custo Estoque} = EM \times n \times i$$

Custo do Atraso

Como a falta pode resultar em não atendimento ou atraso, e o atendimento é uma das restrições do problema, decidimos chamar apenas de Custo do Atraso o não atendimento no prazo necessário.

Trata-se então de uma penalidade diária aplicada sobre o atraso do item na linha de montagem, assumindo-se que o mesmo poderá ser montado em um estágio fora do normal, o que causa um custo adicional. Este pode chegar inclusive ao custo da não entrega do produto final ao cliente. É um custo arbitrado para cada item, em razão de sua complexidade de montagem, fora do ponto e de sua importância no processo produtivo, de forma que a falta impossibilite a montagem de outros componentes. A empresa estudada trata esta falta de acordo com o tipo do material e o estágio de produção onde o mesmo é adicionado ao produto acabado e o valor do item.

Como os custos do atraso também variam em função dos ciclos, estes também devem ser discutidos. Os ciclos logísticos de ida e volta para o destino final são tempos calculados pela média dos ciclos dos itens que já seguiram para as oficinas ou fornecedores no passado. Os ciclos de recuperação variam de acordo com o processo escolhido. Os processos de “Substituição em Garantia”, “Venda como defeituoso” e “Sucata” utilizam o ciclo de uma nova compra, pois o material recuperado será uma nova aquisição no caso do processo de reparo, o ciclo de recuperação do item na oficina, previamente informado por ela, é utilizado. O custo do atraso somente incide se o material estiver disponível após sua necessidade para uso.

Desta forma: $Custo\ Atraso = CATD \times (Máximo(0; Fim - dane))$

Onde: *CATD*: Multa diária pelo atraso do material em relação à data de necessidade.
Fim: Data do material disponível para uso.
dane: Data de necessidade para uso do item.

3.2.2. Custos Fixos

Custos Logísticos

Os custos logísticos, para este trabalho, são os custos de movimentação e variam de acordo com cada processo escolhido, contêm os gastos de desembaraço aduaneiro, frete, movimentação nas zonas aduaneiras e seguro.

Como a empresa estudada tem um histórico de custos de movimentação por destino e os itens não conforme têm em média as mesmas características físicas, tamanho e peso, utilizaremos o custo médio histórico (ida e volta) para cada destino, para efeito de modelagem.

Custos Internos

Este parâmetro é função do processo escolhido e trata-se do custo incremental da utilização dos recursos demandados, e foi dividido em cinco atividades internas da empresa.

Os materiais comprados, movimentados pela área de logística da empresa seguem, em sua grande maioria, o mesmo fluxo interno de operações. Para o cálculo das despesas desta etapa, foi utilizada a taxa mensal dos centros de custos que fazem parte destas etapas e a quantidade de itens que passaram pela área durante o período, chegando a uma estimativa por item / área, para as áreas a seguir:

Recebimento e Inspeção, Compras, Descaracterização e Logística.

Os materiais passam por um processo de recebimento que é constituído de uma conferência quantitativa e qualitativa. O material, ao chegar à unidade fabril, passa por uma etapa de recebimento fiscal, com a conferência e lançamento da fatura internacional (quando importado) ou Nota Fiscal (quando nacional), conforme a procedência do material, seguido de uma conferência física deste material.

Após a conferência física, o material passa pela inspeção qualitativa, quando é formalmente aprovado ou rejeitado pela empresa, conforme o resultado das inspeções. Depois de inspecionado, o material segue para armazenagem.

Todo o material que chega a empresa necessita de um documento de espera que, em geral, é uma ordem de compra. A área de compras também faz a negociação com os fornecedores em relação ao envio de algum material no fluxo reverso.

A área determinada para a descaracterização de um material é a responsável por garantir que esse tenha sido destruído quando a disposição de sucata foi tomada. Essa área é também responsável pelo fluxo reverso de venda do material sucitado.

A área de logística gerencia o fluxo de materiais na entrada e também o fluxo reverso com destino aos fornecedores ou oficinas de reparo. Pelo quadro 5, podemos descartar alguns custos para efeito de modelagem, pois são idênticos a todos os processos.

Quadro 5. Incidência de custos por área e processo.

Processo	Area				
	Recebimento e inspeção	Compras	Descaracterização	Logística	
				Entrada	Reversa
1 - Subst. Em Garantia	*	*		*	*
2 - Reparo	*	*		*	*
3 - Venda como defeituoso	*	*		*	*
4- Sucata	*	*	*	*	

Dessa forma apenas os custos de logística reversa para os processos de reparo, substituição em garantia e venda como defeituoso como também os custos de descaracterização para o processo de sucata serão considerados.

Custos do Processo de Recuperação

Os custos, aqui considerados, são os custos diretamente relacionados aos processos e que variam de acordo com o item, são eles:

Tributos

O processo de sucata e de venda como defeituoso contêm a mesma incidência de tributos, isto é, aqueles que não foram recolhidos no ato da importação, já que foi uma importação Drawback, com suspensão de impostos. Esses tributos incidem pois o material fora importado para utilização no processo de industrialização de produto a exportar e, como nestes casos, os materiais não foram industrializados, os tributos a serem recolhidos são:

- Imposto de Importação (II);
- Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI);
- Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS);
- Adicional de Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM), aplicável somente ao modal marítimo.

As alíquotas desses tributos variam conforme o tipo do material, segundo sua classificação fiscal e também na Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), no caso do Imposto de Importação (II).

Para cálculo dos tributos, é necessária a verificação da maneira como o tributo incide sobre o valor. O II e o IPI incidem sobre o valor do produto e são calculados através da multiplicação do valor do produto pela alíquota do imposto (conhecido também como por fora). O ICMS encontra-se embutido no valor do produto e é calculado dividindo-se o preço pela unidade decrescida da alíquota (conhecido também como por dentro).

Outro fator verificado é a incidência dos tributos sobre o valor acrescido dos impostos (imposto sobre o imposto), pois o IPI incide sobre o II e o ICMS deve ser calculado sobre o valor acrescido do II e IPI. O AFRMM incide na forma de percentual sobre o frete da importação.

As fórmulas abaixo mostram os cálculos dos tributos:

$$\mathbf{II} = \text{valor do produto} \times \text{alíquota}$$

$$\mathbf{IPI} = (\text{valor do produto} + \mathbf{II}) \times \text{alíquota}$$

$$\mathbf{ICMS} = (\text{valor do produto} + \mathbf{II} + \mathbf{IPI}) \times \frac{\text{alíquota}}{1 - \text{alíquota}}$$

$$\mathbf{AFRMM} = \text{valor do frete} \times \text{alíquota}$$

Incide o recolhimento de PIS e COFINS na regularização de materiais importados sobre o regime especial de Drawback que não cumpriram as condições previstas no Ato Concessório de Drawback.

$$\mathbf{PIS} = (\text{valor do produto} + \mathbf{ICMS}) \times 0,0165$$

$$\mathbf{COFINS} = (\text{valor do produto} + \mathbf{ICMS}) \times 0,076$$

Ocorre, ainda, incidência de tributos sobre o material aplicado e serviços decorrentes do processo de reparo; Tais impostos não serão considerados porque não é possível prever o material a aplicar no reparo, a não ser os serviços, pois existem tabelas de preços fornecidas pelas oficinas reparadoras.

Os seguintes tributos são incidentes no processo de reparo:

$$\mathbf{PIS} = (\text{valor do serviço}) \times 0,0165 \quad \mathbf{COFINS} = (\text{valor do serviço}) \times 0,076$$

$$\mathbf{ISS} = (\text{valor do serviço}) \times 0,03$$

O CIDE e o IR encontram-se embutido no valor do produto e são calculados dividindo-se o preço pela unidade decrescida da alíquota (conhecido também como por dentro).

$$CIDE = (\text{valor do serviço}) \times \frac{0,10}{1-0,10} \quad \quad IR = (\text{valor do serviço}) \times \frac{0,15}{1-0,15}$$

Outros

No processo de sucata, devemos considerar o custo de uma nova compra e também com um valor negativo o valor da venda desse item como sucata por Kg.

No processo de reparo, o custo do conserto, fornecido pelas oficinas reparadoras, é também parcela do valor dos custos do processo.

No processo de venda como defeituoso, o valor pago pela empresa que compra o item é somado ao valor do custo do processo, mas com valor negativo, visto que é uma receita e não um custo. Dessa forma, o Custo Total (CT) ou de recuperação pode ser assim escrito:

$$CT = CVARIABLE + CFIXO$$

Custo Variável: $CVARIABLE = CEST + CATR$

$CEST$ = Custo de Estocagem

$CATR$ = Custo do Atraso

Custos Fixos: $CFIXO = CL + CI + CP$

CL = Custo Logístico

CI = Custo Interno

CP = Custo do Processo de Recuperação

Portanto, Custo Total ou de recuperação será:

$$CTotal = CEST + CATR + CL + CI + CP.$$

3.3. O Modelo Matemático

O problema abordado nesse trabalho consiste na decisão pelo processo menos custoso para recuperação do material não conforme. No caso dos processos de Sucata, Substituição em Garantia e Venda como defeituoso, a decisão é simples, não se preocupando com o tamanho da fila, apenas com os custos e o tempo de re-suprimento. A figura 13 esquematiza o problema.

Figura 13. Esquema do problema.

