

**LOCALIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS DE RECICLAGEM
NA CADEIA LOGÍSTICA REVERSA DO COCO VERDE**

ARLISS JOSÉ SCHWARTZ FILHO

**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL - TRANSPORTES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
VITÓRIA, DEZEMBRO DE 2006**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**LOCALIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS DE RECICLAGEM
NA CADEIA LOGÍSTICA REVERSA DO COCO VERDE**

ARLISS JOSÉ SCHWARTZ FILHO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
– TRANSPORTES –**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
VITÓRIA, DEZEMBRO DE 2006**

LOCALIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS DE RECICLAGEM NA CADEIA LOGÍSTICA REVERSA DO COCO VERDE

ARLISS JOSÉ SCHWARTZ FILHO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, na área de concentração em Transportes.

Aprovada em 05 de Dezembro de 2006.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^ª. Ph.D. Maria Inês Faé
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Orientadora

Prof. M.Sc. Glaydston Mattos Ribeiro
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Co-Orientador

Prof. Ph.D. Hannu Tapio Ahonen
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador Interno

Prof. Ph.D. Nicolau Dionísio Fares Gualda
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP
Examinador Externo

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S3991 Schwartz Filho, Arliss José, 1971-
Localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde / Arliss José Schwartz Filho. – 2006.
127 f. : il.

Orientadora: Maria Inês Faé.

Co-Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Indústria - Localização. 2. Reciclagem - Indústria - Custos. 3. Logística. 4. Programação (Matemática). 5. Resíduos vegetais. 6 Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 7. Pesquisa operacional. I. Faé, Maria Inês. II. Ribeiro, Glaydston Mattos. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 624

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais Arliss e Eliani,
irmãs Flávia e Jaqueline, esposa Fabiana e
filha Júlia.

AGRADECIMENTOS

- Em primeiro lugar a Deus que me iluminou e deu forças para superar as dificuldades encontradas;
- Em especial à Professora Maria Inês Faé e ao Professor Glaydston Mattos Ribeiro, pelos conhecimentos transmitidos, dedicação e paciência, requisitos fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação;
- Aos demais professores que participaram da banca de defesa, Hannu e Gualda, pelas importantes contribuições fornecidas;
- Aos colegas Débora, Francisco e Leivsgton;
- Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Transportes e aos secretários Wilton e Andréia, pelo apoio e dedicação;
- Aos colegas da iniciação científica, em especial a Fernanda, Rodolfo e Gueder, pelo importante fornecimento de dados levantados em suas pesquisas;
- Aos amigos e colegas de trabalho que sempre acreditaram, incentivaram e me apoiaram ao longo dessa jornada;
- Aos gerentes da Empresa Accenture do Brasil Ltda, em especial a Lourdes Coelho Santana, pelo apoio e flexibilização de horários, o que foi fundamental para cumprimento das matérias obrigatórias e conclusão da dissertação;
- À Universidade Pública, Gratuita e de Qualidade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Considerações Gerais.....	14
1.2. Objetivo.....	16
1.2.1. Objetivos Gerais.....	16
1.2.2. Objetivos Específicos.....	16
1.3. Estrutura do Trabalho.....	16
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	18
2.1. Localização de Instalações.....	18
2.1.1. Processo de Modelagem.....	19
2.1.2. Modelos Matemáticos de Pesquisa Operacional.....	20
a. Modelos de Programação Linear.....	22
b. Modelos de Programação Não-Linear.....	23
2.1.3. Aplicações de Modelos de Localização de Instalações.....	24
2.2. Logística Reversa.....	30
2.3. Cadeia Logística do Coco Verde.....	34
2.3.1. Aproveitamento de Resíduos do Coco Verde.....	35
2.3.2. Cadeia Logística Reversa do Coco Verde no Brasil.....	39
2.4. Considerações Finais da Revisão da Literatura.....	44

3. METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO.....	45
3.1. Revisão Bibliográfica.....	45
3.2. Coleta de Dados e Informações.....	45
3.3. Padronização dos Dados.....	46
3.4. Modelagem do Problema de Localização de Indústrias de Reciclagem.....	46
3.5. Cenários e Ferramentas Utilizados na Aplicação do Modelo de Localização....	51
3.6. Fluxograma Analítico.....	52
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA PROPOSTO.....	54
4.1. Quantidade Total de Resíduos do Coco Verde.....	54
4.2. Locais Geradores de Resíduos e Candidatos à Instalação das Indústrias de Reciclagem.....	55
4.3. Determinação das Distâncias.....	58
4.4. Custos Aplicáveis ao Problema Proposto.....	60
4.4.1. Custos Fixos.....	61
a. Custo Fixo de Instalação.....	61
b. Custo Fixo de Operação.....	64
4.4.2. Custos Variáveis.....	65
a. Custo Variável de Operação.....	65
b. Custo Variável de Estoque.....	65
c. Custo Variável de Transporte.....	66
4.5. Cenários do Problema Proposto.....	67
4.5.1. Restrições Específicas para Cada Cenário.....	69
4.5.2. Modelo de Localização Resumido Aplicável aos Cenários.....	74
4.6. Considerações Finais do Problema Proposto.....	74

5. APLICAÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	75
5.1. Aplicação do Modelo Matemático nos Dez Cenários.....	75
5.1.1. Cenário 1 - Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados em cada região.....	76
a. Sub-Cenário 1.1 - Uma indústria na Região Norte, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.....	76
b. Sub-Cenário 1.2 - Uma indústria na Região Sul, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.....	77
c. Sub-Cenário 1.3 - Uma indústria na Região da Grande Vitória, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.....	78
5.1.2. Cenário 2 - Uma indústria, com capacidade igual ao total de resíduos gerados.....	79
5.1.3. Cenário 3 - Duas indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por dois.....	80
5.1.4. Cenário 4 - Três indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.....	81
5.1.5. Cenário 5 - Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.....	82
5.1.6. Cenário 6 - Número ideal de indústrias, sem restrição de capacidade (“cenário ideal”).....	83
5.1.7. Cenário 7 - Duas indústrias, sem restrição de capacidade.....	84
5.1.8. Cenário 8 - Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, sem restrição de capacidade.....	85
5.1.9. Cenário 9 - Quatro indústrias, sem restrição de capacidade.....	86
5.1.10. Cenário 10 - Cinco indústrias, sem restrição de capacidade.....	87
5.2. Análise Consolidada dos Resultados.....	88
5.3. Análise de Sensibilidade.....	91
5.4. Considerações Finais da Aplicação do Modelo de Localização.....	93

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	101
ANEXO I - Solução do Modelo de Localização Utilizando as Ferramentas de Otimização <i>Solver</i> e <i>What'sBest!</i>	102
I.1. Utilizando a Ferramenta <i>Solver</i>	107
I.2. Utilizando a Ferramenta <i>What'sBest!</i>	113
ANEXO II - Resultados das Análises de Sensibilidade Realizadas em Cada Cenário.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Locais candidatos e número de habitantes.....	56
Tabela 4.2 - Locais candidatos, número de habitantes e rateio da quantidade de resíduos.....	57
Tabela 4.3 - Distâncias entre os locais geradores de resíduos e candidatos.....	59
Tabela 4.4 - Rateio do custo fixo de instalação e área de construção.....	62
Tabela 4.5 - Estimativa do custo fixo de instalação total para cada local candidato....	62
Tabela 4.6 - Custo fixo de instalação por faixa de capacidade.....	63
Tabela 4.7 - Rateio do custo fixo de operação.....	64
Tabela 4.8 - Custo fixo de operação faixa de capacidade.....	65
Tabela 4.9 - Custos variáveis de estoque.....	66
Tabela 4.10 - Quantidade de produtos reciclados.....	66
Tabela 5.1 - Resultados finais de cada cenário.....	89
Tabela A.1 - Simulações no Sub-Cenário 1.1.....	124
Tabela A.2 - Simulações no Sub-Cenário 1.2.....	124
Tabela A.3 - Simulações no Sub-Cenário 1.3.....	124
Tabela A.4 - Simulações no Cenário 2.....	125
Tabela A.5 - Simulações no Cenário 3.....	125
Tabela A.6 - Simulações no Cenário 4.....	125
Tabela A.7 - Simulações no Cenário 5.....	126
Tabela A.8 - Simulações no Cenário 6.....	126
Tabela A.9 - Simulações no Cenário 7.....	126
Tabela A.10 - Simulações no Cenário 8.....	127
Tabela A.11 - Simulações no Cenário 9.....	127
Tabela A.12 - Simulações no Cenário 10.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Processo de modelagem.....	19
Figura 2.2 - Representação esquemática dos processos logísticos direto e reverso.....	32
Figura 2.3 - Atividades típicas do processo logístico reverso.....	32
Figura 2.4 - Exemplo de uma cadeia logística direta do coco verde.....	34
Figura 2.5 - Fluxograma da logística reversa de pós-consumo.....	34
Figura 2.6 - Exemplo de uma cadeia logística reversa do coco verde.....	35
Figura 2.7 - Constituição do coco.....	37
Figura 2.8 - Fluxograma Operacional do projeto de Cuiabá/MS.....	41
Figura 3.1 - Cadeia de suprimentos.....	47
Figura 3.2 - Cadeia logística reversa.....	47
Figura 3.3 - Fluxograma analítico detalhado.....	53
Figura 4.1 - Mapa do Estado do Espírito Santo com os locais candidatos.....	58
Figura 5.1 - Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.1.....	76
Figura 5.2 - Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.2.....	77
Figura 5.3 - Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.3.....	78
Figura 5.4 - Representação gráfica do resultado do Cenário 2.....	79
Figura 5.5 - Representação gráfica do resultado do Cenário 3.....	80
Figura 5.6 - Representação gráfica do resultado do Cenário 4.....	81
Figura 5.7 - Representação gráfica do resultado do Cenário 5.....	82
Figura 5.8 - Representação gráfica do resultado do Cenário 6.....	83
Figura 5.9 - Representação gráfica do resultado do Cenário 7.....	84
Figura 5.10 - Representação gráfica do resultado do Cenário 8.....	85
Figura 5.11 - Representação gráfica do resultado do Cenário 9.....	86
Figura 5.12 - Representação gráfica do resultado do Cenário 10.....	87
Figura A.1 - Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.1 – Região Norte.....	102
Figura A.2 - Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.2 – Região Sul.....	103
Figura A.3 - Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.3 – Região Metropolitana da Grande Vitória.....	103

Figura A.4 - Dados de entrada para os Cenários 2 a 10 – todo o Estado do Espírito Santo.....	104
Figura A.5 - Modelo de localização e valores dos custos.....	106
Figura A.6 - Multiplicadores para simulações.....	107
Figura A.7 - Menu “Ferramentas / Solver”.....	108
Figura A.8 - Definição da célula de destino que contem a fórmula do custo total e opção “min”	108
Figura A.9 - Células variáveis (ajustáveis) de decisão para o <i>Solver</i>	109
Figura A.10 - Definição das restrições a serem submetidas pelo <i>Solver</i> no modelo matemático.....	110
Figura A.11 - Opções de execução do <i>Solver</i>	110
Figura A.12 - Solução encontrada pelo <i>Solver</i>	112
Figura A.13 - Menu “WB! / Best”	114
Figura A.14 - Definição da célula de destino que contem a fórmula do custo total e opção “Minimize”	114
Figura A.15 - Células variáveis (ajustáveis) de decisão para o <i>What’sBest!</i>	115
Figura A.16 - Definição das restrições a serem submetidas pelo <i>What’sBest!</i> no modelo matemático, utilizando-se valor Binário para as restrições das células.....	117
Figura A.17 - Exemplo do Cenário 2. Definição das restrições a serem submetidas pelo <i>What’sBest!</i> no modelo matemático, utilizando-se Operadores Lógicos.....	118
Figura A.18 - Ícones de atalho disponibilizados pela ferramenta <i>What’sBest!</i>	119
Figura A.19 - Opções de execução do <i>What’sBest!</i>	120
Figura A.20 - Exemplo de solução “linear” encontrada pelo <i>What’sBest!</i>	121
Figura A.21 - Exemplo de solução “não-linear” encontrada pelo <i>What’sBest!</i>	122
Figura A.22 - Exemplo de um resultado de solução implementada pelo <i>Solver</i>	122
Figura A.23 - Exemplo de um resultado de solução implementada pelo <i>What’sBest!</i> ..	123

RESUMO

Este trabalho buscou desenvolver um modelo matemático e um procedimento metodológico que contribuam para o estudo de localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde. Os resíduos do coco verde jogados nos lixões ou espalhados pelas praias causam um grande impacto ao meio ambiente. Estes resíduos podem ganhar um novo destino, mais qualificado e rentável, a partir da transformação de sua casca em fibra e pó, e da fabricação de produtos derivados destes dois componentes, criando ao mesmo tempo condições para gerar emprego e renda. É de grande importância o estudo de localização, tema abordado no presente estudo usando os seguintes passos metodológicos: caracterização da cadeia logística reversa do coco verde; seleção dos locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem; estimativa das quantidades de resíduos do coco verde gerados, distâncias e custos; modelagem do problema proposto, utilizando-se a programação linear mista e não-linear; e escolha das ferramentas para solução do modelo. Estima-se a quantidade de indústrias de reciclagem da casca do coco verde, suas capacidades e as melhores localizações, com a devida distribuição dos resíduos, que minimizem os custos de instalação, operação, estoque e transporte, utilizando um modelo matemático. Foram criados dez cenários relacionados ao problema proposto para o Estado do Espírito Santo, combinando-se diferentes quantidades de indústrias, capacidades e regiões de instalação, e variando-se os custos envolvidos, a quantidade de resíduos e o tempo de vida das indústrias. O modelo matemático mostrou ser bastante útil como instrumento auxiliar de análise de problemas de localização, tanto pela simplicidade de operação quanto pela aplicação das ferramentas *Solver* e *What'sBest!* disponíveis no mercado. Os resultados foram coerentes com o esperado, face à realidade atual do Estado do Espírito Santo no que tange à localização do aterro sanitário existente no município de Cariacica, hoje utilizado como local de destinação final dos resíduos do coco verde gerados na Região da Grande Vitória, sendo o mesmo escolhido nos dez cenários utilizados.

Palavras-chave: localização de instalações; logística reversa; modelos de programação linear e não-linear; ferramentas de otimização; aproveitamento de resíduos do coco verde; reciclagem; custos; pesquisa operacional.

ABSTRACT

This work aims at developing a mathematical model and a methodological approach for the location of recycling industries of green coconut residuals. The coconut hard cover can cause environmental impacts when discharged along the beaches or in land farming. These residuals can be recycled and transformed into fibres, a qualified and profitable use, that can also generate jobs and revenues. It is of great importance the location study, theme approached in the present study using the following methodological steps: the characterization of the reverse chain logistics of the green coconut; selection of the places that are potential candidates to settle the recycling industries; estimation of the residual amount that is produced, travel distances and costs; development of a model of mixed linear and no linear programming; and choice of the tools for solution of the model. The modeling takes into account the amount of recycling industries, its capacities, the best locations and the corresponding residual distribution, which minimize the costs of installation, operation, stock and transport. Ten scenarios related to the problem were created for *Espírito Santo* State combining the numbers of industries, capacities and locations, and varying the involved costs, the amount of residues and the life time of the industries. The mathematical model showed to be a quite useful tool for analysis of location problems, due to its operational simplicity as well as the availability in the market of Solver and What'sBest!. As expected, the results agree with the reality of *Espírito Santo* State concerning the landfill location in the *Cariacica* district, actual place of destination of the green coconut residuals generated in the *Grande Vitória* region, being the same chosen in the ten used sceneries.

Keywords: industry location; reverse logistics; location models of linear and non linear programming; use of residues of the green coconut; recycling; costs; operational research.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Gerais

O coco verde é uma fruta tropical cuja água fresca traz muitos benefícios à saúde humana, e sua popularização desencadeou um aumento progressivo do seu consumo. De acordo com dados da Secretaria de Estado da Agricultura do Espírito Santo, SEAG-ES (2004), entre os anos de 1999 e 2003 a produção de coco verde quase que dobrou no estado.

Considerando-se que do coco verde consome-se principalmente a água, o volume de rejeito indicado por Senhoras (2003) corresponde a 85 % do peso do fruto. Desta forma, para se obter um copo com 250 ml de água são gerados, aproximadamente, 1,3 quilos de lixo. Estes resíduos do coco verde são responsáveis por um grande volume do lixo urbano, principalmente nos municípios do litoral brasileiro, onde há um maior consumo. As cascas levam aproximadamente oito anos para se degradar, causando problemas ambientais. Por se tratar de um produto orgânico, deteriora-se facilmente, atraindo insetos e ratos, podendo causar diversos problemas à saúde do ser humano. O descarte desses resíduos em lixões e aterros sanitários representa um custo adicional aos órgãos gestores (Passos, 2005).

Os principais estabelecimentos de consumo, e conseqüentemente de geração de resíduos do coco verde, são os quiosques localizados em praias dos municípios litorâneos, supermercados, feiras livres, carrinhos ambulantes e indústrias de envasamento. Porém, uma quantia significativa dos resíduos vem dos consumidores domésticos, que são numerosos pontos geradores dentro da rede logística de transportes. Os resíduos do coco verde são geralmente misturados ao lixo doméstico, o que dificulta sua separação e ocasiona a redução do seu valor econômico residual.

Nos últimos anos, vem sendo dada especial atenção à minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos gerados nos diferentes processos industriais, no comércio e nas residências. Além de fonte de matéria orgânica, os resíduos provenientes de alimentos são passíveis de recuperação e aproveitamento.

De acordo com Andrade (2005), os resíduos do coco verde podem ser aproveitados na transformação da casca em fibra e pó, e fabricação de produtos derivados destes dois componentes. Para isso, é necessário que se implantem indústrias de reciclagem para processamento destes resíduos. O principal uso do pó está na produção de substrato agrícola em substituição a outros produtos como areia lavada, pó de xaxim, vermiculita, turfa, casca de arroz carbonizada e outros. A fibra tem uma infinidade de usos, dentre eles podem ser destacados a produção de estofamentos, forramento interno de automóveis, vasos, placas e bastões.

Alguns projetos de aproveitamento dos resíduos de coco já foram implantados com sucesso no Brasil, como o da primeira unidade de beneficiamento de casca do coco verde do nordeste, em 2005, desenvolvido pela Embrapa Agroindústria Tropical e localizada em Fortaleza/CE (EMBRAPA, 2005). Nesta unidade são produzidos pó e fibra bruta, e produtos derivados dos mesmos, tais como substratos agrícolas, placas, vasos, bastões e peças de artesanatos diversos.

Um outro projeto pertence à empresa denominada Coco Verde RJ, localizada no Estado do Rio de Janeiro, que além dos produtos derivados do pó e da fibra, comercializa equipamentos e acessórios para vendas de coco, distribui a fruta e promove a coleta do resíduo (Projeto Coco Verde, 2004).

O problema da coleta de resíduos para reaproveitamento enquadra-se como um dos casos de Logística Reversa, pois, segundo Leite (2003), a logística reversa é definida 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, entre outros.

A cadeia logística reversa do coco verde objetiva a reciclagem ou então a sua destinação final, após o consumo da água. É formada pelas etapas de coleta, armazenagem, acondicionamento e beneficiamento das cascas, sendo de grande importância o estudo de localização, tanto para a instalação de indústrias de reciclagem da casca do coco verde, quanto para a instalação de aterros sanitários para o descarte final do produto.

Segundo Lacerda (2002), o estudo de localização de instalações é um assunto amplo e que envolve várias áreas, tais como: logística, transportes, pesquisa operacional, administração e economia. Tem como objetivo determinar os locais ótimos onde serão fabricados os produtos, realizadas as operações ou prestados os serviços, considerando toda a rede logística que será formada entre as instalações. É de grande importância, tendo em vista os altos investimentos necessários e impactos que as decisões de localização têm sobre os custos logísticos.

A decisão de localização de uma fábrica talvez seja a mais importante do estudo da logística, conforme Casarotto Filho (1995). A grande parcela dos recursos para investimentos fixos é investida em instalações industriais, tornando-se um fato praticamente irreversível, pois alterar uma decisão errada é altamente custoso.

Os problemas de localização geralmente são complexos e envolvem um grande volume de dados. A complexidade é devido ao fato de a análise ter que lidar com um conjunto extenso de variáveis de decisão que se influenciam mutuamente. Além disso, o número de possíveis alternativas a serem analisadas e comparadas é muito alto, mesmo para problemas de pequeno porte. Embora as dificuldades pareçam grandes, atualmente estão disponíveis um grande número de ferramentas computacionais que tornam mais fácil as tarefas de modelagem, otimização do problema e tratamento da grande massa de dados tipicamente presente nos estudos de localização.

De acordo com Lacerda (2002), os métodos de solução mais utilizados são os métodos heurísticos, a simulação e a otimização, mais especificamente as programações matemáticas linear e não-linear, sendo estas as técnicas predominantes na grande maioria das ferramentas de otimização. Uma das principais vantagens da programação matemática é a capacidade de modelar adequadamente os custos fixos e variáveis de uma rede logística. Além disso, garante que as soluções encontradas sejam as melhores possíveis com relação ao conjunto de premissas adotadas. Os métodos heurísticos, ao contrário, exigem menos recursos computacionais, mas também são menos rigorosos na identificação das melhores alternativas.

Apesar da existência de um grande número de ferramentas computacionais disponíveis atualmente no mercado, a escolha dos locais mais adequados para a localização de instalações normalmente ainda é feita baseada em procedimentos empíricos (Pimentel, 2004). Por outro lado, a comunidade acadêmica utiliza modelos matemáticos sofisticados que, por falta de conhecimento das empresas, acabam não sendo aplicados. Daí a importância de um trabalho, como este, que apresente uma metodologia, um modelo matemático e a solução deste por meio de ferramentas computacionais.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um modelo matemático e um procedimento metodológico que contribuam para o estudo de localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde. Este modelo de localização, baseado em técnicas de pesquisa operacional, deverá servir como roteiro e ferramenta para tomadas de decisão.

Busca-se estimar a quantidade de indústrias de reciclagem a serem instaladas na cadeia logística reversa do coco verde, suas capacidades e as melhores localizações, com a devida distribuição dos resíduos de coco (quais locais geradores abastecerão quais indústrias, e com quais quantidades), que minimizem o custo total de instalação, operação, estoque e transporte.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis de decisão, parâmetros e restrições que devem ser levados em consideração na elaboração do modelo de localização;
- Avaliar a aplicabilidade do modelo de localização ao problema proposto para o Estado do Espírito Santo.

1.3. Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em seis capítulos. O presente capítulo apresenta uma introdução ao trabalho, os objetivos e a sua estrutura.

O segundo capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre assuntos relacionados à localização de instalações, logística reversa e à cadeia logística do coco verde.

O terceiro capítulo refere-se à metodologia utilizada no trabalho, sendo apresentado o modelo de localização aplicado ao problema proposto.

O escopo do quarto capítulo compreende a análise do problema proposto, a explicação sobre as limitações do trabalho e a apresentação dos dados, bem como a análise dos mesmos.

No quinto capítulo é feita a aplicação do modelo de localização na cadeia logística reversa do coco verde no Estado do Espírito Santo e realizada a análise dos resultados. O modelo é aplicado em dez cenários, fazendo variar a área de estudo em regiões ou como sendo todo o estado, cada qual com suas restrições particulares que afetam a quantidade, capacidade e localização das indústrias de reciclagem.

No quinto capítulo é também realizada uma análise de sensibilidade para cada cenário, fazendo variar os valores das variáveis presentes no modelo e verificando os correspondentes impactos nos resultados finais.

As conclusões e as sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no sexto capítulo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são abordados os principais estudos relativos à localização de instalações, logística reversa e cadeia logística do coco verde, que possam servir de base para a escolha da metodologia a ser aplicada no desenvolvimento de um modelo matemático que melhor atenda aos objetivos desta dissertação.

2.1. Localização de Instalações

O estudo de localização de instalações, sejam elas indústrias, centros de distribuição, terminais de transporte, escolas, postos policiais, entre outros, tem como objetivo determinar os locais ótimos onde serão fabricados os produtos, realizadas as operações ou prestados os serviços, considerando toda a rede logística na qual se encontram estas instalações (Lacerda, 2002). É de grande importância, tendo em vista os altos investimentos necessários e impactos que as decisões de localização têm sobre os custos logísticos.

Localização de instalações é um assunto que já vem sendo estudado há bastante tempo e caracteriza-se por um alto nível de complexidade, variabilidade de critérios e grande volume de dados.

Segundo Casarotto Filho (1995), existem vários fatores que influenciam na decisão da localização de uma instalação:

- Acesso a mercados e centros de distribuição;
- Acesso a fornecedores e recursos;
- Aspectos comunitários e governamentais;
- Possibilidades de competição;
- Considerações ambientais;
- Interação com o restante da corporação;
- Disponibilidade e qualidade da força de trabalho;
- Atratividades do local;
- Impostos, financiamentos e incentivos;
- Facilidades de transportes;
- Disponibilidades de utilidades e serviços (aglomeração).

Para cada aplicação específica devem ser escolhidos os fatores mais adequados e a técnica que melhor se aplica na localização das instalações.

Na visão de Clemente (1998), o estudo de localização é importante também para o setor público. O Estado, ao assumir o papel de indutor da atividade econômica, pode influenciar significativamente na localização das atividades agrícolas e industriais, considerando a utilização eficiente dos recursos disponíveis, o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida da população. Para tanto, sua atuação precisa fundamentar-se em estudos de potencialidades regionais e urbanas, tendo como referência os critérios empresariais para escolha da localização.

Os ganhos obtidos com os estudos de localização são bastante significativos para a cadeia produtiva. O setor de agronegócio brasileiro carece da aplicação de técnicas cientificamente estruturadas, considerando que as políticas governamentais não têm apoiado, como deveriam, os pequenos produtores, implicando cadeias produtivas com baixa produtividade e competitividade (Arruda *et al.*, 2004).

Os estudos de localização de instalações geralmente envolvem a elaboração e aplicação de um modelo matemático para determinar a solução de determinado problema. Alguns trabalhos que tratam de modelagem são apresentadas a seguir.

2.1.1. Processo de Modelagem

Na medida em que as necessidades humanas foram se tornando mais complexas, cresceram as demandas para aperfeiçoar o processo de compreensão do mundo. Na impossibilidade de lidar diretamente com a complexidade, o homem tem se mostrado cada vez mais hábil na criação de metáforas para a representação e solução de problemas reais (Carvalho, 2002). Esse processo de busca de uma visão bem estruturada da realidade é fundamentalmente um fenômeno de modelagem.

Segundo Lisboa (2005), um modelo é uma representação de um sistema real, que pode já existir ou ser um projeto aguardando execução. No primeiro caso, o modelo pretende reproduzir o funcionamento do sistema, de modo a aumentar sua produtividade. No segundo caso, o modelo é utilizado para definir a estrutura ideal do sistema.

De acordo com Goldbarg e Luna (2000), o processo de construção de modelos segue, resumidamente, os passos apresentados no fluxograma da Figura 2.1.

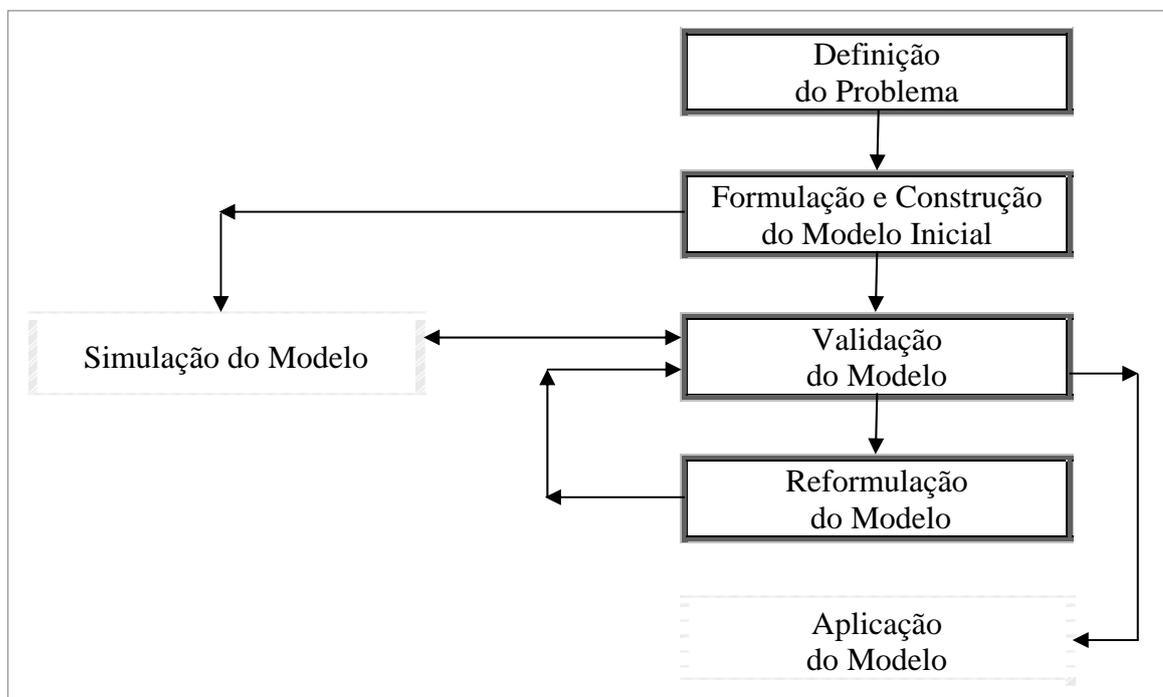


Figura 2.1: Processo de modelagem
Fonte: Goldbarg e Luna (2000)

Segundo Souza (2002), a definição do problema é uma das etapas de maior importância no processo e subentende a perfeita compreensão do desafio proposto. O problema deve ser traduzido em elementos palpáveis abrangendo: objetivos, variáveis de decisão ou controle e níveis de detalhe.

A correta formulação do modelo de otimização é outro passo importante para o sucesso do processo de modelagem. A desejada adequação do modelo depende de elementos quantitativos e matemáticos, porém, fatores como a percepção do elaborador do modelo, intuição, experiência, criatividade, poder de síntese, entre outros, são particularmente importantes nesta etapa de formulação. São definidos, na mesma, os tipos de variáveis que serão utilizadas na representação, assim como o nível apropriado de agregação dessas variáveis. Também devem ser representadas as restrições do problema, não somente as quantitativas como as de natureza lógica. O modelo deve ser adequado à natureza dos dados de entrada e de saída, bem como ser capaz de expressar as funções de desempenho, denominadas de funções objetivo.

Segundo Novaes (2001), o papel dos modelos matemáticos é fornecer ferramentas poderosas para assistir ao tomador de decisão e protegê-lo de erros evitáveis. A aplicação de uma modelagem eficiente permite fazer previsões, tomar decisões, explicar e entender, enfim, participar do mundo real com capacidade de influenciar em suas mudanças. Na fase de validação do modelo, cumpre comparar seu comportamento com a realidade e, se necessário, atuar sobre esses elementos de forma a aproximar ao máximo o comportamento do sistema modelado ao do sistema real.

O uso de modelos matemáticos para a solução de problemas de localização de instalações é normalmente encontrado em Pesquisa Operacional. A seguir são relacionados alguns trabalhos científicos que se utilizam desses modelos.

2.1.2. Modelos Matemáticos de Pesquisa Operacional

Souza (2002) cita que, durante a Segunda Guerra Mundial, alguns problemas dos aliados, de ordem tática e estratégica, eram muito complexos para serem abordados de forma empírica por especialistas de áreas isoladas. Neste contexto, iniciou-se o trabalho com grupos multidisciplinares, englobando profissionais de diferentes áreas que, atuando com visão sistêmica e metodologia científica, tratavam questões práticas de guerra como, por exemplo, a melhor forma de utilizar os radares, como organizar as baterias antiaéreas e como melhor dimensionar as frotas. Desta forma, buscou-se obter as melhores soluções para os problemas complexos, combinando uma abordagem matemática com um tratamento qualitativo.

