



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE BACHARELADO EM ESTATÍSTICA**

**TATHIANA LEITE DE SOUSA**

**OTIMIZAÇÃO APLICADA À LOGÍSTICA REVERSA**

**CAMPINA GRANDE-PB**

**2012**

**TATHIANA LEITE DE SOUSA**

**OTIMIZAÇÃO APLICADA À LOGÍSTICA REVERSA**

**Trabalho Acadêmico Orientado apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba em Cumprimento às exigências legais para a Obtenção do título de Bacharel em Estatística.**

**ORIENTADORA: DR<sup>A</sup> KÁTIA ELIZABETE GALDINO**

**CAMPINA GRANDE-PB**

**2012**

S725o Sousa, Tathiana Leite de.

Otimização aplicada a Logística Reversa [manuscrito] /  
Tathiana Leite de Sousa. – 2012.

**50 f. : il.**

**Digitado.**

**Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Estatística) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2011.**

“Orientação: Profa. Dra. Kátia Elizabete Galdino, Departamento de Estatística”.

1. Logística reversa. 2. Reciclagem. 3. Sustentabilidade. I. Título.

21. ed. CDD 338.9

TATHIANA LEITE DE SOUSA

OTIMIZAÇÃO APLICADA À LOGÍSTICA REVERSA

Trabalho Acadêmico Orientado apresentado ao curso de Bacharelado em Estatística do Departamento de Estatística do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba em Cumprimento às exigências legais para a Obtenção do título de Bacharel em Estatística.

APROVADO EM: 17 / 07 / 2012

Kátia Elizabete Galdino

Prof<sup>a</sup> Dra. Kátia Elizabete Galdino - UEPB/CCT/DC

Núbia do Nascimento Martins

Prof.<sup>a</sup> Esp. Núbia do Nascimento Martins- UEPB/CCT/DC

Celeide Maria Belmont Sabino Meira

Prof.<sup>a</sup> Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira- UEPB/CCT/DC

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço de antemão a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje. E agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção desse trabalho:

A Deus, pois o que seria de mim sem a fé que eu tenho nele.

Aos meus pais, que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

A professora Kátia Elizabete Galdino pela paciência na orientação, por seu incentivo, por seu apoio e inspiração nos amadurecimentos dos meus conhecimentos e conceitos que me levaram a execução e a conclusão desta monografia.

A todos os professores da UEPB, que foram tão importantes na minha vida acadêmica.

Ao meu esposo Pedro Rodrigues, pelo incentivo, dedicação, força e amizade durante minha caminhada.

## RESUMO

Este trabalho discorre sobre um aspecto da Logística Reversa que há pouco tempo começou a ser olhada mais atentamente pelas empresas. Enquanto a logística tradicional trata do fluxo de saída dos produtos, a Logística Reversa tem que se preocupar com o retorno de produtos, materiais e peças ao processo de produção da empresa. Devido às legislações ambientais mais severas e maior consciência por parte dos consumidores, as empresas estão não só utilizando uma maior quantidade de materiais reciclados como também tendo que se preocupar com o descarte ecologicamente correto de seus produtos ao final de seu ciclo de vida. Além disto, muitas empresas têm feito da Logística Reversa uma arma estratégica em seu planejamento de negócios. A utilização da logística reversa pode ser um importante diferencial para algumas empresas, proporcionando uma vantagem competitiva em seus mercados. A Logística Reversa passou a utilizar a Pesquisa Operacional como método para a solução de seus problemas. Dentre as vantagens da utilização da Pesquisa Operacional na determinação da melhor alocação de recursos limitados ou escassos está a possibilidade da realização de simulações de situações reais, antecipando o conhecimento dos potenciais resultados e suas probabilidades de ocorrer. Os métodos, portanto, permitem a avaliação de alternativas com a otimização das atividades e de recursos. O objetivo deste trabalho é utilizar a Pesquisa Operacional para se obter uma solução ótima para o problema da Logística Reversa.

**Palavras chave:** Logística reversa. Reciclagem. Otimização.

## **ABSTRACT**

This paper discusses one aspect of reverse logistics which recently began to look more closely at the companies. While traditional logistics deals with the outward flow of goods, reverse logistics have to worry about the return of products, materials and parts to the production process of the company. Due to more stringent environmental legislation and greater awareness by consumers, companies are not only using a larger amount of recycled materials as well as having to worry about the environmentally friendly disposal of their products at the end of its life cycle. In addition, many companies have made the Reverse Logistics a strategic weapon in their business planning. The use of reverse logistics can be an important consideration for some companies, providing a competitive advantage in their markets. The Reverse Logistics started using the Operational Research as a method for the solution of their problems. Among the advantages of the use of Operations Research to determine the best allocation of scarce resources is limited or the possibility of performing simulations of real situations, anticipating the knowledge of potential outcomes and their probabilities of occurring. The methods thus allow the evaluation of alternatives to the optimization of the activities and resources. The objective of this work is to use the Operational Research to obtain an optimal solution to the problem of Reverse Logistics.

**Keywords:** Reverse Logistics. Recycling. Optimization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Canal de Distribuição direto e reverso .....	13
Figura 2 Logística Reversa – Área de atuação e etapas reversas .....	17
Figura 3 Integração entre fluxo direto e reverso .....	23
Figura 4 Localização do prazo de validade da água mineral e do botijão .....	24



## SUMÁRIO

<b>1.0 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2.0 – REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 – LOGÍSTICA REVERSA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.1 – Dimensionamento da Logística Reversa</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.2 - Visão geral da Logística Reversa e dos Canais de Distribuição Reversos</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1.3 - Entendendo os Canais de Distribuição Reversos</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 - Logística Reversa- Um Interesse Crescente</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.1 - Logística Reversas - Área de Atuação</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3 - Sensibilidades Ecológicas- Um Novo Fator de Incentivo à Logística Reversa</b> .....	<b>21</b>
<b>2.4 - Avanços de Conceitos e Legislações Ecológicas</b> .....	<b>23</b>
<b>2.5 - As Empresas e suas Imagens Corporativas</b> .....	<b>24</b>
<b>2.6- A Dimensão da Economia Reversa</b> .....	<b>25</b>
<b>2.7- Modelos de Distribuição Reversas</b> .....	<b>27</b>
<b>3.0 - PROGRAMAÇÃO LINEAR</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1 – Introdução</b> .....	<b>28</b>
<b>3.1.1 - Modelagem com Programação Linear</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1.2 - Propriedades fundamentais da <i>Programação Linear</i> (PL)</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1.3 - Conceitos fundamentais</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1.4 - Teorem Fundamental da PL</b> .....	<b>38</b>
<b>4.0 – METODOLOGIA</b> .....	<b>39</b>
<b>5.0 – APLICAÇÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1 - Estudo de Caso</b> .....	<b>42</b>

<b>5.2 - Modelando o Problema .....</b>	<b>43</b>
<b>5.3 - Resultados Obtidos.....</b>	<b>46</b>
<b>6.0 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>50</b>

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

A poluição é um dos problemas mais graves atuais. A irresponsabilidade de alguns fabricantes traz graves consequências para o meio ambiente como, por exemplo, a emissão de gases na atmosfera, o abandono de lixo em lagos, rios e mares, as queimadas, etc.

Para tentar diminuir o impacto ambiental foi criada uma lei que obriga o fabricante a receber de volta, do consumidor final, os produtos que ainda podem ser reciclados, ou ainda aqueles que precisam ir para o aterro sanitário ou até mesmo ser incinerado. Algumas empresas já começam a aderirem a esta lei, mas o processo ainda é lento, nem todas seguem o que foi imposto, ficando sujeitas a punições do governo.

O objetivo deste trabalho é, através da Pesquisa Operacional, aplicada à Logística Reversa, que é o meio pelo qual o produto retorna ao fabricante, montar um modelo matemático que consiga maximizar a quantidade de produtos reciclados com botijões de água mineral que passaram do prazo de validade, a fim de minimizar a quantidade de material que é abandonado na natureza.

Para este estudo, foi escolhido o botijão de água mineral que é feito de material plástico e que, depois da Portaria DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral, nº 387/2008, alterada pela Portaria DNPM nº 358/2009, tem prazo de validade de três anos e não se pode mais ser utilizada para reenvase, e, portanto tem que ser descartado.

## **2.0- REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 - LOGÍSTICA REVERSA**

A reutilização de produtos e materiais não é um fato novo. A reciclagem de metais, plásticos e papéis são processos realizados já há algum tempo. Nesses casos, a reciclagem se justifica, pois a recuperação é algo mais vantajoso economicamente do que a simples disposição final.

Entretanto, com a crescente preocupação com o meio ambiente, a importância do reuso vem tomando maiores proporções. Ao invés de fluxo único dos materiais, a idéia de ciclo é cada vez mais empregada.

Em todos os casos, a oportunidade de reutilização deu origem a um novo fluxo de materiais, partindo do consumidor e chegando ao fornecedor. O gerenciamento desse caminho inverso dos materiais, quando comparado ao fluxo direto da cadeia de suprimentos, é chamado de logística reversa (Stock em Fleischmann *et al.*, 1997). Mais precisamente, no ano de 2001, o Council of Logistics Management – CLM - define a logística reversa como:

“A Logística Reversa é definida como a parte do processo da cadeia de suprimento que planeja, programa e controla de modo eficiente e eficaz o fluxo direto e reverso e o estoque de bens, serviços e informação entre o ponto de origem e o ponto de consumo com o propósito de atender os requisitos dos clientes”.

Em outras palavras, a logística reversa trata de mover o produto da destinação final para o retorno ao ciclo de negócios, ou para disposição final adequada.

### **2.1.1 - Dimensão da Logística Reversa**

Leite (2003) afirma que, depois de algumas evoluções nos conceitos, a logística reversa pode ser definida hoje 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 dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros”.

Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999), as atividades da logística reversa consistem basicamente em coleta de materiais usados, danificados ou rejeitados, produtos fora de validade, e a embalagem e transporte do ponto do consumidor final até o revendedor. Com o retorno do produto, a empresa dispõe de algumas opções

de disposição. Geralmente, quando possível, a primeira opção da companhia é a devolução do material para o fornecedor. Se o produto não tiver sido usado, ele será revendido para outro cliente, às vezes num sistema de atacado. Se o produto estiver com a qualidade duvidosa, é vendido para empresas que o comercializam em outros mercados, normalmente no exterior.