Os processos de Sucata, Substituição em Garantia e Venda não têm fila. Já para o processo de reparo, existe a fila na oficina reparadora e o tempo de recuperação é função dessa fila. O problema consiste em programar tarefas em máquinas com ciclos de recuperação diferentes, de forma a minimizar o custo de recuperação.

Com o intuito de reduzir e simplificar as dimensões do problema, algumas considerações foram feitas e, baseadas em Conway *et al.* (1967). As principais são:

- Qualquer máquina está sempre disponível para a execução de uma operação. Os tempos de quebra e de manutenção são desprezados;
- Ordens de serviço são seqüências estritamente ordenadas de operações sem partições ou montagens;
- Cada operação pode ser executada em qualquer única máquina no chão de fábrica;
- Não é permitida interrupção, isto é, uma vez que uma operação começou em uma máquina, ela não pode ser interrompida antes de ser processada integralmente;
- Cada máquina pode executar apenas uma operação por vez.

Consideramos o problema estático, ou seja, segundo Ramasesh (1990), todas as ordens estão presentes no momento da decisão. No mundo real temos um problema dinâmico que será resolvido como uma seqüência de problemas estáticos, periodicamente.

A seguir mostraremos a formulação do modelo matemático otimizante.

Índices:

i – Item

Material não conforme que será testado no modelo, diariamente são analisados aproximadamente 20 itens. $i=1, 2, 3, \dots, I$.

o – Destino nos processos de reparo, Substituição em Garantia e venda como defeituoso.

No processo de reparo, alguns materiais podem ser reparados em mais de uma oficina, assim serão consideradas várias oficinas para cada item. No processo de Substituição em Garantia, existe apenas um destino que é o fornecedor do item. No caso do processo de venda como defeituoso, os destinos são as mesmas oficinas que reparam. $o=1, 2, 3, \dots, O$.

r –Recurso

É o recurso da oficina que trabalhará com o item *i*. A somatória dos recursos $r_{(o)}$ é a capacidade na oficina *o*. Um recurso aloca somente 1 item por vez. $r_o = 1, 2, 3, \dots, R_{(o)}$.

s – Posição

É o índice de uma variável auxiliar que define a sequência de alocação do item *i* na oficina *o* utilizando o recurso *r*. *s* varia de 1 até o maior tamanho possível da fila $S_{(ro)}$ que é a quantidade de itens *i* que podem utilizar a oficina *o*. $s = 1, 2, 3, \dots, S_{(ro)}$

Dados de entrada:

Para este estudo todas as variáveis de tempo são calculadas em número de dias.

$CAt d_i$ – Penalidade diária do atraso do item *i* na produção.

CSG_i – Custo de o item *i* seguir pelo processo de Substituição em Garantia.

$CFRE_{io}$ – Custo fixo de o item *i* seguir pelo processo de Reparo, na oficina *o*.

CVE_{io} – Custo de o item *i* seguir pelo processo de Venda como defeituoso para o destino *o*.

CSU_i – Custo de o item *i* seguir pelo processo de Sucata.

$dane_i$ – Data de necessidade do item *i* na produção. É a folga total de *i*.

$LTREC_{io}$ – Tempo que o item i fica em processo no destino o .

p_i – Preço (US\$) de compra do item i .

$volta_{io}$ - Tempo que o item i leva para retornar do destino o , disponível para uso.

w – Taxa diária de oportunidade de capital.

Variáveis auxiliares:

$CATR_i$ – Custo do atraso, em relação à data de necessidade do item i na produção, quando o item i seguir o processo de Reparo.

$CEST_i$ – Custo de estocagem de o item i seguir o processo de Reparo.

Fim_{ors} – Disponibilidade de carga, dia em que a oficina o , e o recurso r estaria disponível para iniciar uma atividade alocada na posição s da fila.

$final_i$ – Quantidade em dias para recuperação do item i , variável inteira.

K_i . Caso exista atraso entre a data de recuperação ($final_i$) do item e sua data de necessidade ($dane_i$), este valor é repassado para a variável. Utilizada para linearizar o modelo.

$tvolta_i$ - Tempo que o item i leva para retornar do destino, disponível para uso.

Variáveis de decisão:

SG_i – Variável binária que assume os valores:

1 - Quando o item i é substituído em garantia.

0 - No caso contrário.

VE_{io} – Variável binária que assume os valores:

1 - Quando o item i é vendido para a oficina o .

0 - No caso contrário.

SU_i – Variável binária que assume os valores:

1 - Quando o item i é sucitado.

0 - No caso contrário.

RE_{iors} – Variável binária que assume os valores:

1 - Quando o item i é reparado na oficina o , no recurso r e na posição s da fila desse recurso.

0 - No caso contrário.

Função Objetivo:

A função é minimizar o CT (custo total). Custo total é o custo da recuperação do material não conforme i , que segue por um dos processos possíveis de recuperação.

$$\begin{aligned} \min CT = & + \sum_{i=1}^I SG_i * CSG_i + \sum_{i=1}^I \sum_o VE_{io} * CVE_{io} + \sum_{i=1}^I SU_i * CSU_i + \\ & + \sum_i^I \sum_o^O \sum_r^R \sum_s^S RE_{iors} * (CFRE_{io} + CEST_i + CATR_i) \end{aligned} \quad (1)$$

Onde: $CEST_i = p_i * w * (final_i + tvolta_i)$ e $CATR_i = Catd_i * K_i$

Substituindo CEST e CATR na equação (1) temos a Função objetivo, assim demonstrada:

$$\begin{aligned} \min CT = & + \sum_{i=1}^I SG_i * CSG_i + \sum_{i=1}^I \sum_o^O VE_{io} * CVE_{io} + \sum_{i=1}^I SU_i * CSU_i + \\ & + \sum_i^I RE_{iors} * CFRE_{io} + \left(\left[(final_i + tvolta_i) * w * p_i \right] + Catd_i * K_i \right) \end{aligned}$$

Para: $i=1,2,3,...I$; $o=1,2,3,...O$; $r=1,2,3...R$; $s=1,2,3...S$.

Restrições:

$$SU_i + SG_i + \sum_o^O VE_{io} + \sum_o^O \sum_r^R \sum_s^S RE_{iors} = 1 \quad i=1,2,3,...I; \quad (I)$$

$$\sum_i^I RE_{iors} \leq 1 \quad o=1,2,3,...O; \quad r=1,2,3...R; \quad s=1,2,3,...S; \quad (II)$$

$$\sum_i^I RE_{iors} \geq \sum_i^I RE_{ior(s+1)} \quad o=1,2,3,...O; \quad r=1,2,3,...R; \quad s=1,2,3,...(S-1); \quad (III)$$

$$Fim_{or,0} = 0 \quad o=1,2,3,...O; \quad r=1,2,3,...R; \quad (IV)$$

$$Fim_{ors} = Fim_{or(s-1)} + \sum_i^I (RE_{iors} * LTREC_{io}) \quad o=1,2,3,...O; \quad r=1,2,3,...R; \quad (V)$$

$$s=1,2,3,...S;$$

$$final_i \geq \sum_o^O \sum_r^R (RE_{ior1}) * LTREC_{io} \quad i=1,2,3,...I; \quad (VI)$$

$$final_i \geq \sum_o^O \sum_r^R \sum_s^S (RE_{iors} * Fim_{ors}) \quad \forall s > 1 \quad i=1,2,3,...I; \quad (VII)$$

$$tvolta_i \geq \sum_o^O \sum_r^R \sum_s^S (RE_{iors} * volta_{io}) \quad i=1,2,3,...I; \quad (VIII)$$

$$K_i \geq final_i + tvolta_i - \left[\left(\sum_o^O \sum_r^R \sum_s^S RE_{iors} \right) * dane_i \right] \quad i=1,2,3,...I; \quad (IX)$$

$$K_i \geq 0 \quad i=1,2,3,...I; \quad (X)$$

$$SG_i \in \{0,1\} \quad i=1,2,3,...I; \quad (XI)$$

$$VE_{io} \in \{0,1\} \quad i=1,2,3,...I; \quad o=1,2,3,...O; \quad (XII)$$

$$SU_i \in \{0,1\} \quad i=1,2,3,...I; \quad (XIII)$$

$$RE_{iors} \in \{0,1\} \quad i=1,2,3,...I; \quad o=1,2,3,...O; \quad r=1,2,3,...R; \quad s=1,2,3,...S; \quad (XIV)$$

A Função Objetivo, demonstrada na Equação (1), representa a soma do Custo total da recuperação de cada item. Como as variáveis de decisão são binárias, entram multiplicando o custo de cada processo escolhido, ou seja, quando o processo não for escolhido, a variável de decisão irá valer zero, resultando num custo total da parcela do item igual a zero.

O conjunto das restrições (I) garante que cada item seja alocado apenas uma vez já que a soma das variáveis de decisão para cada item vale 1, impedindo que exista mais de uma decisão por item.

Já o conjunto (II) faz com que uma posição s da fila na oficina o e recurso r tenha apenas um item alocado, pois a somatória de cada posição vale no máximo 1, em cada fila.

O conjunto de restrições (III), por sua vez, garante que não existam posições vazias entre itens na fila do recurso r da oficina o , ou seja, se um item é alocado na posição s , o seguinte sempre será alocado na posição $s+1$.

O instante em que uma posição s da fila de um recurso r e de uma oficina o finaliza um reparo é calculado pelo conjunto das restrições (IV) e (V). A primeira calcula o instante de término dos itens que estão alocados na primeira posição, e a segunda realiza este cálculo para as demais posições.