De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Gerencial, INDG (2006), o termo Pesquisa Operacional foi empregado pela primeira vez em 1939 como uma tentativa de englobar, sob uma única denominação, todas as técnicas existentes ou que viriam a ser desenvolvidas e que tinham o mesmo objetivo. Objetiva fornecer ferramentas quantitativas ao processo de tomada de decisões, sendo constituída por um conjunto de disciplinas isoladas, tais como Otimização, Teoria das Filas, Simulação e Teoria dos Jogos, que se apóiam fundamentalmente em Economia, Matemática, Estatística e Informática.

De acordo com Lisboa (2005), uma característica importante da Pesquisa Operacional é a utilização de modelos. Eles permitem a experimentação da solução proposta. Isto significa que uma decisão pode ser mais bem avaliada e testada antes de ser efetivamente implementada. Os modelos são estruturados de maneira lógica e amparados no ferramental matemático com o objetivo de estabelecer as melhores condições de funcionamento para os sistemas representados. Em um modelo matemático são incluídos três conjuntos principais de elementos:

- Variáveis de decisão e parâmetros: variáveis de decisão são as incógnitas que compõem a função objetivo, a serem determinadas pela solução do modelo. Por exemplo, número de máquinas, locais de instalação de indústrias e área a ser explorada. Parâmetros são valores fixos no problema;
- Restrições: de modo a levar em conta as limitações físicas do sistema, o modelo deve incluir restrições que limitam as variáveis de decisão a seus valores possíveis. Normalmente são representadas por inequações. Por exemplo, quantidade de equipamento disponível, tamanho da área a ser explorada, capacidade de um reservatório e exigências nutricionais para determinada dieta;
- Função objetivo: é a função matemática que define o objetivo básico do problema, ou seja, a otimização (maximização ou minimização) a ser alcançada. Por exemplo, maximização de lucros, desempenhos e bem-estar social; minimização de custos, perdas e tempo.

Segundo Lisboa (2005), a formulação do modelo depende diretamente do sistema a ser representado. A função objetivo e as funções de restrições podem ser lineares ou não-lineares. As variáveis de decisão podem ser contínuas ou discretas (por exemplo, inteiras) e os parâmetros podem ser determinísticos ou probabilísticos. O resultado dessa diversidade de representações de sistemas é o desenvolvimento de diversas técnicas matemáticas de otimização, de modo a resolver cada tipo de modelo existente. Estas técnicas incluem, principalmente:

- *Programação Linear* - aplicada em modelos onde a função objetivo e todas as restrições são lineares;
- *Programação Não-Linear* - aplicada em modelos onde a função objetivo ou pelo menos uma restrição é não-linear.
- *Programação Dinâmica* – aplicada em modelos onde o problema completo pode ser decomposto em subproblemas menores;
- *Programação Estocástica* - aplicada em uma classe especial de modelos onde os parâmetros são descritos por funções de probabilidade.

A programação é denominada: *Inteira*, quando as variáveis do modelo só podem assumir valores inteiros (ou discretos); *Binária*, quando as variáveis do modelo estão restritas a apenas valores binários (1 ou 0); ou *Mista*, quando uma parte das variáveis está restrita a valores inteiros, e a outra parte a valores reais e/ou binários.

De acordo com Novaes (2001), uma característica presente em quase todas as técnicas de programação matemática é que a solução ótima do problema não pode ser obtida em um único passo, devendo ser obtida iterativamente. É escolhida uma solução inicial, que geralmente não é a solução ótima. Um algoritmo é especificado para determinar, a partir desta, uma nova solução, que geralmente é superior à anterior. Este passo é repetido até que a solução ótima seja alcançada.

A economia obtida e a experiência adquirida pela experimentação justificam a utilização da Pesquisa Operacional. Com o aumento da velocidade de processamento e quantidade de memória dos computadores, houve um grande progresso, fazendo com que o processamento dos modelos matemáticos ficasse mais rápido e versátil, permitindo a participação dos usuários ao longo do processo de cálculo.

Como as técnicas de programação linear e não linear foram as mais indicadas para o modelo matemático desta dissertação, restringiu-se as pesquisas nas mesmas, conforme a seguir.

a. Modelos de Programação Linear

A programação linear usa um modelo matemático para descrever o problema em que todas as funções matemáticas neste modelo sejam lineares. Segundo Hillier e Lieberman (1988), esta técnica foi criada em 1946 e tem sido aplicada nas mais diversas áreas. Algumas aplicações se tornaram clássicas, tais como: transporte, localização industrial e alocação de recursos em fábricas e escritórios.

De acordo com Carvalho (2002), os modelos de situações da vida real raramente apresentam um problema de programação linear nítido, sendo necessário introduzir simplificações e também desprezar certas influências nitidamente lineares.

Segundo Goldbarg e Luna (2000), para que um determinado sistema possa ser representado por meio de um modelo de programação linear, ele deve possuir as seguintes características:

- Proporcionalidade: a quantidade de recurso consumido por uma dada atividade deve ser proporcional ao nível dessa atividade na solução final do problema. Além disso, o custo de cada atividade é proporcional ao nível de operação da atividade;
- Não negatividade: deve ser sempre possível desenvolver dada atividade em qualquer nível não negativo e qualquer proporção de um dado recurso deve sempre poder ser utilizado;
- Aditividade: o custo total é a soma das parcelas associadas a cada atividade;
- Separabilidade: pode-se identificar de forma separada o custo específico das operações de cada atividade.

De acordo com Vasconcelos (2005), os problemas de otimização são problemas de maximização ou minimização de funções de variáveis num determinado domínio normalmente definido por um conjunto de restrições nas variáveis.

Os problemas de programação matemática são uma classe particular de problemas de otimização, em que o objetivo e as restrições são dadas como funções matemáticas e relações funcionais. A terminologia programação matemática tem sua origem na relação: programação está relacionada ao planejamento de atividades, e matemática é o problema representado por um modelo matemático composto de uma função objetivo e restrições dependentes das variáveis de decisão.

Segundo Novaes (2001), o modelo de programação linear é básico para a compreensão de todos os outros modelos de programação matemática. Uma vantagem deste modelo em relação aos demais está na eficiência dos algoritmos de solução hoje existentes, disponibilizando alta capacidade de cálculo e podendo ser facilmente implementado até mesmo através de planilhas e com o auxílio de microcomputadores pessoais.

De acordo com Olivieri (2004), o Método Simplex, desenvolvido na década de quarenta, é o principal método de otimização dentro da programação linear. É um algoritmo que consiste em resolver repetidas vezes um sistema de equações lineares para obter uma sucessão de soluções, cada uma melhor que a anterior, até se chegar a uma solução ótima. Uma solução é ótima quando nenhuma outra adjacente é melhor, ou seja, nenhuma melhora a função objetivo.

A principal limitação da programação linear, conforme Olivieri (2004), é que a grande parte dos problemas de otimização em engenharia não pode ser representada por funções lineares das variáveis de projeto.

b. Modelos de Programação Não-Linear

Os modelos matemáticos são adequados se suas equações forem, dentro do possível, fiéis ao que acontece na realidade. E os modelos não-lineares são os que mais se aplicam à complexidade dos problemas reais. Nas últimas duas décadas, houve um grande avanço nas técnicas de otimização não-linear (Sacoman, 1998).

Ainda de acordo com o autor, modelos matemáticos que não são lineares são não-lineares. Modelos não-lineares são formados por uma ou mais funções não-lineares, tais como variáveis elevadas a potências maiores que um, variáveis que são multiplicadas ou divididas umas pelas outras, entre outras.

Segundo Cirilo (1997), muitos sistemas reais não podem ser modelados utilizando técnicas de programação linear ou de linearização dos termos, e necessitam ser tratados como um problema não-linear. A programação não-linear tem como grande vantagem a sua abrangência. Uma vez elaborado o modelo matemático que descreva o sistema a otimizar, normalmente nenhuma simplificação é necessária em termos de formulação, o que aumenta a precisão dos resultados a serem obtidos.

O autor descreve ainda que a velocidade de processamento deixou de ser um fator crítico devido principalmente aos constantes avanços em termos de hardware dos computadores pessoais, porém, ainda é possível verificar a existência de uma grande vantagem, em termos de desempenho, dos métodos de programação linear em relação aos métodos de programação não-linear.

De acordo com Olivieri (2004), a programação não-linear pode ser dividida em duas grandes famílias: métodos determinísticos e métodos não-determinísticos.

Os métodos determinísticos, também denominados de métodos clássicos, em geral são baseados no cálculo de derivadas de primeira ordem ou em aproximações destas, ou também no cálculo de derivadas parciais de segunda ordem. A procura do ponto ótimo usa as coordenadas de um ponto corrente (k) como ponto de partida para a próxima iteração ($k+1$).

Podem ser divididos em métodos de otimização sem restrições, como o método do Gradiente, o de Newton, o do Gradiente Conjugado e o de Quase-Newton, e com restrições, como o método das Penalidades, o das Barreiras e o método do Lagrangeano Aumentado.

Já os métodos não-determinísticos, ainda de acordo com Olivieri (2004), são compostos por técnicas que imitam, de forma simplificada, fenômenos ou processos encontrados na natureza e, por esse motivo, denominados de Computação Natural. Dentro desta classe de métodos existe um imenso leque de técnicas, cada uma com sua aplicabilidade e utilidade. Dentre elas destaca-se a Inteligência Computacional e suas sub-áreas.

2.1.3. Aplicações de Modelos de Localização de Instalações

Nesta seção, apresenta-se uma revisão bibliográfica de trabalhos realizados no campo da Pesquisa Operacional, nos quais foram desenvolvidos e aplicados modelos de localização de instalações em problemas que se assemelham, de alguma forma, aos problemas de localização de indústrias de reciclagem.

De acordo com Pimentel (2004), os modelos de localização de instalações podem ser classificados em três categorias:

- Modelos Contínuos, nos quais a instalação pode ser localizada em qualquer ponto do plano ou subconjunto do mesmo;
- Modelos em Grafos e Redes, onde a instalação só pode ser alocada em pontos pré-estabelecidos (nós da rede);
- Modelos Heurísticos, que são quaisquer princípios ou conceitos que contribuam para reduzir o tempo médio de pesquisa para a solução do problema de localização.

Para Modelos Contínuos, seguem algumas referências bibliográficas apresentadas no trabalho de Pimentel (2004):

- Von Thunen (1826) foi um dos primeiros pesquisadores a desenvolver um modelo analítico básico dos relacionamentos das localizações entre mercados, produção e distância, considerando os custos relativos de transportar produtos de culturas diferentes (por exemplo, grãos) ao mercado central. O autor determinou o uso de terra para agricultura em torno de uma cidade e as atividades mais produtivas localizar-se-iam mais próximas à cidade e as menos produtivas ficariam em locais mais distantes da cidade;

- Weber (1909) desenvolveu um dos primeiros trabalhos conhecidos sobre localização de uma instalação industrial. O principal objetivo desse trabalho foi minimizar os custos de instalação de indústrias a partir da redução dos custos de transportes e de mão-de-obra, levando em consideração a distribuição no espaço e todas as condições ideais para implantação da instalação industrial. Para explicar a predominância dos custos de transportes, recorreu-se a um triângulo locacional, que se constituiu por dois vértices diferentes de fornecimento de matérias-primas, e um vértice que representou o centro consumidor. O ponto de equilíbrio das três forças é o ponto capaz de proporcionar o menor custo para a firma, ou seja, ponto em que os custos de transportes, tanto das matérias-primas requeridas quanto da entrega dos produtos finais ao consumidor, sejam equivalentes. A localização ótima da instalação se dará exatamente no centro do triângulo locacional;

- Geoffrin *et al.* (1978) desenvolveram um eficiente modelo para a resolução do problema de localização discreta com multi-produtos e com restrições de capacidade, o qual foi utilizado na implementação de diversos pacotes comerciais. O modelo proposto é baseado em um algoritmo de decomposição (algoritmo de Benders) que permite a subdivisão do problema principal em uma seqüência de problemas de transportes facilmente tratáveis;

- Love *et al.* (1988) formularam o problema de um modelo de programação linear para a instalação de centros de distribuição com uma determinada capacidade, de modo a minimizar o custo total do sistema. Utilizaram uma variável binária para representar a decisão de instalar um Centro de Distribuição em cada um dos pontos possíveis. A cada um dos pontos elegíveis para a instalação de um Centro de Distribuição de mercadorias, os autores associaram um custo fixo total que representa o custo de aquisição, aluguel ou construção do Centro de Distribuição, e custos fixos de operação. Foi criado um outro parâmetro que representou o custo de transporte dos produtos entre as fábricas e os centros de distribuição;

- Harkness e Reville (2003) apresentaram um tipo de modelo de localização de instalações usando programação linear inteira, através do método de Branch and Bound. Os autores analisam 3 tipos de custos: custos fixos para a abertura de uma instalação, mais especificamente depósito; custo por unidade de produção e custo de transporte unitário.

Para Modelos em Grafos e Redes, seguem algumas referências bibliográficas apresentadas no trabalho de Pimentel (2004):

- Hakimi (1964) desenvolveu um estudo sobre a localização de mais de uma instalação, onde mostra que, quando um problema de localização de n instalações é formado sobre uma rede de transportes, a solução ótima resultará em que todas as instalações sejam localizadas nos nós da rede. Este Teorema de Hakimi garante a existência de pelo menos um conjunto de P -medianas nos nós de um dado grafo G ;

- Levy (1967) concluiu que os resultados de Hakimi (1964) são válidos, desde que a função relativa aos custos fixos de transportes seja côncava em relação a cada par de vértices adjacentes da rede. Quando isso não acontece, devem ser criados vértices adicionais, de modo que a busca de soluções ótimas fique sempre restringida aos vértices da rede;

- Novaes (1989) apresentou dois tipos de problemas de localização de facilidades em redes ou grafos que podem surgir: Localizar um número determinado de instalações onde a distância média percorrida pelos usuários seja minimizada e localizar uma instalação partindo de n pontos distribuídos espacialmente em uma região. O autor ainda mostra que é possível representar a localização de um Centro de Distribuição tendo como base uma rede de transportes disponível. Neste caso, as instalações deverão estar localizadas sobre um circuito de rede, ou mais particularmente um nó.

Concluindo com Modelos Heurísticos, Pimentel (2004) descreve que são formados por quaisquer princípios ou conceitos que contribuem para reduzir o tempo médio de pesquisa para a solução do problema de localização. Estes conceitos podem ser chamados de “regras” que guiam à resolução do problema. Segundo Ballou (2001), estas regras, conseqüências do processo de solução, permitem que várias soluções sejam obtidas rapidamente. Porém, os métodos heurísticos não garantem que a solução ótima seja encontrada.

Um grande avanço na modelagem de localização foi obtido a partir da utilização da programação inteira mista, mais especificamente com a utilização de variáveis binárias no modelo (Lopes e Caixeta Filho, 2000). De acordo com os autores, a teoria da localização, em termos de programação, pode ser entendida como uma variação do modelo de transporte que, em conjunto com a programação inteira, constitui um ferramental bastante poderoso para determinar o melhor local para instalação de uma indústria. Os autores citam os trabalhos realizados por Almeida (1981) e Canziani (1991), onde foram consideradas economias de escala no transporte e no processamento.

Rangel (1991) desenvolveu um estudo de localização de armazéns capacitados, onde a função objetivo era composta de custos fixos e variáveis, relacionados com a instalação dos armazéns e com os custos que envolviam o transporte. A autora utilizou um algoritmo baseado no Critério de Dominância, que buscou a minimização da função através do equilíbrio entre a instalação de armazéns e os custos de transporte.

Durham *et al.* (1996) elaboraram um modelo de programação não-linear para examinar a influência dos preços na alocação ótima das instalações de processamento. No trabalho se examinou os custos do processo de distribuição de tomates das fazendas para trinta e duas instalações de processamento localizadas no norte e centro da Califórnia. Um modelo de programação não-linear foi desenvolvido para determinar as localizações ótimas, capacidades das instalações e melhores distribuições do tomate, objetivando minimizar o preço final do produto. O resultado foi então comparado com a situação real atual, apresentando uma redução de apenas 1,9 %.

Lopes e Caixeta Filho (2000) desenvolveram um modelo de programação linear mista para permitir a análise das localizações mais eficientes de granjas suinícolas no Estado de Goiás. Os fatores considerados foram os custos de transporte, os mercados consumidores e as ofertas de milho e soja de cada microrregião do Estado de Goiás, além do consumo *per capita* nacional de carne suína. Considerou-se três cenários, envolvendo níveis distintos de consumo *per capita*, sendo um o atual e os outros dois determinados de acordo com as perspectivas do setor. Para a solução deste problema de localização e aplicação do modelo proposto foi utilizada com sucesso a linguagem de otimização GAMS – *General Algebraic Modeling System*, juntamente com a ferramenta Solver XA.

Corrêa (2000) utilizou o modelo das *P-medianas* capacitado na destinação de candidatos ao vestibular da Universidade Federal do Paraná a locais de provas mais próximos de suas residências. Conforme o autor, este problema pode ser analisado considerando-se a capacidade ou não das instalações. No modelo das *P-medianas* não capacitado, considera-se que cada instalação candidata à mediana pode atender a um número ilimitado de pontos de demanda. Já no modelo das *P-medianas* capacitado, cada instalação possui uma capacidade limite fixa e não pode atender a mais pontos de demanda do que ela permite.

O autor propôs duas heurísticas para resolver o problema: a primeira, baseada em um algoritmo genético simples (AgpMcap), que utiliza operadores genéticos usuais além de um operador heurístico chamado “hipermutação direcionada”. A segunda heurística foi baseada em “busca tabu” (BtpMcap) que utilizou memória de curto e longo prazo para controle da busca. Os resultados obtidos nos testes computacionais das duas heurísticas demonstraram que era possível otimizar a seleção dos locais propícios, onde os candidatos realizaram as provas. A heurística AgpMcap aperfeiçoada com o uso do operador “hipermutação direcionada” apresentou uma solução mais adequada ao problema proposto que a BtpMcap.

Colombo (2001) aplicou o princípio básico de quatro heurísticas com a finalidade de explorar as características de cada técnica e elaborar um método para a resolução de um problema real de localização e roteirização de uma empresa de segurança eletrônica, situada no município de Pato Branco, no Sudoeste do Paraná.

Cunha e Caixeta Filho (2002) desenvolveram uma metodologia para auxiliar a tomada de decisões, nos níveis tático e operacional, do gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos. Tal metodologia, baseada em modelo matemático de otimização de programação não-linear por metas, foi aplicada à cidade de Piracicaba, São Paulo. Foram constatados alguns problemas, como falta de coleta convencional de todos os resíduos gerados em alguns setores, não otimização da frota de veículos existente, produtividades acima das estabelecidas como ótimas na maioria dos setores, densidades abaixo ou acima da média, entre outros. Além disso, verificou-se a necessidade de reestruturação dos setores de coleta para que o gerenciamento se torne mais eficaz. Com a aplicação do modelo, pôde-se concluir que tal ferramenta é útil na tomada de decisão nos níveis tático e operacional, podendo, inclusive, auxiliar na redefinição de estratégias a serem seguidas pelos tomadores de decisão.

Ramos e Caixeta Filho (2002) formularam um modelo de localização de *packing-houses* para regiões representativas do Estado de São Paulo, de acordo com sete diferentes capacidades de processamento dessas plantas e com vistas à minimização dos custos de implantação, processamento e transporte da laranja. O modelo matemático proposto foi baseado na teoria da localização, e utilizou-se uma estrutura de programação inteira mista. Para os fins da análise, adotou-se como centros de oferta e de consumo e como potenciais centros de processamento os 40 Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR) do Estado de São Paulo.

Os principais parâmetros considerados no modelo incluem os custos de transporte e de processamento da laranja e custos de implantação de *packing-houses* de diferentes capacidades, bem como a oferta e demanda de cada EDR. Analisaram-se quatro cenários distintos, considerando a possibilidade de instalação de apenas uma planta processadora por região, a igualdade entre a oferta e a demanda e a inexistência de plantas processadoras.

Os resultados evidenciaram a necessidade de economia de escala no processamento e o pequeno volume de transporte inter-regional. Em relação à localização das plantas, o modelo recomendou as áreas intermediárias e identificou áreas potenciais para futuras instalações.

Souza (2004) utilizou o modelo das *P-medianas* na análise espacial de atendimento policial a acidentes em rodovias localizadas no Estado do Espírito Santo/Brasil. O estudo levou em consideração a localização de postos fixos e de unidades móveis de atendimento a partir de dados e informações tanto de acidentes quanto de ocorrências de ordem de segurança pública fornecidos pela Polícia Rodoviária Federal. Foram também estudados cenários para os casos de criação de um novo posto de atendimento e de localização, denominada alternativa, dos postos já existentes da Polícia Rodoviária Federal.

Considerando o empirismo do critério para a localização, tanto das viaturas quanto dos postos da Polícia Rodoviária Federal na maioria das rodovias brasileiras, Souza (2004) utilizou o modelo das *P-medianas*, conforme proposto por Souza (1996). O modelo das *P-medianas* é bastante utilizado em problemas de localização de unidades emergenciais, pois o número de instalações é pré-definido. O modelo consistiu em localizar p instalações para atender n pontos de demanda, de tal forma que a média das distâncias percorridas de cada ponto de acidente até às instalações de socorro mais próxima seja minimizada.

Barcelos *et al.* (2004) realizaram um estudo de Localização de Escolas na Cidade de Vitória/ES, utilizando um SIG - Sistema de Informação Geográfica, e o modelo das *P-medianas*. Os mesmos dividiram o trabalho em três partes: Na primeira parte, o objetivo do estudo foi avaliar a atual localização das escolas públicas, identificando regiões onde existia excesso ou escassez de vagas. Para a aplicação prática reportada, foram usados os setores censitários do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, bem como suas informações de população escolarizável em cada setor, enquanto que para o cálculo dos diversos indicadores foi utilizado o programa Arcview, que associou banco de dados a informações espaciais. Na segunda parte, apresenta-se uma proposta de realocação resultante da aplicação do modelo das *P-medianas*. Essa proposta sugeriu uma distribuição ideal que levou em conta os rearranjos demográficos da área estudada. A terceira parte do estudo considera o modelo das *P-medianas* capacitado e refaz o estudo de realocação, mas supondo unidades escolares com capacidade definida.

A solução do problema foi obtida através da Heurística Lagrangeana/Surrogate, ou “Lagsur”, proposta por Narciso e Lorena (1999). Segundo os autores, a relaxação Lagsur desenvolvida para resolver de forma aproximada o problema do modelo das *P-medianas* com restrições de capacidade apresenta melhores resultados que a relaxação Lagrangeana usual, obtendo limitante de igual qualidade com menor sobrecarga computacional.

Pimentel (2004) comparou um modelo padrão de localização com restrição de capacidade (capacitado) com outro de programação sem restrição de capacidade (não-capacitado). A diferença entre esses modelos, segundo a autora, está na restrição que considera uma limitação da capacidade, fazendo com que o pedido seja sempre menor que a produção. Quanto maior for a capacidade da instalação, mais o modelo se aproxima de um problema sem restrição de capacidade.

Pimentel (2004) desenvolveu um modelo matemático baseando-se em técnicas de Pesquisa Operacional, especificamente a programação linear mista, para estimar a quantidade de Centros de Distribuição, a localização e a capacidade dos mesmos, objetivando propiciar localizações que minimizaram os custos de operação, estocagem e de transportes, no Estado de São Paulo. Para solução deste problema de localização e aplicação do modelo proposto, foi utilizada a ferramenta *Solver*, disponível no programa Microsoft Office Excel, que apresentou praticidade no seu uso e resultados satisfatórios.

Arruda *et al.* (2004) desenvolveram um modelo matemático genérico baseado no método de programação linear mista, para determinar a localização otimizada das plantas de esmagamento e de produção de biodiesel de mamona no Estado do Ceará, considerando a infra-estrutura de transportes existente e a distribuição espacial das áreas de cultivo de mamona, conforme definida pela Secretaria da Agricultura e Pecuária, e tendo como base cenários hipotéticos de decisão de localização conjunta ou não daquelas plantas. Após resolver e analisar um cenário elaborado para o problema, foi possível definir, a partir da demanda considerada, quais os locais ótimos para plantio de mamona e para instalação das unidades de esmagamento de bagas e de produção de biodiesel que implicavam em menores custos para a cadeia produtiva, possibilitando seu fortalecimento. Para a solução deste problema de localização e aplicação do modelo proposto, foi utilizado o programa *Lindo 6.21*.

Pires (2006) desenvolveu um estudo para tratar da configuração de uma rede de distribuição capacitada com restrição de cobertura. O objetivo foi determinar quais cidades, dentre um conjunto de candidatas, devem atuar como centrais de desconsolidação de carga, de forma a minimizar o custo total de transporte (transferência e distribuição) para uma determinada demanda, atendendo às restrições operacionais e de distância de cobertura. Foi aplicado um modelo de programação linear inteira para encontrar a solução ótima para o problema. O modelo foi implementado utilizando a ferramenta *Solver* da planilha eletrônica Excel.

O autor também considerou um outro enfoque de solução baseado na metaheurística *Busca Tabu*, com o objetivo de permitir a análise de problemas quando não se tem disponível uma ferramenta para solução de modelos de programação linear e analisar o comportamento da metaheurística quando utilizada na solução desse tipo de problema. O modelo de programação linear e a metaheurística *Busca Tabu* foram aplicados a alguns cenários de um problema real.

Segundo Vallim Filho e Gualda (2003), o problema da localização de instalações resolve-se geralmente com modelos de programação matemática. Nos problemas reais com um número grande de pontos de demanda surgem dificuldades práticas para solução destes modelos. Geralmente seleciona-se um conjunto de locais candidatos às instalações e são obtidas as localizações ótimas. A literatura não apresenta muita oferta de métodos quantitativos para definir a seleção de locais candidatos. Os autores apresentam uma heurística para selecionar os melhores candidatos a centros de distribuição. A heurística inicia com um processo de agregação de pontos de demanda em zonas e em seguida desenvolve uma busca em cada zona de forma a identificar os melhores locais candidatos, com base em custos de suprimento e de distribuição. O procedimento foi aplicado em um caso real com 230 pontos distribuídos sobre a região sul do país, em uma área de 600 por 1000 quilômetros, resultando em uma seleção satisfatória de um pequeno número de melhores candidatos a centros de distribuição.

Ballou (1992) considera a questão da agregação dos pontos de demanda. De acordo com o autor, sob um ponto de vista da rede logística, não é necessário tratar cada ponto individualmente, e os nós podem ser agregados em conglomerados, chamados *clusters*. Em outro trabalho anterior, Ballou (1991) já havia apresentado uma heurística para agrupamento dos nós de demanda de acordo com a proximidade dos mesmos. A heurística parte da idéia de que a princípio cada ponto se constitui em um *cluster*. Em seguida, procura-se para cada ponto o *cluster* mais próximo e destes dois gera-se um novo. Este processo é repetido até que um número desejado de *clusters* seja atingido. Nestes trabalhos, porém, o autor não trata do problema da seleção de locais candidatos.

Dando seguimento a esse capítulo de revisão bibliográfica, serão abordados trabalhos relativos à logística reversa.

2.2. Logística Reversa

Usualmente a logística é pensada como o gerenciamento do fluxo de materiais do seu ponto de aquisição até o seu ponto de consumo. No entanto, existe também um fluxo logístico reverso, do ponto de consumo até o ponto de origem, que precisa ser gerenciado.

Este fluxo logístico reverso é comum para uma boa parte das empresas. Podem ser citados como exemplos os fabricantes de bebidas, que têm que gerenciar todo o retorno das embalagens dos pontos de venda até seus centros de distribuição; as siderúrgicas, que utilizam como insumo de produção, em grande parte, a sucata gerada por seus clientes, e que para isso usam centros coletores de carga; e as indústrias de papel e latas de alumínio, onde é notável o grande aproveitamento de matéria prima reciclada, tendo desenvolvido meios inovadores na coleta de latas descartadas.

A definição de logística reversa vem sofrendo modificações evolutivas, conforme referências bibliográficas apresentadas sinteticamente por Leite (2003) a seguir:

- Em *Council of Logistics Management*, CLM (1993), a logística reversa é definida como um amplo termo relacionado às habilidades e atividades envolvidas no gerenciamento de redução, movimentação e disposição de produtos e embalagens;
- Stock (1998) definiu logística reversa, em uma perspectiva de logística de negócios, como função de retorno de produtos, redução na fonte, reciclagem, substituição de materiais, reutilização de materiais, disposição de resíduos, reforma, reparação e remanufatura;
- Dornier *et al.* (2000) apresentaram uma definição que abrange novas áreas de atuação, incluindo o gerenciamento dos fluxos reversos. Segundo os autores, logística reversa é a gestão de fluxos entre funções de negócio. A definição de logística engloba maior amplitude de fluxos do que no passado. Além dos fluxos diretos tradicionalmente considerados, a logística engloba, entre outros, os fluxos de retorno de peças a serem reparadas, de embalagens e seus acessórios, de produtos vendidos devolvidos e de produtos usados/consumidos a serem reciclados;

- Bowersox e Closs (2001) apresentam a idéia de apoio ao ciclo de vida como um dos objetivos operacionais da logística reversa, referindo-se ao seu prolongamento além do fluxo direto dos materiais e à necessidade de considerar os fluxos reversos de produtos em geral.

Já segundo Lacerda (2002), a logística reversa é definida como sendo o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados (e seu fluxo de informação) do ponto de consumo até o ponto de origem, com o objetivo de recapturar valor ou realizar um descarte adequado.

Leite (2003) define 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.

De acordo com Mueller (2005), a logística reversa pode ser classificada como sendo apenas uma versão contrária da logística direta. O fato é que um planejamento reverso utiliza os mesmos processos que um planejamento convencional. Ambos tratam de nível de serviço, armazenagem, transporte, nível de estoque, fluxo de materiais e sistema de informação. No entanto a Logística Reversa deve ser vista como um novo recurso para a lucratividade.

Segundo Oliveira e Silva (2006), a Logística Reversa é um termo bastante genérico. Em seu sentido mais amplo, significa todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais. Refere-se a todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais usados a fim de assegurar uma recuperação sustentável.

O procedimento logístico, ainda segundo Oliveira e Silva (2006), diz respeito ao fluxo de materiais que retornam à empresa e indústrias por algum motivo, ou seja, por devoluções de clientes, retorno de embalagens, retorno de produtos e/ou materiais para atender a legislação, retrabalho de material acabado, falha no *picking* gerando pedidos errados, problemas com matéria-prima, resíduos de produtos, embalagens, retorno de *pallets*, dentre outros.

De acordo com Lacerda (2002), o processo de logística reversa gera materiais reaproveitados que retornam ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição. Existem variantes com relação ao tipo de reprocessamento que os materiais podem ter, dependendo das condições em que estes entram no sistema de logística reversa.

Os materiais podem retornar ao fornecedor quando houver acordos neste sentido, podem ser revendidos se ainda estiverem em condições adequadas de comercialização, podem ser reconicionados, desde que haja justificativa econômica, ou ainda podem ser reciclados se não houver possibilidade de recuperação. Todas estas alternativas geram materiais reaproveitados, que entram de novo no sistema logístico direto, conforme Figura 2.2 a seguir.