Se o produto não puder ser vendido do jeito que retornou é realizado um acondicionamento, conserto ou remanufatura antes que colocá-lo à venda novamente. Existem empresas que não possuem capacitação para acondicionar seus produtos. Nesses casos, essa função é delegada a firmas terceirizadas especializadas. Em seguida, os produtos são vendidos para mercados secundários com seus preços reduzidos. Se o produto não puder ser acondicionado, por razões diversas, como estrutura danificada do material, condições legais e restrições ambientais, a empresa tentará obter um mínimo preço pelo material. Antes da disposição final em aterros sanitários, todo material aproveitável será retirado do produto, inclusive para fins de reciclagem.

Materiais de embalagem e transporte também são reaproveitados. Os danificados serão acondicionados para uso. Na Europa, já existe uma lei obrigando as empresas a darem fim ambientalmente correto aos materiais de embalagem dos respectivos produtos. Por esse motivo, diversos estudos são feitos para aproveitar ao máximo os *pallets* e materiais de manuseio. Quando não há mais chance de reuso, todo o material aproveitável – papelão, aço e madeira – é levado para reciclagem (MASON, 2002).

O motivo da reutilização pode ocorrer por diversas razões e por diversos critérios, como tipo de material recuperado, motivação do reuso, forma de reuso e atores pertencentes ao processo (FLEISCHMANN *et al.*, 1997).

A motivação pode ter razões econômicas ou ecológicas. A redução do lixo vem despertando muito interesse, e tem como importante motivo a escassez de aterros sanitários. Em alguns países legislações estão entrando em vigor, obrigando as empresas a darem um fim ambientalmente correto aos produtos no fim de sua vida útil.

Como a sociedade cobra cada vez mais nesse aspecto, a preocupação com o meio ambiente por parte das empresas já está virando motivo de marketing.

Por outro lado, há também razões econômicas para o reuso dos produtos. Um exemplo disso é a reutilização de componentes de um produto. Mesmo que o produto chegue ao fim de vida útil ou se torne obsoleto, algumas peças podem apresentar excelente estado de conservação, estando prontas para entrarem no mercado secundário.

Fleischmann *et al.* (1997), afirmam que os interesses ambientais e econômicos, na maioria das vezes, estão interligados. Como exemplo, o aumento do custo de disposição dos produtos faz crescer o interesse de redução do lixo, ao mesmo tempo em que a conscientização ambiental do consumidor faz despertar novas áreas de investimento. Desse equilíbrio de interesses nasce à expressão “economia sustentável”.

Existem vários tipos de material reutilizáveis – embalagens, materiais de manuseio, peças de máquinas, bens consumidos. Essas categorias se diferem pelo motivo e momento em que são descartadas. O tempo de disposição varia de acordo com o tempo de validade do produto ou com o tempo que o produto demorará a ser consumido. No caso das peças, podem ser componentes de máquinas que apresentaram algum defeito ou chegaram ao período de manutenção. Já as embalagens são descartadas assim que o produto que ela envolve for entregue.

### **2.1.2 - Visão geral da Logística Reversa e dos Canais de Distribuição Reversos**

Serão apresentadas aqui algumas das principais razões que justificam as implementações da logística reversa em empresas modernas. Observe que a crescente sensibilidade ecológica dos consumidores, as legislações relacionadas ao meio ambiente, os novos padrões de competitividade de serviços ao cliente e as preocupações com a imagem corporativa têm gerado um crescimento significativo do uso da logística reversa.

### 2.1.3 - Entendendo os Canais de Distribuição Reversos

- **Canais de Distribuição Reversos (CDRs)**

O marketing e a logística empresarial têm consagrado grandes esforços em estudos e aperfeiçoamentos, em universidades e empresas modernas, à disciplina dos “canais de distribuição” e da “distribuição física” dos bens produzidos. Essa preocupação se justifica não somente pela oportunidade dos cursos envolvidos, mas também pela possível diferenciação dos níveis de serviços oferecidos em mercados globalizados e extremamente competitivos da atualidade.

A importância econômica da distribuição seja sob o aspecto conceitual mercadológico ou sob o aspecto concreto operacional da distribuição física, revela-se cada vez mais determinante para as empresas, tendo em vista os crescentes volumes transacionados, decorrentes da globalização dos produtos e das fusões de empresas, e a necessidade de se ter os produtos certos, atendendo a padrões de níveis de serviços diferenciados ao cliente e garantindo seu posicionamento competitivo no mercado.

Deve-se lembrar de que os ‘canais de distribuição diretos’, ou simplesmente ‘canais de distribuição’, são constituídos pelas diversas etapas pela quais os bens produzidos são comercializados até chegar ao consumidor final, seja uma empresa ou uma pessoa física. A distribuição física dos bens é a atividade que realiza a movimentação e disponibiliza esses produtos ao consumidor final. (KOTLER, 1996)

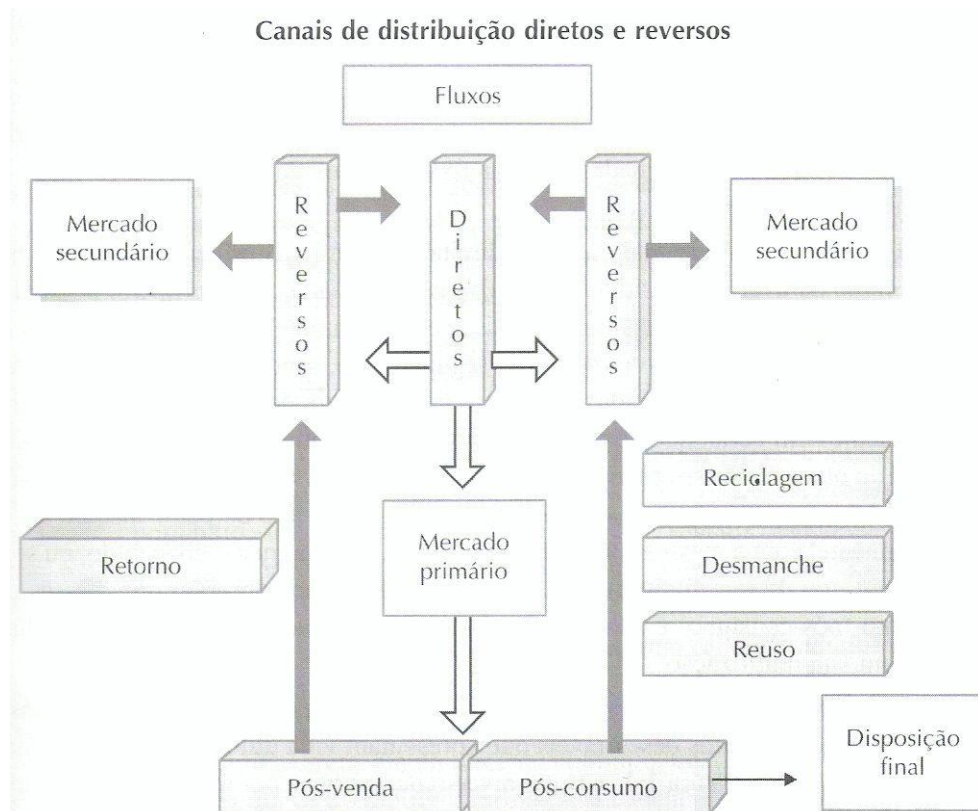
É recente a preocupação dessas disciplinas com relação aos canais de distribuição reversa, ou seja, às formas e aos meios em que uma parcela desses produtos, com pouco uso após a venda, com ciclo de vida útil ampliando ou depois de extinta a sua vida útil, retorna ao ciclo produtivo ou de negócios, readquirindo valor em mercado secundário pelo reuso ou pela reciclagem de seus materiais constituintes.

Os canais de distribuição reversos têm sido muito pouco estudados até o momento, seja do ponto de vista da pesquisa acadêmica ou da literatura em geral, existindo poucas informações sobre eles na literatura especializada e ocorrendo

uma incipiente sistematização de conceitos nesse campo. Os canais reversos de alguns materiais tradicionais são conhecidos há muitos anos, como, por exemplo, o dos metais em geral, e eles representam importantes nichos de atividades econômicas.

Serão analisadas duas categorias de canais de distribuição reversos, definidos como de pós-consumo e de pós-venda, cujos fluxos gerais estão sintetizados na Figura 1, apresentando característica e objetivos distintos e envolvendo relações entre entidades diferentes, embora guardando forte interação e peculiaridades logísticas em alguns casos.

Figura 1: Canais de Distribuição diretos e reversos



Fonte: Leite (1999)

Pode-se observar na Figura 1 o fluxo dos produtos nos canais de distribuição diretos, desde as matérias-primas virgens, também denominadas primárias, até o mercado, entendidas aqui como o mercado primário dos produtos. Esse fluxo direto pode se processar por meio de diversas possibilidades conhecidas



como etapas de atacadista ou distribuidores, chegando ao varejo e ao consumidor final.

Os canais de distribuição reversos de pós-consumo são constituídos pelo fluxo reverso de uma parcela de produtos e de materiais constituintes originados no descarte dos produtos após finalizada sua utilidade original e que retornam ao ciclo produtivo de alguma maneira. Distinguem-se dois subsistemas reversos: os canais reversos de reciclagem e os canais reversos de reuso.

Os canais de distribuição reversos de pós-venda são constituídos pelas diferentes formas e possibilidades de retorno de uma parcela de produtos, com pouco ou nenhum uso, que fluem no sentido inverso, do consumidor ao varejista ou ao fabricante, do varejista ao fabricante, entre empresas, motivados por problemas relacionados à qualidade em geral ou a processos comerciais entre empresas, retornando ao ciclo de negócios de alguma maneira.

- **Canais de Distribuição Reversos de Bens de Pós-Consumo (CDR-PC)**

Os bens industriais apresentam ciclos de vida útil de algumas semanas ou de muitos anos, após o que são descartados pela sociedade, de diferentes maneiras, constituindo os produtos de pós-consumo e os resíduos sólidos em geral. As diferentes formas de processamento e de comercialização dos produtos de pós-consumo ou de materiais constituintes, desde sua coleta até sua reintegração ao ciclo produtivo como matérias-primas secundárias, são denominadas de 'canais de distribuição reversos de pós- consumo'.