O instante de término de algum item i , alocado no processo de reparo é calculado pelas restrições (VI) e (VII).

As restrições de número (VIII) garantem que o ciclo do item i retornar da oficina o faça parte dos cálculos do custo de estocagem ($CEST_i$) apenas quando o item i tiver sido escolhido para ser reparado na oficina o .

Como apenas os itens que estão disponíveis para uso após a data de necessidade são punidos com o custo do atraso, esse é calculado da seguinte forma:

$$CATR_i = CAt d_i * Máximo \left[\left(\sum_s final_i + tvolta_i - dane_i \right); 0 \right]$$

O que não é uma função linear, assim as restrições (IX) e (X) tornam a parcela do problema linear já que K_i assume o valor do atraso quando houver. Assim o custo do atraso pode ser calculado como segue: $CATR_i = CAtd_i * K_i$

O conjunto de restrições (XI), (XII), (XIII) e (XIV), garantem que as variáveis de decisão sejam binárias.

3.4. Heurística proposta

Este capítulo apresenta a heurística proposta para a solução do problema abordado que é a decisão de qual processo os itens devem seguir. A heurística consiste de quatro sub-rotinas:

Rotina I – Redução do porte do problema com uso de limitantes;

Rotina II – Seqüenciamento preliminar dos itens nas oficinas de reparo;

Rotina III – Escolha da melhor oficina de reparo para alocação do item;

Rotina IV – Alocação final.

O relacionamento entre as rotinas está ilustrado na figura 14.

Figura 14. Relacionamento entre as rotinas do modelo heurístico.

Índices:***i* – Item**

Material não conforme que será testado no modelo. $i=1, 2, 3....I$.

***p* – Processo**

É o processo escolhido para destinação do material não conforme, sendo $p = 1,2,3,4$:

$p=1$ – Substituição em garantia (destino único);

$p=2$ – Reparo no destino o ;

$p=3$ – Venda para o destino o ;

$p=4$ – Sucata (destino único);

***o* – Destino**

Para o modelo os destinos do processo de reparo são múltiplos e distintos do processo de venda. $o_i = 1,2,3,..O$

***r* –Recurso**

É o recurso da oficina de reparo (destino) que trabalhará com o item i . A somatória dos recursos $r_{(o)}$ é a capacidade na oficina o . Um recurso aloca somente 1 item por vez.

$r_o = 1,2,3,..R$

Variáveis de decisão:

X_{ipo} – Variável binária que assume os valores:

1 - Quando o item i segue pelo processo p , com destino o .

0 - No caso contrário.

Dados de entrada:

$CAt d_i$ – Penalidade diária referente ao atraso do item i na produção.

$dane_i$ – Quantidade de dias entre hoje e a data de necessidade do item i na produção. É a folga total de i .

$LTREC_{io}$ – Tempo que o item i fica em processo no destino o .

p_i – Preço (US\$) de compra do item i .

$volta_{io}$ – Tempo que o item i leva para retornar do destino o , disponível para uso.

w – Taxa diária de oportunidade de capital.

Variáveis auxiliares:

$Atraso_i$ – Variável de cálculo do atraso do item i ser alocado na oficina e recurso em análise.

CF_{ipo} – Custo fixo de o item i , seguir pelo processo p com destino à oficina o .

$CVARMAX_{io}$ - Custo variável máximo do item i , ser reparado nas oficinas candidatas.

$CV_{i \rightarrow k}$ – Custo variável de recuperação do item i somado ao de recuperação do item k com o item i alocado antes do item k .

$CV_{k \rightarrow i}$ – Custo variável de recuperação do item i somado ao de recuperação do item k com o item k alocado antes do item i .

$Ctotal_{ipo}$ – Custo total de o item i ser recuperado pelo processo p , no destino o em análise.

$Vecon_j$ – Economia gerada ao item j , com a saída de um item anterior à j da fila de uma oficina em análise.

$vfim$ - Quantidade em dias para o término da recuperação do item em análise.

$Vganho$ – Economia total gerada nos demais itens, com a saída de um item da fila de uma oficina em análise.

vo - Código da oficina na qual o item está em análise para ser recuperado.

$vtot_o$ – Tempo total da fila da oficina o .

A seguir as rotinas de execução da heurística proposta:

Rotina I

A rotina I calcula o custo total para cada item em todos os processos e oficinas possíveis, assumindo-se que não existam filas no processo de reparo, ou seja, que todo item que chegar a uma oficina sempre terá um recurso disponível para executar o reparo. Na sequência faz a comparação dos itens, passíveis de reparo, com os demais processos, havendo algum processo diferente de reparo com custo total menor, escolhe esse outro processo para o item, pois ao considerarmos as filas os custos de reparo serão ainda maiores. Não havendo processo de reparo para esse item, escolher entre os demais processos o de menor custo total, colocando 1 na variável X_{ipo} . Para nos demais processos do mesmo item coloca-se 0 na variável X_{ipo} , identificando que o item está decidido. Com isso, a decisão realmente complicada, que é a de onde reparar, fica com sua dimensão reduzida.

Um conjunto de dados com os possíveis processos e destinos para cada item, é utilizado para este procedimento, Denotado $\{i, p, o\}$. Nesse conjunto estão os dados do item i , seus possíveis processos p , os destinos o , para esses processos, e os dados do relacionamento (i, o) .

Onde: $p=1$ – Substituição em garantia;

$p=2$ – Reparo no destino o ;

$p=3$ – Venda para o destino o ;

$p=4$ – Sucata;

Após isso, definem-se as variáveis de decisão X_{ipo} do item cujo destino foi decidido, colocando-se “1” no processo escolhido e “0” para os demais processos. Dessa maneira existe a possibilidade de diminuição do número de iterações de alocação dos mesmos nas oficinas, visto que alguns já poderão ser decididos nesse procedimento. A tabela 3 mostra a estrutura desse conjunto de dados antes da alocação dos itens pela rotina I.

Tabela 3. Conjunto de dados Dentrada $\{i,p,o\}$

Xipo	p	i	o	DANEi	VOLTAio	LTRECio	Pi	CAtdi	Cfipo
	2	18017675001	113334	103	14	28	12140,72	242,81	2961,00
	2	18017675001	274306	103	14	10	12140,72	242,81	12120,72
	4	18017675001	113334	103	14	160	12140,72	242,81	18493,00
	2	2171998554958	271029	76	8	120	421,27	8,43	439,00
	2	2171998554958	271556	76	30	25	421,27	8,43	449,00
	3	2171998554958	271556	76	30	100	421,27	8,43	741,00
	4	2171998554958	-	76	0	100	421,27	8,43	681,00
	2	2252004705550	280840	39	18	11	4,98	0,00	207,00
	2	2252004705550	66571	39	14	2	4,98	0,00	304,00
	4	2252004705550	-	39	0	100	4,98	0,00	35,00
	2	2563524794770	377483	13	30	29	2,00	0,00	273,00
	4	2563524794770	-	13	0	55	2,00	0,00	31,00
	2	29984821860A	113334	96	14	140	21198,67	423,97	12073,00
	4	29984821860A	113334	108	14	140	21198,67	423,97	32073,00
	2	3262658NC00634816	405268	65	16	11	25,02	0,03	388,00
	4	3262658NC00634816	-	65	0	220	25,02	0,03	30,00
	2	3651164379	113334	93	14	12	15950,27	319,01	1570,00
	2	3651164379	274182	63	14	32	15950,27	319,01	3807,00
	4	3651164379	-	103	0	120	565,64	11,31	3544,00
	2	3981826808263	281105	30	32	11	15,15	0,03	312,00
	4	3981826808263	-	30	0	100	15,15	0,03	49,00
	2	3998449720526	370229	125	15	63	167,02	0,17	204,00
	4	3998449720526	-	125	0	200	167,02	0,17	206,00
	2	4186860SN26922D1	339291	59	30	25	2345,05	46,90	1829,00
	2	4186860SN26922D1	339380	59	30	32	2345,05	46,90	1727,00
	3	4186860SN26922D1	339291	59	30	220	2345,05	46,90	3853,00
	4	4186860SN26922D1	-	59	0	220	2345,05	46,90	3990,00
	2	4281656727193	370229	6	15	63	31,49	0,03	204,00
	4	4281656727193	-	6	0	10	31,49	0,03	72,00
	2	4313449783449	274182	87	11	7	72,25	0,14	252,00
	4	4313449783449	-	87	0	140	72,25	0,14	122,00
	2	4795533553760	145591	62	9	10	2,69	0,00	207,00
	2	4795533553760	204206	62	13	6	2,69	0,00	247,00
	2	4795533553760	60088	62	15	3	2,69	0,00	400,00
	4	4795533553760	-	62	0	120	2,69	0,00	30,00
	2	5858486554253	113334	90	14	7	584,16	11,68	530,00
	2	5858486554253	274306	90	12	10	584,16	11,68	382,00
	3	5858486554253	113334	90	14	100	584,16	11,68	1152,00
	4	5858486554253	-	90	0	100	584,16	11,68	1011,00
	2	6973491649827	187820	31	20	6	20,15	0,02	220,00
	4	6973491649827	-	31	0	40	20,15	0,02	53,00
	2	6980369719981	370229	0	15	63	82,08	0,08	204,00
	4	6980369719981	-	0	0	10	82,08	0,08	126,00
	2	8461319795979	142648	82	9	5	3,40	0,00	225,00
	2	8461319795979	364749	82	15	8	3,40	0,00	336,00
	4	8461319795979	-	82	0	120	3,40	0,00	31,00
	2	9131260705832	364749	51	15	13	38,36	0,04	336,00
	2	9131260705832	75566	51	19	7	38,36	0,04	198,00
	4	9131260705832	-	51	0	100	38,36	0,04	82,00

No caso o item 4795533553760 tem a variável de decisão $Xipo = 1$ para processo $p=4$, pois o custo é menor que todos os processos sujeitos à fila, como ilustra a tabela 4, para os dados do conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$ da tabela 3, após a execução por completo da rotina I.