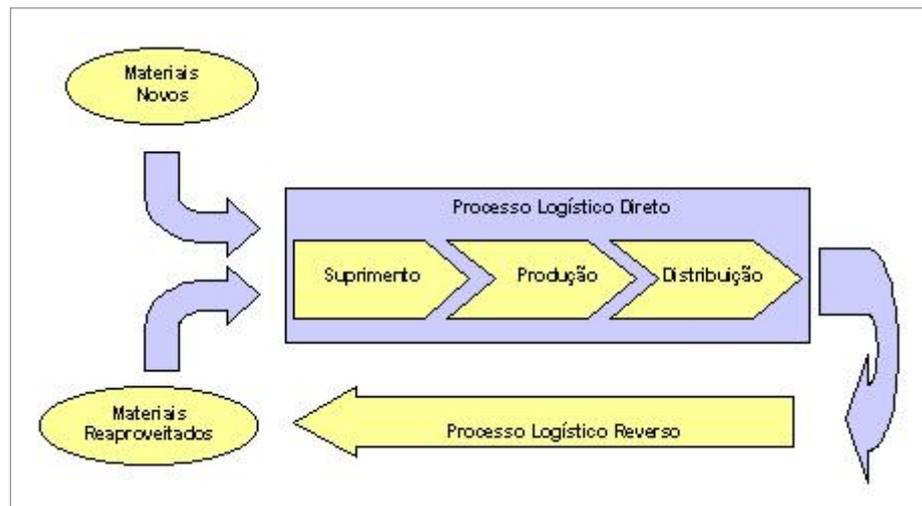


Figura 2.2 Representação esquemática dos processos logísticos direto e reverso
 Fonte: Lacerda (2002)

O processo de logística reversa geralmente é composto por um conjunto de atividades que uma empresa realiza para coletar, separar, embalar e expedir itens usados, danificados ou obsoletos dos pontos de consumo até os locais de reprocessamento, revenda ou de descarte. Em último caso, o destino pode ser o seu descarte final, conforme Figura 2.3.

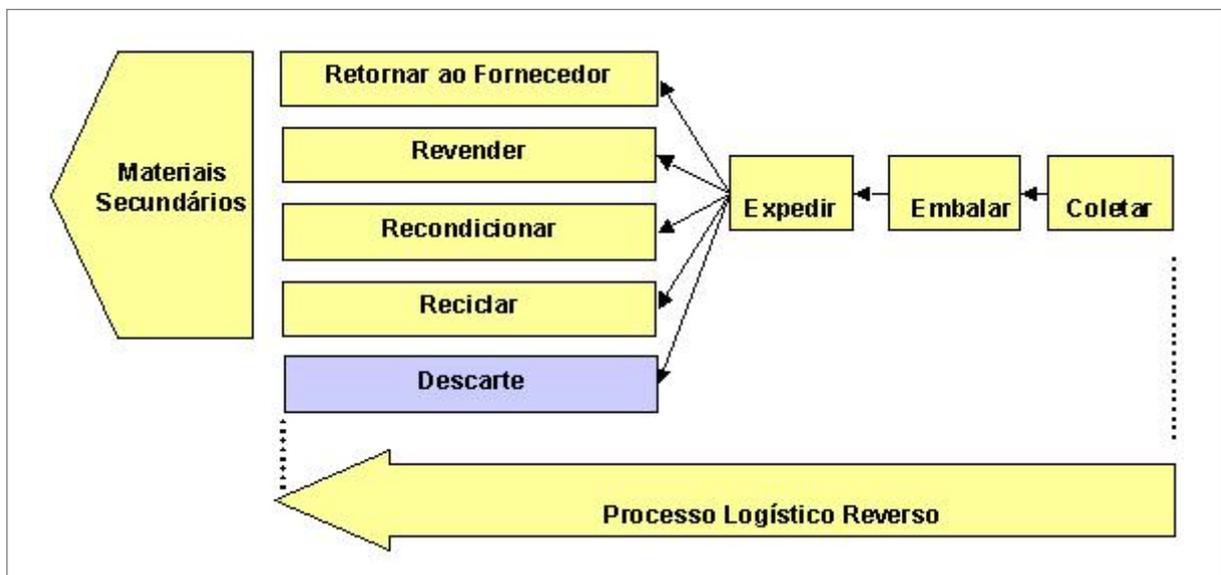


Figura 2.3: Atividades típicas do processo logístico reverso
 Fonte: Lacerda (2002)

A logística reversa, por meio de sistemas operacionais diferentes em cada categoria de fluxos reversos, objetiva tornarem possíveis os retornos dos bens ou de seus materiais constituintes ao ciclo produtivo ou de negócios. A logística reversa agrega valor ao planejar as redes reversas e as respectivas informações, e ao operacionalizar o fluxo desde a coleta dos bens de pós-consumo ou de pós-venda, por meio dos processamentos logísticos de consolidação, separação e seleção, até a reintegração com o ciclo. A reutilização de produtos e embalagens está envolvida neste contexto, sendo que o escopo e a escala das atividades de reciclagem e reaproveitamento aumentaram consideravelmente nos últimos anos. As principais causas citadas por Lacerda (2002) são:

- Questões Ambientais: Existe uma clara tendência de que a legislação ambiental caminhe no sentido de tornar as empresas cada vez mais responsáveis por todo ciclo de vida de seus produtos. Um segundo aspecto diz respeito ao aumento de consciência ecológica dos consumidores que esperam que as empresas reduzam os impactos negativos de sua atividade ao meio ambiente.
- Concorrência, Gerando Diferenciação por Serviço: Os varejistas acreditam que os clientes valorizam as empresas que possuem políticas mais liberais de retorno de produtos. Esta é uma vantagem percebida onde os fornecedores ou varejistas assumem os riscos pela existência de produtos danificados. Isto envolve, é claro, uma estrutura para recebimento, classificação e expedição de produtos retornados. Esta é uma tendência que se reforça pela existência de legislação de defesa dos consumidores, garantindo-lhes o direito de devolução ou troca.
- Redução de Custo: As iniciativas relacionadas à logística reversa têm trazido consideráveis retornos para as empresas. Economias com a utilização de embalagens retornáveis ou com o reaproveitamento de materiais para produção têm trazido ganhos que estimulam cada vez mais novas iniciativas.

Do ponto de vista financeiro, fica evidente que além dos custos de compra de matéria-prima, de produção, de armazenagem e estocagem, o ciclo logístico de um produto inclui também outros custos que estão relacionados a todo o gerenciamento do seu fluxo reverso. Do ponto de vista ambiental, esta é uma forma de avaliar qual o impacto que um produto causa sobre o meio ambiente durante toda a sua vida.

Ainda segundo Lacerda (2002), a logística reversa continua sendo, de maneira geral, uma área com baixa prioridade. Isto se reflete no pequeno número de empresas que têm gerências dedicadas ao assunto. Esta realidade está mudando em resposta a pressões externas como um maior rigor da legislação ambiental, a necessidade de reduzir custos e a necessidade de oferecer mais serviços através de políticas de devolução mais liberais.

Esta tendência deverá gerar um aumento do fluxo de carga reverso e, é claro, de seu custo. Por conseguinte, serão necessários esforços para aumento de eficiência, com iniciativas para melhor estruturar os sistemas de logística reversa. Deverão ser aplicados os mesmos conceitos de planejamento que no fluxo logístico direto, tais como estudos de localização de instalações e aplicações de sistemas de apoio à decisão (roteirização, programação de entregas, entre outros).

2.3. Cadeia Logística do Coco Verde

A cadeia logística direta do coco verde origina-se na produção (agricultura) e geralmente termina no mercado consumidor, onde sua água é comercializada in natura ou processada pelas indústrias de envasamento, sendo comercializada em garrafas ou outros recipientes, conforme exemplo simplificado da Figura 2.4.

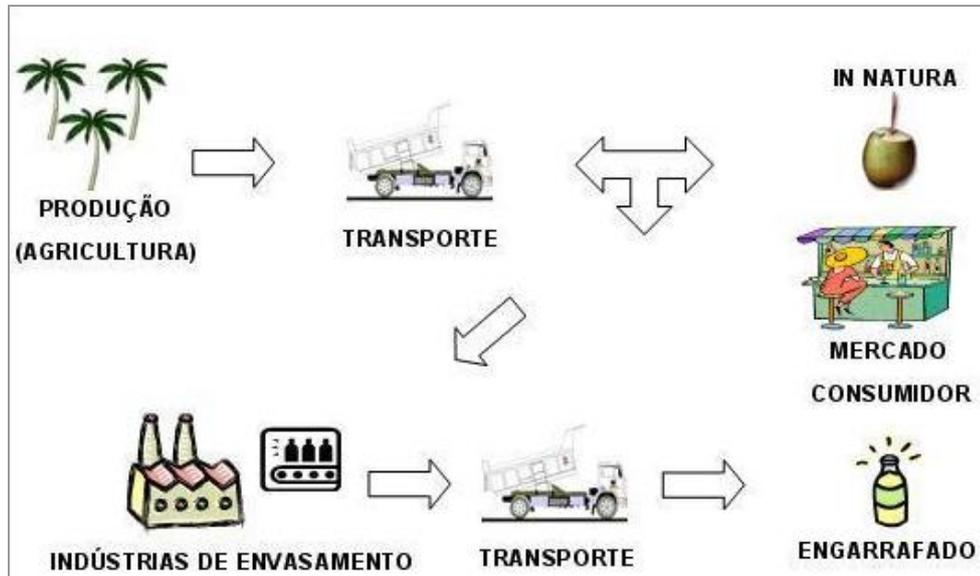


Figura 2.4: Exemplo de uma cadeia logística direta do coco verde

De acordo com Mueller (2005), após chegar ao consumidor final, o produto pode seguir em três destinos diferentes: ir para um local seguro de descarte, como aterros sanitários e depósitos específicos, um destino não seguro, sendo descartado na natureza, poluindo o ambiente, ou por fim, voltar a uma cadeia de distribuição reversa, conforme fluxograma representado na Figura 2.5.

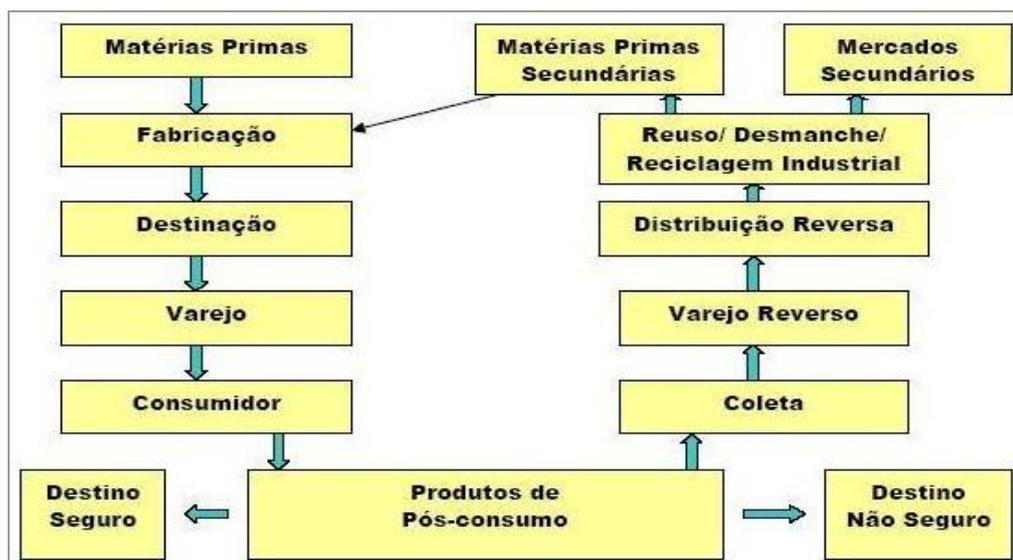


Figura 2.5: Fluxograma da logística reversa de pós-consumo
Fonte: Mueller (2005)

A cadeia logística reversa do coco verde, objeto de estudo desta dissertação, geralmente origina-se na geração de resíduos pós-consumo, nos pontos de venda ou nas indústrias de envasamento, e termina nos lixões ou aterros sanitários, ou simplesmente em descartes na natureza. Porém, os resíduos do coco verde, em especial a casca, podem ser transformados em produtos reciclados e retornar ao mercado consumidor, através da implantação de indústrias de reciclagem, conforme exemplo simplificado da Figura 2.6.

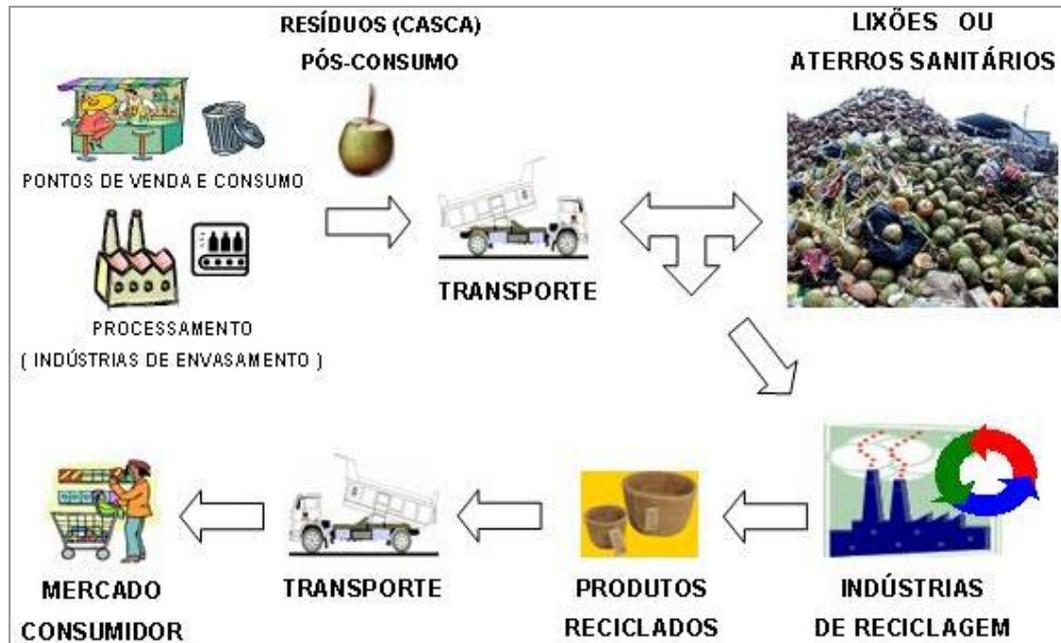


Figura 2.6: Exemplo de uma cadeia logística reversa do coco verde

2.3.1. Aproveitamento de Resíduos do Coco Verde

Os resíduos correspondem à expressão visível e mais palpável dos riscos ambientais. Um resíduo é algo que seu proprietário não mais deseja, em um dado momento e em determinado local, e que não tem um valor de mercado. Nos últimos anos vem sendo dada especial atenção à minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos gerados pelos diferentes processos industriais. Os resíduos provenientes da indústria e comércio de alimentos envolvem quantidades apreciáveis de casca, caroço e outros elementos. Esses materiais, além de fonte de matéria orgânica servem como fonte de proteínas, enzimas e óleos essenciais, passíveis de recuperação e aproveitamento (Senhoras, 2003).

Com relação aos resíduos do coco verde, enquanto matérias-primas não utilizadas, apresentam custos de desova importantes para a sociedade, além de causarem impactos no meio ambiente. Segundo Passos (2005), as cascas do coco verde depositadas em aterros sob condições anaeróbicas, provocam a emissão de metano, um dos mais importantes gases de efeito estufa. Além de ser um produto orgânico, e uma vez descartado, deteriora facilmente, atraindo insetos e ratos.

Por outro lado, o aproveitamento dos resíduos é uma condição importante para o avanço da cadeia agroindustrial do coco, gerando oportunidades de trabalho e renda.

De acordo com Mayer (2004), o aproveitamento dos resíduos do coco verde oferece vantagens, tais como:

- Extensão da vida útil dos aterros sanitários, já que não há fácil decomposição destes resíduos;
- Geração de empregos sem necessidade de mão de obra qualificada;
- Preservação da Mata Atlântica;
- Redução de 60 % do valor gasto atualmente no tratamento destes resíduos;
- Geração de impostos diretos e indiretos;
- Assegura os atuais empregos nas lavouras do coco verde;
- Estimulação à continuidade do crescimento da produção de coco;
- Liberação de novos pontos de venda da água de coco, o que assegura e facilita à população o acesso a um produto natural e saudável;
- Consolidação do perfil político em relação à preservação do meio ambiente.

Como a economia brasileira se caracteriza pelo elevado nível de desperdício de recursos naturais e energéticos, a redução desses desperdícios constitui verdadeira reserva de desenvolvimento e fonte de bons negócios para empresas decididas a enfrentar essa oportunidade, dado o extraordinário potencial de recursos subutilizados na produção do coco verde.

É possível o aproveitamento de resíduos do coco verde através de uma cadeia agroindustrial para a geração de novos produtos, de maneira a criar mecanismos de reciclagem e uma alternativa a mais de lucro para os sítios de produção.

Segundo Senhoras (2003), a utilização de toda a potencialidade de geração e uso dos subprodutos do coco se revela como uma genuína política pública eco-eficiente e sócio-ambiental responsável do setor privado, potencial de geração de oportunidades de trabalho e renda e, conseqüentemente, pode contribuir para o desenvolvimento econômico local.

Não se pode negar que é preciso traduzir essas oportunidades em propostas concretas em nível microeconômico e para tal, faz-se necessário refletir sobre as políticas públicas necessárias a incentivar o crescimento responsável ambientalmente e socialmente, em especial com a criação de pequenas empresas especializadas em identificar nichos e oportunidades potenciais dos resíduos de coco.

Na cadeia agroindustrial do coco, existem alguns incentivos tradicionais trazidos pelo Estado brasileiro para a exploração das fibras, que são garantidos pela Lei cinquentenária n° 594, de 24 de Dezembro de 1948, ainda em vigor, que concede favores às fábricas que se instalarem para a exploração da fibra de coco, com o aproveitamento da matéria prima nacional.

Sobre as **Características da Fibra de Coco**, segundo Senhoras (2003):

O coco é constituído por uma parte externa lisa, o exocarpo; por uma parte fibrosa e espessa que constitui o mesocarpo; e pelo endocarpo, uma casca duríssima e lenhosa. Todas essas partes envolvem a amêndoa, conforme Figura 2.7.

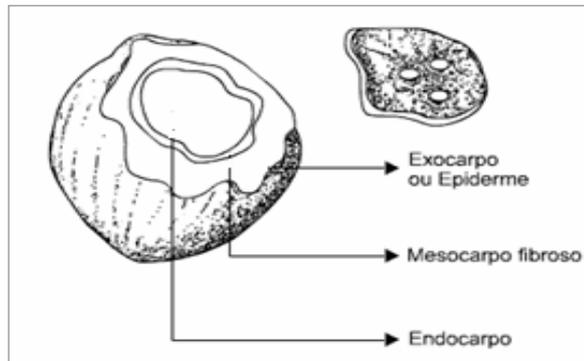


Figura 2.7: Constituição do coco

O mesocarpo, ou casca fibrosa externa do coco, é formado pelas densas fibras, agregadas pelo tecido conjuntivo. Não é muito aproveitado no Brasil, no entanto, pode ser industrializado (reciclado) e transformado em pó e fibra, que são utilizados em diversos setores, tais como engenharia, agricultura, industriais, entre outros.

A fibra de coco apresenta inúmeras vantagens na sua utilização, além de ser um material ecológico e facilmente reciclável. Pertencente à família das fibras duras, tem como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de resistência, durabilidade e resiliência. As principais características técnicas da fibra de casca de coco, que lhe garante vantagens para a utilização industrial, são: inodora, resistente ao impacto, resistente à umidade, resistente a bactérias, não é atacada por roedores, resistente à água, não apodrece, não produz fungos e possui baixa condutividade ao calor.

O coco verde é um fruto colhido (com 6 ou 7 meses da florada) exclusivamente para extração de sua água. O coco seco é colhido maduro (com até 12 meses), e depois descascado (retirado o mesocarpo) e encaminhado para indústrias de coco ralado, leite de coco, entre outras. Tem também água, mas em quantidade, paladar e propriedades inferiores a do coco verde.

Segundo Mattedi (2005), o coco verde possui características próprias e, portanto, deve ser reciclado de forma distinta a do coco seco, seja por apresentar muita umidade ou por não ter características tão atraentes. Os resíduos do coco verde, sujeitos a qualquer processo de secagem, não apresentam as mesmas características que as do coco seco. Porém, sua utilização é viável economicamente, mesmo que em alguns casos o material tenha que ser tratado por processos industriais.

O Aproveitamento de Resíduos do Coco Verde, segundo Senhoras (2003), pode ocorrer da seguinte forma:

- **Produção do Coiro:** A fibra industrializada do mesocarpo do coco recebe o nome no comércio de coiro ou cairo. O coiro serve de matéria-prima para a fabricação de capachos, tapetes, estofamentos, cordoalhas, escovas, bancos e encosto de carros, entre outros.
- **Artesanato:** Utilizando-se como matéria prima o coiro ou a casca dura do coco, o endocarpo.
- **Combustível para Caldeiras:** Utilizando-se como matéria prima o coco verde tratado (retirando-se previamente sua umidade por algum processo de secagem).
- **Mantas e Telas Biodegradáveis para Proteção do Solo Contra Erosões:** A fibra pode ser empregada na área agrícola como matéria-prima para a proteção de solos, no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas.
- **Utilização na Biotecnologia e Agricultura:** Substratos de cultivo podem ser produzidos com a fibra e o pó, que são ricos em potássio, biodegradáveis, têm elevada estabilidade e capacidade de retenção de água, assim como uma boa aeração das raízes das plantas. Além de apresentar uma maior retenção dos sais minerais adicionados como adubo.
- **Utilização na Produção de Xaxim, para Fabricação de Vasos e Ornamentos com Flores:** A fibra e o pó podem substituir o xaxim, produzido a partir da samambaiçu, hoje ainda retirado da mata atlântica, que é uma planta herbácea, semelhante a uma palmeira, e que demora entre 50 a 100 anos para atingir um metro, e encontra-se na lista das espécies em extinção.
- **Utilização na Complementação Alimentar Animal:** Embora sejam pobres em nutrientes, a fibra e o pó podem suprir em parte as necessidades energéticas dos animais, se previamente tratados e melhorados para este fim. Estes materiais são geralmente abundantes em fibra e ricos em lignina, entretanto o potencial de celulose existente serve como fonte de energia para os animais ruminantes.
- **Utilização nas Matrizes Poliméricas:** Compósitos reforçados com a fibra podem ser uma alternativa viável em relação àqueles que usam fibras sintéticas, como as fibras de vidro. As fibras naturais podem conferir propriedades interessantes em materiais poliméricos, como boa rigidez dielétrica, melhor resistência ao impacto e características de isolamento térmico e acústico.
- **Utilização em Estofados:** Na fabricação de estofados, a fibra tem a vantagem de ser resistente, durável, reciclável e biodegradável, além de ser ergonomicamente correta. Sua vida útil, quando manufaturada, é de 90 anos.
- **Utilização na Indústria Automobilística:** A fibra pode ser utilizada na fabricação de Assentos, encostos e apoios de cabeça para bancos de veículos, substituindo a espuma injetada usada no estofamento, apresentando vantagens como não deformar e não esquentar, sendo excelente isolante térmico.

- Utilização como Isolante Térmico e Acústico: A fibra pode ser aliada ao aglomerado de cortiça formando excelente isolamento acústico, devido à absorção das baixas frequências, no qual apresenta resultados dificilmente alcançados por outros materiais.

- Utilização na Construção Civil: A incorporação de fibras em materiais pouco resistentes à tração (frágeis) tem sido usada há milênios.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas sobre o fibro-cimento ou fibro-concreto devido ao fato de a fabricação de cimento exigir menor demanda de energia comparada com a fabricação do aço ou dos plásticos. A fibra tem um excelente potencial para uso na construção civil através de pranchas pré-moldadas, por suas características de resistência e durabilidade, ou na utilização do fibro-cimento.

Assim, no Brasil, a utilização da fibra do coco verde na construção civil pode criar possibilidades no avanço da questão habitacional, através da redução do uso e do custo de materiais, envolvendo a definição de matrizes que inter-relacionam aspectos políticos e sócio-econômicos.

2.3.2. Cadeia Logística Reversa do Coco Verde no Brasil

Alguns projetos de indústrias de reciclagem já foram implantados com sucesso no Brasil, como o da primeira unidade de beneficiamento de casca do coco verde do nordeste, em 2005, localizada em Fortaleza, no Estado do Ceará, desenvolvido pela Embrapa Agroindústria Tropical.

Conforme dados da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, EMBRAPA (2005), a unidade de beneficiamento está instalada na estação de triagem e transbordo de resíduos sólidos, no bairro do Jangurussu, em uma área de 3.000 m², e fabrica produtos a partir do pó e das fibras extraídas da casca, com capacidade para processar 30 toneladas de casca/dia. Cerca de 1.600 t/ano de pó são produzidos para utilização como substrato agrícola e composto orgânico e as 530 t/ano de fibra bruta geradas pela unidade servem como matéria-prima para a fabricação de 27.600 peças de derivados da fibra, como placas, vasos e bastões e 25.000 peças de artesanatos diversos. A fábrica também abriga um espaço para a confecção dos produtos derivados da casca do coco verde.

O estudo desta fábrica, realizado por Rosa e Figueiredo (2005), contemplou um completo sistema de negócio, começando pela coleta seletiva da casca do coco verde, passando pela reciclagem do material e sua transformação em diferentes produtos, e terminando nas unidades de artesanato e horta comunitária. Contempla também a capacitação dos profissionais envolvidos.

A estrutura da usina inclui uma máquina trituradora, prensa rotativa, que retira o líquido do coco verde, máquina classificadora para separação do pó e da fibra – todos os equipamentos simples e eficientes, de fácil manutenção e manuseio. Ainda de acordo com os estudos, do total de lixo gerado nas praias do Nordeste, cerca de 70% corresponde à casca do coco verde, índice que no Rio de Janeiro pode alcançar 80%.

Porém, os estudos envolvendo a cocoicultura tiveram início na década de 70, com a criação do Centro Nacional de Pesquisa do Coco, em Aracaju (SE), hoje conhecido como Embrapa Tabuleiros Costeiros. A unidade de Fortaleza começou as pesquisas da fruta no princípio dos anos 90, com trabalhos sobre fertiirrigação, controle de pragas, processamento e desenvolvimento do equipamento para a extração de água de coco. A tecnologia para o aproveitamento da casca do coco verde começou a ser desenvolvida em setembro de 1998.

Um outro projeto semelhante refere-se ao de construção de uma unidade de beneficiamento da fibra da casca do coco verde em Cuiabá, no Estado de Mato Grosso do Sul, de acordo com Borges (2005). O estudo também foi realizado pela EMBRAPA, unidade Embrapa Agroindústria Tropical, para verificação do dimensionamento e da viabilidade econômica. Este projeto encontra-se em análise, não tendo sido ainda implantado.

O Fluxograma Operacional e as Etapas de Operação apresentados no estudo de implantação da unidade de beneficiamento da casca do coco verde em Cuiabá/MT são apresentados na Figura 2.8 a seguir.

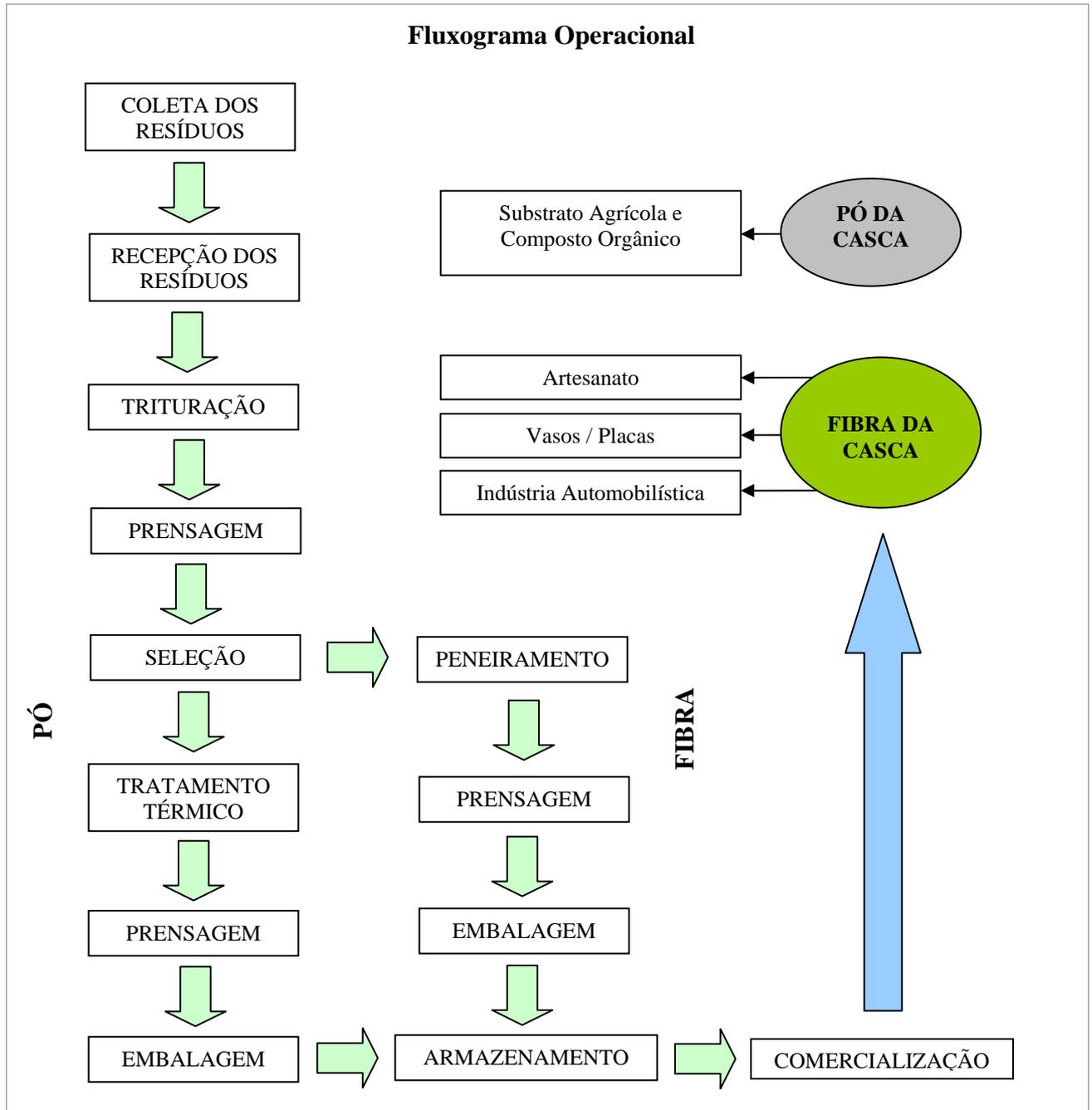


Figura 2.8: Fluxograma Operacional do projeto de Cuiabá/MS
 Fonte: Borges (2005)

Etapas de Operação

1. Coleta de Matéria prima

Estabelecer a sistemática diária de coleta nos pontos de geração de casca de maneira que esta não demore mais de 24 h da extração da água até o processamento. Esse procedimento visa elevar a qualidade dos produtos finais (pó e fibra), pois a desidratação da casca prejudica as etapas seguintes do processamento.

2. Recepção da matéria prima

O caminhão deverá despejar a carga de cascas de coco na moega de recepção ou em locais de armazenamento. A moega tem uma declividade que conduz a matéria prima para esteira de alimentação, que a elevará para a entrada da linha de processamento. Neste momento deve ser feita a retirada de material estranho ao processamento como, canudos, plásticos, pedras, cascas ressecadas podres, entre outros. É importante também que seja mantido um fluxo uniforme de alimentação da linha de processamento para garantir a eficiência da prensagem.

3. Trituração

Nesta etapa a casca de coco é cortada e triturada por um rolo de facas fixas. Este procedimento possibilita a realização da etapa de seleção e prensagem.