Conforme pode ser observado na parte direta da Figura 1, os bens industriais classificados como duráveis ou semiduráveis, após seu desembaraço pelo primeiro possuidor, tornam-se produtos de pós-consumo. Nos casos que ainda apresentam condições de utilização podem destinar-se ao mercado de segunda mão, sendo comercializado diversas vezes até atingir seu fim de vida útil. O caso mais comum desse tipo de canal reverso é o de veículos em geral, que possui mercado de segunda mão instituído em todas as regiões do planeta. Nesses casos, portanto, os

canais reversos de 'reuso' são definidos como aqueles que se tem a extensão do uso de um produto de pós-consumo ou de seu componente, com a mesma função para qual foi originada concebido, ou seja, sem nenhum tipo de remanufatura (CLM, 1993).

Após os bens atingirem seu efetivo fim de vida útil, e nessa categoria de pós-consumo incluem-se os produtos descartáveis que apresentam vida útil de algumas semanas, pode-se observar a Figura 1, o fluxo reverso desses bens por meio de dois grandes sistemas de canais reversos e revalorização: o canal reverso de 'desmanche' e o de reciclagem dessas revalorizações, os bens de pós-consumo encontram a 'disposição final' em aterros sanitários ou são incinerados.

Pode-se definir 'desmanche' como sistema de revalorização de um produto durável e pós-consumo que, após sua coleta, sofre um processo industrial de desmontagem no qual seus componentes em condições de uso ou de remanufatura são separados de partes ou materiais para os quais não existem condições de revalorização, mas que ainda são passíveis de reciclagem industrial. Os primeiros são enviados, diretamente ou após remanufatura, ao mercado de peças usadas, enquanto os materiais inservíveis são destinados a aterros sanitários ou são incinerados. 'Reciclagem' é o canal reverso de revalorização, em que os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformando-se em matérias-primas secundárias ou recicladas que serão reincorporadas à fabricação de novos produtos. O exemplo mais ilustrativo é o da revalorização dos metais em geral: são extraídos de diferentes tipos de produtos descartados ou de resíduos industriais para se constituírem em matérias-primas secundárias a serem reintegradas ao ciclo produtivo, fechando-se seu ciclo de reciclagem. Para que essa reintegração se realize, são necessárias as etapas de coleta, seleção e preparação, reciclagem industrial e reintegração ao ciclo produtivo (CLM, 1993).

A 'disposição final' é entendida como último local de destino para o qual são enviados produtos, materiais e resíduos em geral sem parte destinada a condições de revalorização. A 'disposição final não controlada', constituída pela deposição

desses resíduos em lixões não controlados e pelo despejo em córregos, rios, terrenos etc. acarreta poluição ambiental.

Fica claro, então, que o fluxo reverso dos bens de pós-consumo nos canais de distribuição reversos de bens de pós-consumo refere-se a uma parcela do total existente, sendo a outra parte destinada a disposições seguras ou não-seguras.

Nas últimas décadas, os impactos causados sobre o meio ambiente pelos produtos e processos industriais, acrescidos dos grandes desastres ecológicos cada vez mais próximos e que fazem parte da vida moderna, tornaram-se mais visíveis à sociedade em geral, modificando hábitos de consumo em alguns países.

- **Canais de Distribuição Reversos de Bens de Pós-Venda (CDR-PV)**

Os bens industriais de pós-venda – que por diversos motivos retornam a cadeia de suprimentos, sendo reintegrados ao ciclo de negócios, conforme pode ser observado na parte esquerda da Figura 1, por meio de uma diversidade de formas de comercialização e de processamentos – constitui outra categoria de fluxo reversa denominada ‘canais de distribuição reverso de pós-venda’. Esses produtos são devolvidos por uma variedade de motivos, como: por terminar a validade deles, por haver estoques excessivos no canal de distribuição, por estarem em consignação, por apresentarem problemas de qualidade e defeitos etc.; após o que são destinados aos mercados secundários, a reformas, ao desmanche, à reciclagem dos produtos e de seus materiais constituintes ou a disposições finais (LEITE, 2002). Eles podem ser entendidos como uns sistemas de distribuição reversa.

O fluxo reverso de bens de pós-venda pode se originar de várias formas, por problemas de performance do produto ou por garantias comerciais; ao mesmo tempo, pode se originar em diferentes momentos da distribuição direta, ou seja, do consumidor final para o varejista ou entre membros da cadeia de distribuição direta. Dentre os problemas de performance mais comuns, podem ser citados as avarias de transporte e os defeitos em garantia enquanto os comerciais são os erros do pedido, a limpeza de canal nos elos da cadeia de distribuição, os excessos de

estoques, o fim de estação, o fim de vida comercial do produto, os estoques obsoletos, entre outros.

Alguns estudiosos afirmam que se preparar para a logística reversa de um bem de pós-venda é o mesmo que reconhecer falhas. Ao invés disso, eles alegam que o objetivo principal da empresa é eliminar os retornos, eliminando a logística reversa.

Apesar disso, o investimento no setor não pára de crescer. Do ponto de vista estratégico empresarial, estima-se que a logística reversa movimentará nos EUA cerca de 35 bilhões de dólares, ou 0,5% do PIB do país. A Tabela 1 mostra o percentual de retorno em alguns ramos de negócio.

Quadro 1: Percentual de retorno por ramo de negócio (Leite, 2003).

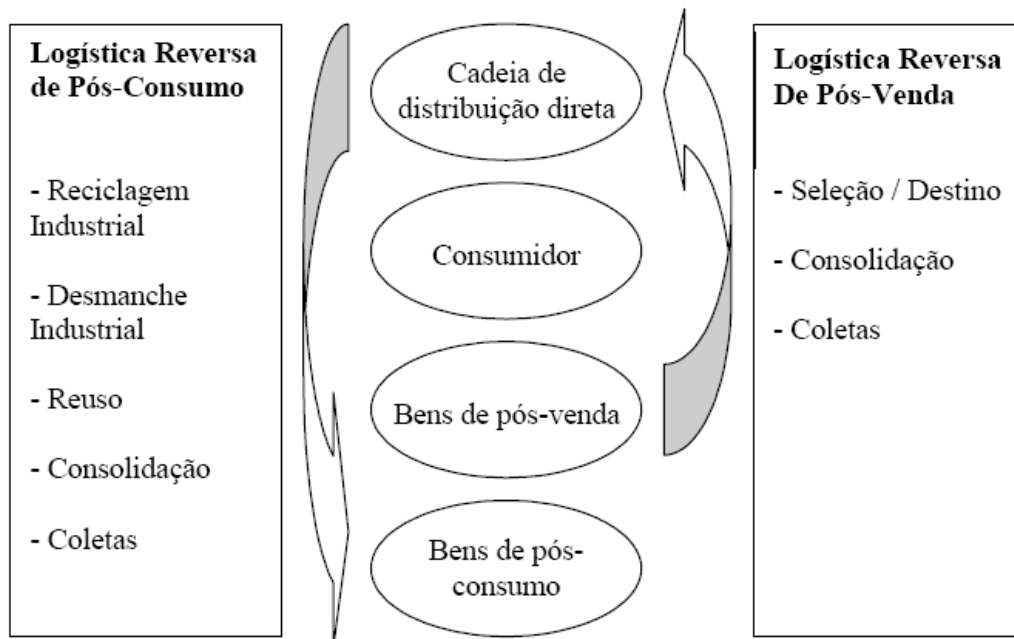
<b>Ramo de atividade</b>	<b>Porcentagem média de retorno</b>
Editores de revistas	50 %
Editores de livros	20-30 %
Distribuidores de livros	10-20 %
Distribuidores de eletrônicos	10-12 %
Fabricantes de computadores	10-20 %
Fabricantes de CD-ROMs	18-25 %
Impressoras	4-8 %
Autopeças para a indústria automotiva	4-6 %

## **2.2 - Logística Reversa- Um Interesse Crescente**

### **2.2.1 - Logística Reversas - Área de Atuação**

Na Figura 2 estão reunidas as duas grandes áreas de atuação da logística reversa, que têm sido tratadas independentemente até o momento pela literatura e são diferenciadas pelo estágio ou fase do ciclo de vida útil do produto retornado. Essa distinção se faz necessária, embora existam inúmeras interdependências que serão examinadas a seguir, pois o produto logístico e os canais de distribuição reversos pelos quais fluem, bem como objetivos estratégicos e as técnicas operacionais em cada área de atuação, são, por via de regra, distintos.

Figura 2: Logística Reversa – Área de atuação e etapas reversas (LEITE, 2003)



Denomina-se de logística reversa de pós-venda a específica área de atuação que se ocupa do equacionamento e operacionalização do fluxo físico e das informações logística correspondentes de bens de pós-venda, sem uso ou com pouco uso, os quais, por diferentes motivos, retornam aos diferentes elos da cadeia de distribuição direta, que se constituem de uma parte dos canais reversos pelos quais fluem esses produtos. Seu objetivo estratégico é agregar valor a um produto logístico que é devolvido por razões comerciais, erro no processamento dos pedidos, garantia dada pelo fabricante, defeitos ou falhas de funcionamentos, avarias no transporte, entre outros motivos.

Denomina-se de logística reversa de pós-consumo a área de atuação da logística reversa que equaciona e operacionaliza igualmente o fluxo físico e as informações correspondentes de bens de pós-consumo descartados pela sociedade em geral que retornam ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo por meio de canais de distribuição reversos específicos. Constituem bens de pós-consumo os produtos em fim de vida útil ou usado com possibilidades de reutilização e os resíduos industriais em geral. Seu objetivo estratégico é agregar valor a um produto logístico constituído por bens inservíveis ao proprietário original ou que ainda possuam condições de utilização, por produtos descartados pelo fato de terem atingido o fim de vida útil e por resíduos industriais. Esses produtos de pós-consumo poderão se originar de bens duráveis ou descartáveis e fluir por canais reversos de reuso, desmanche reciclagem até a destinação final.

Na Figura 2 é exibido, para melhor entendimento e sem a pretensão de exaurir todas as possibilidades, o campo de atuação da logística reversa através das principais etapas dos fluxos reversos nas duas áreas de atuação citadas, observando-se sua interdependência.