Tabela 4. Conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$, após execução da rotina I

Xipo	p	i	o	DANEi	VOLTAio	LTRECio	Pi	CAtDi	Cfipo	CTOTAL
	2	18017675001	113334	103	14	28	12140,72	242,81	2961,00	3184,52
	2	18017675001	274306	103	14	10	12140,72	242,81	12120,72	12248,45
	4	18017675001	113334	103	14	160	12140,72	242,81	18493,00	36658,53
	2	2171998554958	271029	76	8	120	421,27	8,43	439,00	901,00
	2	2171998554958	271556	76	30	25	421,27	8,43	449,00	459,16
	3	2171998554958	271556	76	30	100	421,27	8,43	741,00	1220,23
	4	2171998554958	-	76	0	100	421,27	8,43	681,00	901,79
0	2	2252004705550	280840	39	18	11	4,98	0,00	207,00	207,06
0	2	2252004705550	66571	39	14	2	4,98	0,00	304,00	304,03
1	4	2252004705550	-	39	0	100	4,98	0,00	35,00	35,22
0	2	2563524794770	377483	13	30	29	2,00	0,00	273,00	273,05
1	4	2563524794770	-	13	0	55	2,00	0,00	31,00	31,05
	2	29984821860A	113334	96	14	140	21198,67	423,97	12073,00	38094,32
	4	29984821860A	113334	108	14	140	21198,67	423,97	32073,00	53006,68
0	2	3262658NC00634816	405268	65	16	11	25,02	0,03	388,00	388,30
1	4	3262658NC00634816	-	65	0	220	25,02	0,03	30,00	37,06
	2	36501164379	113334	93	14	12	15950,27	319,01	1570,00	1751,79
	2	36501164379	274182	63	14	32	15950,27	319,01	3807,00	4128,63
	4	36501164379	-	103	0	120	565,64	11,31	3544,00	3766,02
0	2	3981826808263	281105	30	32	11	15,15	0,03	312,00	312,68
1	4	3981826808263	-	30	0	100	15,15	0,03	49,00	51,76
	2	3998449720526	370229	125	15	63	167,02	0,17	204,00	209,71
	4	3998449720526	-	125	0	200	167,02	0,17	206,00	233,39
	2	4186860SN26922D1	339291	59	30	25	2345,05	46,90	1829,00	1885,54
	2	4186860SN26922D1	339380	59	30	32	2345,05	46,90	1727,00	1931,43
	3	4186860SN26922D1	339291	59	30	220	2345,05	46,90	3853,00	13067,89
	4	4186860SN26922D1	-	59	0	220	2345,05	46,90	3990,00	11767,05
0	2	4281656727193	370229	6	15	63	31,49	0,03	204,00	207,24
1	4	4281656727193	-	6	0	10	31,49	0,03	72,00	72,26
0	2	4313449783449	274182	87	11	7	72,25	0,14	252,00	252,57
1	4	4313449783449	-	87	0	140	72,25	0,14	122,00	133,85
0	2	4795533553760	145591	62	9	10	2,69	0,00	207,00	207,02
0	2	4795533553760	204206	62	13	6	2,69	0,00	247,00	247,02
0	2	4795533553760	60088	62	15	3	2,69	0,00	400,00	400,02
1	4	4795533553760	-	62	0	120	2,69	0,00	30,00	30,14
	2	5858486554253	113334	90	14	7	584,16	11,68	530,00	535,38
	2	5858486554253	274306	90	12	10	584,16	11,68	382,00	387,63
	3	5858486554253	113334	90	14	100	584,16	11,68	1152,00	1461,51
	4	5858486554253	-	90	0	100	584,16	11,68	1011,00	1153,41
0	2	6973491649827	187820	31	20	6	20,15	0,02	220,00	220,23
1	4	6973491649827	-	31	0	40	20,15	0,02	53,00	53,53
0	2	6980369719981	370229	0	15	63	82,08	0,08	204,00	213,05
1	4	6980369719981	-	0	0	10	82,08	0,08	126,00	127,16
0	2	8461319795979	142648	82	9	5	3,40	0,00	225,00	225,02
0	2	8461319795979	364749	82	15	8	3,40	0,00	336,00	336,03
1	4	8461319795979	-	82	0	120	3,40	0,00	31,00	31,18
0	2	9131260705832	364749	51	15	13	38,36	0,04	336,00	336,47
0	2	9131260705832	75566	51	19	7	38,36	0,04	198,00	198,44
1	4	9131260705832	-	51	0	100	38,36	0,04	82,00	85,64

Rotina II

Este procedimento consiste em escolher a melhor sequência dos itens para cada oficina, supondo que ela executasse todos os reparos para os quais ela é qualificada. Copiando os registros de Dentrada $\{i,p,o\}$, para $p=2$ (reparo) e ainda não alocados, $Xipo=" "$, cria-se a matriz $U\{i,o\}$ onde estão as informações do item, as oficinas candidatas a destino para sua recuperação e as informações do par (i,o) .

Calcula-se o custo variável máximo $CVARMAX_{io}$ para cada par (i,o) , esse é calculado assumindo-se que o item i fosse o último item da fila da oficina o .

$$CVARMAX_{io} = [MAX(vtot_o + volta_{io} - dane_i, 0) * CAtd_i] + \\ + [(vtot_o + volta_{io}) * w * p_i]$$

$$onde : \quad vtot_o = \sum_i LTREC_{io}$$

Em que $vtot_o$ para cada o é o tempo máximo de fila da oficina o . Para cada oficina que tem uma sequência de itens a serem distribuídos, o item com maior custo variável será o primeiro, temos assim o conjunto $U\{i,o\}$ após $CVARMAX_{io}$ calculado, representado na tabela 5.

Tabela 5. Exemplo do conjunto de dados $U\{i,o\}$.

i	o	DANEi	VOLTAio	LTRECio	Pi	CAtdi	Cfipo	CVARMAXi	CTOTAL
29984821860A	113334	96	14	140	21198,67	423,97	12073,00	46384,66	38094,32
36501164379	113334	93	14	12	15950,27	319,01	1570,00	35858,45	1751,79
18017675001	113334	103	14	28	12140,72	242,81	2961,00	24865,09	3184,52
5858486554253	113334	90	14	7	584,16	11,68	530,00	1347,95	535,38
2171998554958	271029	76	8	120	421,27	8,43	439,00	462,00	901,00
2171998554958	271556	76	30	25	421,27	8,43	449,00	10,16	459,16
36501164379	274182	63	14	32	15950,27	319,01	3807,00	321,63	4128,63
18017675001	274306	103	14	10	12140,72	242,81	12120,72	180,95	12248,45
5858486554253	274306	90	12	10	584,16	11,68	382,00	8,19	387,63
4186860SN26922D1	339291	59	30	25	2345,05	46,90	1829,00	56,54	1885,54
4186860SN26922D1	339380	59	30	32	2345,05	46,90	1727,00	204,43	1931,43
3998449720526	370229	125	15	63	167,02	0,17	204,00	5,71	209,71

vtot **133334:** **187**
 274306: **20**

Feito isso, calcula-se o custo variável ($CV_{i \rightarrow k}$) alocando se um item i antes do seu seguinte item k e o custo variável ($CV_{k \rightarrow i}$) com as posições invertidas, isto é o item k antes do item i .

Aloca-se então o primeiro item do par de menor custo total na matriz $S\{i,o\}$, remova esse registro do conjunto $U\{i,o\}$ e volte ao início desse conjunto. Repetir esse procedimento até que o conjunto $U\{i,o\}$ esteja vazio.

Após essa execução, calcular os custos de oportunidade e atraso para toda a matriz $S\{i,o\}$ e seguir para a **Rotina III**. A figura 15 ilustra o algoritmo da rotina II.

Figura 15. Algoritmo resumido da Rotina II.

Onde:

$$\begin{aligned}
 CV_{(i+k)} = & \left(\text{custo falta} \right)_i + \left(\text{custo falta} \right)_k + \\
 & + \left(\text{custo oportunidade} \right)_i + \left(\text{custo oportunidade} \right)_k
 \end{aligned}$$

Assim, alocando-se i antes de k , temos:

$$\begin{aligned}
 CV_{i- > k} = & \left[(vfm + LTREC_{io} + volta_{io}) * w * p_i \right] + \\
 & + \left[(vfm + LTREC_{io} + LTREC_{ko} + volta_{ko}) * w * p_k \right] + \\
 & + \left[MAX(vfm + LTREC_{io} + volta_{io} - dane_i; 0) * CAt d_i \right] + \\
 & + \left[MAX(vfm + LTREC_{io} + LTREC_{ko} + volta_{ko} - dane_k; 0) * CAt d_k \right]
 \end{aligned}$$

E, alocando-se k antes de i , temos:

$$\begin{aligned}
 CV_{k- > i} = & \left[(vfm + LTREC_{ko} + volta_{ko}) * w * p_k \right] + \\
 & + \left[(vfm + LTREC_{ko} + LTREC_{io} + volta_{io}) * w * p_i \right] + \\
 & + \left[MAX(vfm + LTREC_{ko} + volta_{ko} - dane_k; 0) * CAt d_k \right] + \\
 & + \left[MAX(vfm + LTREC_{ko} + LTREC_{io} + volta_{io} - dane_i; 0) * CAt d_i \right]
 \end{aligned}$$

A tabela 6 ilustra a fila para cada oficina, utilizando-se os dados da tabela 6 como entrada, após a execução da rotina II.