4. Prensagem

A casca de coco tem alta concentração de sais em níveis tóxicos para o cultivo de várias espécies vegetais. A casca do coco verde têm 85% de umidade e a maior parte dos sais se encontra em solução. A extração desta umidade via compressão mecânica possibilita a extração conjunta dos sais. A eficiência desta etapa é de importância fundamental para a perfeita seleção do material na etapa seguinte e também para a adequação do nível de salinidade do pó obtido no processamento.

5. Seleção

Após a prensagem são separadas as fibras do pó na máquina selecionadora que é equipada com um rolo de facas fixas e uma chapa perfurada. O material é turbilhonado ao longo do eixo da máquina, o que faz com que o pó caia pela chapa perfurada e a fibra saia no fim do percurso.

9. Peneiramento

A fibra que sai da selecionadora ainda vem com alguns restos do endocarpo do coco e com um pouco de pó. Para conferir a qualidade final para a comercialização é necessário que seja feito um peneiramento da fibra, separando-a das impurezas. Para tanto será utilizada uma peneira grossa.

6. Tratamento Térmico

O pó da casca do coco verde é utilizado principalmente como substrato agrícola. Para tal uso o material deve estar isento de microorganismos fitopatogênicos, devendo ser submetido a um tratamento térmico, 80 graus durante 20 minutos. Este tratamento é feito num forno rotativo.

7. Prensagem

Tanto o pó quanto a fibra são muito pouco densos. Para reduzir os custos com seu transporte é feita a compactação do material em uma prensa hidráulica horizontal. Após a compactação são obtidos blocos de 40 x 40 x 40 cm de pó ou fibra.

8. Embalagem

Os blocos prensados serão embalado em sacos plástico de 15 micras com as dimensões de 90 x 90 x 90cm. Os sacos poderão ser selados ou amarrados com fitas de nylon.

9. Armazenamento

Após embalados os produtos deverão ser armazenados empilhados sobre pallets, evitando o contato com o solo que poderia transferir umidade ao material.

Um outro projeto pertence à empresa denominada Coco Verde RJ, localizada no Rio de Janeiro, que além dos vasos, comercializa equipamentos e acessórios para venda de coco, distribui a fruta e promove a coleta dos resíduos (Projeto Coco Verde, 2004).

A empresa adquire ganhos econômicos com a valorização deste resíduo à partir da reciclagem da casca do coco verde, de forma a transformá-las em produtos naturais ecológicos e de fonte renovável tais como: placas, vasos, baskets, vasos de parede, tutores, material de decoração, linha PET (indústria de embalagens), coberturas e substratos utilizados em todas as atividades desde a mais rara orquídea como para produção de tomates. Além disso, estão sendo desenvolvidas especificações relativas à aplicação dos produtos para a linha acústica e térmica.

Outro projeto semelhante vem sendo desenvolvido pela empresa Poematec, linha de jardinagem, localizada no Pará, que inclui vasos, estacas, placas, mantas, discos e adubos, a partir da fibra de coco e do látex, que são naturais e biodegradáveis. Este trabalho envolve cooperativas comunitárias e finaliza uma cadeia produtiva sustentável, que inicia com o plantio, passa pelo beneficiamento, até chegar ao produto final para ser comercializado. O forte da empresa, entretanto, é a utilização do coco seco na fabricação de assentos e bancos para a indústria automobilística, substituindo produtos à base de petróleo como a espuma de poliuretano.

O Brasil é líder mundial na produção do coco verde, com uma área equivalente a 57 mil hectares, sendo a produção anual de 650 milhões de frutos, e o Estado do Espírito Santo destaca-se como líder nacional na produção de coco da variedade anão verde, que é próprio para consumo de água, ocupando uma área de aproximadamente 14 mil hectares, segundo dados da Samam Agrícola (2004). A produção anual é de aproximadamente 136 milhões de frutos, representando 21 % do total da produção no país, conforme SEAG-ES (2004).

De acordo com Mattedi (2005), apesar de o Estado do Espírito Santo ser o maior produtor do coco verde no Brasil, não é o maior consumidor. A produção capixaba atende tanto ao mercado interno quanto ao externo. O maior mercado consumidor do coco verde das cidades litorâneas concentra-se na orla marítima. Desta forma, supõe-se que os maiores geradores de resíduos de coco sejam os quiosques. O consumo médio no período de verão chega a 150 cocos/dia/quiosque e no inverno a uma média de 40 cocos/dia/quiosque nos 36 quiosques estabelecidos nas praias da Curva da Jurema e de Camburi, localizadas em Vitória/ES. Isso representou, em 2005, a geração de 195 kg/dia/quiosque de resíduos no verão e de 52 kg/dia/quiosque de resíduos no inverno.

Houve tentativas de beneficiamento da casca do coco verde no Estado Espírito Santo, mais especificamente no município de Vitória, capital do estado. Porém, segundo Souto (2004), ocorriam problemas desde a etapa inicial de coleta dos resíduos de coco. Os caminhões compactadores não conseguiam atingir a capacidade de coleta devido à baixa densidade do resíduo, sendo necessário à realização de mais viagens para atender a todos os estabelecimentos, ocasionando mais custos.

Ainda segundo Souto (2004), na tentativa de sanar este problema operacional adotou-se caminhões basculantes para realizar a coleta. Com este sistema os problemas foram piores. A coleta passou a ser feita de forma manual, absorvendo um maior quantitativo de mão-de-obra e demandando mais tempo, causando, inclusive, transtorno ao trânsito. Outro problema detectado foi a quebra constante das rodas dos carrinhos coletores devido ao acúmulo excessivo de resíduo.

Atualmente os resíduos do coco verde de Vitória são levados para as “estações bota-fora” da cidade, para depois serem levados para a Usina de Triagem e Compostagem de Lixo de Vitória e, posteriormente, transportados para a Central de Tratamento e Destinação Final de Resíduos no aterro sanitário, da Marca Ambiental, localizada no município de Cariacica/ES.

2.4. Considerações Finais da Revisão da Literatura

Após a revisão bibliográfica apresentada neste capítulo, nota-se que os objetivos deste trabalho se encaixam na classe de problemas de localização, amplamente tratado na Pesquisa Operacional. Os trabalhos que utilizaram o modelo das *P-medianas* mostram claramente ser essa abordagem uma candidata natural para tratar do problema de localização de indústrias de reciclagem aqui enfocado. Entretanto, optou-se por uma abrangência mais logística ao problema proposto, com a inclusão de variáveis de custos de instalação, operação, estoque e transporte, o que levou a escolha de uma modelagem de *programação linear mista e não-linear*.

Segundo Chopra e Meindl (2001), a localização de CD's é um problema clássico de programação linear mista. É um problema de transportes que envolve varias origens (CD's) e vários destinos (mercados). Da mesma forma, pode-se criar uma associação com o problema proposto neste trabalho, que também envolve várias origens (locais geradores de resíduos) e vários destinos (indústrias de reciclagem).

3. METODOLOGIA DA DISSERTAÇÃO

A metodologia do presente trabalho compreende o desenvolvimento e procedimento de aplicação de um modelo matemático para localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde.

O problema proposto consiste em estimar, para o Estado do Espírito Santo, a quantidade de indústrias de reciclagem, suas capacidades e os melhores municípios para instalação, com a devida distribuição dos resíduos de coco (quais municípios geradores abastecerão quais indústrias, e com quais quantidades), tal que minimize o custo total de instalação, operação, estoque e transporte.

Sendo assim, o trabalho foi desenvolvido de acordo com os passos metodológicos a seguir.

3.1. Revisão Bibliográfica

Inicialmente foi realizada uma ampla revisão da literatura existente no que diz respeito à localização de instalações, modelos matemáticos de pesquisa operacional, logística reversa e cadeia logística do coco verde no Brasil.

Foram pesquisados trabalhos científicos que objetivaram o estudo de localização de instalações através da elaboração de modelos matemáticos, sendo os de programação linear e não-linear os mais indicados para este trabalho, conforme apresentado no Capítulo 2.

Foi também realizado um estudo das ferramentas computacionais aplicáveis ao problema de localização de instalações, o que permitiu a escolha das ferramentas *Solver* e *do What'sBest!* que foram utilizadas nesta dissertação.

3.2. Coleta de Dados e Informações

Entrevistas realizadas com profissionais dos setores de produção, distribuição, industrialização, venda e transporte de coco permitiram a definição dos fatores e parâmetros que devem ser levados em consideração no modelo de localização. Essa etapa do trabalho consistiu ainda em coletar os dados a serem aplicados.

Utilizou-se os dados de localização geográfica e distâncias entre os municípios do Estado do Espírito Santo, levantados e processados por Mattedi (2005). Para tal, a autora usou o Sistema de Informações Geográficas ArcView 9.x.

Adotou-se ainda de Mattedi (2005) os dados da população fixa e flutuante dos principais balneários e/ou sede dos municípios litorâneos e da Região Metropolitana da Grande Vitória, principais locais de geração de resíduos do coco verde.

Devido à impossibilidade de se obter a quantidade de resíduos gerados em cada um dos municípios considerados nesta dissertação, foi realizado um rateio, por habitante, da quantidade de coco verde comercializada no ano de 2003 nas Centrais de Abastecimento do Espírito Santo – CEASA/ES, considerada como a total do Estado do Espírito Santo.

Foi considerado ainda um percentual estimado em aproximadamente 75 % de aproveitamento destes resíduos gerados, devido à impossibilidade de recolhimento total dos mesmos.

Os dados de custos foram pesquisados em projetos semelhantes desenvolvidos para outros estados brasileiros, tais como da construção de uma unidade de beneficiamento da fibra da casca do coco verde nos Estados de Fortaleza/CE (já implantado) e Cuiabá/MT (em análise). Estes projetos foram desenvolvidos pela Embrapa Agroindústria Tropical, conforme Rosa e Figueiredo (2005) e Borges (2005). Os dados apresentados por Assumpção (2006) também foram considerados.

3.3. Padronização dos Dados

Com o uso do programa Microsoft Office Excel 2003, desenvolveu-se inicialmente uma planilha contendo o número de habitantes dos principais municípios geradores de resíduos do coco verde, que são os próprios locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem, para as regiões Norte, Sul e Grande Vitória. Posteriormente, a quantidade total de resíduos gerados no estado foi rateada entre os municípios, proporcionalmente a quantidade de habitantes dos mesmos.

As distâncias entre os locais geradores de resíduos e os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem também foram apresentadas em uma planilha.

Foram montadas outras planilhas com os cálculos e valores dos custos fixos de instalação e operação das indústrias de reciclagem para cada cenário de estudo. Os custos variáveis foram calculados e apresentados por quantidade de resíduos a serem processados e transportados.

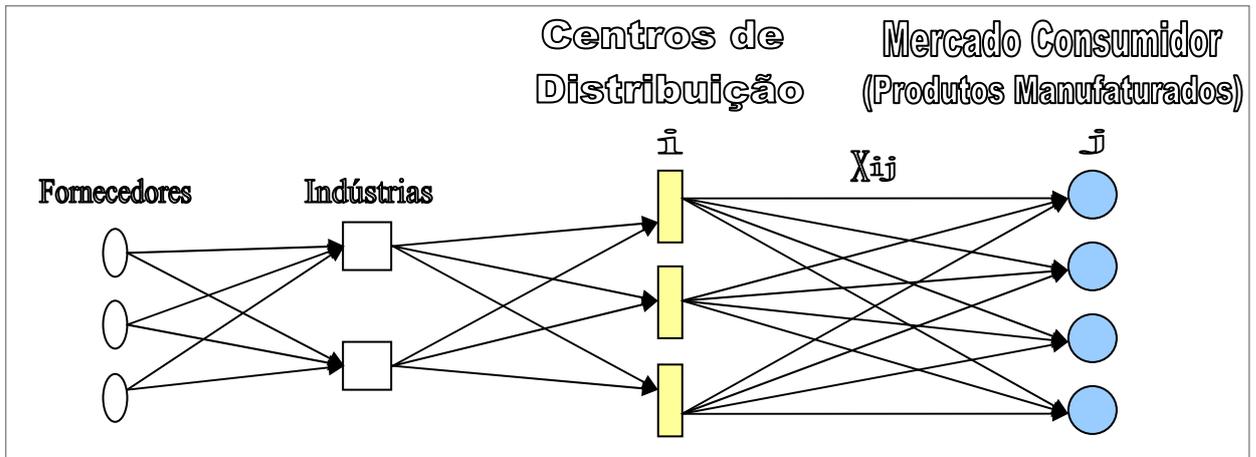
3.4. Modelagem do Problema de Localização de Indústrias de Reciclagem

Após análise da revisão da literatura de localização de instalações, apresentada no Capítulo 2, concluiu-se que o problema de localização de indústrias de reciclagem da casca do coco verde pode se enquadrar nos modelos de programação linear mista e não linear.

Baseando-se em Pimentel (2004), que desenvolveu um modelo de programação linear mista para localização otimizada de centros de distribuição, pode-se compatibilizar o modelo para o caso da cadeia logística reversa do coco verde, porém no sentido contrário do fluxo de circulação dos produtos, considerado pela autora.

Se na cadeia de suprimentos os produtos são movimentados dos centros de distribuição até o mercado consumidor, na cadeia logística reversa do coco verde os resíduos são movimentados dos locais de consumo (geração de resíduos) até as indústrias de reciclagem. Ou seja, os sentidos são diferentes, mas a estrutura do modelo é idêntica, conforme Figuras 3.1 e 3.2 a seguir.

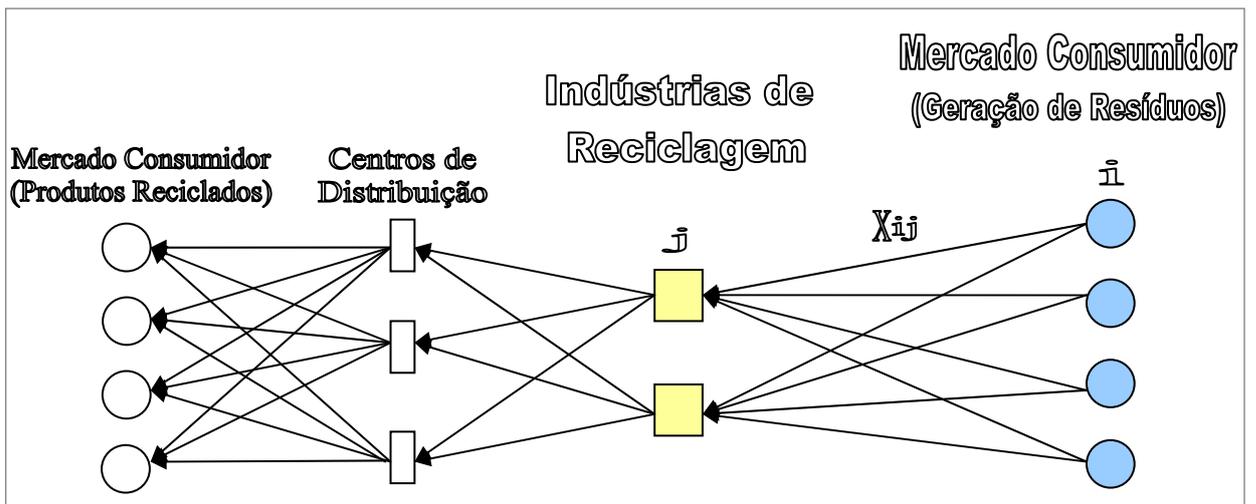
Onde localizar os **Centros de Distribuição** ?



Onde X_{ij} é a quantidade de produtos movimentados de i para j .

Figura 3.1: Cadeia de suprimentos

Equivale, em sentido reverso, a onde localizar as **Indústrias de Reciclagem** ?



Onde X_{ij} é a quantidade de resíduos do coco verde movimentados de i para j .

Figura 3.2: Cadeia logística reversa

O modelo de localização, portanto, foi estruturado para determinar a minimização do custo total, considerando-se como variáveis: quantidade de indústrias de reciclagem a serem instaladas; custos fixos e variáveis de instalação, operação, estoque e transporte; distâncias; quantidades de resíduos distribuídos na cadeia logística reversa entre os locais geradores de resíduos do coco verde e os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem e tempo de vida destas indústrias.

Foram consideradas as restrições básicas de que o total de resíduos gerados em cada cenário deve ser processado pelas indústrias de reciclagem e a quantidade de resíduos destinados a uma indústria não deve sobrepôr a sua capacidade, conforme modelo matemático descrito a seguir.

Dado um conjunto de C potenciais locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem, deseja-se selecionar os locais que devam abrigar um determinado número de indústrias, de forma a minimizar o custo total do sistema logístico reverso, atendendo a quantidade Q de geração de resíduos do coco verde, nos G locais geradores destes resíduos. Considerando:

$i = 1, \dots, G$ - os locais geradores de resíduos de coco.

$j = 1, \dots, C$ - os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem.

Seja CT o Custo Total anual, em “R\$/ano”, que corresponde à soma dos custos fixos de instalação, fixos de operação, variáveis de operação, variáveis de estoque e variáveis de transporte. Cada indústria de reciclagem, localizada em j , possui uma capacidade K_j de processamento de resíduos de coco. Com isso, a função objetivo para localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde pode ser expressa pela Equação 3.1:

$$\text{Min } CT = \left[\sum_{j=1}^C ((FI_j / t) + FO_j) \cdot l_j + \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^G x_{ij} \cdot (VO_j + VE_j \cdot p) + \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^G x_{ij} \cdot d_{ij} \cdot VT_{ij} \right] \quad (3.1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^G x_{ij} \leq K_j \cdot l_j \quad \forall \quad j = 1, \dots, C; \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^C x_{ij} = Q_i \quad \forall \quad i = 1, \dots, G; \quad (3.3)$$

$$l_j \in \{0, 1\} \quad \forall \quad j = 1, \dots, C; \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall \quad i = 1, \dots, G \quad \text{e} \quad j = 1, \dots, C. \quad (3.5)$$

As variáveis e parâmetros utilizados na formulação são:

- l_j = Variável binária de localização.

$$l_j = \begin{cases} 1 & \text{- se a indústria de reciclagem for instalada no local candidato } j; \\ 0 & \text{- caso contrário.} \end{cases}$$

- x_{ij} = Quantidade de resíduos de coco, em “toneladas/ano”, a serem transportados anualmente dos locais geradores de resíduos i até os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem j , onde serão processados e estocados.
- K_j = Capacidade das indústrias de reciclagem de resíduos de coco, em “toneladas/ano”.
- Q_i = Quantidade de resíduos de coco nos locais geradores, em “toneladas/ano”.
- t = Tempo de Vida das indústrias de reciclagem, em “anos”.
- d_{ij} = Distância entre os locais i e j , em “quilômetros”.
- FI_j = Custo Fixo de Instalação das indústrias de reciclagem localizadas em j , em R\$. Foi considerado, nesta dissertação, como um custo relacionado às faixas de capacidade das indústrias, conforme sugerido por IBRA (2006) e representado por:

$$FI_j = \begin{cases} FI_{1j} & \text{- se } K_{ini_1} \leq K_j \leq K_{fin_1}; \\ FI_{2j} & \text{- se } K_{ini_2} \leq K_j \leq K_{fin_2}; \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ FI_{nj} & \text{- se } K_{ini_n} \leq K_j \leq K_{fin_n}. \end{cases}$$

Onde K_{ini} e K_{fin} são as capacidades iniciais e finais de cada faixa, respectivamente.

Este custo depende de cada local candidato e será detalhado na seção 4.5.1.

- FO_j = Custo Fixo de Operação das indústrias de reciclagem localizadas em j . Foi considerado nesta dissertação como um custo relacionado à quantidade total de resíduos de coco processados anualmente pelas indústrias, em “R\$/ano”, conforme a seguir.

$$FO_j = \begin{cases} FO_1 & - \text{ se } K_{ini_1} \leq K_j \leq K_{fin_1} \\ FO_2 & - \text{ se } K_{ini_2} \leq K_j \leq K_{fin_2} \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ FO_n & - \text{ se } K_{ini_n} \leq K_j \leq K_{fin_n} \end{cases}$$

O Custo Fixo de Operação, assim como o Custo Fixo de Instalação, é determinado em função da faixa de capacidade na qual a indústria se enquadra, porém independe do local candidato.

- VO_j = Custo Variável de Operação das indústrias de reciclagem. Foi considerado nesta dissertação como um custo por quantidade de resíduos de coco processados pelas indústrias, em “R\$/tonelada”.
- VE_j = Custo Variável de Estoque das indústrias de reciclagem. Adotou-se um custo por quantidade de resíduos de coco armazenados pelas indústrias, em “R\$/tonelada”.
- p = Percentual de aproveitamento de reciclagem. Para uma determinada quantidade de resíduos de coco, um determinado percentual se converte em produtos reciclados (fibra, pó e produtos derivados destes dois componentes). Como o custo variável de estoque só será aplicado sobre os produtos reciclados, a quantidade de resíduos de coco, que é a variável do modelo, deverá ser multiplicada pelo percentual de aproveitamento de reciclagem.
- VT_{ij} = Custo Variável de Transporte dos resíduos de coco entre os locais i e j . Esta variável representa o frete por quantidade de resíduos de coco a ser transportado e por distância a ser percorrida, em “R\$/km.tonelada”.

Analisando as restrições do modelo, a Equação 3.2 garante que a capacidade de processamento das indústrias de reciclagem será sempre maior ou igual à quantidade de resíduos de coco destinados às mesmas, provenientes dos locais geradores. A Equação 3.3 garante que os resíduos de coco dos locais geradores serão totalmente aproveitados pelas indústrias de reciclagem. Já a Equação 3.4 garante que a variável de localização seja binária e a Equação 3.5 garante que as quantidades de resíduos transportadas não assumirão valores negativos.

O detalhamento das variáveis, dados pesquisados, restrições específicas para cada cenário e o modelo de localização resumido aplicável aos cenários encontram-se no Capítulo 4.

3.5. Cenários e Ferramentas Utilizados na Aplicação do Modelo de Localização

Foram criados dez cenários, relacionados ao problema proposto, para aplicação do modelo de localização, conforme detalhado na Seção 4.4, cada qual com suas definições e restrições específicas, possibilitando uma análise individual dos resultados e comparação dos mesmos. Foi possível, desta forma, sugerir as melhores soluções para o problema proposto. Foram também realizadas simulações para cada cenário, variando-se os dados dos parâmetros de entrada do modelo matemático, para possibilitar a análise de sensibilidade dos resultados em função destas variações.

Inicialmente foram utilizados os cinco primeiros cenários, com capacidades pré-estabelecidas e conseqüentemente utilização de um modelo de programação linear mista, mais simplificado, permitindo comparar e apresentar os melhores resultados destes cinco cenários. Porém, não foi possível estabelecer a melhor solução para problema proposto, pois não respondiam a todos os questionamentos relacionados aos objetivos deste trabalho. Desta forma, foi necessário avançar as pesquisas em programação não-linear, criando-se cinco novos cenários, com as capacidades não sendo pré-estabelecidas. Os cinco primeiros cenários não foram descartados, sendo utilizados para comparações dos resultados e conclusões finais.

Para cada cenário, foram pré-estabelecidas, ou não, as quantidades e capacidades das indústrias de reciclagem, sendo utilizados os mais adequados modelos de programação e ferramentas de otimização. O modelo de programação matemática desenvolvido pode assumir condições lineares ou não-lineares, dependendo das definições de cada um dos dez cenários relacionados ao problema proposto.

Para os cenários onde foram pré-estabelecidas as capacidades das indústrias de reciclagem, têm-se um modelo capacitado de *programação linear mista*, já que os custos fixos de instalação e operação são parâmetros, assumindo um valor fixo em função da capacidade, e, desta forma, a função objetivo e todas as demais restrições são lineares. O fato de ser uma programação *mista* justifica-se pelo fato de que parte das variáveis está restrita a valores inteiros, e outra parte a valores reais.

Já para os cenários onde não foram pré-estabelecidas as capacidades das indústrias de reciclagem, ou seja, onde serão definidas as melhores capacidades pelo processo de otimização, têm-se um modelo não-capacitado de *programação não-linear*, já que os custos fixos de instalação e operação são variáveis multiplicadas pela variável binária de localização, além de variarem por faixas de capacidades, o que torna a função objetivo não-linear.

Pode-se encontrar na literatura diversos métodos matemáticos e ferramentas de otimização para a solução de problemas de localização utilizando-se programação linear mista e não-linear. Optou-se nesta dissertação pela utilização das ferramentas *Solver* e *What'sBest!*, que funcionam agregadas ao programa Microsoft Office Excel, seguindo uma tendência atual de implementação de modelos matemáticos de otimização em planilhas eletrônicas. Além disso, são ferramentas práticas e acessíveis. Maiores detalhes destas ferramentas podem ser encontrados no Anexo I.

A aplicabilidade da ferramenta *Solver*, na versão do Microsoft Office Excel 2003, é limitada a um número máximo de 200 células ajustáveis. Desta forma, em problemas onde houve a necessidade de um número maior de células ajustáveis, correspondente aos Cenários 2 a 10, apresentados na Seção 3.6, o *What'sBest!* foi utilizado para suprir esta limitação do *Solver*.

O *Solver* é uma ferramenta mais acessível, pois já faz parte do pacote de ferramentas instaladas no Microsoft Office Excel 2003. Já o *What'sBest!* é um programa que deve ser instalado a parte, sendo que após a instalação o mesmo é automaticamente embutido como uma ferramenta do Microsoft Office Excel 2003, sendo assim também prática a sua utilização.

Existem outros programas capazes de resolver problemas de otimização, tais como: *LINDO* (*linear, interactive and discrete optimize*), *Visual Xpress*, *CPLEX*, *LINGO*, entre outros, que não serão aqui contemplados.

3.6. Fluxograma Analítico

A Figura 3.3, a seguir, ilustra o fluxograma analítico das etapas relevantes consideradas para a escolha da localização otimizada das indústrias de reciclagem.

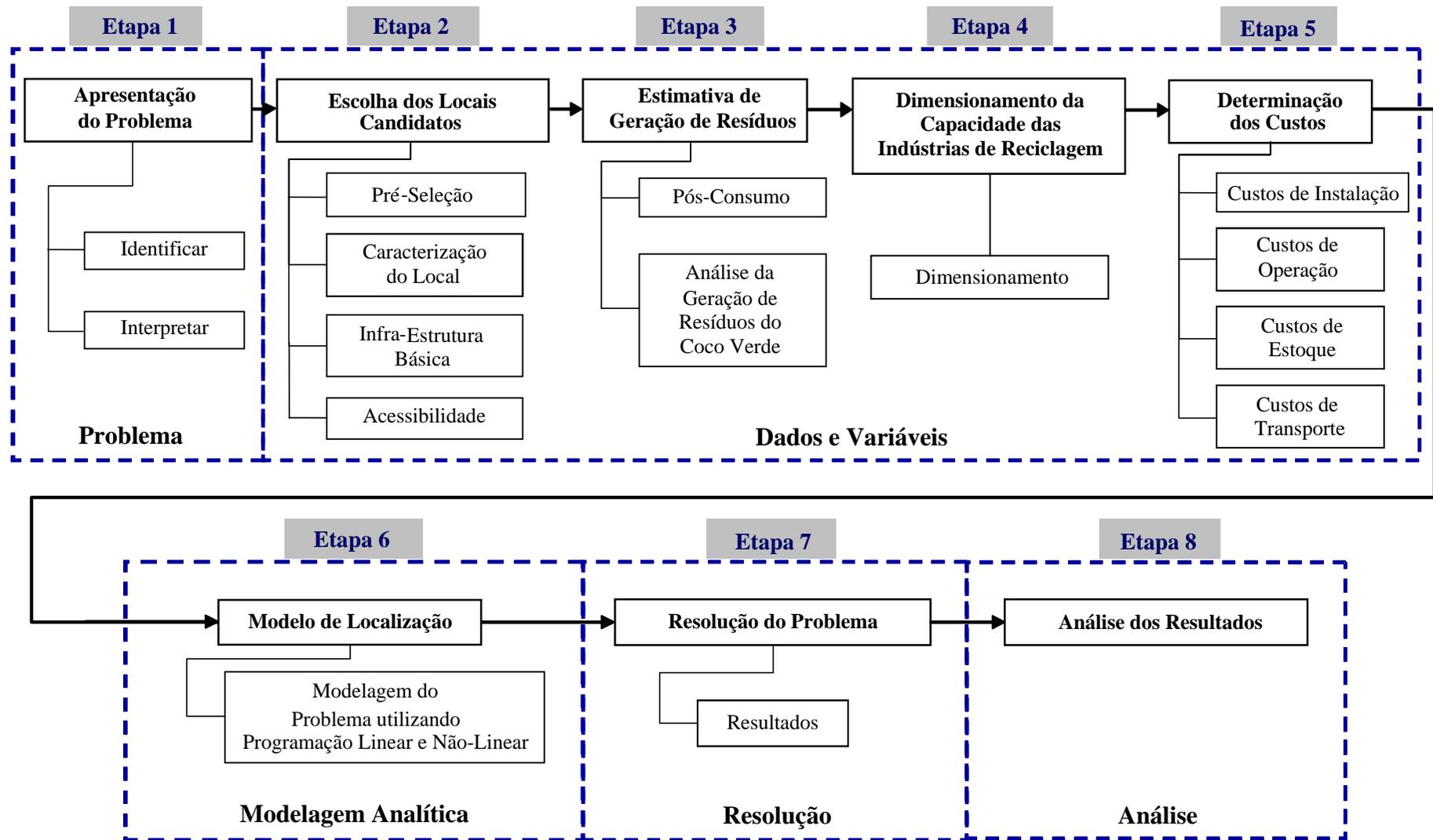


Figura 3.3: Fluxograma analítico detalhado, adaptado de Pimentel (2004)

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA PROPOSTO

Neste capítulo é detalhado e analisado o problema proposto, explicadas as limitações do trabalho e apresentados os dados colhidos nos estabelecimentos e órgãos responsáveis visando a aplicação posterior do modelo de localização, descrito no Capítulo 3. Será realizada também a análise destes dados.

O problema proposto foi voltado para o Estado do Espírito Santo, por ser um estado litorâneo e candidato a apresentar um grande consumo de água de coco verde em suas praias, além de se destacar como líder nacional na produção do coco anão verde, que é próprio para consumo de água, conforme Samam Agrícola (2004).

Deseja-se estimar para o Estado do Espírito Santo o número ideal de indústrias de reciclagem da casca do coco verde e os municípios mais viáveis para instalação das mesmas, com as respectivas capacidades necessárias em função da melhor distribuição dos resíduos entre os municípios geradores e as indústrias, tal que seja minimizado o custo total envolvido.

As indústrias de reciclagem serão projetadas para transformar a casca do coco verde em fibra e pó, e fabricação de produtos derivados destes dois componentes.

As receitas serão provenientes principalmente da venda de vasos e artesanatos, produzidos com as fibras, e substratos agrícolas e compostos orgânicos, produzidos com o pó. Porém, também ocorrerá a venda de fibra e pó para outras indústrias interessadas no processamento das mesmas.

As indústrias de reciclagem possuirão um local para armazenagem de resíduos de coco in natura para utilização própria e também para revenda com outras finalidades, tais como queima em fornalhas.

Os demais detalhes assemelham-se ao Fluxograma Operacional e as Etapas de Operação, apresentados no estudo de implantação da unidade de beneficiamento da casca do coco verde em Cuiabá/MT, conforme Seção 2.3.2, Figura 2.8.

4.1. Quantidade Total de Resíduos do Coco Verde

A quantidade de coco verde que se consome no Estado do Espírito Santo não é um dado oficialmente conhecido e não é facilmente obtido, principalmente porque muitos pequenos vendedores e ambulantes da orla marítima, que trabalham em quiosques e carrinhos, recebem o produto diretamente dos agricultores. Portanto, para se introduzir dados no modelo de localização, deve-se fazer uma estimativa confiável deste consumo.