A Logística reversa de pós-venda deve, portanto, planejar, operar e controlar o fluxo de retorno dos produtos de pós-venda por motivos agrupados nas classificações: 'garantia/qualidade', 'comerciais' e ' substituição de componentes'. Classificam-se como devoluções por 'garantia/qualidade' aquelas nos quais os produtos apresentam defeitos de fabricação ou de funcionamento (verdadeiros ou não), há avarias no produto ou nas embalagens etc. Na classificação 'comerciais'

destaca-se a categoria de 'estoques', caracterizada pelo retorno de produtos devido a erros de expedição, excesso de estoques no canal de distribuição, mercadorias em consignação, liquidação de estação de vendas, pontas de estoques e etc., que retornam ao ciclo de negócios por meio de distribuição em outros canais de vendas.

Devido ao término de validade de produtos ou a problemas observados após a venda, o denominado **recall**, os produtos serão devolvidos por problemas legais ou por diferenciação de serviço ao cliente e se constituirão na classificação 'validade' em nosso esquema. A classificação 'substituição de componentes' decorre da substituição de componentes de bens duráveis e semiduráveis em manutenção e consertos ao longo de sua vida útil e que são remanufaturados, quando tecnicamente possível, e retornam ao mercado primário ou secundário ou são enviadas à reciclagem ou para uma disposição final, na impossibilidade de reaproveitamento.

Nas atividades da classificação 'fim de vida útil' a logística reversa poderá atuar em duas áreas não destacadas no esquema: dos bens duráveis ou dos descartáveis. Na área de atuação de duráveis ou semiduráveis, os bens entrarão no canal reverso de desmontagem e reciclagem industrial, sendo desmontados na etapa de 'desmanche' e seus componentes poderão ser aproveitadas ou remanufaturados, retornando ao mercado secundário ou a própria indústria, que os reutilizará, sendo uma parcela destinada ao canal reverso de 'reciclagem'. No caso de bens de pós-consumo descartáveis, havendo condições logísticas, tecnológicas e econômicas, os produtos de pós-consumo retornam por meio do canal reverso de 'reciclagem industrial', no qual os materiais constituintes são reaproveitados e se constituem em matérias-primas secundárias, que voltam ao ciclo produtivo pelo mercado correspondente ou, no caso de não haver as condições mencionadas, encontram a 'disposição final': os aterros sanitários, os lixões e a incineração com recuperação energética.

### **2.3 - Sensibilidades Ecológicas- Um Novo Fator de Incentivo à Logística Reversa**

A sociedade, todas as partes do globo, tem se preocupado cada vez mais com os diversos aspectos do equilíbrio ecológico. Muitas pesquisas de opinião têm sido elaboradas para comprovar essa maior conscientização e inúmeros são os exemplos que evidenciam o aumento da sensibilidade ecológica na sociedade atual, com maior ênfase nos países de maior desenvolvimento econômico e social.

O aumento de descarte dos produtos de utilidades após seu primeiro uso, motivado pelo nítido crescimento da descartabilidade dos produtos em geral, não encontrando canais de distribuição reversos de pós-consumo devidamente estruturados e organizados, provoca desequilíbrio entre as quantidades descartadas e as reaproveitadas, gerando um enorme crescimento de produtos de pós-consumo. Um dos mais graves problemas ambientais urbanos da atualidade é a dificuldade de disposição do lixo urbano. Essas quantidades excedentes tornam-se 'visíveis' para cada sociedade em aterros sanitários, em 'lixões', em locais abandonados, em rios ou córregos que circundam as cidades etc.; ficam pouco visíveis quando são depositados em marés e rios e não sobrenadam ou quando são simplesmente enterrados para posterior solução.

Esse crescimento da sensibilidade ecológica tem sido acompanhado por ações de empresas e governos, de maneira reativa ou proativa e com visão estratégica variada, visando amenizar os efeitos mais visíveis dos diversos tipos de impacto ao ambiente, protegendo a sociedade e seus próprios interesses.

Para a maior parte dos bens descartados existem algumas condições necessárias para a reintegração ao ciclo produtivo, ou tecnologia de reciclagem, ou ao mercado para aplicações dos materiais etc., mas nem sempre se apresentam todas as condições necessárias para completar o ciclo de retorno.

As cadeias reversas dos metais em geral, apesar da informalidade comercial e logística pouco desenvolvida em alguns países, apresentam excelentes níveis de reintegração de seus materiais ao ciclo produtivo, enquanto a cadeia reversa dos pneumáticos apresenta tecnologia de reciclagem e mercado de aplicação reconhecidamente pouco desenvolvida, para citar somente esses exemplos, que atestam a enorme variedade de casos de cadeias reversas encontrados.



## 2.4 - Avanços de Conceitos e Legislações Ecológicas

Como reação aos impactos dos produtos sobre o meio ambiente, as sociedades têm desenvolvido uma série de legislação e novos conceitos de responsabilidade empresarial, de modo de adequar o crescimento econômico às variáveis ambientais. O conceito de desenvolvimento sustentado, cujo objetivo é o crescimento econômico minimizando os impactos ambientais, tem sido constantemente utilizado nos dias de hoje, baseado na idéia de atender as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras no atendimento de suas necessidades.

As legislações ambientais envolvem diferentes aspectos do ciclo de vida útil de um produto, desde a fabricação e o uso de matérias-primas virgens até sua disposição final ou a dos produtos que os constituem. Dessa maneira, essas legislações regulamentam a produção e o uso de selos verdes para identificar produtos 'amigáveis' ao meio ambiente, os produtos de pós-consumo que podem ou não ser depositados em aterros sanitários, a restrição ao uso de produtos com conteúdos de matérias-primas secundárias, entre outros aspectos. As regulamentações que existem atualmente na maioria das grandes metrópoles proíbem o descarte de imóveis, eletrodomésticos, eletroeletrônico, baterias de automóveis e pilhas em aterros sanitários.

Alguns estados norte-americanos possuem legislação específica incentivando o uso de produtos fabricados com matérias reciclados; outros adotam um sistema tributário especial para os diversos elos dos canais reversos; outros, ainda, adotam a obrigatoriedade do equilíbrio de produção e reciclagem. A proibição de novos aterros sanitários em muitos estados norte-americanos, que caracterizou as 'crises dos aterros' nas décadas de 70 e 80, devido ao esgotamento pelo crescente aumento de volume do lixo descartado pela sociedade, criou um verdadeiro 'comércio' entre estados para disposição do lixo urbano.

## 2.5 - As Empresas e suas Imagens Corporativas

Uma visão moderna de marketing social, ambiental e principalmente de responsabilidade ética empresarial, se adotada por empresas dos diversos elos da cadeia produtiva de bens em geral, por entidades governamentais e pelos demais envolvidos, de alguma maneira, na geração de problemas ecológicos, mesmo que involuntária, permitirá observar que suas imagens corporativas estarão cada vez mais comprometidas com questões de preservação ambiental. Conseqüentemente, ações convenientemente dirigidas à preservação ambiental, dentro dessa visão contributiva de marketing social e ambiental, certamente serão recompensadas com salutar retorno de imagem diferenciada como vantagem competitiva.

É nesse contexto que se insere o problema ecológico nos canais de distribuição reversos e o campo de atuação da logística reversa, pois se observa um crescente interesse de empresas modernas, entidades governamentais, partidos políticos 'verdes' e comunidade em geral pelo envolvimento ativo, diretamente ou por meio de associações, nos problemas ecológicos, na defesa de sua própria perenidade econômica e no posicionamento de sua imagem corporativa. Esse interesse e essas ações orientadas deverão contribuir para uma melhor estruturação e organização desses canais reversos.

Essas preocupações têm se traduzido por modificações de projetos visando melhorar as condições de reaproveitamento, como utilização de identificação nas diversas embalagens plástica, adaptabilidade a desmontagem dos bens duráveis e redução de mistura de constituintes diferentes na mesma embalagem, entre outros.

Empresas de varias cadeias produtivas de diferentes setores industriais criam associações incentivadoras de sistemas de reciclagem e reuso e investem em programas educacionais de conscientização junto à sociedade para os problemas ambientais, a fim de confortar legislações locais ou garantir a perenidade dos negócios.

## 2.6 - A Dimensão da Economia Reversa

A avaliação do mercado total das cadeias produtivas diretas é sem dúvida tarefa das mais difíceis, pela falta de informações confiáveis em grande parte das cadeias reversas. No entanto, pesquisa realizada em alguns casos de canais de distribuição reversos no Brasil e a literatura consultada permite algumas estimativas que evidenciam a importância do que se denomina *economia reversa*.

- **Valor Econômico em alguns Canais Reversos de Reciclagens**

Nesses casos tem-se a substituição de matérias-primas primárias por secundárias em cadeias reversas de reciclagem nas quais é possível avaliar a parcela representada pelas matérias-primas secundárias nas vendas totais do setor. Contrariamente à idéia de valorizar esses retornos pelo valor dos bens de pós-consumo, em geral muito baixos, a valorização é feita por meio do percentual de utilização de matérias-primas secundária no total da economia do setor, avaliando, dessa maneira, o valor efetivo da economia reversa em relação aos preços de venda dos produtos elaborados, ou seja, como uma parcela de economia da cadeia produtiva direta. O erro devido aos rendimentos diferentes entre os dois tipos de materiais não invalida a relação apresentada.

### **Caso do Ferro/Aço no Brasil**

Em 1998 foram produzidos 26,2 milhões de toneladas de aço bruto e consumidos 4,5 milhões de toneladas de sucata do mercado, ou seja, cerca 17% de matéria-prima secundária. As vendas de aço bruto foram de 11,8 bilhões de dólares nesse ano, sendo a parcela de sucata de aproximadamente 2 bilhões de dólares ao ano mesmo preço de venda.

### **Caso do Alumínio no Brasil**

Neste caso, a relação entre a produção e o consumo de sucata no ano foi respectivamente de 1189 mil toneladas e 164 mil toneladas, ou seja, cerca de 13% de matéria-prima secundária em substituição a primária. As vendas do setor foram de 6.6 bilhões de dólares em 1997, sendo a parcela relativa à sucata, e no mesmo valor de preço de venda de cerca de 1 bilhão de dólares ao ano.

### **Caso Plástico no Brasil**

No caso do plástico, a produção de todas as resinas, no ano de 1998, de cerca de 4 milhões de toneladas, com vendas aproximadas de 6 bilhões de dólares. Adotando-se o nível de reciclagem médio do setor de 15%, tem-se uma parcela estimada de 1 bilhão de dólares ao ano.