Tabela 6. Matriz $S\{i,o\}$, da melhor seqüência nas oficinas.

i	o	LTRECio	DANEi	VOLTAio	TERMINOio	ATRASOio	Pi	CAt di	Cfipo	CTOTAL
36501164379	113334	12	93	14	12	0	15950,27	319,01	1570,00	1751,79
18017675001	113334	28	103	14	40	0	12140,72	242,81	2961,00	3248,39
29984821860A	113334	140	96	14	180	98	21198,67	423,97	12073,00	55424,82
5858486554253	113334	7	90	14	187	111	584,16	11,68	530,00	1877,95
2171998554958	271029	120	76	8	120	52	421,27	8,43	439,00	901,00
2171998554958	271556	25	76	30	25	0	421,27	8,43	449,00	459,16
36501164379	274182	32	63	14	32	0	15950,27	319,01	3807,00	4128,63
18017675001	274306	10	103	14	10	0	12140,72	242,81	12120,72	12248,45
5858486554253	274306	10	90	12	20	0	584,16	11,68	382,00	390,19
4186860SN26922D1	339291	25	59	30	25	0	2345,05	46,90	1829,00	1885,54
4186860SN26922D1	339380	32	59	30	32	3	2345,05	46,90	1727,00	1931,43
3998449720526	370229	63	125	15	63	0	167,02	0,17	204,00	209,71

Rotina III

Este procedimento consiste em escolher, para cada item com mais do que uma oficina candidata na matriz $S\{i,o\}$ a melhor oficina na qual será processado, tendo como critério aquela em que sua permanência gera maior ganho. Isso se dá calculando-se o ganho gerado nas filas das oficinas candidatas com a retirada do item em estudo.

Escolhida a oficina, retorna à matriz $Dentrada\{i,p,o\}$ e coloca “0” no campo *Xipo* para as demais oficinas candidatas à reparar esse item, de forma que apenas a oficina escolhida permaneça como candidata e retorna-se à rotina II. O processo iterativo termina quando todos os itens tiverem apenas uma oficina candidata para alocar.

Na medida em que um item i é removido da fila, todos os itens alocados após esse terão seu encerramento adiantado em $LTREC_{io}$, gerando economia para todos os itens alocados na sua sequência, como ilustrado na figura 16.

Essa economia é calculada, para cada item j alocado após i , como segue:

$$Vecon_j = [MÍN(atraso_j; LTREC_{io}) * Catd_j] + (p_j * LTREC_{io} * w)$$

Figura 16. Comparativo de custos variáveis com a retirada de um item da fila da oficina

Para isso é criada uma sequência auxiliar, $SAUX\{i,o\}$, onde serão guardadas as economias geradas para cada par item/oficina.

A figura 18 ilustra o algoritmo da rotina III.

Figura 17. Algoritmo resumido da Rotina III

A tabela 7 ilustra os dados da tabela 6 após a primeira iteração, onde é possível verificar que a retirada do item 5858486554253 da fila da oficina 274306 gera o menor ganho, dessa maneira ele deve permanecer alocado nessa oficina. Dessa maneira a rotina elimina todas as outras oficinas candidatas para esse item do conjunto de dados $Dentrada\{i,p,o\}$, permanecendo apenas a 274306.

Tabela 7. Conjunto de dados $SAUX\{i,o\}$, após a primeira iteração.

i	o	LTRECio	TERMINOio	GANHO	Pi	CTOTAL
5858486554253	274306	10	20	390,19	584,16	390,19
2171998554958	271556	25	25	459,16	421,27	459,16
2171998554958	271029	120	120	901,00	421,27	901,00
5858486554253	113334	7	187	1877,95	584,16	1877,95
4186860SN26922D1	339291	25	25	1885,54	2345,05	1885,54
4186860SN26922D1	339380	32	32	1931,43	2345,05	1931,43
36501164379	274182	32	32	4128,63	15950,27	4128,63
36501164379	113334	12	12	7158,04	15950,27	1751,79
18017675001	274306	10	10	12251,01	12140,72	12248,45
18017675001	113334	28	40	15713,95	12140,72	3248,39

Rotina IV

Este procedimento consiste da escolha, para cada item não alocado no conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$, o processo de menor custo total. Isto é feito selecionando-se os registros que o campo *Xipo* é igual a vazio e comparando-se dentre eles o custo de cada processo possível para cada item, selecionando-se o menor. Selecionado um registro, preenche-se o campo *Xipo* com valor “1” e os demais registros do mesmo item com valor “0”.

Por fim, calcular o custo total do processamento:

$$Ctotal = \sum_i^I \sum_p^P \sum_o^O Xipo * CTotal_{ipo}$$

A tabela 8 ilustra o resultado final, dos dados Dentrada $\{i,p,o\}$ após o processamento heurístico.

Tabela 8. Conjunto Dentrada $\{i,p,o\}$, após a execução dos procedimentos heurísticos.

Xipo	p	i	o	DANEi	VOLTAio	LTRECio	CTOTALipo	Fim processo	Disponivel
1	2	18017675001	274306	103	14	10	12248,45	10	24
1	2	2171998554958	271556	76	30	25	459,16	25	55
1	4	2252004705550	-	39	0	100	35,22	100	100
1	4	2563524794770	-	13	0	55	31,05	55	55
1	2	29984821860A	113334	96	14	140	38094,32	140	154
1	4	3262658NC00634816	-	65	0	220	37,06	220	220
1	4	36501164379	-	103	0	120	3766,02	120	120
1	4	3981826808263	-	30	0	100	51,76	100	100
1	2	3998449720526	370229	125	15	63	209,71	63	78
1	2	4186860SN26922D1	339291	59	30	25	1885,54	25	55
1	4	4281656727193	-	6	0	10	72,26	10	10
1	4	4313449783449	-	87	0	140	133,85	140	140
1	4	4795533553760	-	62	0	120	30,14	120	120
1	2	5858486554253	274306	90	12	10	390,19	20	32
1	4	6973491649827	-	31	0	40	53,53	40	40
1	4	6980369719981	-	0	0	10	127,16	10	10
1	4	8461319795979	-	82	0	120	31,18	120	120
1	4	9131260705832	-	51	0	100	85,64	100	100

\$57.742,24

4. TESTES

Neste capítulo apresentam-se os experimentos computacionais realizados com a finalidade de avaliar o desempenho da heurística proposta.

4.1. Geração do conjunto de testes

Para a execução dos experimentos computacionais utilizaram-se dados reais obtidos do histórico de dados de não conformidade e reparo da empresa estudada.

Partindo de uma base histórica de 9025 peças não conformes, que chegaram para análise num período de 16 meses foram gerados 420 conjuntos de dados, um para cada dia de chegada, que foram testados. Desprezou-se 2% dos testes, como ilustra a figura 18, e os conjuntos de testes tiveram em média 20 itens cada um, o limite inferior é de 1 item e o superior de 238 itens identificados como não conformes num dia, ou seja, variando de 1 a 238 itens por execução.

Figura 18. Dispersão da quantidade de itens por teste, para 98% dos testes executados.

Para cada item, os 4 processos foram analisados sendo que, no processo de reparo, cada item teve em média 4 destinos, cada qual com 3 recursos em média, porém podendo chegar até 65 recursos cada. Com os demais processos, foram geradas em média 449 possibilidades para análise por dia, ou seja, em média 449 variáveis de decisão por teste, conforme ilustra a figura 19. A menor amostra teve 4 variáveis de decisão e a maior teve 7193 variáveis de decisão.

Figura 19. Dispersão da quantidade de variáveis de decisão por teste.

Desprezando-se 2% dos testes, como ilustra a figura 20, o limite inferior passa a 12 variáveis de decisão, o superior a 1732 variáveis e a média baixa para 401 variáveis de decisão por teste.

Figura 20. Dispersão da quantidade de variáveis de decisão por teste, para 98% dos testes.

As variáveis de decisão, distribuídas por processo, tiveram o perfil ilustrado pela figura 21, onde é possível notar que, a maioria dos processos está sujeita a reparo.

Figura 21. Distribuição das variáveis de decisão por processo, para os 420 testes.

4.2. Resultados computacionais

4.2.1. Desempenho do modelo otimizante

A execução dos 420 testes ocorreu em uma máquina com processador Pentium IV com CPU de 2.0 GHz e 256 MB de RAM. Algumas execuções com o *software* What's Best 7.0, versão comercial utilizada, foram feitas. Abaixo o exemplo de uma execução que foi realizada para 34 itens, gerando 191 variáveis de decisão binárias.