Uma das hipóteses assumidas é a de que a quantidade de coco verde consumida fora dos municípios litorâneos dos principais balneários e externo a Região Metropolitana da Grande Vitória possa ser desconsiderada, principalmente no período de férias escolares e no verão. Esta hipótese foi assumida para contornar o problema de total inexistência de dados de geração de resíduos do coco verde e tornar possível a aplicação do modelo matemático ao problema proposto.

De acordo com pesquisas realizadas por Mattedi (2005) junto às Centrais de Abastecimento do Espírito Santo – CEASA/ES, no ano de 2003 foram comercializados 5.507 toneladas de coco verde no Estado do Espírito Santo, enquanto que no ano de 2004 foram 3.637 toneladas, sendo provenientes tanto do Estado do Espírito Santo quanto da Bahia, Sergipe, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Pará e São Paulo.

Sobre o total comercializado, houve um decréscimo de 34 % entre os anos de 2003 e 2004. Com isso, não há possibilidade de se prever um aumento futuro de consumo do coco verde no Estado do Espírito Santo, tomando-se como base os dados desses dois anos. Ou seja, não é recomendável que se utilize esses dados para os anos seguintes, devendo ser realizadas novas pesquisas.

Portanto, para efeito de dimensionamento da capacidade máxima das indústrias de reciclagem, será utilizado o maior consumo entre os anos 2003 e 2004, ou seja, 5.507 toneladas, correspondente ao ano de 2003.

Como a unidade média de 1 coco é equivalente a 1,5 kg (Mayer, 2004), tem-se aproximadamente 3.671.000 unidades/ano. Desta forma, pode-se considerar este valor como a quantidade total máxima de coco verde consumido anualmente dentro do Estado do Espírito Santo, e que após o consumo gera resíduos. Como o consumo de cada coco verde gera, em média, 1,3 kg de resíduos, tem-se 4.772 toneladas/ano.

O percentual de aproveitamento dos resíduos do coco verde gerados no Estado do Espírito Santo, apesar de não conhecido e pesquisado, foi estipulado em 75 % do total de resíduos gerados. Excluindo-se, desta forma, os resíduos que se perdem e não são recolhidos, os que terão como destino final os aterros sanitários, os que são misturados e recolhidos junto com outros lixos e os não aproveitáveis.

Desta forma, tem-se aproximadamente **3.580 toneladas/ano** de resíduos do coco verde.

4.2. Locais Geradores de Resíduos e Candidatos à Instalação das Indústrias de Reciclagem

Os principais estabelecimentos de consumo do coco verde, onde são gerados os resíduos, são os quiosques, indústrias de envasamento, supermercados, quilões, feiras livres, bares, residências e carrinhos que realizam a venda ambulante de água de coco.

Os principais locais de geração de resíduos do coco verde, onde o consumo da água é significativamente superior aos demais, foram estabelecidos nesta dissertação como sendo os municípios litorâneos mais a Região Metropolitana da Grande Vitória, totalizando 16 municípios.

Esses municípios também foram estabelecidos nesta dissertação como os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem no Estado do Espírito Santo, conforme Tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1: Locais candidatos e número de habitantes

Município	Principais Balneários e/ou Sede	Número de Habitantes
Anchieta	Anchieta	10.678
	Iri	3.152
	Maemba	880
	Ubu	2.757
Aracruz	Balneários e Sede	15.736
Cariacica	Sede	312.491
Conceição da Barra	Conceição da Barra	16.470
	Itaúnas	2.370
Fundão	Balneários	6.331
Guarapari	Guarapari	92.116
	Meaipe	7.223
	Santa Mônica	9.814
Itapemirim	Balneários	25.936
Linhares	Regência	1.635
	Povoação	1.490
	Pontal do Ipiranga	5.212
Marataizes	Balneários	63.560
Piúma	Balneários	17.649
Presidente Kennedy	Praia das Neves	273
São Mateus	Balneários e Sede	19.012
Serra	Balneários e Sede	379.133
Viana	Sede	52.362
Vila Velha	Jucu	1.676
	Barra do Jucu	47.442
	Ponta da Fruta	7.904
	Vila Velha	341.483
Vitória	Balneários	321.159

Fonte: Cesan – Companhia Espírito Santense de Saneamento e SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto (2004)

O número considerado de habitantes corresponde à população fixa mais flutuante dos principais balneários e/ou sede dos locais candidatos.

Como não houve meios de se pesquisar a quantidade de resíduos do coco verde gerado em cada município, conforme descrito na Seção 4.1, considerou-se a estimativa de que seja proporcional ao número de habitantes daquele local, dividido pela somatória total de habitantes dos municípios. Em outras palavras, será rateada a quantidade total de resíduos, 3.580 toneladas/ano, proporcionalmente ao número considerado de habitantes de cada município, conforme Tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2: Locais candidatos, número de habitantes e rateio da quantidade de resíduos

Região Norte			
	Local Candidato (município)	Nº Considerado de Habitantes	Quantidade de Resíduos rateada
1	Aracruz	15.736	32 t/ano
2	Conceição da Barra	18.840	38 t/ano
3	Fundão	6.331	13 t/ano
4	Linhares	8.337	17 t/ano
5	São Mateus	19.012	38 t/ano
	TOTAL	68.256	138 t/ano

Região Sul			
	Local Candidato (município)	Nº Considerado de Habitantes	Quantidade de Resíduos rateada
6	Anchieta	17.467	35 t/ano
7	Guarapari	109.153	221 t/ano
8	Itapemirim	25.936	53 t/ano
9	Marataizes	63.560	129 t/ano
10	Piúma	17.649	36 t/ano
11	Presidente Kennedy	273	1 t/ano
	TOTAL	234.038	475 t/ano

Região da Grande Vitória			
	Local Candidato (município)	Nº Considerado de Habitantes	Quantidade de Resíduos rateada
12	Cariacica	312.491	633 t/ano
13	Serra	379.133	769 t/ano
14	Viana	52.362	106 t/ano
15	Vila Velha	398.505	808 t/ano
16	Vitória	321.159	651 t/ano
	TOTAL	1.463.650	2.967 t/ano

Quantidade Total de Resíduos do Coco Verde (toneladas/ano) \approx 3.580
--

Na Figura 4.1, a seguir, é apresentado o mapa do Estado Espírito Santo, no qual é possível verificar a localização dos municípios e as suas respectivas regiões.

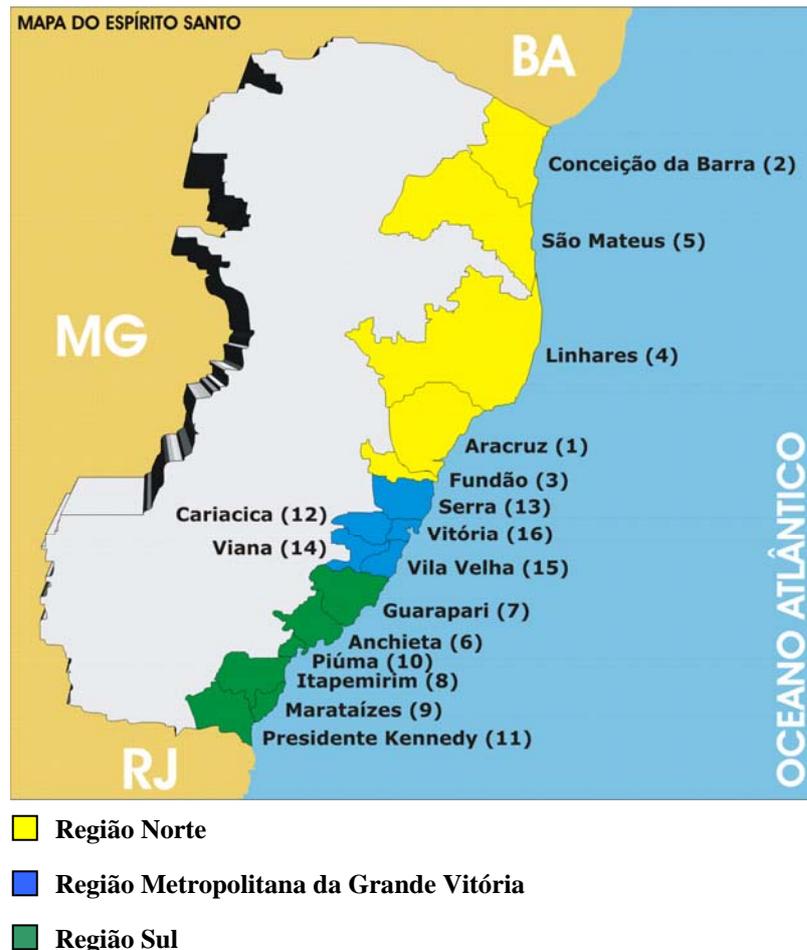


Figura 4.1: Mapa do Estado do Espírito Santo com os locais candidatos

4.3. Determinação das Distâncias

As coordenadas dos municípios foram definidas nos centros geométricos dos principais balneários e/ou sede dos mesmos (Tabela 4.1), utilizando-se o programa Arcview. Em seguida, foram determinadas as distâncias Euclidianas entre as coordenadas dos municípios.

Para os casos de deslocamentos internos no próprio município, foi considerada a hipótese de uma distância em torno de 5 km, que corresponde à distância entre os pontos geradores de resíduos e o local de instalação da indústria de reciclagem.

Pimentel (2004) comparou valores Euclidianos com valores reais de distância, e chegou à conclusão que, para a realidade brasileira, basta acrescentar 10 % à distância Euclidiana para estimar a distância real, percentual adotado neste trabalho. Já Ballou (2001) sugere um acréscimo de 17 %.

Na Tabela 4.3, a seguir, são apresentadas as distâncias aproximadas, em km, entre os locais geradores de resíduos e locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem, já considerando os 10 % de incremento para compensar as distâncias lineares. As áreas destacadas pelos retângulos cinzas representam a separação dos municípios nas regiões Norte, Sul e Grande Vitória.

Tabela 4.3: Distâncias entre os locais geradores de resíduos e candidatos

	DISTÂNCIAS (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta	Guarapari	Itapemirim	Marataizes	Piúma	Pres. Kennedy	Cariacica	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória
1	Aracruz	6	164	30	66	138	140	115	164	171	146	204	74	39	84	83	64
2	Conc. da Barra	164	6	192	107	26	301	277	323	331	306	364	235	203	244	246	226
3	Fundão	30	192	6	95	166	110	86	134	142	116	175	44	10	55	54	34
4	Linhares	66	107	95	6	81	205	180	230	240	212	270	139	104	150	148	129
5	São Mateus	138	26	166	81	6	275	252	298	306	280	339	210	177	218	220	200
6	Anchieta	140	301	110	205	275	6	25	26	32	10	65	66	101	57	58	76
7	Guarapari	115	277	86	180	252	25	6	51	57	33	90	42	76	35	33	52
8	Itapemirim	164	323	134	230	298	26	51	6	9	18	41	90	125	80	83	101
9	Marataizes	171	331	142	237	306	32	57	9	6	26	33	98	133	88	90	108
10	Piúma	146	306	117	212	280	10	33	18	26	6	59	72	107	62	65	83
11	Pres. Kennedy	204	364	175	270	339	65	90	41	33	59	6	131	166	121	122	141
12	Cariacica	74	235	44	140	210	66	42	90	98	72	131	6	35	12	13	11
13	Serra	40	203	10	104	177	101	76	125	133	107	166	35	6	46	44	25
14	Viana	84	244	55	150	218	57	35	80	88	62	121	12	46	6	17	23
15	Vila Velha	83	246	54	148	220	58	33	83	90	65	122	13	44	17	6	20
16	Vitória	64	226	34	129	200	76	52	101	108	83	141	11	25	23	20	6

4.4. Custos Aplicáveis ao Problema Proposto

Conforme a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, IPA (2005), os custos referem-se aos gastos que a empresa realiza no seu processo de funcionamento, sejam eles relativos a serviços ou produtos. Nesta dissertação, não é feita nenhuma distinção entre custos e despesas, por serem irrelevantes aos objetivos propostos. Existem várias classificações para os custos, mas no presente trabalho os mesmos foram classificados em fixos e variáveis, onde o custo total é dado conforme a Equação 4.1:

$$C_T = C_F + C_V \quad (4.1)$$

Os custos fixos aplicáveis podem ser resumidos em custos de instalação e de operação. Já os custos variáveis podem ser resumidos em custos de operação, estoque e transporte.

Os dados de custos de instalação, operação e estoque foram pesquisados em dois projetos, apresentados na Seção 2.3.2: o projeto da primeira unidade implantada de beneficiamento da casca do coco verde no Brasil, em Fortaleza/CE, conforme Rosa e Figueiredo (2005), e o projeto de implantação de uma nova unidade de beneficiamento, em Cuiabá/MT, conforme Borges (2005). Os dados apresentados por Assumpção (2006) também foram considerados.

Já os dados de custos de transporte fretado no Estado do Espírito Santo foram pesquisados em Mattedi (2005), e de manuseio e movimentação de estoque em Pimentel (2004).

Os dados pesquisados são reais e com características semelhantes ao do problema proposto nesta dissertação, aproximando os resultados da solução do modelo de localização com a realidade.

Foram encontradas poucas referências de dados para formação de uma estrutura de custos mais elaborada para implantação de indústrias de reciclagem da casca do coco verde. A restrição foi ainda maior para indústrias de menor porte, como é o caso do Estado do Espírito Santo, onde o volume de resíduos gerados não é tão considerável quanto ao de outros estados brasileiros que possuem projetos semelhantes já implantados ou elaborados.

Em função destas restrições e como o objetivo desta dissertação é o estudo da localização das indústrias de reciclagem, onde os custos são apenas pesos no modelo, todos os custos foram considerados como proporcionais a quantidade de resíduos processados pelas indústrias, sendo os valores pesquisados em projetos semelhantes desenvolvidos em outros estados brasileiros.

Os custos fixos de instalação e operação foram considerados no modelo por faixas de capacidades, em escalas não-lineares, conforme apresentado na Seção 3.4, sendo calculados pela maior capacidade de cada faixa e baseados nos custos por capacidades das indústrias de projetos semelhantes.

Considerou-se ainda, que existem no mercado equipamentos com custos por capacidade proporcionalmente menores que os dos projetos semelhantes pesquisados, para cada uma das faixas estabelecidas, baseando-se no estudo desenvolvido por Assumpção (2006).

Os custos variáveis de operação e estoque foram considerados no modelo como custos por quantidade de resíduos de coco a serem processados pelas indústrias de reciclagem.

Já o custo variável de transporte foi considerado no modelo como um custo por quantidade de resíduos de coco a serem transportados e pela distância a ser percorrida.

4.4.1. Custos Fixos

Segundo o IPA (2005), os custos fixos são aqueles que permanecem constantes, sem variação, independente do volume de produção ou de vendas da empresa, numa certa escala do tempo. Em tese, os custos fixos não se alteram, esteja a empresa operando próxima ao nível zero ou a plena carga, como é o caso do aluguel de um prédio.

a. Custo Fixo de Instalação – no caso de indústrias de reciclagem da casca de coco, conforme Rosa e Figueiredo (2005), refere-se aos custos de:

- Aquisição do terreno;
- Construção das instalações físicas;
- Aquisição de máquinas e equipamentos;
- Treinamentos.

Baseando-se em Rosa e Figueiredo (2005), o total dos custos fixos de instalação do projeto de construção da unidade de beneficiamento da casca do coco verde, já implantada em Fortaleza/CE, que se aplicam às indústrias de reciclagem do problema proposto nesta dissertação, é de aproximadamente US\$ 191.000. Este valor, em Dólar, corresponde na moeda Real, com a menor cotação em 2005 a R\$ 2,16, na data de 11/11/2005, a um valor de R\$ 412.560.

Como todos os demais custos pesquisados nesta dissertação foram encontrados na moeda Real (R\$), com datas do orçamento próximas a esta data da cotação do dólar utilizada para a conversão dos custos de instalação, manteve-se a correlação de moeda entre os mesmos.

A capacidade projetada para a usina de Fortaleza/CE é de 30 toneladas/dia, conforme Rosa e Figueiredo (2005), o que corresponde a 7.920 toneladas/ano considerando-se 22 dias úteis para o mês e os 12 meses do ano. A usina foi construída em um terreno doado pelo Estado, com área de 3.000 m².

Considerando a hipótese de que os custos fixos de instalação e a área de construção das indústrias de reciclagem no Estado do Espírito Santo sejam proporcionais às suas capacidades de processamento de resíduos do coco verde em relação à capacidade da indústria de Fortaleza/CE, seguem os valores rateados na Tabela 4.4 considerando a totalidade de resíduos gerados no Estado do Espírito Santo, correspondente a 3.580 toneladas/ano.

Tabela 4.4: Rateio do custo fixo de instalação e área de construção

Custo Fixo de Instalação Rateado	Área de Construção Rateada
$(3.580 \text{ t} / 7.920 \text{ t}) \times \text{R\$ } 412.560 \approx \text{R\$ } 186.490$	$(3.580 \text{ t} / 7.920 \text{ t}) \times 3.000 \text{ m}^2 \approx 1.360 \text{ m}^2$

O terreno de construção da usina de Fortaleza/CE foi doado e seu custo foi zero. Logo, para esta dissertação é necessário acrescentar ao custo fixo de instalação rateado o valor do terreno de 1.360 m² em cada município.

O preço do metro quadrado dos terrenos nos municípios foi estimado através de pesquisas em anúncios de classificados de jornais de maior circulação no Estado do Espírito Santo. Foram considerados os melhores preços de terrenos localizados próximos aos principais pontos de geração de resíduos do coco verde, que são os balneários e/ou sede (Tabela 4.1), ficando o custo fixo de instalação total, para cada local candidato, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Estimativa do custo fixo de instalação total para cada local candidato

Nº	Local Candidato	Custo Fixo de Instalação (R\$)	Custo do Terreno (R\$)	Custo Fixo de Instalação Total (R\$)
1	Aracruz	186.490	85.130	271.620
2	Conceição da Barra		85.130	271.620
3	Fundão		79.710	266.200
4	Linhares		91.910	278.400
5	São Mateus		91.910	278.400
6	Anchieta		85.130	271.620
7	Guarapari		112.250	298.740
8	Itapemirim		85.130	271.620
9	Marataizes		85.130	271.620
10	Piúma		91.910	278.400
11	Presidente Kennedy		79.710	266.200
12	Cariacica		6.050	192.540
13	Serra		91.910	278.400
14	Viana		6.050	192.540
15	Vila Velha		112.250	298.740
16	Vitória		342.740	529.230

Os custos fixos de instalação das indústrias geralmente não variam linearmente com as capacidades, conforme IBRA (2006), havendo uma economia de escala dos custos em relação ao aumento das capacidades.

Como não existem pesquisas de mercado e referências bibliográficas que apresentem as variações destes custos, será considerada a hipótese de oito faixas de capacidades com seus respectivos custos fixos de instalação, sendo estes calculados em função da maior capacidade de cada faixa e proporcionais à capacidade da indústria de reciclagem do projeto de Fortaleza/CE, conforme Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Custo fixo de instalação (em R\$) por faixa de capacidade (em toneladas/ano)

Nº	Local Candidato	Faixa 1 [0-500]	Faixa 2]500-1000]	Faixa 3]1000-1500]	Faixa 4]1500-2000]	Faixa 5]2000-2500]	Faixa 6]2500-3000]	Faixa 7]3000-3500]	Faixa 8]3500-4000]
1	Aracruz	33.950	67.910	101.860	135.810	169.760	203.720	237.670	271.620
2	C. da Barra	33.950	67.910	101.860	135.810	169.760	203.720	237.670	271.620
3	Fundão	33.280	66.550	99.830	133.100	166.380	199.650	232.930	266.200
4	Linhares	34.800	69.600	104.400	139.200	174.000	208.800	243.600	278.400
5	S. Mateus	34.800	69.600	104.400	139.200	174.000	208.800	243.600	278.400
6	Anchieta	33.950	67.910	101.860	135.810	169.760	203.720	237.670	271.620
7	Guarapari	37.340	74.690	112.030	149.370	186.710	224.060	261.400	298.740
8	Itapemirim	33.950	67.910	101.860	135.810	169.760	203.720	237.670	271.620
9	Marataizes	33.950	67.910	101.860	135.810	169.760	203.720	237.670	271.620
10	Piúma	34.800	69.600	104.400	139.200	174.000	208.800	243.600	278.400
11	P. Kennedy	33.280	66.550	99.830	133.100	166.380	199.650	232.930	266.200
12	Cariacica	24.070	48.140	72.200	96.270	120.340	144.410	168.470	192.540
13	Serra	34.800	69.600	104.400	139.200	174.000	208.800	243.600	278.400
14	Viana	24.070	48.140	72.200	96.270	120.340	144.410	168.470	192.540
15	Vila Velha	37.340	74.690	112.030	149.370	186.710	224.060	261.400	298.740
16	Vitória	66.150	132.310	198.460	264.620	330.770	396.920	463.080	529.230

De acordo com Assumpção (2006), pode-se construir indústrias de pequeno a médio porte para reciclagem da casca do coco verde, já que existem maquinários (tritador, prensa rotativa e classificadora) no mercado com capacidade para processar à partir de 500 toneladas/ano. Baseado neste estudo, pode-se supor custos gradativamente proporcionais às faixas de capacidade de 500 em 500 toneladas/ano, sendo aplicável a realidade do Estado do Espírito Santo, onde o total de resíduos gerados (3.580 toneladas/ano) não é tão considerável quanto à capacidade da indústria de Fortaleza/CE (7.920 toneladas/ano).

Desta forma, pode-se verificar, através da aplicação do modelo de localização, se é mais viável instalar algumas indústrias de pequeno e médio porte, ou uma indústria de grande porte com capacidade para absorver toda a quantidade de resíduos gerados, como foi realizado em Fortaleza/CE, onde há um incremento maior dos custos de transporte.

Para distribuir os custos fixos de instalação por ano, é necessário determinar o tempo médio de vida das indústrias de reciclagem. Segundo a *National Association of Securities Dealers Automated Quotation System*, NASDAQ (2006), um mercado eletrônico de bolsas de valores, o tempo médio de vida de uma empresa é de 10 anos. Logo, este tempo será considerado no cálculo da simulação base de cada cenário.

Tempo Médio de vida das Indústrias de Reciclagem (anos) \approx 10
--

b. Custo Fixo de Operação – no caso de indústrias de reciclagem da casca de coco, conforme Borges (2005), refere-se aos custos de:

- Mão-de-obra (salários e encargos);
- Manutenção/Conservação (de máquinas, equipamentos e construção civil);
- Depreciação (de máquinas, equipamentos e construção civil);
- Material de expediente;
- Material de limpeza;
- Energia elétrica;
- Água;
- Gás;
- Combustível;
- Telefone.

Segundo Borges (2005), o total dos custos fixos de operação do projeto de construção da unidade de beneficiamento da fibra da casca de coco verde no Estado de Cuiabá/MT é de aproximadamente R\$ 339.900.

A capacidade projetada para a indústria de Cuiabá/MT é de 27 toneladas/dia, o que corresponde a 7.128 toneladas/ano considerando-se 22 dias úteis para o mês e os 12 meses do ano.

Considerando a hipótese de que os custos fixos de operação das indústrias de reciclagem do Estado do Espírito Santo independam do local candidato, e que sejam proporcionais as suas capacidades de processamento de resíduos do coco verde em relação à capacidade da indústria de Cuiabá/MT, seguem os valores rateados na Tabela 4.7 considerando a totalidade de resíduos gerados no Estado do Espírito Santo, correspondente a 3.580 toneladas/ano.

Tabela 4.7: Rateio do custo fixo de operação

Custo Fixo de Operação Rateado
$(3.580 \text{ t} / 7.128 \text{ t}) \times \text{R\$ } 339.900 \approx \text{R\$ } 170.700$

Os custos fixos de operação das indústrias geralmente não variam linearmente com as capacidades, conforme IBRA (2006), havendo uma economia de escala dos custos em relação ao aumento das capacidades. Como não existem pesquisas de mercado e referências bibliográficas que apresentem as variações destes custos, será considerada a hipótese de oito faixas de capacidades com seus respectivos custos fixos de operação, sendo estes calculados em função da maior capacidade de cada faixa e proporcionais a capacidade da indústria de reciclagem do projeto de Cuiabá/MT, conforme Tabela 4.8 a seguir.

Tabela 4.8: Custo fixo de operação (em R\$/ano) por faixa de capacidade (em toneladas/ano)

Faixa 1 [0-500]	Faixa 2]500-1000]	Faixa 3]1000-1500]	Faixa 4]1500-2000]	Faixa 5]2000-2500]	Faixa 6]2500-3000]	Faixa 7]3000-3500]	Faixa 8]3500-4000]
21.340	42.680	64.010	85.350	106.690	128.030	149.360	170.700

4.4.2. Custos Variáveis

Segundo o IPA (2005), os custos variáveis são aqueles que variam de forma proporcional ao volume da produção ou de vendas da empresa. Quanto mais a empresa produz e vende, mais os custos variáveis crescem – normalmente na mesma proporção que o aumento de produção e vendas (e vice-versa).

a. Custo Variável de Operação – no caso de indústrias de reciclagem da casca de coco, conforme Borges (2005), refere-se aos custos de:

- Matéria prima (casca de coco, látex e embalagens);
- Impostos e taxas.

Conforme Borges (2005), o total dos custos variáveis de operação do projeto de construção da unidade de beneficiamento da fibra da casca de coco verde no Estado de Cuiabá/MT é de R\$ 824.440.

Para o projeto da indústria de Cuiabá/MT, a quantidade de resíduos previstos para processamento anual é de 7.128 toneladas. Como o custo variável total de operação é igual a R\$ 824.440, corresponde a aproximadamente R\$ 116 /tonelada.

Custo Variável de Operação (R\$/tonelada) \approx 116

b. Custo Variável de Estoque – no caso de indústrias de reciclagem da casca de coco, conforme Borges (2005), refere-se aos custos de:

- Manuseio do estoque;
- Movimentação do estoque.

Os produtos a serem estocados serão os reciclados da casca do coco verde (fibra, pó e produtos derivados destes dois componentes). Os resíduos do coco verde, apesar de ocasionalmente terem que ser estocados, não geram custos significativos, já que não se degradam com facilidade, não requerem um local com tratamentos especiais para armazenagem e nem equipamentos especiais para movimentação.

Os custos variáveis de estoque aplicados para centros de distribuição, conforme Pimentel (2004), são apresentados conforme Tabela 4.9 a seguir.

Tabela 4.9: Custos variáveis de estoque

Discriminação	Valor (R\$/tonelada)
Manuseio do Estoque	0,2
Movimentação do Estoque	0,4
TOTAL	0,6

Esses valores podem ser aplicados ao estoque de produtos reciclados da casca de coco, já que os mesmos serão submetidos a processos semelhantes a produtos estocados em um centro de distribuição, tais como armazenagem, manuseio e movimentação, logo:

Custo Variável de Estoque (R\$/tonelada) \approx 0,6

Para uma determinada quantidade de resíduos de coco, há um percentual de aproveitamento na fabricação de produtos reciclados da casca.

As perdas são referentes à retirada de umidade e de partes não aproveitáveis de coco, como o endocarpo, por exemplo.

As quantidades de produtos reciclados por ano de acordo com projeto da indústria de Fortaleza/CE, conforme Rosa e Figueiredo (2005), são apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Quantidade de produtos reciclados

Discriminação	Unidade	Quantidade (t/ano)
Fibra de Coco	T	567
Vasos	T	39
Pó da Casca de Coco	T	1.386
TOTAL		1.992

Para o projeto da indústria de Fortaleza/CE, a quantidade de resíduos do coco verde previstos para processamento é de 7.920 t/ano. Logo, o rendimento em produtos reciclados foi de aproximadamente 0,25 (1.992 / 7.920). Ou seja, para uma determinada quantidade de resíduos de coco, 25 % se convertem em produtos reciclados da casca do coco verde (fibra, pó e produtos derivados destas matérias primas).

Percentual de aproveitamento de reciclagem \approx 25 %

c. Custo Variável de Transporte – refere-se ao custo de transporte realizado por frete.

O transporte de resíduos do coco verde entre os locais de geração e as indústrias de reciclagem ocorre exclusivamente por meio do transporte rodoviário.

Foi considerado nesta dissertação que o transporte será fretado, porém os serviços de movimentação (coleta dos resíduos de coco, carga, descarga e movimentação de produtos reciclados) e manuseio, serão realizados por recursos da própria indústria de reciclagem, sendo este custo de mão-de-obra já computado nos custos fixos de operação como quatro assistentes de movimentação e manuseio de carga.

Mattedi (2005) pesquisou os custos de transportes fretados no Estado do Espírito Santo na SEDIT - Secretaria de Estado de Desenvolvimento de Infra-Estrutura e dos Transportes, setor da GEDEST - Gerência de Desenvolvimento dos Transportes, encontrando um custo médio de R\$ 3 /km para caminhões Truck ou Toco, que são compatíveis com o transporte de resíduos de coco.

A autora também pesquisou a capacidade dos caminhões, encontrando uma quantidade média de 7.000 cocos para caminhões do tipo Truck e uma quantidade média de 5.000 cocos para caminhões do tipo Toco. Considerou-se a capacidade média de ambos, correspondente a 6.000 cocos por caminhão. Como o peso médio do resíduo do coco verde é de 1,3 kg/coco, obteve-se uma capacidade de aproximadamente 8 toneladas (6.000 cocos x 1,3 kg/coco) ou de resíduos do coco verde por caminhão. Logo:

- Custo Médio de Transporte para Caminhões Truck ou Toco no Estado do Espírito Santo: R\$ 3 /km
- Capacidade Média dos Caminhões Truck ou Toco: 8 toneladas de resíduos de coco

Desta forma:

- O Custo Médio de Transporte para Caminhões Truck ou Toco no Estado do Espírito Santo, corresponde a R\$ 3 /km / 8 tonelada, ou melhor, aproximadamente R\$ 0,4 / km.tonelada.

Custo Variável de Transporte (R\$/km.tonelada) \approx 0,4

Os valores totais anuais estimados dos custos de transporte fretado foram calculados em função do custo variável de transporte por km e tonelada, distâncias em km e quantidade de resíduos de coco movimentados dos locais geradores até os locais candidatos escolhidos para instalação das indústrias de reciclagem.

A quantidade de viagens anuais, entre os municípios geradores de resíduos de coco e os locais candidatos escolhidos na solução do modelo de localização, pode ser estimada em função da quantidade calculada de resíduos de coco a serem transportados, dividido pela capacidade média dos caminhões Truck ou Toco.

4.5. Cenários do Problema Proposto

Visando permitir uma melhor análise comparativa dos resultados, diante das diversas possibilidades de instalação de indústrias de reciclagem da casca do coco verde no Estado do Espírito Santo, foram criados dez cenários relacionados ao problema proposto, conforme a seguir.

O Cenário 1 foi dividido em três sub-cenários: 1.1, 1.2 e 1.3, sendo que os municípios litorâneos e da Região Metropolitana da Grande Vitória foram divididos nas regiões: Norte, Sul e Grande Vitória, respectivamente. É estabelecida a localização de uma indústria de reciclagem em cada uma dessas regiões do estado, com capacidade em condições de atender ao total de resíduos do coco verde gerados nas mesmas, independentemente, não considerando o fornecimento de resíduos de uma região para a outra.

Já para o Cenário 2, é definida a localização de uma indústria de reciclagem, com capacidade para atender ao total de resíduos do coco verde gerados no Estado do ES.

No Cenário 3 são estipuladas as localizações de duas indústrias de reciclagem para atender ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES, com capacidades iguais e correspondentes ao total de resíduos do cenário dividido por dois.

O Cenário 4 assemelha-se ao Cenário 3, porém serão determinadas as localizações de três indústrias de reciclagem para atender ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES, com capacidades iguais e equivalentes ao total de resíduos do cenário dividido por três.