### **Caso de Baterias de Veículos no Brasil**

Por meio dos mesmos cálculos, o índice médio de recuperação de baterias é de 80%, representando um valor aproximado de 500 milhões de dólares a preços de venda.

### **Caso de lata de Alumínio para Embalagens no Brasil**

Vale o mesmo cálculo (450 milhões de dólares ao ano, em 1998), valor que está incluído no material alumínio, citado pela importância dessa economia reversa no Brasil.

- **Valor Econômico de Canais Reversos de Reuso e de Remanufatura**

Nas cadeias reversas de reuso e de remanufatura pode-se citar a pesquisa apresentada por Rogers e Tibben-Lembke (1999) nos Estados Unidos, em que se estima o custo da logística reversa de pós-venda em cerca de 4% do PIB norte-americano, ou seja, em 35 bilhões de dólares em 1997. A cadeia reversa de autopeças no país representa um volume de vendas de 36 bilhões de dólares, pelas estimativas da Auto Parts Remanufactures Association.

## **2.7 - Modelos de Distribuição Reversas**

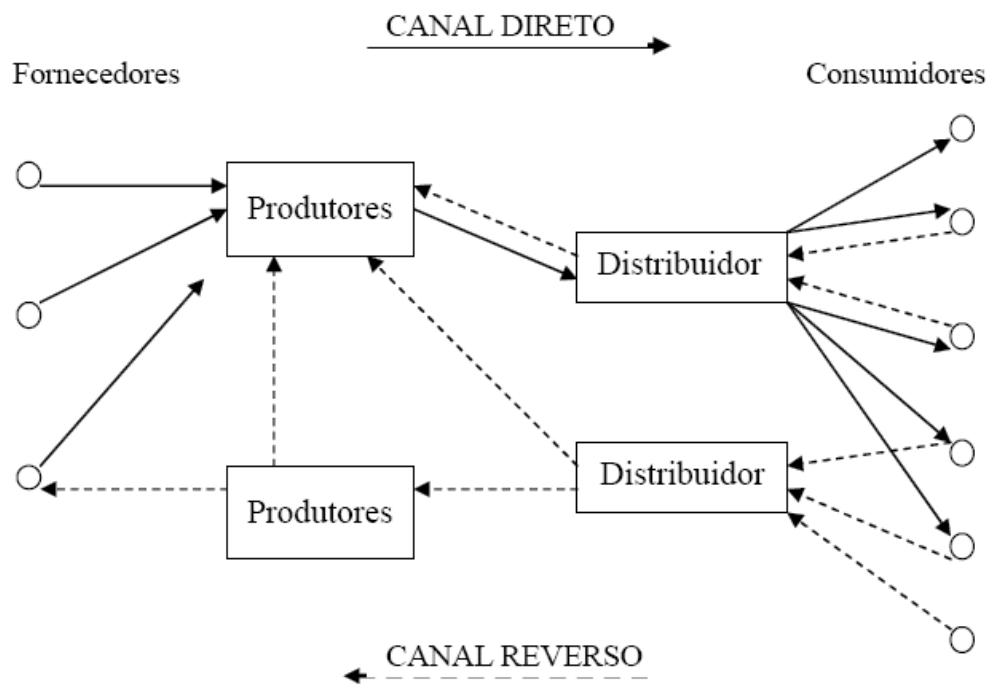
A distribuição reversa é a coleta e o transporte de produtos e embalagens usadas. O canal de distribuição reverso pode derivar-se fluxo direto dos materiais, pode ser um canal totalmente independente ou constituir-se por uma combinação desses dois fluxos.

O maior problema da distribuição reversa é o nível de integração entre o canal direto e o reverso. Com o intuito de gerar uma distribuição eficiente, as decisões devem variar de acordo com: Atores do canal de distribuição reverso Atores são os agentes que fazem parte do canal de distribuição direto. Ou seja, fabricantes, vendedores, fornecedores, atacadistas e provedores logísticos. Eles também podem ser especialistas do canal reverso, como vendedores ou facilitadores do mercado secundário. Funções e alocações no canal de distribuição reverso. São funções da distribuição a coleta, o teste, a seleção, o transporte e o processamento. Após a configuração da rede é determinado onde e quais funções serão alocadas.

Relação entre o canal de distribuição direto e reverso A reciclagem é comumente chamada de sistema de ciclo aberto. Ou seja, os produtos não retornarão aos produtores iniciais, e suas matérias-primas serão utilizadas por outras empresas. Nesse caso, a integração dos sistemas de distribuição direta e reversa dependerá dos atores em comum. A remanufatura e o reuso são considerados sistemas fechados, pois os produtos e as embalagens geralmente retornam para os fabricantes iniciais. A distribuição reversa pode ocasionalmente passar pelo canal direto, pela rede de distribuição inicial, entretanto, mesmo que os atores do processo

sejam os mesmos, isso é difícil de ocorrer, pois em relação às rotas a coleta e a distribuição requererão diferentes manuseios. A Figura 3 mostra um esquema de distribuição direta e reversa combinados. Como se trata de um esquema geral, essa interação dependerá das restrições que já foram citadas.

Figura 3 : Integração entre fluxo direto e reverso (FLEISCHMANN *et al.*, 1997).



### 3.0 - PROGRAMAÇÃO LINEAR

#### 3.1 - Introdução

Com o aumento da concorrência entre as empresas torna-se necessário reduzir os riscos e as incertezas para prosperar. Considera-se que todos os ambientes empresariais contêm um componente de risco e incerteza, justamente as origens do lucro (KNIGHT, 1972). As empresas precisam, portanto, de um

instrumento confiável e viável para a geração de conhecimento suficiente para que decisões sejam feitas com mais segurança em relação a seus concorrentes. Em ambientes empresariais que envolvem produção e distribuição de bens as alocações são muito dinâmicas e o que provou ser eficaz pode perder sua validade em um curto período. Portanto, ferramentas de apoio à tomada de decisão são cada vez mais utilizadas no dia a dia, substituindo as deliberações estratégicas que serviam para um período mais extenso.

A Pesquisa Operacional, através da Programação Linear, contribui para compatibilizar a matemática com as informações e os objetivos do problema (SHAMBLIN, 1979). A formulação dos sistemas é muitas vezes bastante difícil e considera-se um exercício único a elaboração de um modelo a ser aplicado na prática. O uso das ferramentas de Programação Linear exige conhecimento das formas de estruturação de um sistema de equações, não podendo ser utilizadas fórmulas prontas.

### **3.1.1 - Modelagem com Programação Linear**

Pode-se definir um problema de Programação Linear como problema que envolve a escolha de valores para um conjunto de variáveis inter-relacionadas, com o intuito de alcançar um determinado objetivo. Esses problemas se caracterizam pelo grande número de soluções que satisfazem as condições impostas. A escolha de uma determinada solução como a melhor de todas para um problema depende do objetivo que se quer atingir. Esse objetivo determina a qualidade dessa escolha e é modelado como uma função linear das variáveis do problema. A maximização (ou minimização) dessa função (função *objetivo*) está sujeita a algumas restrições que limitam o conjunto de valores que as variáveis podem assumir. Esse conjunto de restrições é representado matematicamente como um sistema de equações lineares. A solução que satisfaz o conjunto de restrições do problema e que maximiza (ou minimiza) a função objetivo é denominada *solução ótima*.

Existem inúmeras situações, da vida real, que podem ser modeladas como um problema de programação linear. Na grande maioria dos casos, resolver um problema desse tipo consiste em encontrar a melhor maneira de utilizar um conjunto limitado de recursos a fim de atingir certa meta, como, por exemplo, maximizar lucros ou minimizar custos. Um exemplo bastante comum é o caso em que uma empresa deseja determinar como aplicar seus recursos de uma forma tal que se obtenha um plano de produção ótimo, que não somente satisfaça a demanda do mercado, como também maximize os lucros da empresa. O conjunto de restrições do problema em questão é determinado pela limitação dos recursos da empresa e pelas necessidades do mercado. A meta da empresa, ou seja, maximizar seu ganho determina a função objetivo. Esse exemplo é um caso típico que resulta num problema relativamente simples, porém, problemas muito mais complexos podem ser modelados e solucionados através de Programação Linear.

Uma medida óbvia para determinar a complexidade de um problema de programação linear é seu tamanho, que pode ser medido em termos do número de variáveis e restrições envolvidas.

Dentre os modelos de Programação Matemática a Programação Linear serve de base para a compreensão de todos os demais. Goldberg (2000) considera que esse é um tipo especial de otimização, seus algoritmos são extremamente eficientes e podem ser facilmente resolvidos com o uso de computador. Ainda segundo o autor a Programação Linear apresenta algumas particularidades:

- a. Proporcionalidade: os volumes de recursos dispendidos para realizar as atividades são proporcionais aos volumes de atividades atribuídos na solução final. Ou seja, quanto mais a atividade é realizada, mais recursos ela vai consumir.
- b. Não Negatividade: deve ser sempre possível desenvolver dada atividade em qualquer nível não negativo e qualquer proporção de um dado recurso deve ser sempre poder ser utilizada. Os valores de utilização de recursos devem ser maiores ou iguais a zero.



- c. Aditividade: cada elemento que faz parte de uma atividade é somado ao seus pares formando o custo total.
- d. Separabilidade: cada elemento que compõe o custo pode ser identificado separadamente em cada atividade.

Para que um modelo de programação seja considerado linear todas as funções envolvidas devem apresentar comportamento linear.

A resolução dos problemas de Programação Linear exige a quantificação do objetivo. Geralmente o objetivo é de maximização ou minimização, ou seja, obter o lucro máximo ou os custos mínimos. Também as restrições são importantes para estabelecer os limites de atuação. Alguns itens podem estar sujeitos a um determinado limite de capacidade, ao passo que outros são utilizados a partir de um nível mínimo. Finalmente, as condições de não-negatividade devem ser exibidas, para que os valores das variáveis sejam maiores ou iguais a zero.