O execução demorou 3 horas, 53 minutos e 46 segundos. Os recursos de software utilizados e o tempo de processamento estão demonstrados no quadro 6, onde é possível verificar que os recursos do software serão facilmente ultrapassados, já que o número de variáveis utilizadas está próximo do valor máximo comportado pela versão.

Quadro 6. Resumo da execução do modelo teórico desenvolvido em What's best 7.0.

CLASSIFICATION STATISTICS	Current /	Maximum
Numeric	2332 /	10000
Adjustable	228 /	2000
Constraints	137 /	1000
Integers	191 /	200
Optimizable	987	
Nonlinear	200 /	200
Coefficients	2064	
Best integer value: 498232.2 @ 1843343 tries.		
Theoretical limit: 498232.2		
Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.		
Optimality Cond: SATISFIED.		
Solution Time: 3 Hours 53 Minutes 46 Seconds		
End of report.		

Para testarmos o modelo otimizante, foram feitas 16 execuções com os mesmos dados gerados para o modelo heurístico. Em quatro delas, o modelo otimizante não pôde concluir a execução, pois os limites da versão foram ultrapassados. Nas demais doze execuções o tempo variou de 1 segundo até 6 horas, 44 minutos e 20 segundos, conforme ilustra a tabela 9.

Tabela 9. Tempos de execução dos testes do modelo otimizante.

Número do Teste	Tempo de Execução em horas		Dimensões dos testes			Variáveis de decisão				
	Otimizante	Heurística	Total de itens	Total de Oficinas	Fila Máxima	Reparo	Sucata	Subst. Garantia	Venda	Total
20040130a	*****	0:00:12	34	7	16	295	34	0	18	347
20040126a	*****	0:00:05	17	6	8	190	17	1	0	208
20031017a	*****	0:00:06	40	8	8	292	40	2	3	337
20030807a	*****	0:00:12	24	10	8	260	24	12	15	311
20031121a	6:44:20	0:00:12	20	7	8	125	20	1	17	163
20030930a	4:47:31	0:00:10	16	15	5	72	16	8	12	108
20040210a	1:39:10	0:00:09	15	10	4	65	15	0	7	87
20030203a	1:18:58	0:00:08	22	15	6	106	22	7	10	145
20031114a	0:18:35	0:00:06	16	5	9	156	16	1	5	178
20031226a	0:02:21	0:00:07	10	6	4	50	10	0	6	66
20030825a	0:02:16	0:00:07	34	12	8	150	34	3	4	191
20030509a	0:00:57	0:00:07	20	12	7	71	20	3	1	95
20040117a	0:00:57	0:00:09	2	3	2	9	2	0	3	14
20030129a	0:00:12	0:00:10	8	10	3	31	8	3	7	49
20040331a	0:00:07	0:00:07	17	24	3	45	19	0	4	68
20040517a	0:00:01	0:00:05	10	15	1	16	9	0	0	25

Esses resultados confirmam a dificuldade do problema, o qual é um “*NP-hard*” e, geralmente abordado através de heurísticas. As técnicas de resolução matemática sofrem uma limitação computacional para encontrar soluções exatas ótimas para problemas da natureza do de programação de grande dimensão. Devido a estas características, pode-se dizer que a aplicação destas técnicas está restrita a problemas de reduzida dimensão.

4.2.2. Desempenho do modelo heurístico

A execução dos testes ocorreu em uma máquina com processador Pentium IV com CPU de 2.0 GHz e 256 MB de RAM.

O tempo de execução dos 420 testes variou entre 1 segundo até 57 minutos e 9 segundos, com uma média de 29 segundos por teste. Desprezando-se 2% dos testes o tempo de execução variou entre 5 segundos e 2 minutos e 34 segundos com uma média de 16 segundos, como mostra o gráfico da figura 22.

Figura 22. Dispersão do tempo de execução dos testes, para 98% das execuções.

Analisando os dados com maior número de variáveis de decisão e demonstrados na tabela 10, verifica-se existir uma dispersão muito grande nos tempos de execução em função da quantidade de variáveis de decisão. Existem testes com 1628 variáveis de decisão que levaram 1 minuto e 53 segundos e testes com 1732 variáveis que levaram apenas 8 segundos.

Isto se deu porque após a execução da rotina I houve uma simplificação do modelo, fazendo com que o tamanho máximo da fila a ser analisada nas demais rotinas diminuísse, simplificando e diminuindo também a quantidade de variáveis de decisão e iterações.

A rotina I foi responsável pela tomada de decisão, de pelo menos um item, para 67% dos testes como mostra o gráfico da figura 23. O gráfico da figura 24 mostra que para esses 67% dos testes o tamanho da fila reduziu em média 44%, para 98% dos testes.

Tabela 10. Amostra do conjunto de dados testados, para os testes que tiveram o maior número de variáveis de decisão.

Data Teste	Tempo Execução (seg)	Fila máxima	Fila máxima após Rotina I	Total de itens	Itens sujeitos a fila	Variáveis de decisão por processo				
						Venda	Reparo	Substit. Garantia	Sucata	Total
20031015	3429,0	100,0	93,0	124	116	4	7058	7	124	7193
20031014	1127,0	60,0	53,0	81	81	14	4340	17	81	4452
20030909	650,0	48,0	48,0	73	73	55	2811	18	73	2957
20031002	416,0	34,0	33,0	56	54	2	2362	4	56	2424
20031017	236,0	32,0	32,0	40	40	2	2204	3	40	2249
20040629	8,0	63,0	2,0	238	12		1491	3	238	1732
20031010	113,0	17,0	8,0	38	30	2	1571	17	38	1628
20030829	125,0	18,0	13,0	41	34	3	1492	17	41	1553
20030113	154,0	16,0	15,0	41	39	22	1418	23	41	1504
20040416	67,0	51,0	11,0	174	50		1284	5	174	1463
20030109	123,0	21,0	21,0	52	48	20	1291	20	52	1383
20030425	102,0	11,0	7,0	43	39	8	1285	26	43	1362
20030805	116,0	24,0	24,0	37	36	1	1233	34	37	1305
20030901	90,0	17,0	17,0	31	30		1226	1	31	1258
20030514	64,0	10,0	7,0	36	26	9	1187	21	36	1253
20030925	49,0	16,0	9,0	34	25	4	1183	4	34	1225
20031009	45,0	15,0	8,0	30	22	5	1159	9	30	1203
20030131	48,0	10,0	6,0	32	27	7	1111	11	32	1161
20040304	42,0	13,0	6,0	30	19		1087	5	30	1122
20030513	99,0	10,0	7,0	40	39	10	1009	31	40	1090

Testes com pelo menos uma decisão tomada na rotina I

Figura 23. Distribuição dos testes com, pelo menos, uma decisão tomada pela rotina I e dos testes decididos pelas demais rotinas.

Figura 24. Dispersão da redução média do tamanho máximo da fila máxima após execução da rotina I, para 98% dos testes.

O número de iterações nas demais rotinas é função do tamanho máximo da fila após a execução da rotina I. A figura 25 mostra que o tempo de execução cresce à medida que o tamanho máximo da fila também cresce.

Figura 25. Variação do tempo de execução dos testes em função do tamanho máximo das filas após a execução da rotina I.

4.3. Resultados qualitativos

Neste trabalho resolvemos um problema de minimização do atraso em máquinas paralelas que tem como objetivo a minimização de custos. O modelo determina o destino para o material não conforme e, sendo ele reparo, qual oficina irá realizar o conserto.

O resultado gerado pela solução heurística foi comparado ao histórico de decisões tomadas pela empresa estudada, histórico que também serviu como base para a geração dos dados de testes. A seguir, apresentam-se as tabelas e gráficos mostrando os resultados obtidos pela heurística e comparados ao histórico de não conformidades da empresa estudada.

A tabela 11 mostra uma amostra dos dados obtidos após a execução heurística e compara o custo total das duas metodologias, o cálculo do modelo Heurístico e o real histórico. Foi executado um teste para cada data da amostra de dados.

A tabela 12 mostra para a amostra dos dados da tabela 11, a equivalência entre as decisões tomadas, independentemente do custo, onde para cada execução são comparados quantos itens tiveram a mesma escolha por processo, entre o modelo heurístico e o histórico, como também quantos tiveram além do mesmo processo a mesma oficina escolhida. Os campos das tabelas são explicados a seguir:

Data Teste é a data real do arquivo histórico onde a não conformidade ocorreu, neste trabalho ele representa o número do teste;

Tempo Execução foi o tempo em segundos, gasto para a execução do teste;

Total de itens é a quantidade de itens do teste;

Custo total Histórico é o custo total histórico gasto pela empresa;

Proposta Heurística é o custo total calculado pelo modelo heurístico;

Individual Heurística melhor é a quantidade de itens onde o custo individual, de cada item dentro de um conjunto testado calculado pelo modelo heurístico, foi inferior ao custo real histórico;

% Individual Heurística melhor é o percentual de itens onde o custo individual calculado pelo modelo heurístico foi inferior ao custo real histórico;

Total Heurística melhor vale “Sim” quando o custo total da proposta Heurística é inferior ao histórico e “Não” no caso contrário.

Tabela 11. Amostra comparativa entre os custos calculados pelo modelo heurístico e o real histórico.