Para o Cenário 5, são estabelecidas as localizações de três indústrias de reciclagem para atender ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES, com a condição de que deverá existir uma indústria em cada uma das três regiões estabelecidas: Norte, Sul e Grande Vitória. As capacidades consideradas para cada uma das três indústrias serão iguais, e correspondentes ao total de resíduos do cenário dividido por três. O Cenário 5 assemelha-se ao Cenário 1, porém com a possibilidade de deslocamento de resíduos entre as regiões, além de as capacidades serem diferentes.

No Cenário 6 são definidas as localizações de um melhor número de indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, em condições de somadas atenderem ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES, havendo uma combinação ideal destes fatores. Este cenário, desta forma, pode ser chamado de “cenário ideal”, onde ocorre o menor custo total em relação aos demais cenários estabelecidos para o problema proposto.

Já para o Cenário 7, são estipuladas as localizações de duas indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, em condições de somadas atenderem ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES. Esta é a melhor solução para instalação de duas indústrias de reciclagem no Estado.

No Cenário 8 são estabelecidas as localizações de três indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, em condições de somadas atenderem ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES, com a condição de que deverá existir uma indústria em cada uma das três regiões estabelecidas: Norte, Sul e Grande Vitória. O Cenário 8 assemelha-se ao Cenário 1, porém com a possibilidade de deslocamento de resíduos entre as regiões, além de as capacidades não serem pré-definidas, ou seja, o modelo permitirá definir as melhores capacidades. Esta é a melhor solução para instalação de três indústrias de reciclagem no Estado, sendo uma em cada região.

O Cenário 9 assemelha-se ao Cenário 7, porém são determinadas as localizações de quatro indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, em condições de somadas atenderem ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES. Esta é a melhor solução para instalação de quatro indústrias de reciclagem no Estado.

Já o Cenário 10 também se assemelha ao Cenário 7, porém são estabelecidas as localizações de cinco indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, em condições de somadas atenderem ao total de resíduos de coco gerados no Estado do ES. Esta é a melhor solução para instalação de cinco indústrias de reciclagem no Estado.

4.5.1. Restrições Específicas para Cada Cenário

Para a aplicação do modelo de localização, apresentado na Seção 3.4, são utilizadas as restrições específicas para cada cenário conforme Equações 4.2 a 4.39 a seguir, relativas à função objetivo definida na Equação 3.1.

Cenário 1 - Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados em cada região.

$$\sum_{i=N1}^{N2} x_{ij} \leq K_j \cdot l_j \quad \forall j = N1, \dots, N2 \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=N1}^{N2} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = N1, \dots, N2 \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=N1}^{N2} l_j = 1 \quad (4.4)$$

Sub-Cenário 1.1 - Uma indústria na Região Norte, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

$$N1 = 1 \text{ e } N2 = 5$$

$$K_j = 138 \quad \forall j = N1, \dots, N2$$

Sub-Cenário 1.2 - Uma indústria na Região Sul, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

$$N1 = 6 \text{ e } N2 = 11$$

$$K_j = 475 \quad \forall j = N1, \dots, N2$$

Sub-Cenário 1.3 - Uma indústria na Região da Grande Vitória, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

$$N1 = 12 \text{ e } N2 = 16$$

$$K_j = 2967 \quad \forall j = N1, \dots, N2$$

Cenário 2 - Uma indústria, com capacidade igual ao total de resíduos gerados.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.6)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 1 \quad (4.7)$$

Cenário 3 - Duas indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por dois.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \left(\sum_{i=1}^{16} Q_i / 2 \right) \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.8)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.9)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 2 \quad (4.10)$$

Cenário 4 - Três indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \left(\sum_{i=1}^{16} Q_i / 3 \right) \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.11)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.12)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 3 \quad (4.13)$$

Cenário 5 - Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \left(\sum_{i=1}^{16} Q_i / 3 \right) \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.14)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.15)$$

$$\sum_{j=1}^5 l_j = 1 \quad - \text{Região Norte} \quad (4.16)$$

$$\sum_{j=6}^{11} l_j = 1 \quad - \text{Região Sul} \quad (4.17)$$

$$\sum_{j=12}^{16} l_j = 1 \quad - \text{Região da Grande Vitória} \quad (4.18)$$

Cenário 6 – Número ideal de indústrias, sem restrição de capacidade. (“cenário ideal”)

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.19)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.20)$$

Neste caso, K_j e l_j são variáveis (modelo não-linear), e K_j pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$K_j = \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.21)$$

Cenário 7 - Duas indústrias, sem restrição de capacidade.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.22)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.23)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 2 \quad (4.24)$$

Neste caso, K_j e l_j são variáveis (modelo não-linear), e K_j pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$K_j = \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.25)$$

Cenário 8 – Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, sem restrição de capacidade.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.26)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.27)$$

$$\sum_{j=1}^5 l_j = 1 \quad - \text{Região Norte} \quad (4.28)$$

$$\sum_{j=6}^{11} l_j = 1 \quad - \text{Região Sul} \quad (4.29)$$

$$\sum_{j=12}^{16} l_j = 1 \quad - \text{Região da Grande Vitória} \quad (4.30)$$

Neste caso, K_j e l_j são variáveis (modelo não-linear), e K_j pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$K_j = \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.31)$$

Cenário 9 – Quatro indústrias, sem restrição de capacidade.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.32)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.33)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 4 \quad (4.34)$$

Neste caso, K_j e l_j são variáveis (modelo não-linear), e K_j pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$K_j = \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.35)$$

Cenário 10 – Cinco indústrias, sem restrição de capacidade.

$$\sum_{i=1}^{16} x_{ij} \leq \sum_{i=1}^{16} Q_i \cdot l_j \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.36)$$

$$\sum_{j=1}^{16} x_{ij} = Q_i \quad \forall i = 1, \dots, 16 \quad (4.37)$$

$$\sum_{j=1}^{16} l_j = 5 \quad (4.38)$$

Neste caso, K_j e l_j são variáveis (modelo não-linear), e K_j pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$K_j = \sum_{i=1}^{16} x_{ij} \quad \forall j = 1, \dots, 16 \quad (4.39)$$

São escolhidas uma ou mais indústrias de reciclagem, dependendo de cada cenário, e a somatória das capacidades das mesmas corresponderá ao total de resíduos do coco verde gerados no Estado do Espírito Santo. Desta forma, a ociosidade das indústrias de reciclagem é sempre zero, ou seja, toda quantidade de resíduos de coco gerada é absorvida.

4.5.2. Modelo de Localização Resumido Aplicável aos Cenários

As variáveis VO e VE do modelo de localização, apresentado no Capítulo 3, foram consideradas constantes especificamente para o problema proposto nesta dissertação. Desta forma, a função objetivo para localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde, dada pela Equação 3.1, pode ser resumida conforme Equação 4.40:

$$\text{Min } CT = \left[\sum_{j=1}^C ((FI_j / t) + FO_j) \cdot l_j + \sum_{j=1}^C \sum_{i=1}^G x_{ij} \cdot d_{ij} \cdot VT_{ij} + C_{OE} \right] \quad (4.40)$$

Onde:

- A primeira parcela da equação representa as variáveis relacionadas aos custos fixos de instalação e operação, e a segunda parcela as relacionadas ao custo variável de transporte.
- C_{OE} = Constante referente à somatória dos custos variáveis de operação e estoque, que pode ser representada pela Equação 4.41:

$$C_{OE} = (VO + VE \cdot p) \cdot \sum_{i=1}^G Q_i \quad (4.41)$$

4.6. Considerações Finais do Problema Proposto

O problema de localização proposto, da forma como foi estruturado, apresenta de forma clara o tratamento dos dados das variáveis e dos parâmetros. Apesar de a aplicação ser hipotética, os dados utilizados são próximos da realidade, já que foram obtidos através de pesquisas, visitas em empresas e consulta a profissionais com conhecimento do problema.

Com relação aos parâmetros de entrada, que representam a quantidade de indústrias de reciclagem, as capacidades, as quantidades de resíduos do coco verde, o tempo de vida das indústrias de reciclagem e os custos, a solução ótima pode ser estabelecida criando-se vários cenários e simulações, variando estes parâmetros e restrições do modelo, visando obter uma solução de menor custo por tentativa e erro (Pimentel, 2004).

Uma das suposições da programação matemática é a de que todos os parâmetros do modelo sejam constantes conhecidas. Na verdade, os valores usados normalmente são apenas estimados com base numa previsão de condições futuras, do modo que podem ser superestimados ou subestimados. Portanto, é importante proceder a uma análise de sensibilidade da solução obtida para investigar o efeito da mudança de algum ou de todos os parâmetros, sendo o objetivo básico desta análise identificar os parâmetros aos quais a solução é particularmente sensível.

No próximo capítulo, os dados serão aplicados no modelo de localização, sendo analisados individualmente os resultados de cada um dos dez cenários estipulados e realizadas comparações entre os mesmos. Será também realizada uma análise de sensibilidade para cada cenário, verificando-se o comportamento do custo total e demais variáveis do modelo de localização, a partir da alteração dos parâmetros em relação à simulação base, possibilitando identificar os parâmetros aos quais as soluções dos cenários são mais sensíveis.

5. APLICAÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, os dados pesquisados são aplicados no modelo de localização, e os resultados individuais de cada cenário são analisados. São também realizadas comparações entre os cenários e feita análise de sensibilidade, através da alteração dos dados dos parâmetros envolvidos.

O Anexo 1 apresenta a montagem dos dados do modelo em planilhas do programa Microsoft Office Excel 2003, bem como o detalhamento, as configurações e o passo a passo de utilização da ferramenta *Solver*, na versão 2003, para minimização do custo total do Cenário 1 (sub-cenários 1.1, 1.2 e 1.3), assim como da ferramenta *What'sBest!*, na versão 2000, para minimização dos custos totais dos Cenários 2 a 10.

5.1. Aplicação do Modelo nos Dez Cenários

Nas Seções 5.1.1 a 5.1.10, a seguir, são apresentados os resultados encontrados para cada um dos dez cenários utilizados.

A comparação entre os resultados dos cenários é feita na Seção 5.2.

Nas Figuras 5.1 a 5.12 são ilustradas, para cada cenário, a distribuição dos resíduos do coco verde entre os municípios geradores e escolhidos para instalação das indústrias de reciclagem, e suas respectivas capacidades.

O tempo médio de vida considerado para as indústrias de reciclagem é de 10 anos (vide Seção 4.5.1), e a quantidade total de resíduos gerados em todo o Estado do Espírito Santo, e considerada em todos os cenários, é de 3.580 toneladas/ano, conforme Seções 4.1 e 4.2.

5.1.1. Cenário 1 – Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados em cada região.

Este cenário subdivide-se em 3 outros, como mostrado a seguir.

a. Sub-Cenário 1.1 – Uma indústria na Região Norte, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: os cinco municípios da Região Norte.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: uma.
- Capacidade da indústria: total de resíduos do coco verde gerados nos municípios da Região Norte.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *Solver*.
- Tempo de solução: 1 segundo.
- Resultados apresentados:

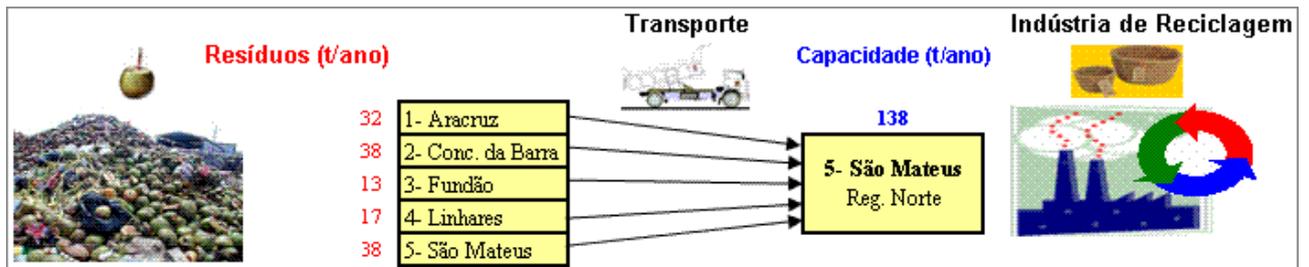


Figura 5.1: Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.1

A solução que minimiza o custo total para o Sub-Cenário 1.1 corresponde à instalação de uma indústria de reciclagem no município 5-São Mateus, com capacidade de 138 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 44.310.

O município 5-São Mateus é um dos locais com maior geração de resíduos do coco verde na Região Norte.

b. Sub-Cenário 1.2 – Uma indústria na Região Sul, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: os seis municípios da Região Sul.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: uma.
- Capacidade da indústria: total de resíduos do coco verde gerados nos municípios da Região Sul.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *Solver*.
- Tempo de solução: 1 segundo.

- Resultados apresentados:

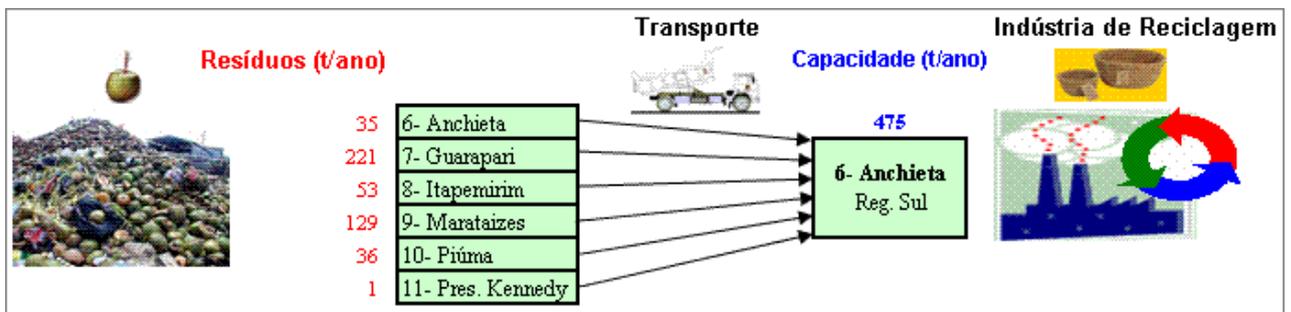


Figura 5.2: Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.2

A melhor solução para o Sub-Cenário 1.2 é a instalação de uma indústria de reciclagem no município 6-Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 84.110.

Apesar do município 6-Anchieta não ser um dos locais com maior geração de resíduos de coco na Região Sul, está localizado próximo aos demais, e o custo do terreno para instalação da indústria de reciclagem, neste município, é relativamente baixo.

c. Sub-Cenário 1.3 – Uma indústria na Região da Grande Vitória, com capacidade igual ao total de resíduos gerados nesta região.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: os cinco municípios da Região da Grande Vitória.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: uma.
- Capacidade da indústria: total de resíduos do coco verde gerados nos municípios da Região da Grande Vitória.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *Solver*.
- Tempo de solução: 1 segundo.
- Resultados apresentados:

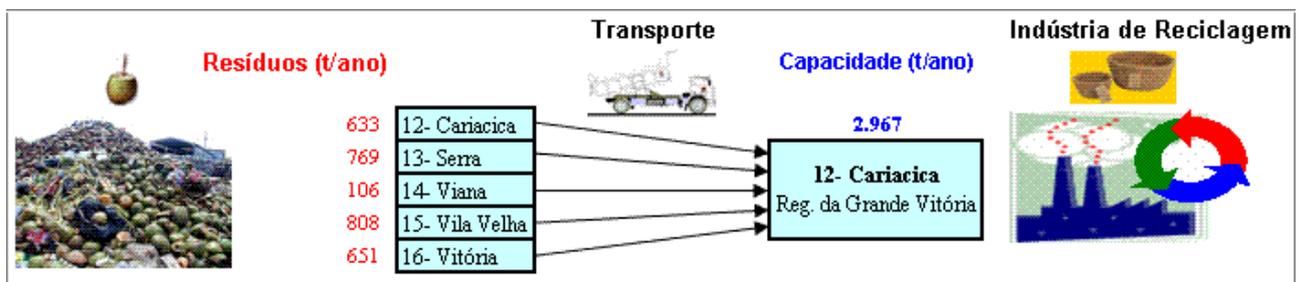


Figura 5.3: Representação gráfica do resultado do Sub-Cenário 1.3

No Sub-Cenário 1.3, o custo total é minimizado para uma instalação no município 12-Cariacica, com capacidade de 2.967 toneladas/ano e com um custo total anual de R\$ 504.990.

O município 12-Cariacica não é o local candidato com a maior geração de resíduos de coco na Região da Grande Vitória, porém, localiza-se próximo aos demais, e o custo do terreno para instalação da indústria de reciclagem é relativamente baixo neste município. Essa é a provável razão do modelo não ter permitido escolher um dos três maiores geradores de resíduos.

5.1.2. Cenário 2 – Uma indústria, com capacidade igual ao total de resíduos gerados.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: uma.
- Capacidade da indústria: total de resíduos do coco verde gerados no Estado do ES.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 2 segundos.
- Resultados apresentados:

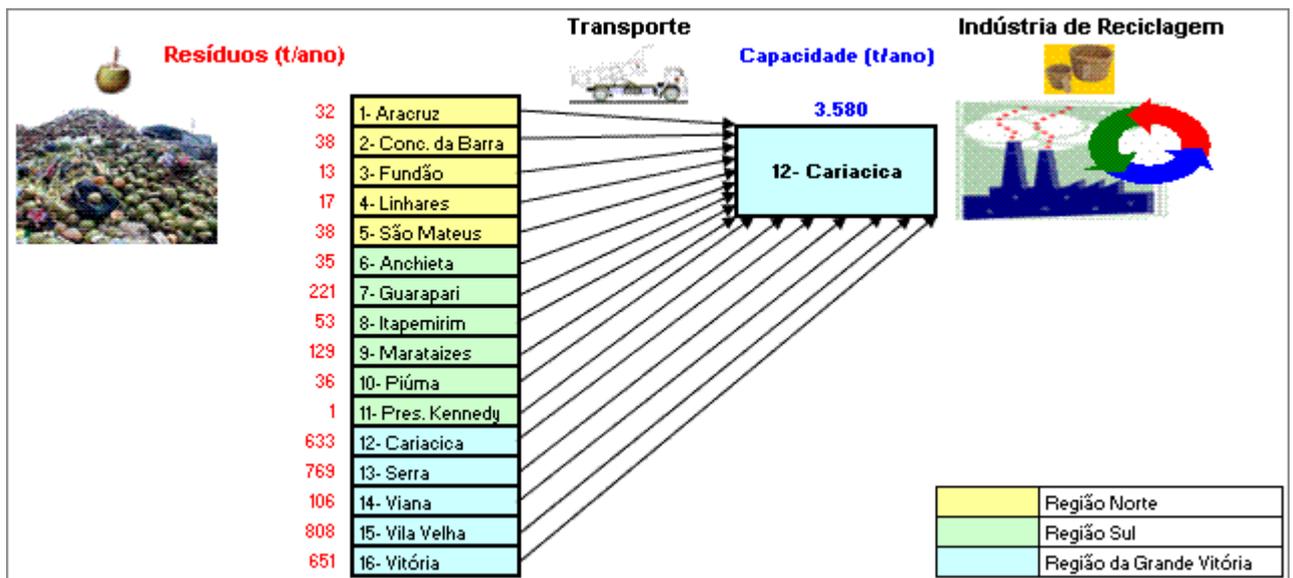


Figura 5.4: Representação gráfica do resultado do Cenário 2

A solução otimizada para o Cenário 2 refere-se à instalação de uma indústria de reciclagem no município 12-Cariacica, com capacidade de 3.580 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 643.990.

O município 12-Cariacica é o quarto maior em geração de resíduos de coco no Estado do Espírito Santo, localiza-se em uma posição estratégica e o custo do terreno neste município é relativamente baixo.

É importante observar que o aterro sanitário de toda Região da Grande Vitória está localizado neste município, o que mostra que a solução do modelo está compatível com a realidade.

5.1.3. Cenário 3 – Duas indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por dois.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: duas.
- Capacidades das indústrias: total de resíduos do coco verde gerados no Estado do ES dividido por dois.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 2 segundos.

- Resultados apresentados:

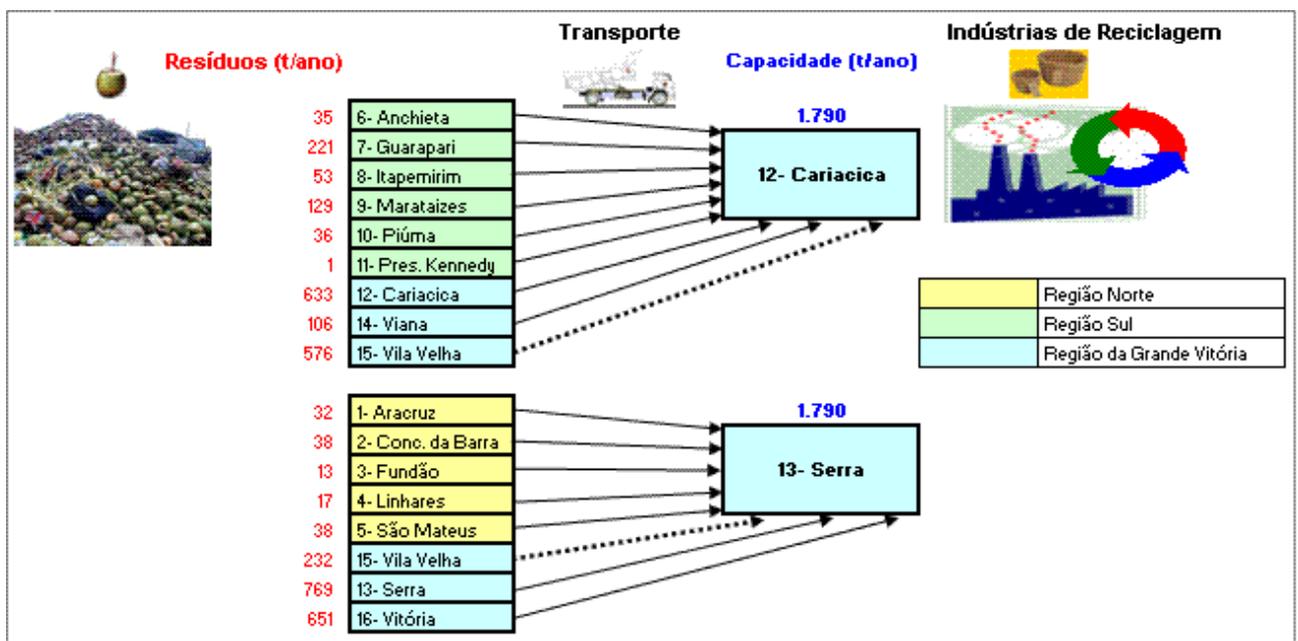


Figura 5.5: Representação gráfica do resultado do Cenário 3

A solução que melhor se aplica ao Cenário 3 é a instalação de uma indústria de reciclagem no município 12-Cariacica, com capacidade de 1.790 toneladas/ano, e uma segunda indústria de reciclagem no município 13-Serra, com a mesma capacidade, com um custo total anual de R\$ 643.820.

Nota-se que os municípios 12-Cariacica e 13-Serra constituem dois dos quatro municípios com maior geração de resíduos de coco no Estado do ES e os custos dos terrenos para instalação das indústrias de reciclagem, nestes municípios, são relativamente baixos. Verifica-se ainda que todos os resíduos da Região Norte foram deslocados para 13-Serra e da Região Sul para 12-Cariacica.

Parte dos resíduos gerados no município de 15-Vila Velha será destinada à indústria de reciclagem localizada em 12-Cariacica e a outra parte para 13-Serra.

5.1.4. Cenário 4 – Três indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: três.
- Capacidades das indústrias: total de resíduos do coco verde gerados no Estado do ES dividido por três.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 2 segundos.

- Resultados apresentados:

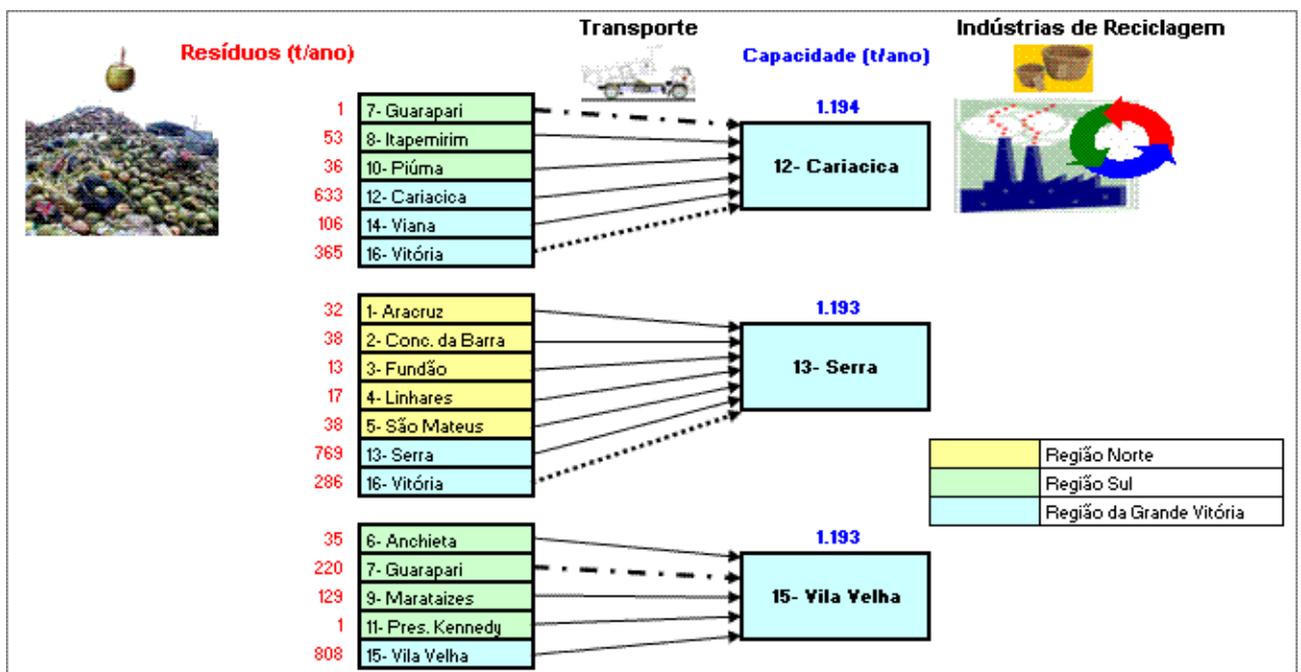


Figura 5.6: Representação gráfica do resultado do Cenário 4

A melhor solução para o Cenário 4 corresponde à instalação de uma indústria de reciclagem no município 12-Cariacica, com capacidade de 1.194 toneladas/ano, uma segunda no município 13-Serra, com capacidade de 1.193 toneladas/ano, e uma terceira no município 15-Vila Velha, com a mesma capacidade, com um custo total anual de R\$ 662.260.

Os municípios 12-Cariacica, 13-Serra e 15-Vila Velha são locais que geram juntos uma quantidade considerável de resíduos de coco. Os custos dos terrenos nos mesmos são relativamente baixos, com exceção de 15-Vila Velha. Nota-se que todos os resíduos da Região Norte foram deslocados para 13-Serra e da Região Sul para 12-Cariacica e 15-Vila Velha.

As linhas pontilhadas e tracejadas representam que os resíduos gerados em um determinado município, no caso 7-Guarapari e 16-Vitória, serão destinados a mais de uma indústria de reciclagem.

5.1.5. Cenário 5 – Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: três.
- Capacidades das indústrias: total de resíduos do coco verde gerados no Estado do ES dividido por três.
- Modelo: capacitado de programação linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 2 segundos.

- Resultados apresentados:

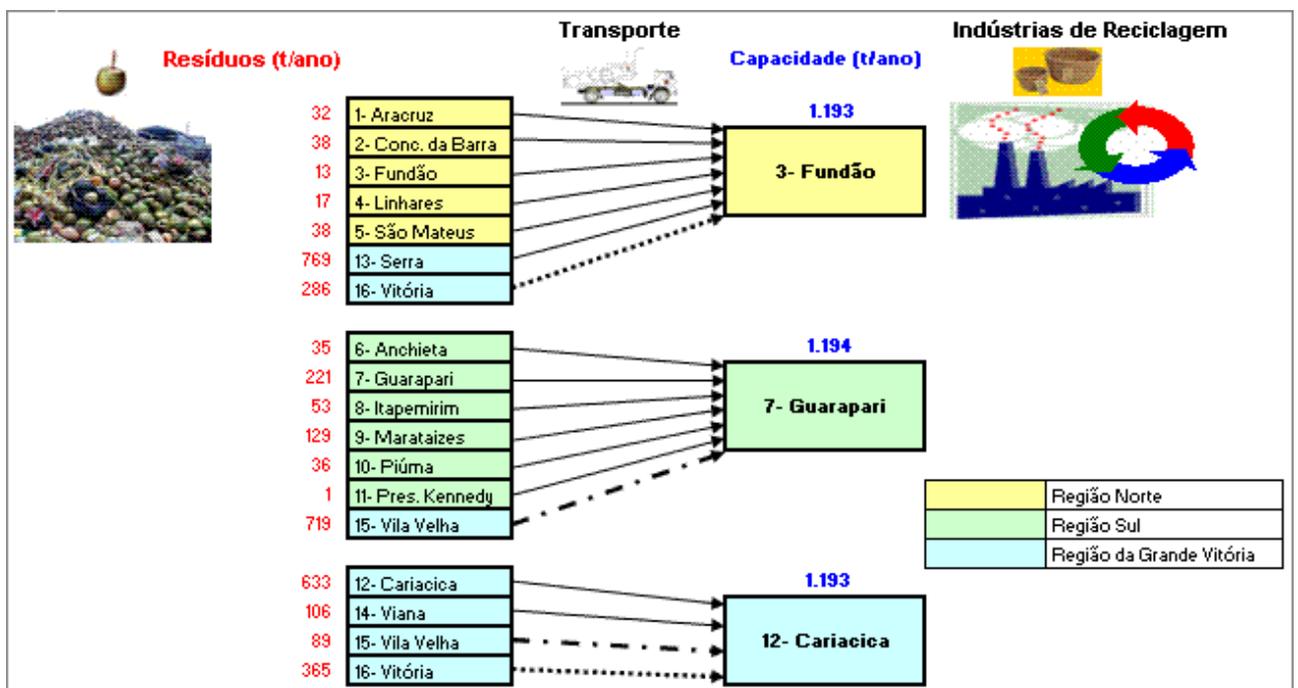


Figura 5.7: Representação gráfica do resultado do Cenário 5

O Cenário 5 apresenta a solução otimizada com a instalação de uma indústria de reciclagem no município 3-Fundão, com capacidade de 1.193 toneladas/ano, uma segunda no município 7-Guarapari, com capacidade de 1.194 toneladas/ano, e uma terceira no município 12-Cariacica, com capacidade de 1.193 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 665.780.

Estes são os municípios mais viáveis de cada região, com relação à localização, quantidade de resíduos gerados nos mesmos e custos relativos dos terrenos (com exceção de 7-Guarapari na Região Sul).

Os resíduos gerados nos municípios 15-Vila Velha e 16-Vitória serão destinados a mais de uma indústria de reciclagem.