Shamblin e Stevens Jr (1979) explicam que há diversas formas de notação para um mesmo problema em Programação Linear. Em termos gerais a maximização ficaria assim:

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j + \dots + c_nx_n \text{ para } n \text{ variáveis}$$

Onde:

$x_j$  = variável decisória para a  $j$ -ésima variável

$c_j$  = coeficiente de lucro (ou de custo) para a  $j$ -ésima variável

$z$  = função a ser maximizada (ou minimizada)

Sujeito às restrições:

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\
 \dots &\dots \\
 a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j + \dots + a_{in}x_n &\leq b_i \\
 \dots &\dots \\
 a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mj}x_j + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m
 \end{aligned}$$

Na qual:

$a_{ij}$  = coeficiente da  $j$ -ésima variável na  $i$ -ésima restrição

$b_i$  = limitação da capacidade da  $i$ -ésima restrição

Também é possível expressar na forma de somatórios ou de matrizes:

Maximizar

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, m$$

Na forma matricial fica:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mj} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_j \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_i \\ \dots \\ b_m \end{bmatrix}$$

É possível resolver algebricamente ou através de matrizes.

### 3.1.2 - Propriedades fundamentais da *Programação Linear (PL)*

#### Redução à *forma padrão* ("standard")

O primeiro passo a cumprir com o objectivo de resolver um problema de PL consiste em *converter as restrições funcionais de desigualdade* em **restrições equivalentes** na forma de *igualdade*.

Na secção anterior foi visto que qualquer *restrição de desigualdade* de tipo " $\leq$ " pode ser convertida numa *restrição de igualdade*, incorporando no sistema uma *nova variável não negativa (variável de desvio ou folga)*  $x_{N+1}$  da seguinte forma:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{iN}x_N + x_{N+1} = b_i, \quad x_{N+1} \geq 0$$

Se num problema de PL de maximização na *forma canónica* se introduzir uma variável de folga por cada uma das  $m$  *restrições* do problema, então as  $m$  *restrições de desigualdade* de tipo " $\leq$ " podem ser convertidas em  $m$  *restrições de igualdade* sendo o problema reduzido à *forma padrão*. As variáveis de folga introduzidas têm coeficiente nulo na função objectivo.

<i>Forma Canónica</i>	<i>Forma Padrão</i>
Maximizar $Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_N x_N$	Maximizar $Z = c_1 x_1 + \dots + c_N x_N + 0x_{N+1} + \dots + 0x_{N+M}$
sujeito a	sujeito a
$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1N}x_N \leq b_1$	$a_{11}x_1 + \dots + a_{1N}x_N + x_{N+1} = b_1$
$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2N}x_N \leq b_2$	$a_{21}x_1 + \dots + a_{2N}x_N + x_{N+2} = b_2$
...	...
$a_{M1}x_1 + a_{M2}x_2 + \dots + a_{MN}x_N \leq b_M$	$a_{M1}x_1 + \dots + a_{MN}x_N + x_{N+M} = b_M$

$$x_1, \dots, x_j, \dots, x_N, x_{N+1}, x_{N+2}, \dots, x_{N+M} \geq 0$$

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N \geq 0$$

De modo semelhante podemos reduzir à *forma padrão* um problema de *minimização na forma canónica*.

Como as restrições de desigualdade são de tipo “ $\geq$ ”, em vez de adicionar as variáveis de folga (com coeficiente +1), introduzem-se com coeficiente  $-1$ , i.e., procede-se à sua subtracção, ou seja:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{iN}x_N \geq b_i \Leftrightarrow b_i - a_{i1}x_1 - a_{i2}x_2 - \dots - a_{iN}x_N \leq 0 \Leftrightarrow x'_{N+1} = b_i - a_{i1}x_1 - a_{i2}x_2 - \dots - a_{iN}x_N \leq 0 \Rightarrow x'_{N+1} \leq 0$$

acrescentando-se a variável de folga  $x_{N+1} = -x'_{N+1} \geq 0$  obtém-se:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{iN}x_N - x_{N+1} = b_i, x_{N+1} \geq 0$$

Um problema de PL de minimização na forma canónica pode ser reduzido à forma padrão conforme se apresenta a seguir:

<i>Forma Canónica</i>	<i>Forma Padrão</i>
<p><i>Minimizar</i> <math>Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_N x_N</math></p> <p><i>sujeito a</i></p> $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1N}x_N \geq b_1$ $a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2N}x_N \geq b_2$ <p style="text-align: center;">...</p> $a_{M1}x_1 + a_{M2}x_2 + \dots + a_{MN}x_N \geq b_M$	<p><i>Minimizar</i> <math>Z = c_1 x_1 + \dots + c_N x_N + 0x_{N+1} + \dots + 0x_{N+M}</math></p> <p><i>sujeito a</i></p> $a_{11}x_1 + \dots + a_{1N}x_N - x_{N+1} = b_1$ $a_{21}x_1 + \dots + a_{2N}x_N - x_{N+2} = b_2$ <p style="text-align: center;">...</p> $a_{M1}x_1 + \dots + a_{MN}x_N - x_{N+M} = b_M$ $x_1, \dots, x_j, \dots, x_N, x_{N+1}, x_{N+2}, \dots, x_{N+M} \geq 0$

$$x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N \geq 0$$

O exemplo protótipo pode ser reduzido à forma padrão adicionando 3 variáveis de folga, uma por cada restrição:

<i>Forma Canónica</i>	<i>Forma Padrão</i>
<p><i>Maximizar</i> <math>Z = 3x_1 + 5x_2</math></p> <p><i>sujeito a</i></p> $x_1 \leq 4$ $2x_2 \leq 12$ $3x_1 + 2x_2 \leq 18$ <p><math>x_1, x_2 \geq 0</math></p>	<p><i>Maximizar</i> <math>Z = 3x_1 + 5x_2</math></p> <p><i>sujeito a</i></p> $x_1 + x_3 = 4$ $2x_2 + x_4 = 12$ $3x_1 + 2x_2 + x_5 = 18$ <p><math>x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0</math></p>

### 3.1.3 - Conceitos fundamentais

A introdução destes conceitos fundamentais são necessários para à compreensão do método *simplex*.

Dado que qualquer problema de *maximização* pode ser convertido num problema de *minimização*, o problema de PL terá sempre a seguinte *forma padrão*:

$$\text{Maximizar } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (1.1)$$

*sujeito a*

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n = b_1 \quad (1.2)$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n = b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_m, \dots, x_n \geq 0 \quad (m \leq n) \quad (1.3)$$

**com**

$m$  - número de restrições funcionais,

$n$  - número de variáveis *de decisão*,

Supõe-se ainda que os termos independentes são não negativos:  $b_i \geq 0$  ( $i=1,2,\dots,m$ ) (caso contrário pode-se sempre multiplicar por (-1) toda a equação).

**Definição 1.** Qualquer conjunto de valores para as variáveis  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  que satisfaça as restrições (1.2) do modelo designa-se por **solução**.

**Definição 2.** Se, além disso, a *solução*  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  verificar as restrições de não *negatividade* (1.3) designa-se por **solução admissível**.

O sistema (1.2) é constituído por  $m$  equações e  $n$  incógnitas, onde  $m \leq n$ . Suponha-se que a característica da matriz  $A$  do sistema é igual a  $m$ , i.e.,  $c(A)=m$ . Isto significa que existe uma submatriz quadrada de ordem  $m$  ( $B_{m \times m}$ ) com determinante não nulo. Esta submatriz permite efectuar uma classificação das variáveis em *básicas* (as correspondentes às colunas daquela submatriz) e *não básicas* (as restantes  $n-m$  variáveis).

\**Chama-se característica de uma matriz  $A_{m \times n}$  ao número máximo de colunas que são linearmente independentes.*

Um sistema nestas condições é um sistema indeterminado de grau  $n-m$ , em que  $m$  variáveis podem ser escritas em termo das restantes  $n-m$ , e tem, por consequência, uma infinidade de soluções (correspondente à infinidade de valores que arbitrariamente podem ser atribuídos às  $n-m$  variáveis).

Suponha-se então que  $X=(x_1, x_2, \dots, x_m, x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n)$  é uma solução do sistema de equações (1.2).

**Definição 3.** Se uma submatriz  $B_{m \times m}$  da matriz  $A$  do sistema (1.2) é não singular, i.e., o seu determinante é não nulo, então a submatriz  $B_{m \times m}$  designa-se por **base**.

Sem perda de generalidade, suponha que a **base**  $B$  é composta pelas  $m$  primeiras colunas, i.e.,  $B = \{ P_1, P_2, \dots, P_m \}$ .

**Definição 4.** As  $m$  variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_m$  correspondentes às colunas de  $B_{m \times m}$  designam-se por **variáveis básicas**.

**Definição 5.** As restantes  $n-m$  variáveis  $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$  designam-se por **variáveis não básicas**.

**Definição 6.** Uma **solução básica** para os sistema (1.2) obtém-se atribuindo o valor zero às variáveis não básicas  $x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n$ , e determinando, depois, uma solução para as  $m$  variáveis básicas restantes  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , i.e.,

$X = (x_1, x_2, \dots, x_m, 0, \dots, 0)$ , onde  $X_B = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  é a única solução do sistema de equações  $BX_B = b$ .

**Definição 7.** Se uma solução básica  $X$  verifica ainda as condições de negatividade (1.3), i.e., todas as variáveis da solução são não negativas então esta solução é uma **solução básica admissível (SBA)**.

**Definição 8.** Se todas as variáveis básicas  $x_1, x_2, \dots, x_m$  são não nulas, a solução básica designa-se por **solução básica não degenerada**.

**Definição 9.** Se alguma *variável básica* for *igual a zero* a solução básica designa-se por ***solução básica degenerada***.

**Definição 10.**

### 3.1.4 - Teorem Fundamental da PL

Teorema Fundamental da PL:

Se existe ***uma solução admissível*** para o problema de PL definido pelas expressões (1.1), (1.2) e (1.3), então existe ***uma solução básica admissível***, e se existe ***uma solução óptima admissível*** então existe uma ***solução óptima básica admissível***.

Do teorema fundamental da PL podemos concluir que não é necessário procurar a solução óptima entre todas as soluções admissíveis, mas apenas entre as ***soluções básicas admissíveis***.

O número máximo de *soluções básicas* num problema com  $m$  restrições e  $n$  variáveis, corresponde ao número máximo de bases distintas do sistema (1.2) que podem ser determinadas e esse número é dado pelo número de possíveis combinações de  $m$  números que podem ser obtidas usando  $n$  números:

$$\binom{n}{m} = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

Embora este número possa ser muito grande, teoricamente a solução óptima poderia ser encontrada pela experimentação de todas as *soluções básicas admissíveis*. Este método, porém, é tremendamente ineficaz.