Data Teste	Qtde de itens	Custo Total		Custo - Heurística x Histórico		
		Histórico	Proposta Heurística	Individual Heurística Melhor	% Individual Heurística Melhor	Total Heurística Melhor
20031015	124	1.032.749	847.837	43	34,7%	Sim
20031014	81	684.505	489.099	27	33,3%	Sim
20030909	73	389.031	408.554	17	23,3%	Não
20031002	56	438.957	345.746	44	78,6%	Sim
20031017	40	277.742	387.230	20	50,0%	Não
20040629	238	82.471	37.580	30	12,6%	Sim
20031010	38	794.061	475.224	30	78,9%	Sim
20030829	41	287.028	275.862	24	58,5%	Sim
20030113	41	829.456	533.838	27	65,9%	Sim
20040416	174	1.806.472	1.700.028	59	33,9%	Sim
20030109	52	466.528	215.419	37	71,2%	Sim
20030425	43	674.261	446.884	23	53,5%	Sim
20030805	37	375.772	151.779	26	70,3%	Sim
20030901	31	3.077.657	2.210.133	22	71,0%	Sim
20030514	36	553.853	276.638	31	86,1%	Sim
20030925	34	547.645	477.031	24	70,6%	Sim
20031009	30	412.107	283.349	23	76,7%	Sim
20030131	32	360.343	214.121	22	68,8%	Sim
20040304	30	313.099	168.335	18	60,0%	Sim
20030513	40	513.544	263.592	29	72,5%	Sim

Tabela 12. Amostra comparativa da equivalência entre as decisões tomadas pelo modelo heurístico e o real histórico.

Data Teste	Total de itens	Custo Total		Custo - Heurística x Histórico			Igualdade entre as decisões	
		Histórico	Proposta Heurística	Individual Heurística Melhor	% Individual Heurística Melhor	Total Heurística Melhor	Processos iguais	Processos e Oficinas iguais
20031015	124	1.032.749	847.837	43	34,7%	Sim	92,7%	90,3%
20031014	81	684.505	489.099	27	33,3%	Sim	92,6%	79,0%
20030909	73	389.031	408.554	17	23,3%	Não	98,6%	0,9
20031002	56	438.957	345.746	44	78,6%	Sim	96,4%	94,6%
20031017	40	277.742	387.230	20	50,0%	Não	100,0%	95,0%
20040629	238	82.471	37.580	30	12,6%	Sim	95,0%	0,0%
20031010	38	794.061	475.224	30	78,9%	Sim	78,9%	50,0%
20030829	41	287.028	275.862	24	58,5%	Sim	82,9%	70,7%
20030113	41	829.456	533.838	27	65,9%	Sim	92,7%	48,8%
20040416	174	1.806.472	1.700.028	59	33,9%	Sim	73,0%	1,7%
20030109	52	466.528	215.419	37	71,2%	Sim	88,5%	57,7%
20030425	43	674.261	446.884	23	53,5%	Sim	79,1%	58,1%
20030805	37	375.772	151.779	26	70,3%	Sim	97,3%	24,3%
20030901	31	3.077.657	2.210.133	22	71,0%	Sim	96,8%	93,5%
20030514	36	553.853	276.638	31	86,1%	Sim	72,2%	47,2%
20030925	34	547.645	477.031	24	70,6%	Sim	70,6%	64,7%
20031009	30	412.107	283.349	23	76,7%	Sim	70,0%	60,0%
20030131	32	360.343	214.121	22	68,8%	Sim	78,1%	65,6%
20040304	30	313.099	168.335	18	60,0%	Sim	66,7%	26,7%
20030513	40	513.544	263.592	29	72,5%	Sim	95,0%	70,0%

O gráfico da figura 26 mostra que em 53% dos 9025 itens analisados, durante todos os testes, o custo individual do modelo heurístico foi melhor que o real histórico.

Figura 26. Distribuição do melhor custo individual entre o modelo heurístico e o histórico analisado.

Já no caso do custo total, em 80% dos testes o procedimento heurístico teve um custo total melhor que o histórico, atingindo o objetivo que é a redução do custo total, como mostra o gráfico da figura 27.

Figura 27. Distribuição do melhor custo total por teste entre o modelo heurístico e o histórico.

Nos casos em que o Custo Total do modelo Heurístico foi melhor que o histórico esse Custo Total foi em média 42% melhor que o histórico, com um intervalo de confiança de 98%, como mostra a figura 28.

Figura 28. Dispersão da melhora % do custo total calculado pelo modelo Heurístico em relação ao custo total histórico, num intervalo de confiança de 98%.

O modelo otimizante, em 100% das execuções, teve um custo total inferior ao modelo heurístico, onde a diferença percentual variou de 0 a 37,5%, conforme ilustra a tabela 13.

Tabela 13. Comparativo entre o custo total calculado pelos modelos otimizante e heurístico, para os testes onde o modelo otimizante finalizou a execução.

Número do Teste	Tempo de Execução em horas		Custo Total		% Otimizante melhor
	Otimizante	Heurística	Otimizante	Proposta Heurística	
20031121a	6:44:20	0:00:12	58.071	60.481	4,0%
20030930a	4:47:31	0:00:10	456.323	457.511	0,3%
20040210a	1:39:10	0:00:09	183.401	194.079	5,5%
20030203a	1:18:58	0:00:08	139.660	171.860	18,7%
20031114a	0:18:35	0:00:06	320.820	475.437	32,5%
20031226a	0:02:21	0:00:07	37.787	55.684	32,1%
20030825a	0:02:16	0:00:07	1.137.650	1.589.931	28,4%
20030509a	0:00:57	0:00:07	243.302	248.350	2,0%
20040117a	0:00:57	0:00:09	5.560	5.577	0,3%
20030129a	0:00:12	0:00:10	89.932	143.952	37,5%
20040331a	0:00:07	0:00:07	8.816	8.816	0,0%
20040517a	0:00:01	0:00:05	2.777	2.777	0,0%

Em média, 82% das decisões de processo, são equivalentes às decisões escolhidas pela empresa estudada. Analisando as decisões em conjunto de processo e oficinas, a média baixa para 51% das decisões, esses valores, desprezando-se 2% dos testes, estão ilustrados nas figuras 29 e 30.

Figura 29. Dispersão e média de igualdade entre as decisões de processo entre o modelo heurístico e o histórico, para 98% dos testes.

Figura 30. Dispersão e média de igualdade entre as decisões de processo e oficinas entre o modelo heurístico e o histórico, para 98% dos testes.

5. CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi desenvolver uma heurística para determinação do destino do material não conforme que tem como objetivo a minimização de custos.

Analisando os dados apresentados no capítulo anterior verifica-se que os testes gerados foram testes complexos que chegaram a envolver 7193 variáveis de decisão em um único teste.

O desempenho em tempo do modelo heurístico é muito bom, pois seus tempos de execução são relativamente baixos, com a média inferior a 16 segundos por teste em 98% dos casos, o que é certamente muito inferior aos modelos otimizantes.

Acreditamos que esse desempenho tenha sido bastante auxiliado pela rotina I que, com uso de limitantes, reduziu o porte do problema em 33% dos testes, diminuindo o tamanho máximo da fila em 44% em média, mostrando-se eficiente.

Os resultados de minimização dos custos, que era o principal objetivo do trabalho, mostraram a eficiência do modelo. Em 80% dos testes, teve um custo total estimado inferior à referência utilizada apesar dos custos individuais terem sido diferentes e mesmo maiores em alguns casos, confirmando que a busca pelo menor custo total, função objetivo do modelo, foi importante. Comparando-se os resultados entre os modelos o otimizante foi em 100% dos testes melhor, porém seu desempenho inviável. Dessa forma, existe espaço para melhoria da heurística proposta. Salientamos que o cálculo dos custos teve a mesma base em todos os modelos avaliados.

Outro ponto interessante do modelo heurístico é a taxa de igualdade de 51% entre as decisões tomadas pelo modelo heurístico em relação ao histórico, considerando-se todas as decisões de todos os testes.

Com esse tempo de processamento baixo e 80% dos testes com custo total 42% em média, inferior ao histórico, pode-se concluir que para o problema em questão esse modelo heurístico é superior ao modelo praticado até então pela empresa estudada.

Além do potencial benefício econômico, deve-se adicionar o do aprendizado esperado após sua aplicação prática, já que não se conhece claramente quanto modelagens desse tipo podem contribuir na tomada de decisão nas empresas, bem como a importância da análise do custo total no momento de decisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

____ Decreto nº 4.195; Regulamenta a lei 10.168, que institui Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico destinada a financiar o programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para Apoio à Inovação e dá outras providências, e a Lei 10.332 que institui mecanismos de financiamento para programas de ciência e tecnologia, e dá outras providências.

____ Decreto nº 4.543; Regulamenta a administração das atividades aduaneiras, e a fiscalização, o controle e a tributação das operações de comércio exterior, Presidência da República, 26 de dezembro de 2002.

____ Lei complementar nº 272/03, que Dispões sobre o Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza – ISSQN.

____ Lei nº 10168, que institui a Contribuição de Intervenção de Domínio Econômico destinada a financiar o programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para Apoio à Inovação e dá outras providências.

____ Lei nº 10865, que dispõe sobre a Contribuição para os Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social incidentes sobre a importação de bens e serviços, 30 de abril de 2004.

____ Portaria nº SECEX nº 4, Trata da concessão do Regime Aduaneiro Especial de Drawback, de 11 de junho de 1997.

ADUANEIRAS (Ed). Drawback – Legislação Básica. 4ªed. São Paulo: Edições Aduaneiras, 2002.