5.1.6. Cenário 6 – Número ideal de indústrias, sem restrição de capacidade. (“cenário ideal”)

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
 - Quantidade de indústrias de reciclagem: a ser definida na solução do modelo matemático.
 - Capacidades das indústrias: a serem definidas na solução do modelo.
 - Modelo: não-capacitado de programação não-linear.
 - Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
 - Tempo de solução: 2 minutos e 45 segundos.
- Resultados apresentados:

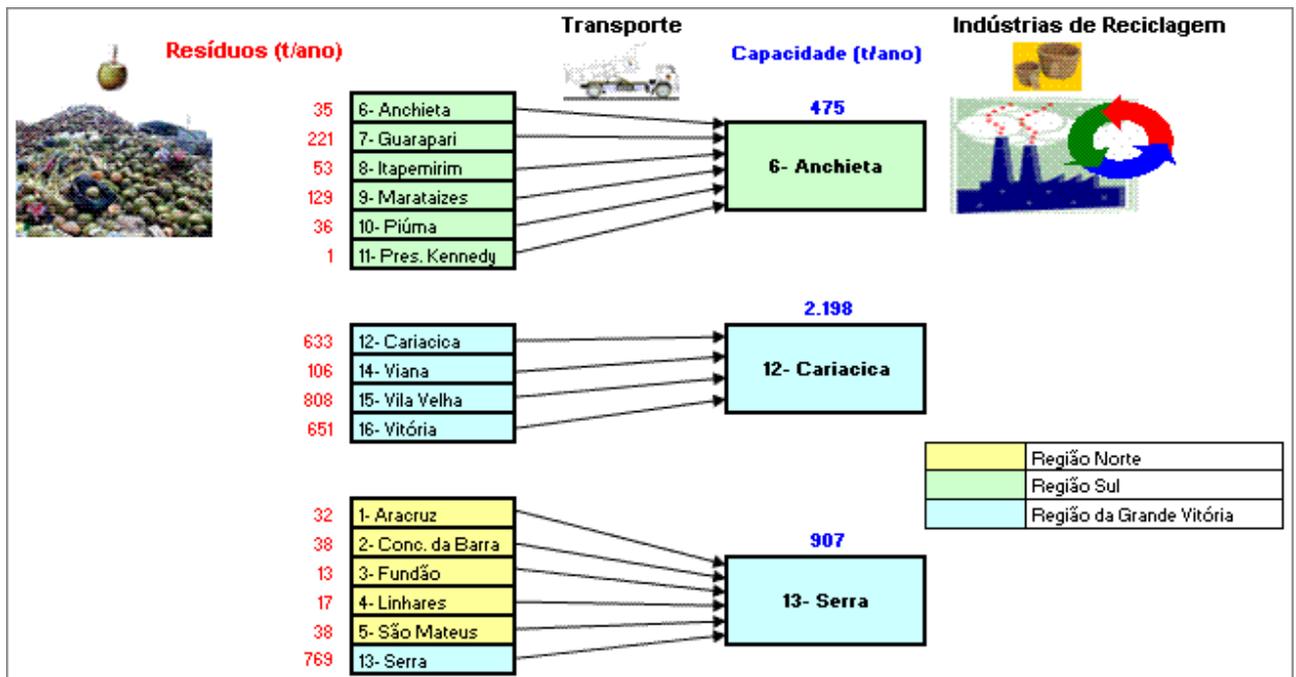


Figura 5.8: Representação gráfica do resultado do Cenário 6

Como era esperado, a solução do modelo de localização aplicado ao Cenário 6 apresentou o melhor resultado em relação a todos os demais cenários, ou seja, foi a melhor solução para o problema proposto em termos de minimização do custo total, e corresponde à instalação de uma indústria de reciclagem no município 6-Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano, uma segunda no município 12-Cariacica, com capacidade de 2.198 toneladas/ano e uma terceira no município 13-Serra, com capacidade de 907 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 629.100.

Os municípios 6-Anchieta, 12-Cariacica e 13-Serra estão localizados em posições estratégicas, próximos aos municípios com maior geração de resíduos de coco, e os custos dos terrenos para instalação das indústrias de reciclagem, nestes municípios, são relativamente pequenos. Nota-se que todos os resíduos da Região Norte foram deslocados para 13-Serra e da Região Sul para 6-Anchieta.

5.1.7. Cenário 7 – Duas indústrias, sem restrição de capacidade.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: duas.
- Capacidades das indústrias: a serem definidas na solução do modelo.
- Modelo: não-capacitado de programação não-linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 1 minuto e 57 segundos.
- Resultados apresentados:

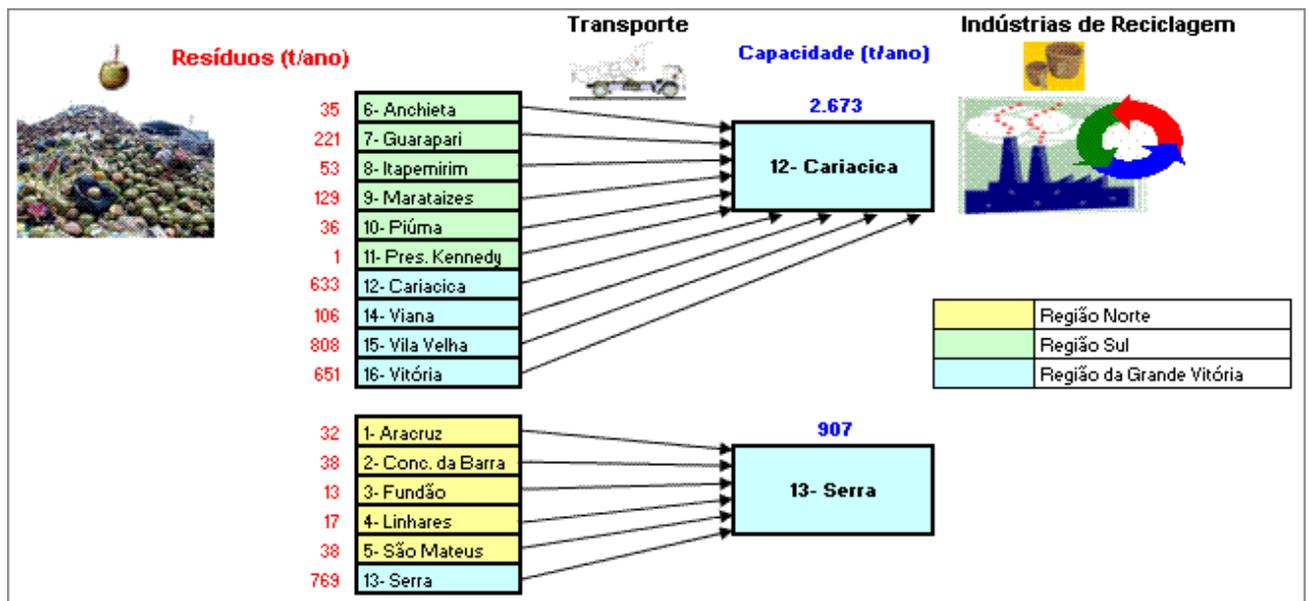


Figura 5.9: Representação gráfica do resultado do Cenário 7

A melhor solução para o Cenário 7 é a instalação de uma indústria de reciclagem no município 12-Cariacica, com capacidade de 2.673 toneladas/ano, e uma segunda no município 13-Serra, com capacidade de 907 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 635.730. Conforme descrito no Cenário 3, estes municípios possuem uma quantidade considerável de geração de resíduos e os custos dos terrenos, nos mesmos, são relativamente baixos.

5.1.8. Cenário 8 – Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, sem restrição de capacidade.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
 - Quantidade de indústrias de reciclagem: três.
 - Capacidades das indústrias de reciclagem: a serem definidas na solução do modelo.
 - Modelo: não-capacitado de programação não-linear.
 - Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
 - Tempo de solução: 27 segundos.
- Resultados apresentados:

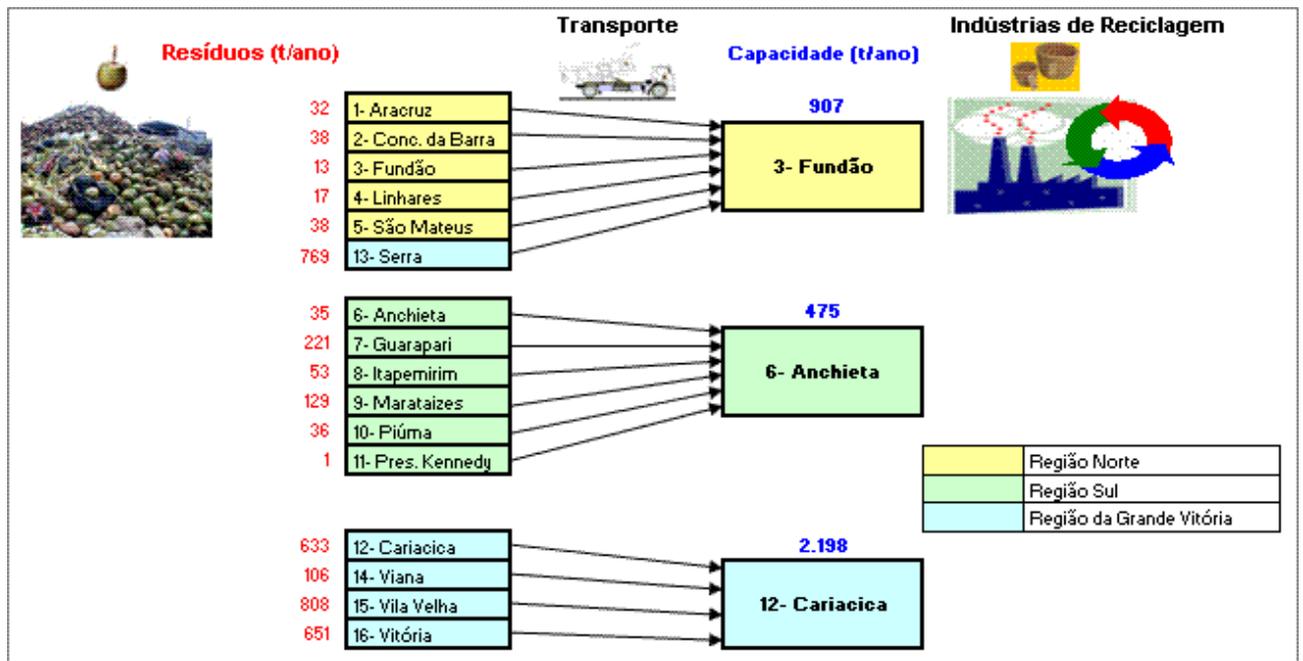


Figura 5.10: Representação gráfica do resultado do Cenário 8

O Cenário 8 apresenta uma solução otimizada com a instalação de uma indústria de reciclagem no município 3-Fundão, com capacidade de 907 toneladas/ano, uma segunda no município 6-Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano, e uma terceira no município 12-Cariacica, com capacidade de 2.198 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 629.700. Conforme descrito nos Cenários 1 e 5, estes são os municípios mais viáveis.

Observa-se que o município 13-Serra, localizado mais ao norte da Região da Grande Vitória, contribui com resíduos de coco para a indústria de reciclagem localizada em 3-Fundão, na Região Norte, face a menor distância em relação a 12-Cariacica, localizada na própria Região da Grande Vitória.

5.1.9. Cenário 9 – Quatro indústrias, sem restrição de capacidade.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: quatro.
- Capacidades das indústrias: a serem definidas na solução do modelo.
- Modelo: não-capacitado de programação não-linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 31 minutos e 45 segundos.
- Resultados apresentados:

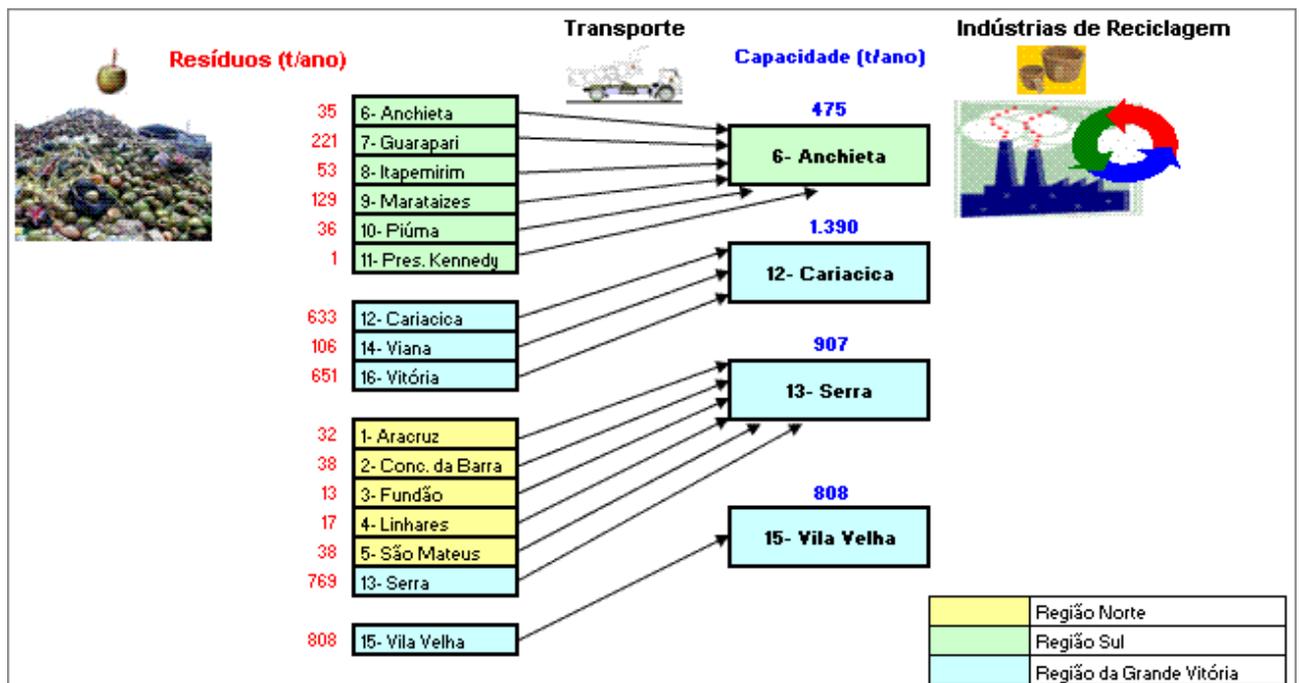


Figura 5.11: Representação gráfica do resultado do Cenário 9

A solução que melhor se aplica ao Cenário 9 refere-se à instalação de quatro indústrias de reciclagem nos municípios de 6-Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano, 12-Cariacica, com capacidade de 1.390 toneladas/ano, 13-Serra, com capacidade de 907 toneladas/ano e 15-Vila Velha, com capacidade de 808 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 629.330.

Como era esperado, o resultado favorece a escolha dos municípios localizados próximos aos municípios de maiores gerações de resíduos de coco.

5.1.10. Cenário 10 – Cinco indústrias, sem restrição de capacidade.

- Locais geradores de resíduos e candidatos: todos os dezesseis municípios.
- Quantidade de indústrias de reciclagem: cinco.
- Capacidades das indústrias: a serem definidas na solução do modelo.
- Modelo: não-capacitado de programação não-linear.
- Ferramenta utilizada: *What'sBest!*.
- Tempo de solução: 59 minutos e 20 segundos.
- Resultados apresentados:

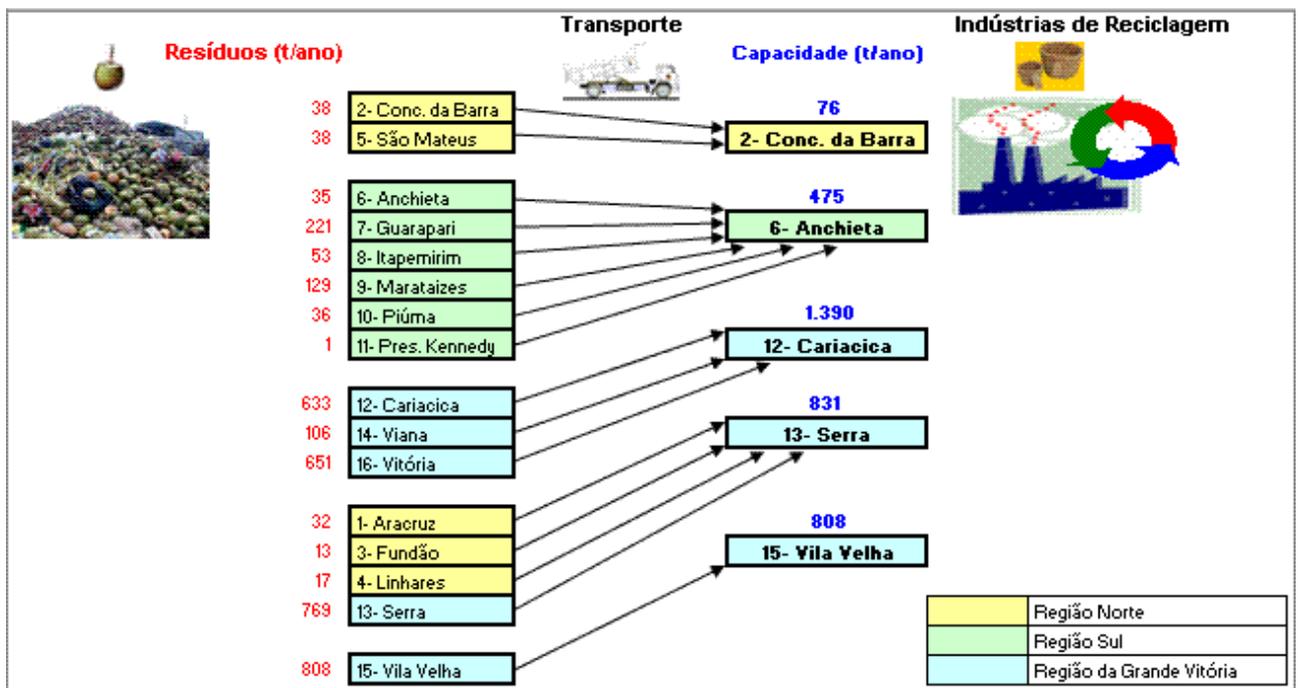


Figura 5.12: Representação gráfica do resultado do Cenário 10

A solução que minimiza o custo total para o Cenário 10 corresponde à instalação de cinco indústrias de reciclagem nos municípios de 2-Conceição da Barra, com capacidade de 76 toneladas/ano, 6-Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano, 12-Cariacica, com capacidade de 1.390 toneladas/ano, 13-Serra, com capacidade de 831 toneladas/ano e 15-Vila Velha, com capacidade de 808 toneladas/ano, com um custo total anual de R\$ 648.990.

O município 16-Vitória, capital do estado, é o terceiro maior em geração de resíduos de coco, e muito provavelmente não foi escolhido, neste e em outros cenários, devido ao alto custo de instalação, decorrente do alto custo do terreno.

Observa-se que o Cenário 10 apresenta o maior tempo de solução dentre todos os cenários, pois há uma maior quantidade de possíveis combinações de indústrias.

5.2. Análise Consolidada dos Resultados

A consolidação dos resultados finais, relativos a cada cenário, é apresentada na Tabela 5.1, a seguir, em ordem crescente de custo total anual. A partir desses resultados é então realizada uma análise comparativa dos mesmos.

Conforme apresentado na Seção 4.5.2, Equação 4.40, a primeira parcela é formada pelas variáveis relacionadas aos custos fixos de instalação e operação, a segunda parcela é formada pelas variáveis relacionadas ao custo variável de transporte e a terceira parcela é formada pela constante que representa a somatória dos custos variáveis de operação e estoque.

Desta forma, nos cenários elaborados para o problema proposto neste trabalho, os custos variáveis de operação e estoque não interferem nos resultados das aplicações do modelo, sendo que compõem o mesmo para tornar o valor do custo total calculado mais próximo da realidade.

O custo variável de operação foi calculado em R\$ 414.010 e o custo variável de estoque foi calculado em R\$ 567, logo:

$$C_{OE} = \text{R\$ } 414.580$$

Tabela 5.1: Resultados finais de cada cenário, em ordem crescente de custo total anual

Nº	Cenário	Qtd	Locais Escolhidos	Capacidade (t/ano)	Custo Total (R\$/ano)	Custo Fixo Instalação (R\$/ano)	Custo Fixo Operação (R\$/ano)	Custo Var. Transporte (R\$/ano)	Constante Ope. e Est. (R\$/ano)	Total de km/ano
6	Número ideal de indústrias, sem restrição de capacidade	3	6-Anchieta (RS) 12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV)	475 2.198 907	629.100	22.390	170.690	21.440	414.580	7.218
9	Quatro indústrias, sem restrição de capacidade	4	6-Anchieta (RS) 12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV) 14-Vila Velha (RGV)	475 1.390 907 808	629.330	25.040	170.690	19.020		3.201
8	Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, sem restrição de capacidade	3	3-Fundão (RN) 6-Anchieta (RS) 12-Cariacica (RGV)	907 475 2.198	629.700	22.080	170.690	22.350		7.525
1	Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados em cada região	3	5-São Mateus (RN) 6-Anchieta (RS) 12-Cariacica (RGV)	138 475 2.967	633.410	21.320	170.690	26.820		9.029
7	Duas indústrias, sem restrição de capacidade	2	12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV)	2.673 907	635.730	21.400	170.690	29.060		9.784
2	Uma indústria, com capacidade igual ao total de resíduos gerados	1	12-Cariacica (RGV)	3.580	643.990	19.250	170.690	39.470		13.288
3	Duas indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por dois	2	12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV)	1.790 1.790	643.820	23.550	170.690	35.000		11.786
10	Cinco indústrias, sem restrição de capacidade	5	2-Conc. Barra (RN) 6-Anchieta (RS) 12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV) 15-Vila Velha (RGV)	76 475 1.390 831 808	648.990	28.440	192.030	13.940		4.696
4	Três indústrias, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três	3	12-Cariacica (RGV) 13-Serra (RGV) 15-Vila Velha (RGV)	1.194 1.193 1.193	662.260	28.860	192.030	26.790		9.019
5	Três indústrias, sendo uma indústria em cada região, com capacidades iguais ao total de resíduos gerados dividido por três	3	3-Fundão (RN) 7-Guarapari (RS) 12-Cariacica (RGV)	1.193 1.194 1.193	665.780	28.400	192.030	30.770		10.359

Com relação à distância total percorrida por ano, apresentada na Tabela 5.1, como já era esperado, quanto menor o tamanho da região (Norte, Sul, Grande Vitória ou Todo o Estado do ES) e maior a quantidade de indústrias de reciclagem, menores são as distâncias percorridas e menor o custo variável de transporte. Comparando-se os cenários que possuem a mesma quantidade de indústrias de reciclagem, quanto melhor for a escolha das localizações e capacidades das indústrias de reciclagem, menor o total de km percorridos. Porém, o custo de transporte corresponde apenas a uma parcela do custo total do modelo de localização. O resultado final deve ser analisado baseando-se no custo total, que envolve a somatória de todos os custos envolvidos.

Na distribuição dos custos, apresentados na Tabela 5.1, nota-se que os custos variáveis de operação e de estoque independem dos locais candidatos, dependendo apenas da quantidade de resíduos de cada cenário. O mesmo ocorre com o custo fixo de operação. Este, porém, depende da faixa de capacidade das indústrias de reciclagem e, portanto, pode variar em alguns cenários. Desta forma, além do custo fixo de operação, o custo fixo de instalação e o custo variável de transporte também interferem no custo total.

Os Cenários 4, 3 e 5 apresentam as capacidades pré-definidas como iguais, e possuem o mesmo número de indústrias que os Cenários 6, 7 e 8, respectivamente, sendo que nestes as capacidades são escolhidas como as melhores na solução do modelo. Comparando os mesmos, percebe-se que os ganhos no custo total ao se otimizar as capacidades são significativos, reduzindo tanto os custos fixos de instalação quanto os custos variáveis de transportes.

Para o Cenário 1, foi considerado que as indústrias de reciclagem localizadas em cada uma das três regiões deveriam ter capacidades para absorver toda quantidade de resíduos correspondente a cada região, sem considerar a hipótese de haver troca de resíduos gerados de uma região para a outra. Comparando-se este cenário com o Cenário 8, altera-se a escolha do município 5-São Mateus, da Região Norte, para o 3-Fundão. No Cenário 8, os resíduos gerados no município 13-Serra, que é pertencente a Região da Grande Vitória, são destinados para 3-Fundão, ao invés de 12-Cariacica, o que reduz o custo de transporte, já que a distância entre 13-Serra e 3-Fundão é menor, e conseqüentemente há uma redução do custo total.

Com relação à instalação de 1 a 5 indústrias de reciclagem no Estado do ES, com a solução do modelo de localização definindo as melhores capacidades e distribuição dos resíduos, pode-se concluir que é mais vantajoso, em termos de minimização do custo total, a seguinte ordem hierárquica:

- 1º) Instalar 3 indústrias de reciclagem, Cenário 6;
- 2º) Instalar 4 indústrias de reciclagem, Cenário 9;
- 3º) Instalar 2 indústrias de reciclagem, Cenário 7;
- 4º) Instalar 1 indústria de reciclagem, Cenário 2;
- 5º) Instalar 5 indústrias de reciclagem, Cenário 10.

Quanto menor a quantidade de indústrias de reciclagem instaladas, maior o custo variável de transporte, e quanto maior a quantidade de indústrias, maior o custo fixo de instalação, sendo que o Cenário 6, que corresponde à instalação de três indústrias de reciclagem, é o ideal, apresentando o menor custo total.

O Cenário 6, desta forma, apresenta a melhor solução do modelo de localização para o problema proposto. Para tal, obtem-se um número ideal de indústrias de reciclagem, com as melhores capacidades, nos melhores locais e com a melhor distribuição dos resíduos do coco verde entre os locais geradores e as indústrias, conforme apresentado na Seção 5.1.6.

Considerando, desta forma, que o Cenário 6 é o mais viável em termos de minimização do custo total do problema proposto, algumas outras alternativas também poderiam ser estudadas, tais como:

- Comparando o Cenário 6 (três indústrias) com o Cenário 2 (uma só indústria), pode-se perceber que a diferença de custos totais é de 2,4 %, ou seja, não é tão significativa. Desta forma, pode-se estudar a possibilidade de se concentrar os esforços iniciais na instalação de uma indústria que atenda a todo o Estado do ES, localizada em 12-Cariacica. Com o aumento da geração de resíduos do coco verde no estado com o passar do tempo, e comprovando-se a viabilidade econômica da primeira indústria, pode-se planejar posteriormente novas instalações nas Regiões Norte e Sul.

- Comparando os Cenários 8 e 6, nota-se que os custos totais de se instalar três indústrias de reciclagem, sendo uma em cada região do Estado do ES, diferenciam em apenas 0,001 %, a mais, em relação à instalação otimizada de três indústrias, independente de região. Como a diferença de custos totais é mínima, pode-se estudar a possibilidade estratégica de se instalar uma indústria em cada região;

- Uma outra possibilidade mais cautelosa, com menor custo total, porém supostamente um pouco menos rentável, devido a menor quantidade de resíduos do coco verde a serem reciclados, seria instalar apenas uma indústria de reciclagem em 12-Cariacica, com capacidade de 2.967 toneladas/ano, para absorver o total de resíduos gerados apenas na Região da Grande Vitória, correspondente ao Sub-Cenário 1.3. Sendo que a grande vantagem seria o fato de que os resíduos das Regiões Norte e Sul poderiam servir como uma reserva de fornecimento em épocas de escassez na Região da Grande Vitória.

Para optar por alguma dessas alternativas relacionadas acima, as respectivas políticas estratégicas de investimentos teriam que ser melhor investigadas, pois fogem ao escopo desta dissertação.

5.3. Análise de Sensibilidade

Com o objetivo de analisar a relevância dos parâmetros do modelo no processo de localização das indústrias de reciclagem, foram realizadas diversas alterações hipotéticas nos dados de entrada para identificar o comportamento do modelo em cada um dos dez cenários propostos.

Os parâmetros foram variados individualmente em até 100 % com relação à simulação base de cada cenário, com acréscimo e decréscimo. Em algumas simulações houve alteração conjunta de dois ou mais parâmetros.

Foram analisados os custos totais e as escolhas dos locais de instalação das indústrias de reciclagem, a partir da alteração dos dados de custos do modelo, tempo de vida das indústrias de reciclagem e da quantidade de resíduos de coco, possibilitando identificar os parâmetros aos quais as soluções dos cenários são mais sensíveis.

Nas Tabelas A.1 a A.12, do Anexo II, são apresentados os resultados das simulações realizadas para análise de sensibilidade de cada cenário, com as variações dos custos totais em função das variações dos parâmetros, sendo:

- Capacidade das Indústrias de Reciclagem (Mcir);
- Quantidade de Resíduos Gerados (Mqrg);
- Tempo de Vida das Indústrias de Reciclagem (Mtv);
- Custo Fixo de Instalação (Mcfi);
- Custo Fixo de Operação (Mcfo);
- Custo Variável de Operação (Mcvo);
- Custo Variável de Estoque (Mcve);
- Custo Variável de Transporte (Mcvt).

A primeira linha de cada tabela representa as simulações base dos cenários, apresentadas na Seção 5.1, com as variáveis assumindo os valores pesquisados e estipulados para as mesmas dentro da atual conjuntura do Estado do Espírito Santo. A simulação base do cenário servirá de referência para comparação com as demais simulações realizadas. Para cada um dos dez cenários foram realizadas nove simulações, contando com a simulação base. Os locais candidatos escolhidos são apresentados por um "X".

Conforme os resultados apresentados por todos os cenários, em nenhuma simulação houve alteração na quantidade e escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem, nas suas capacidades e na distribuição dos resíduos de coco entre os locais geradores e as indústrias.

Desta forma, para prosseguir com a investigação da análise de sensibilidade, foram realizadas duas novas simulações complementares para o Cenário 6 (que representa o cenário ideal), conforme resultados apresentados na Tabela A.8, do Anexo II. Na primeira simulação, os custos fixos de instalação e operação foram calculados por faixas de 1000 em 1000 toneladas, ao contrário de 500 em 500 toneladas como foi realizado em todas as simulações anteriores, considerando-se a hipótese de só existir no mercado equipamentos e demais fatores dos custos variando em escalas de 1000 toneladas. Foi mantida, neste caso, a quantidade de resíduos gerados. Na segunda simulação foi considerado o dobro da quantidade de resíduos gerados no Estado do ES, com as faixas de capacidade também variando de 1000 em 1000 toneladas.

Para a simulação base do Cenário 6, os municípios escolhidos foram 6-Anchieta, 12-Cariacica e 13-Serra, com as respectivas capacidades e distribuição dos resíduos de coco entre os locais geradores e as indústrias. Para as duas novas simulações, ocorreram as seguintes mudanças nos resultados:

- Para o caso de os custos fixos de instalação e operação serem calculados por faixas de 1000 em 1000 toneladas, os municípios escolhidos passariam a ser 3-Fundão e 12-Cariacica, sendo que nesta simulação o custo total ficaria 1,2 % maior que o da simulação base do cenário.

Neste caso, a indústria de reciclagem localizada em 3-Fundão teria uma capacidade de 907 toneladas/ano, absorvendo a totalidade dos resíduos gerados na Região Norte e mais os do município 13-Serra, que pertence a Região da Grande Vitória. Os resíduos gerados na Região Sul e nos demais municípios da Região da Grande Vitória seriam absorvidos pela indústria de reciclagem de 12-Cariacica, que possuiria uma capacidade de 2.673 toneladas/ano.

- Para o caso da quantidade de resíduos gerados ser dobrada e com as faixas de capacidade também variando de 1000 em 1000 toneladas, os municípios escolhidos passariam a ser 8-Itapemirim e 12-Cariacica, sendo que nesta simulação o custo total ficaria 96 % maior que o da simulação base do cenário.

Neste caso, a indústria de reciclagem localizada em 8-Itapemirim teria uma capacidade de 506 toneladas/ano, absorvendo a totalidade dos resíduos gerados na Região Sul com exceção do município 7-Guarapari. Os resíduos gerados na Região Norte, Região da Grande Vitória e 7-Guarapari, que pertence a Região Sul, seriam absorvidos pela indústria de reciclagem de 12-Cariacica, que possuiria uma capacidade de 6.653 toneladas/ano.