#### 4.0 - METODOLOGIA

Por questões de ética não será citado o nome da fábrica de onde os dados foram coletados, mas todas as informações que foram neste trabalho mencionadas são verídicas. A entrevista foi realizada com o gerente da fábrica escolhida a fim de se conhecer melhor sobre o processo de reciclagem. Com a ajuda de um questionário, que está em anexo como uma pesquisa quantitativa, foram coletados os dados de interesse usando métodos dedutivos. O questionário continham perguntas que envolviam dados sobre fabricação de botijões (com matéria virgem), como também da produção de novos produtos obtidos através da reciclagem dos botijões que não servem mais para reenvase.

As variáveis foram organizadas em forma de um modelo matemático de Programação Linear (PL), no qual se pode operacionalizar de modo que a função objetivo assuma o ponto máximo. Um software livre muito utilizado para solucionar um problema de PL é o LINDO, que é um software interativo para a resolução de problemas de programação Linear, Quadrática e inteira, utilizado para resolução de problemas reais de mais de 10.000 variáveis, dispõe de características que mostram os passos e quadros intermediários de método simplex.

## 5.0 - APLICAÇÃO

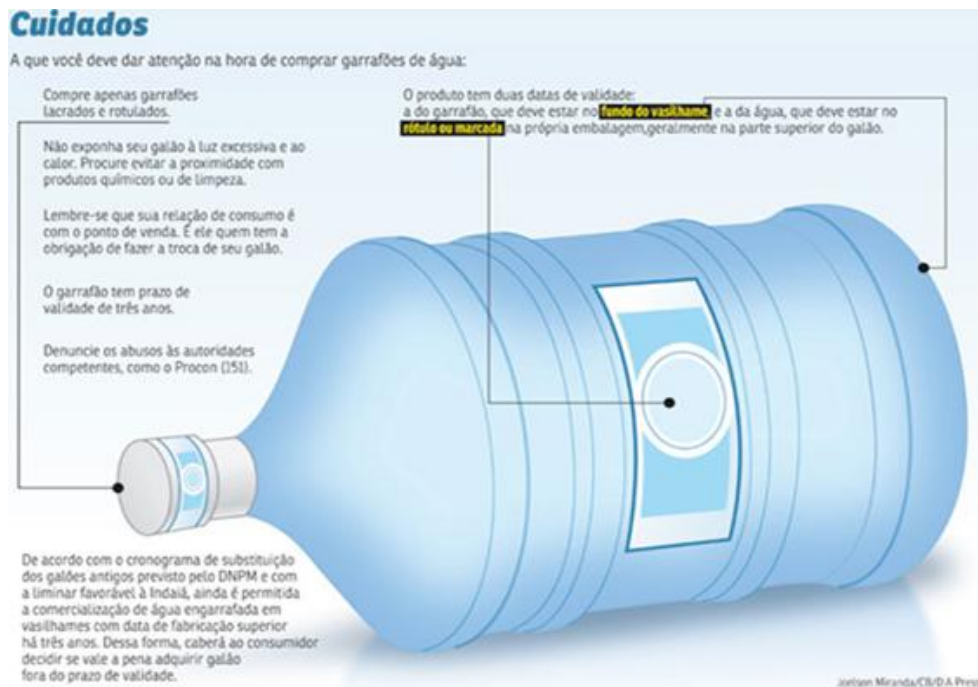
Nos últimos dez anos, em todo o planeta, o consumo de água mineral cresceu 145% e passou a ocupar um lugar de destaque nas preocupações de muitos ambientalistas. O foco não está exatamente na água, mas na embalagem. A fabricação das garrafas plásticas usadas pela maioria das marcas é um processo industrial que provoca grande quantidade de gases que agravam o efeito estufa. Ao serem descartadas, elas produzem montanhas de lixo que nem sempre são recicladas. (CORRÊA e VIEIRA, 28 de novembro de 2007)

Os botijões que são fabricados para o consumo de água mineral são feitos unicamente de matéria virgem e não tem nenhuma ligação com a reciclagem de botijões velhos.

Cada botijão, de acordo com as recomendações da DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral, tem prazo de validade de três anos a partir de sua fabricação, não podendo mais ser usado para reenvase.

A Figura 4 mostra o local onde se encontra no botijão a data de validade da água mineral, que fica no rótulo, e data de fabricação do vasilhame, que fica no fundo do botijão.

Figura 4: Localização do prazo de validade da água mineral e do botijão



Quando o prazo dos três anos é expirado os distribuidores são obrigados a receber os vasilhames de volta e o consumidor não tem nenhum tipo de prejuízo. O problema está em o distribuidor recolher milhares de botijões vencidos e ter que substituí-los por novos para os consumidores, arcando com o prejuízo, e ficando com o compromisso de não agredir o meio ambiente.

Infelizmente, alguns distribuidores ainda jogam esses vasilhames na natureza, e não estão preocupados com o meio ambiente, querem apenas se livrar da grande quantidade de botijões vencidos em seus estabelecimentos. A melhor saída para enfrentar este problema é a reciclagem.

Estes botijões que perderam sua validade são deixados por alguns distribuidores, ou até mesmo por membros de cooperativas, que selecionam no lixo urbano todo o material plástico encontrado, e vende por quilo para o fabricante que reciclará o plástico velho transformando-o em um novo produto.

O bom da reciclagem é que todo o material é aproveitado, ou seja, quanto mais se recicla menos se agride a natureza.

## 5.1 - Estudo de Caso

Para uma aplicação da Otimização na Logística Reversa foi aplicado um questionário em uma Empresa de Reciclagem e Fabricação de Botijões de Água Mineral. Não será divulgado o nome da empresa entrevistada, apenas as respostas dadas pelo gerente serão exibidas, para assim poder ser montado o modelo de PL que será estudado neste trabalho.

A empresa possui espaço físico de 600 metros quadrados para produção. Seus 21 funcionários trabalham 8 horas por dia, com folgando aos sábados e domingos.

Eles tanto fabricam botijões para envase, quanto fazem novos produtos a partir da reciclagem dos botijões que não servem mais para reenvase. É importante frisar que os garrafões de água mineral que passaram dos três anos de fabricação não podem ser mais utilizados na confecção de novos, pois os novos são feitos exclusivamente de matéria virgem.

São utilizadas pela fábrica duas máquinas sopradoras, para a fabricação de garrafões de água mineral novos, dez máquinas de injeção, para caixas de óculos, pés de sofá, cabides, hastes para bandeiras de carro, pentes e outros, e três máquinas de extrusão, para hastes de bandeiras de carro.

A quantidade para confecção de uma caixa de óculos, ou um pé de sofá é 0,04 kg, para um cabide expositor de sandálias em prateleiras é utilizado 0,004 kg, para uma haste de carro a quantidade é 0,06 kg, para uma haste de cano é 0,025 kg, para um pente é 0,020 g, para botijões é 0,72 kg, e suas respectivas tampas, que também são feitas de matéria prima, é 0,007 kg.

O tempo de fabricação de uma caixa de óculos e de um pé de sofá é 30 segundos, um cabide leva 2,5 segundos para ficar pronto, uma haste para bandeiras leva 0,30 segundos, uma haste para carro, 0,18 segundos, um pente, 25 segundos, um botijão de água mineral fica pronto em 2,5 minutos, e a tampa do botijão 6 segundos.

Por mês são recebidos dos distribuidores de água mineral cerca de 15.000 botijões vencidos, além de 10.000 kg de outros materiais plásticos como baldes, bacias, garrafas sanitárias, xampu, detergente, etc., que chegam por meio de catadores de lixo. Este material é usado para a confecção de 50.000 caixas de óculos, 60.000 pés de sofá, de 2.000.000 a 3.000.000 expositores para sandálias, 10.000 peças de pentes e fruteiras, hastes para bandeiras de carro, de mão, de cano.

O custo para a fabricação de cada botijão varia de R\$ 5,50 a R\$6,00. Com tudo, o custo geral mensal da empresa é de R\$ 40.000,00, incluindo despesas de água, energia e outros gastos. Felizmente não tem gastos com entregas, pois os interessados vêm buscar o produto direto na fábrica.

Toda a produção é aproveitada, nada fica estocado, e nenhum material fica sem ser aproveitado, nada vai para o aterro sanitário.

## 5.2 - Modelando o Problema

O primeiro passo é definir a função objetivo, que neste trabalho é maximizar a produção da empresa. Por isso, deseja-se:

$$\text{Max } Z = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$\text{Sujeito a: } 0.720x_8 + 0.07x_9 < 20000$$

$$0.04x_1 + 0.04x_2 + 0.004x_3 + 0.02x_4 + 0.06x_5 + 0.018x_6 + 0.025x_7 < 10000$$

$$0.0083x_1 + 0.0083x_2 + 0.00069x_3 + 0.0069x_4 + 0.000083x_6 + 0.0017x_7 < 1600$$

$$0.00005x_5 < 480$$

$$0.042x_8 + 0.0017x_9 < 320$$

$$8F_1 - 0.0083x_1 > 0$$

$$8F_2 - 0.0083x_2 > 0$$

$$8F_3 - 0.00069x_3 > 0$$

$$8F_4 - 0.0069x_4 > 0$$

$$8F5 - 0.00005x5 > 0$$

$$8F6 - 0.000083x6 > 0$$

$$8F7 - 0.017x7 > 0$$

$$8F8 - 0.042x8 > 0$$

$$8F9 - 0.0017x9 > 0$$

$$F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6 + F7 + F8 + F9 < 23$$

$$X1 > 100$$

$$X2 > 100$$

$$X3 > 100$$

$$X4 > 100$$

$$X5 > 100$$

$$X6 > 100$$

$$X7 > 100$$

$$X8 > 100$$

$$X9 > 100$$

Sendo, X1 representa o número de caixas de óculos, X2 representa o número de pés de sofá, X3 representa o número de expositores para sandálias, X4 representa o número de pentes, X5 representa o número de hastes de bandeira de carro, X6 representa o número de hastes de bandeira de mão, X7 representa o número de bandeira de cano, X8 representa o número de botijões de água mineral, X9 representa o número de tampas de botijões produzidos. Lembrando que, dos materiais produzidos pela fábrica, apenas o botijão e as tampas são feitos de material virgem e não tem nenhuma ligação com a reciclagem dos botijões vencidos. F1, F2,..., F9 são os funcionários necessários para operar as máquinas para cada tipo de produtos.