ARIMA, S.; BATTAGLIA, A. C.; LOGÍSTICA REVERSA: Da terra para a terra, uma visão do ciclo total. MBA USP – Comércio Internacional, 2002.

BALLOU, R. H.; Business Logistics Management: planning, organizing, and controlling the supply chain, 4th edition, Prentice Hal, Upper Saddle River, 1999.

BANAS, B. E.; How do Suppliers Define Quality, Railway Age, Vol. 204, No.5, pp. 12, Maio 2003.

BAKER, K. R.; Introduction to Sequencing and Scheduling. January 1995.

BIZELLI, J. S.; BARBOSA, R.; Noções Básicas de Importação, 4ª edição, São Paulo:

Aduaneiras, 1994.

BRANDEAU, M. L.; CHIU, S. S.; An overview of representative problems in location research. *Management Science*, v. 35, nº 6, p. 645-74, 1989.

BRASIL, Comunicado DECEX nº 21/97 Consolidação das normas do regime de Drawback, 11 de junho de 1997.

BRIMER, R. C.; Logistics networking, *Logistics Information Management*, v. 8, p. 8-11, 1995.

BRITO, I. J.; Análise do Impacto Logístico de Diferentes Regimes Aduaneiros no Abastecimento de Itens Aeronáuticos Empregando Modelo de Transbordo Multiprodutos com Custos Fixos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2004.

CAMPANELLA, J.; Principles of Quality Costs, ASQ Quality Costs Committee, 1999.

CAO, D.; CHEN, M.; WAN, G.; Parallel Machines Selection and Job Scheduling to Minimize Machine Cost and Job Tardiness, *Computers & Operational Research*, Vol 32, No 8; pp. 1995, Ago 2005.

CAPS RESEARCH; Purchasing Performance Benchmarks for the Aerospace / Defense Industry, 1999.

CARNEIRO, P. S. M.; Logística Reversa. *Revista ESPM* – Junho 2002 p4.

CHIANG, W. C.; ROBERT, A.; Integrating Purchasing and Routing in a Propane Gas Supply Chain, *European Journal of Operational Research*, Vol.154, No. 3; pp. 710 – 729, 2004.

CHIANG, C.; LEE, S.; An Enhanced Formulation and Simple Heuristic for Scheduling Jobs on Unrelated Parallel Machines, *Journal of Information & Optimization Sciences*, Vol 26 – No. 1, pp.193 – Jan 2005.

COPACINO, W. C.; The True Meaning of Supply Chain Management, *Logistics Management*, Vol.42, No. 6; pp. 50, Jun 2003.

CONWAY, R.; MAXWELL, W.; MILLER, L.; Theory of Scheduling. Addison Wesley Publishing Company, 1967.

DELANEY, R. V.; Seventh Annual State of Logistics Report, St. Louis, MO: Cass Information Systems, pp. 9, 1996.

DU, J.; LEUNG, Y.; Minimizing Total Tardiness on One Machine is NP-Hard, *Mathematics of Operations Research*, Vol. 17, N°4, 701-715, 1990.

FARIA, A. C.; Custos logísticos: uma abordagem na adequação das informações de controladoria à gestão da logística empresarial. 2003. 313p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, 2003.

GLASS, C. A.; POFTS, C. N.; STRUSEVICH, V. A.; Scheduling Batches With Sequential Job Processing For Two Machine Flow and Open Shops, *Inform Journal on Computing*; Vol 13; No. 2; pp. 120; Março 2001.

GRAVES, S. C.; RINNOOY K.; and ZIPKIN, P. H.; Logistics of Production and Inventory, *Handbooks in Operations Research and Management Science*, North-Holland, Amsterdam, 1993.

GUZZETTA, S.; ISO 9000 and Supplier Quality Assurance, *Quality*, Vol. 32, No.4, pp. 37, April 1993.

KOULAMAS, C. P.; The Total Tardiness Problem: Review And Extensions, *Operations Research*, Vol. 42, N°6, 1025-1041, 1994.

LAARHOVEN, P. J. M. V.; AARTS, E. H. L.; Simulated Annealing: Theory and Applications. Kluwer Academic publishers, 1987.

LAMBERT, D. M., STOCK, J. R., VANTINE J. G.; Administração Estratégica da Logística, São Paulo: Vantine Consultoria, 1998.

LAMBERT, D. M. and STOCK, J. R.; Strategic Physical Distribution Management, Homewood, IL: Irwin, p. 19, 1981.

LAWLER, E. L.; LENSTRA, J. K.; RINNOOY KAN, A. H. G; SHMOYS, D. B.; Sequencing and Scheduling: Algorithms and Complexity. Logistics of production and inventory. Amsterdam, North-Holland, 445-522, 1993.

LI, C-L. CHENG, T.; The Parallel Machine min-max Weighted Absolute Lateness Scheduling Problem, *Naval Research Logistics*, Vol. 41, 33 – 46, 1994.

MOKOTOFF, E.; Parallel Machine Scheduling Problems: A Survey, *Asia-Pacific Journal of Operational Research – Singapore*; Vol. 18; No. 2; Pg 193; Nov. 2001.

MORTON T. E.; PENTICO, D. W.; Heuristic Scheduling Systems: with applications to production systems and project management. New York, John Wiley & Sons, 1993.

- MORTON, R.; Return To Sender, Logistics today. Cleveland: Vol.44, No. 11; pp. 33, Nov. 2003.
- MURPHY, P. R.; A Preliminary Study of Transportation and Warehousing Aspects of Reverse Distribution, Transportation Journal, Vol. 35, No. 4, pp. 12-21, 1986.
- NAUSS, R. M. – Solving the Generalized Assignment Problem: An Optimizing and Heuristic Approach, Informs Journal on Computing Linthicum. Vol. 15. No. 3, pp. 249 – 266, Junho 2003.
- OAG. Apresenta horários de vôos e tipos de aeronaves. Disponível em <http://www.oag.com>. Acesso em 22 de Agosto de 2004.
- OISHI, M.; Parametrização de Regras de Sequênciação. Tese de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2002.
- OLIVEIRA, A. C.; Uma contribuição para o problema de Programação de Tarefas em Job Shop Dinâmico Não Determinístico com Datas de Entrega. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2002.
- PADBERG, M.; RINALDI, G.; A Branch and Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Salesman Problem, SIAM Review 33, Pg 60 –100; 1991.
- PACHECO, R. F.; SANTORO M. C.; Proposta de Classificação dos Modelos de Solução para o Problema de *job shop scheduling*. Gestão & Produção. Vol 6, 1-15, Abril 1999.
- PERRONS, R. K.; Make-Buy Decision in the U. S. Aircraft Industry, 1997. 143p. Dissertação (Master of Science) – Massachusetts Institute of Technology, 1997.
- PINEDO, M.; Scheduling, Theory, Algorithms and Systems. Prentice Hall, 1995.
- RAMASESH, R.; Dynamic Job-shop Scheduling: A Survey of simulation research. Omega, v.18, p.43-57, 1990.
- REIS, M. A. S.; Curso de Logística Internacional. Apostila. São Paulo: Associação Brasileira de Logística – ASLOG, 2001.
- ROGERS, D. S. and TIBBEN-LEMBKE, RONALD; Going Backwards: a Study of Reverse Logistics Trends and Practices, Reverse Logistics Executive Council, 1998.
- RUTNER, S. M.; LANGLEY, C. J.; Logistics value: Definition, Process and Measurement, International Journal of Logistics Management. Vol.11, No 2; pp. 73, 2000.

SANTORO, M. C. Sistemas de produção II. Apostila do curso. Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Produção, 2001.

SMITH, A.; A Riqueza das Nações: Investigação sobre sua natureza e suas causas. Tradução de Winston Fritsh. São Paulo; Abril Cultural, 1983. p350.

SMITH, G. E.; Zero Acceptance Number Plans and Zero Defects, The International Journal of Quality & Reliability Management. Bradford: Vol.9, No. 3, pp. 53, 1992.

SRIRO, A. I.; Incoterms - A quick reference. East Asian Executive Reports: Vol.15, No. 9, pg. 21, 1993.

STOCK, J. R.; Development and Implementation of Reverse Logistics Programs, Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, 1998a.

STOCK, J. R.; Development and Implementation of Reverse Logistics Programs, in Annual Conference Proceedings, Oak Brook, IL: Council of Logistics Management, pp. 579-586, 1998b.

TANG, J.; YUNG, K.; ANDREW W. H.; Heuristics-Based Integrated Decisions for Logistics Network Systems, Journal Of Manufacturing Systems, Vol. 23, No. 1, pp 1, 2004.

VAZQUEZ, J. L.; Comércio Exterior Brasileiro. 4ªed. S. Paulo: Editora Atlas S.A., 1999.

WELLS, A. T.; Air Transportation, a management perspective. Wadsworth Publishing Company, California, 1984.

XIAO, W.; LI, C.; Approximation Algorithms for Common Due Date Assignment and Job Scheduling on Parallel Machines, IIE Transactions Norcross, Vol. 34, No 5, p. 467, May 2002.

YALAOVI, F.; CHU, C.; An Efficient Heuristic Approach For Parallel Machine Scheduling With Job Splitting and Sequence-dependent Set Up Times, IIE Transactions, Vol 35, No. 2, pp. 183, Fevereiro 2003.

YAMASHITA, D. S.; Minimização do atraso médio na programação de máquinas paralelas: Uma aplicação de busca TABU. 56p Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. São Paulo, 1996.