As restrições impostas ao modelo matemático deste problema são interpretadas da seguinte forma:

- A primeira restrição diz respeito à função objetivo, que pretende maximizar a quantidade de produtos fabricados;
- A segunda restrição informa a quantidade, em kg, de matéria prima gasta na produção do botijão novo;
- A terceira restrição representa a quantidade, em kg, de matéria gasta para fabricar os produtos reciclados;
- A quarta restrição é referente ao tempo, hora/mês, de funcionamento de máquina para a confecção dos produtos reciclados, exceto para hastes de bandeira de carro;
- A quinta restrição é sobre o tempo, hora/mês, de funcionamento de máquina para a confecção exclusiva das hastes de bandeira de carro;
- A sexta restrição representa o tempo, hora/mês, de funcionamento de máquina para a confecção dos botijões novos;
- A sétima restrição representa o número de funcionários necessários para produzir caixas de óculos;
- A oitava restrição representa a quantidade de funcionários para produzir pés de sofá;
- A nona restrição refere-se ao número de funcionários necessários para produzir os expositores de sandálias;
- A décima restrição diz respeito ao o número de funcionários necessários para produzir pentes;
- A décima primeira restrição refere-se ao o número de funcionários necessários para produzir as hastes de bandeira de carro;
- A décima segunda restrição refere-se ao número de funcionários necessários para produzir hastes de bandeira de mão;
- A décima terceira restrição refere-se ao número de funcionários necessários para produzir hastes de bandeira de cano;

- A décima quarta restrição refere-se ao número de funcionários necessários para produzir os botijões novos;
- A décima quinta restrição refere-se ao número de tampas dos novos botijões;
- A décima sexta refere-se o número de funcionários na fábrica;
- A décima sétima restrição diz respeito ao número mínimo de caixas de óculos que se pode produzir;
- A décima oitava restrição diz respeito ao número mínimo de pés de sofá que se pode produzir;
- A décima nona restrição diz respeito ao número mínimo de expositores de sandálias que se pode produzir;
- A vigésima restrição diz respeito ao número mínimo de pentes que se pode produzir;
- A vigésima primeira restrição diz respeito ao número mínimo de hastes de bandeira de carro que se pode produzir;
- A vigésima segunda restrição diz respeito ao número mínimo de hastes de bandeira de mão que se pode produzir;
- A vigésima terceira restrição diz respeito ao número mínimo de hastes de bandeira de cano que se pode produzir;
- A vigésima quarta restrição diz respeito ao número mínimo de botijões novos que se pode produzir;
- A vigésima quinta restrição diz respeito ao número mínimo de tampa de botijões que se pode produzir.

### **5.3 - Resultados Obtidos**

Com a ajuda do software LINDO, foi feito o estudo sobre as condições que maximizariam a quantidade de produtos fabricados a partir do material reciclado.



Após ser modelado o problema, a função objetivo e as restrições foram digitados no software e compilados a fim de gerar os resultados.

A função assumiu seu valor ótimo de produção para  $Z = 650099$  produtos, sendo 100 o número de caixas de óculos, 100 o número de pés de sofás, 115941 o número de expositores de sandálias, 101 o número de pentes, 100 o número de hastes de bandeira de carro, 528762 o número de hastes de bandeira de mão, 100 o número de hastes de bandeira de cano, 190 o número de botijões de água mineral novos, 4705 tampas para os botijões de água mineral novos, 1 funcionário para operar a máquina que fabrica as caixas de óculos, 1 funcionário para operar a máquina que fabrica os pés de sofá, 10 funcionários para operar as máquinas que fabricam os expositores de sandálias, 1 funcionário para operar as máquina que fabrica os pentes, 1 funcionário para operar a máquina que fabricam as hastes de bandeira de carro, 6 funcionários para operar as máquinas que fabricam as hastes de bandeira de mão, 1 funcionário para operar a máquina que fabrica as hastes de bandeira de cano, 1 funcionário para operar a máquina que fabricam os botijões de água mineral, e 1 funcionário para operar a máquina que fabricam as tampas de botijões de água mineral. Lembrando que 2 máquinas sopradores são utilizadas para a confecção dos botijões de água mineral, 3 máquinas de extrusão fabricam as hastes para bandeiras de carro, e 10 máquinas de injeção são utilizadas para a produção os demais produtos.

As restrições que apresentaram resultados menores do que 0,01, tendo em vista que os resultados apresentados são os esperados para o total do mês, foram considerados como folga nula, ou seja, não existe folga para a quantidade (kg) de plástico reciclado, nem para o número de funcionários que operam as máquinas que fabricam os expositores de sandálias, assim com o número de funcionários que trabalham na fábrica, o número de caixas de óculos fabricados, o número de pés de sofá fabricados, o número de hastes de bandeiras de carro, como também o número de hastes de bandeiras de cano. Isto significa que os produtos e os funcionários citados são todos aproveitados.

## 6.0 - CONCLUSÃO

A Logística Reversa conforme mostrado nos tópicos anteriores pode ser uma fonte de vantagem competitiva para as empresas, conforme mencionado pelos diversos pesquisadores, e na medida em que as cadeias de suprimento que competem entre si, esforçam-se para otimizar a cadeia direta e deixam de lado a cadeia reversa, criam-se oportunidades para gerar vantagens competitivas para as empresas que focam na sua cadeia integral (direta e reversa).

Foi possível observar que a Pesquisa Operacional, através da Programação linear contribui para compartilhar a matemática com as informações e os objetivos do problema visando maximizar lucros ou minimizar custos da empresa utilizando a logística reversa através de materiais recicláveis melhorando sempre o faturamento da empresa com o retorno dos produtos e diminuindo os resíduos sólidos no meio ambiente. E através dos resultados obtidos concluímos que é possível verificar a importância da Otimização juntamente com a Logística Reversa melhorando sempre o lucro da empresa com a maximização da produção, o que contribui bastante para a diminuição dos resíduos na natureza.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLM. 1993. **Reuse and recycling reverse logistics opportunities**. Illinois: Council of Logistics Management.
- FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; DEKKER, R.; van der LAAN, E. van NUNEN, J. E. E. van WASSENHOVE, L. N. **Quantitative Models for Reverse Logistics: a review**. *European Journal of Operational Research*, v. 103:1, p. 1-17, 1997.
- KNIGHT, F. H. **Risco, incerteza e lucro**. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1972.
- KOTLER, P. **Administração de Marketing: análise, planejamento, implementação e controle**. São Paulo: Atlas, 1996.
- LEITE, PAULO ROBERTO. **Logística reversa: nova área da logística empresarial**. *Tecnológica*, Ano VII, n. 78, pp. 102-109. 2002.
- \_\_\_\_\_. **Logística Reversa - Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2003.
- MASON, S. J.; G. M. MIMMACK: **Comparison of some statistical methods of probabilistic forecasting of ENSO**. *Journal of Climate*, p.15, 2002.
- ROGERS, S.; TIBBEN; RONALD S.. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**. Reno, University of Nevada: 1999.
- SHAMBLIN E; STEVENS JR, G. T. **Pesquisa operacional: uma abordagem básica**. São Paulo: Atlas, 1979.

## APÊNDICE

### A – Questionário aplicado:

- 1- Nome da empresa (que será mantido em sigilo se for da vontade do proprietário: Plasvan Indústria e comércio de plásticos Ltda.
- 2- Quantidade de botijões da água recebidos: 15.000 por mês
- 3- Quantidade e quais de outras matérias primas para reciclagem: 10.000 kg por mês de (baldes, bacias, garrafas sanitárias, shampoo, detergente, etc.)
- 4- Quais os tipos de produtos fabricados e suas respectivas quantidades: 50.000 caixas de óculos, 60.000 pés de sofá, de 2.000.000 a 3.000.000 expositores para sandálias, 10.00 peças de pentes e fruteiras, hastes para bandeiras (de carro, de mão, de cano) apenas quando há demanda.
- 5- Quantidade de matéria virgem para fabricação de botijões novos: em média, 20.000 kg por mês para fabricação de 27.000 botijões
- 6- Quantidade de botijões novos fabricados: 27.000 botijões
- 7- Quantidade de produtos fabricados (para cada tipo de produto fabricado:
- 8- Demanda dos produtos fabricados (para cada tipo de produto fabricado: todo o que é produzido já depende da demanda.
- 9- Matéria prima que vai para o aterro sanitário: nenhuma. Tudo é aproveitado
- 10-Custo do recebimento de botijões vazios: 1,5 por botijão
- 11-Custo das matérias primas adquiridas para fabricar os produtos (para cada tipo de matéria utilizada): 2,05 por kg+ 0,25 para lavar + 0,10 matéria virgem,+ água e energia= 2,40 por kg até 3,00; o custo total por kg varia de 5,50 a 6,00
- 12-Forma de aquisição do material que será reciclado: catadores de lixo e distribuidores de botijões de água mineral
- 13-Quantidade de máquinas para fabricação de cada produto: 2 sopradoras: (garrafões de água mineral novos); 10 de injeção: (caixas de óculos, pés de sofá. Cabides, hastes para bandeiras da carro, pentes e outros.; 3 (extrusão?) : (hastes para bandeiras de carro)
- 14-Tempo de fabricação de cada produto: caixas de óculos(30 seg por unid.), pés de sofá (30 seg. por unid.), cabides(2,5 seg por unid.), hastes para bandeiras (0,30 seg por unid.), hastes para carro (0,18 seg por unid.), garrafas (2,5 min. por unid.), tamaps (6 seg), pente (25 seg)
- 15-Espaço físico para produção: 600 m<sup>2</sup>
- 16-Quantidade de funcionários: 21 funcionários
- 17-Carga horária dos funcionários: 8 horas com intervalo para almoço (funcionando os três turnos)
- 18-Custo de energia e água, e outros, para fabricação dos produtos: R\$ 40.000,00

- 19-Armazenamento e quantidade em estoque de cada produto: na maioria das vezes é feito sob encomenda, por isso não fica estocado
- 20-Entrega das mercadorias recicladas: os interessados vem buscar sua mercadorias
- 21-Quantidade de matéria-prima utilizada em cada produto: 50.000 caixas de óculos com 0,04kg por uind.; 60.000 pes de sofá com 0,040 kg por unid.; 2.000.000 cabides com 0,004 kg por unid.; hastes de carro com 0,06 kg por unid.; hastes de cano com 0,025 kg por unid.; pentes com 20g por unid.; botijões com 720g por unid. ;tampas com 7g por uind.