5.4. Considerações Finais da Aplicação do Modelo de Localização

Os resultados foram considerados satisfatórios, sendo a simplicidade uma característica a ser destacada na metodologia desenvolvida, mesmo para os cenários onde houve a necessidade de resolução do problema utilizando programação não-linear.

Após realização da análise de sensibilidade, constatou-se, pelos resultados das simulações realizadas nos dez cenários, que variações consideráveis dos dados de entrada, em até 100 %, não influenciaram na escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem. Ocorreram apenas mudanças esperadas nos custos totais, em função das variações dos dados de entrada. Observou-se alguma mudança apenas com as simulações de variação das faixas de capacidade para o cálculo dos custos fixos de instalação e operação, e dobrando-se a quantidade de resíduos, realizadas especificamente para o Cenário 6. Porém, as variações destes parâmetros são pouco prováveis de ocorrerem diante da realidade atual do Estado do Espírito Santo.

Pode-se concluir, desta forma, que a escolha da quantidade de indústrias de reciclagem, de suas capacidades, dos locais de instalação e da distribuição dos resíduos de coco entre os locais geradores e as indústrias é pouco sensível às mudanças dos dados de entrada dos parâmetros. De qualquer forma, quanto mais pesquisados, estudados e detalhados forem os dados de entrada, maior será a credibilidade e a relevância da aplicação.

No próximo capítulo é apresentada a conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A formulação do modelo aqui desenvolvido permite a sua aplicação em outros casos semelhantes quando se busca uma solução para localizar instalações considerando custos de estoque, operação, instalação e transporte. A vantagem da utilização da programação matemática, tanto linear quanto não-linear, para tratar desse tipo de problema de localização em logística reversa, é a obtenção da melhor solução e a simplicidade na introdução dos dados e na análise dos resultados.

O modelo desenvolvido é bastante útil como instrumento auxiliar de análise de problemas de localização, não só pela simplicidade de sua utilização, mas também pela disponibilidade de programas computacionais existentes no mercado, como as ferramentas *Solver* e *What'sBest!*. Há, conseqüentemente, redução nos custos de modelagem e na montagem e processamento dos dados. A ferramenta *What'sBest!* mostrou-se mais adequada que a ferramenta *Solver*, na solução do problema proposto, porque pode processar uma quantidade superior a 200 células variáveis.

A utilização do modelo permitiu uma avaliação clara das variáveis e parâmetros envolvidos na minimização do custo total das indústrias de reciclagem, e como os resultados são afetados por modificações nos dados de entrada. Os custos de instalação e transporte foram os que representaram maior peso na minimização do custo total, e conseqüentemente na escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem, e os parâmetros de custo do terreno e distâncias os que mais afetaram estes custos, respectivamente.

A metodologia aqui formulada não fornece a localização exata das indústrias de reciclagem da casca do coco verde, mas permite analisar a minimização dos custos totais envolvidos, utilizando-se dez cenários, obtendo-se a indicação das melhores localizações. Tampouco se investigou questões relativas às demandas e receitas geradas pela venda dos produtos reciclados.

Como era esperado, a aplicação do modelo de localização ao problema proposto para o Estado do Espírito Santo apresentou resultados coerentes com a atual localização do aterro sanitário existente no município de Cariacica, hoje utilizado como local de destinação final dos resíduos do coco verde gerados na Região da Grande Vitória, sendo este município escolhido nos dez cenários utilizados. Essa localização, individual ou em conjunto com outros municípios, minimiza o custo total de instalação, operação, estoque e transporte, e atende a localização tanto de uma indústria de reciclagem de resíduos do coco verde quanto de um aterro sanitário para sua destinação final.

A minimização do custo total deu-se no Cenário 6, conforme esperado, em que o modelo foi definido para decidir simultaneamente a quantidade ideal de indústrias de reciclagem, as melhores capacidades e os melhores municípios para instalação, com a devida distribuição dos resíduos de coco, tendo como resultado três indústrias de reciclagem, localizadas nos seguintes municípios: Anchieta, com capacidade de 475 toneladas/ano; Cariacica, com capacidade de 2.198 toneladas/ano e Serra com capacidade de 907 toneladas/ano. Porém, os demais cenários e outras soluções, com custos equiparados, devem ser analisados visando uma tomada de decisão.

Observou-se que modificações consideráveis realizadas nos dados de entrada dos parâmetros do modelo matemático não provocaram mudanças nos resultados dos cenários. Portanto, especificamente para o problema proposto analisado, parecem existir pontos ideais para a localização das indústrias de reciclagem, com suas respectivas capacidades, os quais se mostraram pouco sensíveis a variações dos custos e demais parâmetros do modelo.

O procedimento metodológico aqui desenvolvido pode subsidiar aplicações semelhantes e em outros estados, independentemente do tipo de material a ser reciclado, na medida em que forem compatíveis as variáveis intrínsecas ao problema e também os dados de entrada.

Dentre outras aplicações, o modelo pode ser utilizado para localizar indústrias de reciclagem de outros tipos de resíduos; aterros sanitários; indústrias que requerem o retorno das embalagens para reprocessamento, como, por exemplo, cascos de bebidas; indústrias considerando-se os locais e capacidades dos fornecedores de matéria prima; novas indústrias a partir de um conjunto já existente.

Para dar continuidade ao estudo desenvolvido, as principais sugestões são:

- Comparar os resultados de localização obtidos em outras ferramentas, utilizando-se o mesmo modelo e os mesmos dados, como o programa *TransCAD*, por exemplo, que possui métodos heurísticos para solução de problemas, base de dados georreferenciada e pode trabalhar com um número maior de locais geradores de resíduos e locais candidatos à instalação de indústrias de reciclagem;
- Utilizar a estrutura de dados levantados e desenvolver outros modelos de localização para comparação dos resultados, sejam eles contínuos, em grafos e redes ou heurísticos;
- Realizar uma ampla e aprofundada pesquisa dos dados de quantidade de resíduos do coco verde gerados nos municípios litorâneos do Estado do Espírito Santo e na Região da Grande Vitória, assim como dos custos fixos e variáveis das indústrias de reciclagem da casca do coco verde, por capacidade de processamento das mesmas. Da mesma forma, projetar estes dados para o futuro. Utilizar os dados presentes pesquisados e comparar com os resultados desta dissertação. Utilizar os dados projetados para dimensionar as indústrias de reciclagem com as folgas (ociosidades) necessárias;
- Estudar os reflexos da implantação das indústrias de reciclagem na demanda e na oferta de transportes e empregos em cada município do estado;
- Realizar um estudo relacionado ao mercado consumidor de produtos reciclados da casca do coco verde e complementar o modelo de localização com novas variáveis, parâmetros e restrições, de forma a considerar a localização das indústrias de reciclagem para atender simultaneamente tanto o mercado de geração de resíduos quanto o mercado consumidor dos produtos beneficiados. Com este novo modelo, poderá ser maximizada a receita líquida de venda dos produtos, que corresponde à receita bruta menos os custos das indústrias. Poderá, também, ser estipulada a quantidade mínima de resíduos de coco a serem processados pelas indústrias, em função da demanda, que viabilize economicamente a instalação das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. A. S. B. (1981) *Viabilidade Econômica e Localização de Unidade Produtora de Farinha de Milho para Utilização em Mistura com o Trigo no Estado de São Paulo, Piracicaba*. Dissertação de Mestrado em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.
- Andrade, R. G. M. (2005) *Abordagem Ambiental na Caracterização da Cadeia Logística Reversa do Coco Verde*. Trabalho de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Arruda, J. B. F.; Praça, E. R.; Coutinho, E. J. R.; Nobre Júnior, E. F.; Silva, J. L. C. (2004) *Determinação da Localização Otimizada de Plantas de Esmagamento da Mamona e de Plantas de Produção do Biodiesel: O Caso do Estado do Ceará*. Artigo do V RIRL (Rencontre Internationale Recherche Logistique - Congresso Internacional de Pesquisa em Logística), Fortaleza, Ceará.
- Assumpção, G. A. (2006) *Análise Econômica da Instalação Industrial de Beneficiamento da Casca do Coco Verde*. Trabalho de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Ballou, R. H. (1991) *Measuring transport costing error in customer aggregation for facility location*. *Transportation Journal*, Spring, p. 49-59.
- Ballou, R. H. (1992) *Business Logistics Management*. Prentice Hall International Editions, N.J., p. 688.
- Ballou, R. H. (2001) *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial*. Editora Boolman, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Barcelos, F. B.; Pizzolato, N. D.; Lorena, L. A. N. (2004) *Localização de Escolas do Ensino Fundamental com Modelos Capacitado e Não-Capacitado: Caso de Vitória, Espírito Santo*. *Pesquisa Operacional*, v. 24, n. 1, p. 133-149, Rio de Janeiro.
- Borges, M. R. (2005) *Projeto de Construção de uma Unidade de Beneficiamento da Fibra da Casca de Coco Verde em Cuiabá, Mato Grosso do Sul*. EMBRAPA E SEBRAE, Fortaleza, Ceará.
- Canziani, J. R. F. (1991) *Simulação Sobre a Implantação da Indústria de Suco Concentrado de Laranja no Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo.
- Carvalho, L. C. C. (2002), *Logística de Abastecimento de Derivados de Petróleo na Região de Influência da Refinaria Instalada em Manaus: Estudo de Viabilidade*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- Casarotto Filho, N. (1995) *Anteprojeto Industrial: Das Estratégias Empresariais à Engenharia*. Dissertação de Doutorado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Chopra, S. e Meindl, P. (2001) *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Editora Prentice Hall, New Jersey.
- Cirilo, J. A. (1997) *Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos*, In: Porto, R. L. L. et al., *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. ABRH/EUFRGS, 1ª edição, cap. 6, p. 305-360, São Paulo.
- Clemente, A. (1998) *Projetos Empresariais e Públicos*. Editora Atlas, 2ª edição, São Paulo.
- Colombo, J. A. A. (2001) *Localização e Roteamento para Serviços de Atendimento Emergencial – O Caso da Segurança Eletrônica*. Dissertação de Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Corrêa, E. S. (2000) *Algoritmos Genéticos e Busca Tabu Aplicados ao Problema das P-medianas*. Dissertação de Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Cunha, V. e Caixeta Filho, J. V. (2002) *Gerenciamento da Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos: Estruturação e Aplicação de Modelo Não Linear de Programação por Metas*. *Gestão e Produção*, v. 9, n. 2, p. 143-161, São Paulo.
- Durham, C. A.; Sexton, R. J.; Song, J. H. (1996) *Spatial Competition, Uniform Pricing and Transportation Efficiency in the California Processing Tomato Industry*. *American Journal of Agricultural Economics*, v.78, n.1, p.115-125.
- EMBRAPA (2005) *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*. Publicações relacionadas ao coco verde, disponíveis no site: <<http://www.cnpat.embrapa.br>>, capturadas em 12/08/2005.
- Goldberg, M. C. e Luna, H. P. (2000) *Otimização Combinatória e Programação Linear - Modelos e Algoritmos*. Editora Campus, 1ª edição, Rio de Janeiro.
- Hillier, F. S. e Lieberman, G. J. (1988) *Introdução à Pesquisa Operacional*. Editora Campus Ltda, 3ª edição, p. 805, São Paulo.
- IBRA (2006) *IBRA AgriSciences Ltda – Empresa Brasileira de Tecnologia de Agronegócios*. Publicação relacionada à Economia de Escala. Disponível no site: <http://www.redeambiente.org.br/dicionario.asp?letra=E&id_word=291>, capturada em 12/09/2006.
- INDG (2006) *Instituto de Desenvolvimento Gerencial*. Publicação relacionada à Pesquisa Operacional e Programação Linear. Disponível no site: <<http://www.indg.com.br/po>>, capturada em 15/01/2006.

- IPA (2005) *Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária*. Publicações referentes a custeios, disponíveis no site: <<http://www.ipa.br>>, capturadas em 11/10/2005.
- Lacerda, L. (2002) *Logística Reversa, Uma Visão Sobre os Conceitos Básicos e as Práticas Operacionais*. CEL - Centro de Estudos em Logística, COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Artigo disponível no site: <<http://www.coppead.ufrj.br/pesquisa/cel/new/fr-rev.htm>>, capturado em 10/02/2005.
- Leite, P. R. (2003) *Logística Reversa: meio ambiente e competitividade*. Editora Prentice Hall, São Paulo.
- Lisboa, E. F. A. (2005) *Apostila de Pesquisa Operacional*. Disponível no site: <<http://www.ericolisboa.eng.br/cursos/apostilas/po>>, capturada em 23/10/2005.
- Lopes, R. L. e Caixeta Filho, J. V. (2000) *Suinocultura no Estado de Goiás: Aplicação de Um Modelo de Localização*. Pesquisa Operacional, v. 20, n. 2, p. 213-232, Rio de Janeiro.
- Martim, R. F. (2005) *Apostila de Tudo que Você Precisa Saber Sobre o Solver no Excel*. Adquirida pelo site: <<http://www.juliofattisti.com.br/cursos/videocursos/excelmatric/default.asp>>, capturada em 01/09/2005.
- Mattedi, F. Z. (2005) *Estudo de Localização na Cadeia Logística Reversa do Coco Verde*. Trabalho de Iniciação Científica. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Mayer, P. J. (2004) *A importância da Reciclagem do Coco Verde no Brasil*. Lista de discussão: Coco Verde Reciclado, endereço: cocoverderecyclado@yahoogrupos.com.br, em 12/11/2004.
- Mueller, C. F. (2005) *Logística Reversa, Meio Ambiente e Produtividade*. Artigo publicado pelo Grupo de Estudos Logísticos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível no site: <<http://www.gelog.ufsc.br>>, capturado em 16/08/2006.
- Narciso, M. G.; Lorena, L. A. N. (1999) *Lagrangean/Surrogate Relaxation for Generalized Assignment Problems*. European Journal of Operational, v. 114, n. 1, p. 165-177.
- NASDAQ (2006) *National Association of Securities Dealers Automated Quotation System*. Publicação relacionada ao tempo médio de vida das empresas e indústrias, disponível no site: <<http://www.nasdaq.com>>, capturada em 15/01/2006.
- Novaes, A. G. (1989) *Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos*. Editora Edgard Bluncher Ltda, p. 207-236, São Paulo.
- Novaes, A. G. (2001) *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação*. Editora Campus, 1ª. edição, Rio de Janeiro.

- Oliveira, A. A. e Silva, J. T. M. (2006) *A Logística Reversa no Processo de Revalorização dos Bens Manufaturados*. Centro Universitário de Franca, São Paulo. Artigo disponível no site: <http://www.facef.br/rea/edicao07/ed07_art03.pdf>, capturado em 13/08/2006.
- Olivieri, B. P. (2004) *Otimização do Projeto de Pontes Protendidas Pré-Moldadas pelo Método dos Algoritmos Genéticos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Passos, P. R. A. (2005) *Destinação Sustentável de Cascas do Coco Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas*. Dissertação de Doutorado em Engenharia de Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pimentel, F. G. (2004) *Localização de Centros de Distribuição em uma Cadeia de Suprimentos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- Pires, T. (2006) *Configuração de uma rede de distribuição capacitada com restrição de cobertura*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos - Transportes. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Projeto Coco Verde (2004) *Coco Verde Reciclado*. Publicação disponível no site: <<http://www.projetococoverde.com.br>>, capturada em 01/08/2004.
- Rangel, M. C. (1991) *Critérios de Dinâmica para Problemas de Localização de Armazéns Capacitados de Grande Porte*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Ramos, S. Y. e Caixeta Filho, J. V. (2002) *Distribuição Espacial de Packing-Houses de Laranja no Estado de São Paulo: Uma Aplicação da Teoria da Localização*. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 40, n. 3, Brasília, Distrito Federal.
- Rosa, M. F. e Figueiredo, M. C. B. (2005), *Development Marketplace - Proposta Para o Projeto de Construção de uma Unidade de Beneficiamento da Fibra da Casca de Coco Verde em Fortaleza*. EMBRAPA, Ceará.
- Sacoman, M. A. R. (1998) *Otimização de Projetos*. Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo. Artigo disponível no site: <<http://www.dco.fc.unesp.br/~sacoman/artigos/oti/oti01.html#fn0>>, capturado em 23/08/2006.
- Samam Agrícola (2004). *A Cultura do Coqueiro e o Cultivo no Brasil*. Publicação disponível no site: <http://www.samam.com.br/agricola/index_produtos.htm>, capturada em 01/08/2004.
- SEAG-ES (2004) *Secretaria de Estado da Agricultura do Espírito Santo*. Área e produção de coco verde no Estado do Espírito Santo, Vitória. Publicações relacionadas ao coco verde, disponíveis no site: <<http://www.seag.es.gov.br/>>, capturadas em 01/07/2004.

- Senhoras, E. M. (2003) *Estratégias de Uma Agenda para a Cadeia Industrial do Coco: Transformando a Ameaça dos Resíduos em Oportunidades Eco-Eficiente*. Dissertação de Pós-graduação Lato Sensu em Gestão e Estratégia de Empresas. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Souto, M. C. (2004) *Resíduo de Coco*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Souza, J. C. (1996) *Dimensionamento, Localização e Escalonamento de Serviços de Atendimento Emergencial*. Tese de Doutorado em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Souza, F. A. F. (2002) *Elaboração de um Modelo de Localização de Cargas Unitizadas Agroindustriais em Pátios Portuários: Aplicação ao Caso do Terminal Portuário do Pecém*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Souza, M. (2004) *Localização de Postos e de Viaturas da Polícia Rodoviária Federal nas Rodovias do Estado do Espírito Santo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, ênfase em Transportes. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Teitz, M. B. e Bart, P. (1968) *Heuristic Concentration: Two-Stage Solution Construction*. Operational Research Society, v. 16, p. 955-961, London.
- Vallim Filho, A. R. A. e Gualda, N. D. F. (2003) *Heurística para Seleção de “Melhores” Candidatos para Localização de Centros de Distribuição*. Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, v. 2, p. 632-643, Rio de Janeiro.
- Vasconcelos, J. A. (2005) *Apostila de Programação Linear*. Apostila de Aula. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ANEXOS

ANEXO I

SOLUÇÃO DO MODELO DE LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO AS FERRAMENTAS DE OTIMIZAÇÃO *SOLVER* E *WHAT'SBEST!*

O segredo da aplicação de um modelo matemático para solução de problemas de programação matemática em uma planilha eletrônica está na maneira como se arrumam as células, conforme Pimentel (2004). O primeiro passo ao implementar um programa utilizando uma planilha eletrônica é confeccionar uma tabela de dados para alimentar o modelo.

É importante destacar, conforme tópicos de ajuda da ferramenta *What'sBest!* 2003, que um modelo matemático mal formulado pode fazer com que a ferramenta de otimização não encontre uma solução, embora exista, ou definir uma solução que não seja a melhor possível. Além disso, pode apresentar um tempo computacional inviável para processar a solução.

As Figuras A.1 a A.4 apresentam os dados de entrada para a implementação do problema de localização proposto de acordo com cada cenário.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1		CENÁRIO 1.1	Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem								
2		Região Norte	e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo								
3											
4			Locais Candidatos (j)								
5		Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	Total		
6				Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus			
7	1	Aracruz	31,896						0,000		
8	2	Conc. da Barra	38,187						0,000		
9	3	Fundão	12,833						0,000		
10	4	Linhares	16,899						0,000		
11	5	São Mateus	38,536						0,000		
12		Seleção							0		
13		Capacidade (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
14		Quantidade de Resíduos (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
15		Custos Fixos Instalação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
16		Custos Fixos Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
17		Custos Variáveis Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
18		Custos Variáveis Estoque (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
19		Custos Variáveis Transporte (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
20		Custos Totais (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
21											
22			CUSTO TOTAL (R\$/ano):				0,00				

Figura A.1: Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.1 – Região Norte

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CENÁRIO 1.2	Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem							
2	Região Sul	e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo							
3									
4		Locais Candidatos (j)							
5	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	6	7	8	9	10	11	Total
6			Anchieta	Guarapari	Itapemirim	Marataizes	Piúma	Pres. Kennedy	
7	6	Anchieta	35,404						0,000
8	7	Guarapari	221,246						0,000
9	8	Itapemirim	52,571						0,000
10	9	Marataizes	128,832						0,000
11	10	Piúma	35,773						0,000
12	11	Pres. Kennedy	0,553						0,000
13	Seleção								0
14	Capacidade (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	Quantidade de Resíduos (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	Custos Fixos Instalação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	Custos Fixos Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	Custos Variáveis Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Custos Variáveis Estoque (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Custos Variáveis Transporte (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	Custos Totais (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22									
23		CUSTO TOTAL (R\$/ano):				0,00			

Figura A.2: Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.2 – Região Sul

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CENÁRIO 1.3	Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem							
2	Região da Grande Vitória	e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo							
3									
4		Locais Candidatos (j)							
5	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	12	13	14	15	16	Total	
6			Cariacica	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória		
7	12	Cariacica	633,399						0,000
8	13	Serra	768,478						0,000
9	14	Viana	106,134						0,000
10	15	Vila Velha	807,744						0,000
11	16	Vitória	650,969						0,000
12	Seleção								0
13	Capacidade (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	Quantidade de Resíduos (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	Custos Fixos Instalação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	Custos Fixos Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	Custos Variáveis Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	Custos Variáveis Estoque (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Custos Variáveis Transporte (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Custos Totais (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21									
22		CUSTO TOTAL (R\$/ano):				0,00			

Figura A.3: Dados de entrada para o Sub-Cenário 1.3 – Região Metropolitana da Grande Vitória

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		CENÁRIO 2	Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo									
2		Todo o Estado do ES										
3		1 indústria										
4			Locais Coadiudatos (i)									
5		Localiz Geradoras de Resíduos (j)	Quantidade de Resíduos (tf/ano)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6				Aracruz	Canc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta	Guarapari	Itapemirim	Maratáizer
7	1	Aracruz	31,896									
8	2	Canc. da Barra	38,187									
9	3	Fundão	12,833									
10	4	Linhares	16,899									
11	5	São Mateus	38,536									
12	6	Anchieta	35,404									
13	7	Guarapari	221,246									
14	8	Itapemirim	52,571									
15	9	Maratáizer	128,832									
16	10	Piúma	35,773									
17	11	Proz. Kennedy	0,553									
18	12	Cariacica	633,399									
19	13	Serra	768,478									
20	14	Wiana	106,134									
21	15	Vila Velha	907,744									
22	16	Vitória	650,969									
23	Seleção											
24	Capacidade (tf/ano)			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	Quantidade de Resíduos (tf/ano)			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
26	Custo Fixo Instalação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	Custo Fixo Operação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	Custo Variável Operação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	Custo Variável Estoque (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Custo Variável Transporte (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31	Custo Total (R\$)			0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
32												
33	CUSTO TOTAL (R\$/ano):						0,00					

M	N	O	P	Q	R	S	T
10	11	12	13	14	15	16	Total
Piúma	Proz. Kennedy	Cariacica	Serra	Wiana	Vila Velha	Vitória	
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0,000
							0
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura A.4: Dados de entrada para os Cenários 2 a 10 – todo o Estado do Espírito Santo

A primeira coluna refere-se aos números e locais geradores de resíduos do coco verde distribuídos em cada linha i da planilha.

A segunda coluna é a quantidade estimada de resíduos do coco verde.

Nas colunas intermediárias são apresentados os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem com suas respectivas numerações, distribuídos em cada coluna j da planilha.

Na última coluna são sumarizados os totais de resíduos do coco verde provenientes dos locais geradores e destinados aos locais de instalação das indústrias de reciclagem, escolhidos pelo *Solver* através da solução do modelo de localização implementado.

Abaixo, na primeira linha horizontal, são apresentadas as seleções (1-local candidato escolhido ou 0-local candidato não escolhido), que representam os binários que serão determinados pelo *Solver* no resultado do modelo de localização.

A quantidade de resíduos é destinada a cada indústria de reciclagem de um local candidato selecionado, que deverá possuir uma capacidade suficiente para processamento dos mesmos. A soma das capacidades de todas as indústrias de reciclagem correspondem a quantidade total de resíduos gerada em cada cenário.

Os custos envolvidos no modelo de localização são os custos fixos de instalação, fixos de operação, variáveis de operação, variáveis de estoque, variáveis de transporte e totais, que representa a soma de todos os custos.

Os custos são calculados automaticamente na formulação no momento em que são distribuídas as quantidades de resíduos dos locais geradores até os locais escolhidos para instalação das indústrias de reciclagem.

Nas Figura A.5, a seguir, é apresentada a distribuição na planilha das variáveis do modelo de localização que irá minimizar o custo total, conforme exemplo do Sub-Cenário 1.1.

(K) Capacidade das Indústrias de Reciclagem		(Q) Quantidade Total de Resíduos Gerados	
138,351	(toneladas/ano)	138,351	(toneladas/ano)
Quantidade de Resíduos destinados ao local candidato - a ser definida pelo Solver			
(x) Quantidades de Resíduos do Coco Verde a serem transportados dos locais geradores "i" até os locais candidatos à instalação das indústrias de reciclagem "j" - a ser definido pelo Solver			
(t) Tempo de Vida das Indústrias de Reciclagem			
10	(anos)		

Continua ...

(d) Distâncias em km																	
DISTÂNCIAS (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta	Guarapari	Itapemirim	Maratáizes	Prúma	Pres. Kennedy	Cariacica	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória	
1	Aracruz	5,500	163,632	29,584	65,931	131,520	139,784	115,230	163,840	171,417	145,903	204,357	73,673	33,362	83,939	83,107	63,655
2	Conc. da Barra	163,632	5,500	192,386	107,381	26,441	300,659	277,180	323,143	331,228	305,516	363,856	235,117	202,582	243,726	245,918	226,118
3	Fundão	29,584	192,386	5,500	35,204	166,461	110,204	85,670	134,339	141,869	116,398	174,807	44,121	10,317	54,657	53,689	34,099
4	Linhares	65,931	107,381	35,204	5,500	81,173	205,131	180,245	229,504	236,947	211,564	269,865	139,271	104,389	143,805	147,801	128,899
5	São Mateus	131,520	26,441	166,461	81,173	5,500	275,261	251,553	298,050	306,063	280,339	338,793	209,497	176,609	218,361	220,083	200,320
6	Anchieta	139,784	300,659	110,204	205,131	275,261	5,500	25,284	25,449	32,013	9,675	64,788	66,153	100,750	56,334	57,653	76,245
7	Guarapari	115,230	277,180	85,670	180,245	251,553	25,284	5,500	50,604	57,281	33,299	89,942	42,065	75,983	34,582	32,501	51,575
8	Itapemirim	163,840	323,143	134,339	229,504	298,050	25,449	50,604	5,500	8,510	17,941	40,747	80,234	125,175	80,095	82,678	100,697
9	Maratáizes	171,417	331,228	141,869	236,947	306,063	32,013	57,281	8,510	5,500	25,724	32,940	97,749	132,563	87,887	89,657	108,056
10	Prúma	145,903	305,516	116,398	211,564	280,339	9,675	33,299	17,941	25,724	5,500	58,569	72,294	107,244	62,209	64,342	82,777
11	Pres. Kennedy	204,357	363,856	174,807	269,865	338,793	64,788	89,942	40,747	32,940	58,569	5,500	130,688	165,476	120,778	122,413	140,966
12	Cariacica	73,673	235,117	44,121	139,271	209,497	66,153	42,065	90,234	97,749	72,294	130,688	5,500	35,046	12,003	13,375	11,039
13	Serra	33,362	202,582	10,317	104,389	176,609	100,750	75,983	125,175	132,563	107,244	165,476	35,046	5,500	46,203	43,750	24,510
14	Viana	83,939	243,726	54,657	143,805	218,361	56,334	34,582	80,095	87,887	62,209	120,778	12,003	46,203	5,500	16,728	22,944
15	Vila Velha	83,107	245,918	53,689	147,801	220,083	57,653	32,501	82,678	89,657	64,342	122,413	13,375	43,750	16,728	5,500	19,837
16	Vitória	63,655	226,118	34,099	128,899	200,320	76,245	51,575	100,697	108,056	82,777	140,966	11,039	24,510	22,944	19,837	5,500

(FI) Custos Fixos de Instalação das Indústrias de Reciclagem (R\$) por Faixas de Capacidade (toneladas/ano)									
Nº	Local Candidato	Faixa 1 (0-500)	Faixa 2 (501-1000)	Faixa 3 (1001-1500)	Faixa 4 (1501-2000)	Faixa 5 (2001-2500)	Faixa 6 (2501-3000)	Faixa 7 (3001-3500)	Faixa 8 (3501-4000)
1	Aracruz	33.952,83	67.905,67	101.858,50	135.811,34	169.764,17	203.717,00	237.669,84	271.622,67
2	C. da Barra	33.952,83	67.905,67	101.858,50	135.811,34	169.764,17	203.717,00	237.669,84	271.622,67
3	Fundão	33.274,91	66.549,82	99.824,73	133.099,64	166.374,54	199.649,45	232.924,36	266.199,27
4	Linhares	34.800,24	69.600,48	104.400,72	139.200,96	174.001,20	208.801,44	243.601,68	278.401,92
5	S. Mateus	34.800,24	69.600,48	104.400,72	139.200,96	174.001,20	208.801,44	243.601,68	278.401,92
6	Anchieta	33.952,83	67.905,67	101.858,50	135.811,34	169.764,17	203.717,00	237.669,84	271.622,67
7	Guarapari	37.342,46	74.684,92	112.027,38	149.369,84	186.712,29	224.054,75	261.397,21	298.739,67
8	Itapemirim	33.952,83	67.905,67	101.858,50	135.811,34	169.764,17	203.717,00	237.669,84	271.622,67
9	Maratáizes	33.952,83	67.905,67	101.858,50	135.811,34	169.764,17	203.717,00	237.669,84	271.622,67
10	Prúma	34.800,24	69.600,48	104.400,72	139.200,96	174.001,20	208.801,44	243.601,68	278.401,92
11	P. Kennedy	33.274,91	66.549,82	99.824,73	133.099,64	166.374,54	199.649,45	232.924,36	266.199,27
12	Cariacica	24.067,33	48.134,66	72.201,99	96.269,33	120.336,66	144.403,99	168.471,32	192.538,65
13	Serra	34.800,24	69.600,48	104.400,72	139.200,96	174.001,20	208.801,44	243.601,68	278.401,92
14	Viana	24.067,33	48.134,66	72.201,99	96.269,33	120.336,66	144.403,99	168.471,32	192.538,65
15	Vila Velha	37.342,46	74.684,92	112.027,38	149.369,84	186.712,29	224.054,75	261.397,21	298.739,67
16	Vitória	66.154,27	132.308,54	198.462,81	264.617,09	330.771,36	396.925,63	463.079,90	529.234,17

(FO) Custo Fixo de Operação das Indústrias de Reciclagem								
	Faixa 1 (0-500)	Faixa 2 (501-1000)	Faixa 3 (1001-1500)	Faixa 4 (1501-2000)	Faixa 5 (2001-2500)	Faixa 6 (2501-3000)	Faixa 7 (3001-3500)	Faixa 8 (3501-4000)
	21.336,79	42.673,57	64.010,36	85.347,15	106.683,93	128.020,72	149.357,50	170.694,29

(VO) Custo Variável de Operação das Indústrias de Reciclagem	
115,66	(R\$/tonelada)
(VE) Custo Variável de Estoque das Indústrias de Reciclagem	
0,63	(R\$/tonelada)
(p) Percentual de Aproveitamento de Reciclagem	
25,15	(%)
(VT) Custo Variável de Transporte	
0,38	(R\$/Km.tonelada)

Figura A.5: Modelo de localização e valores dos custos

Na Figura A.6 são apresentados os multiplicadores para simulações (já embutidos nas formulações, bastando alterá-los).

27							
28		Multiplicadores para Simulações				Valor	
29		Capacidade das Indústrias de Reciclagem (Mcir)				1	
30		Quantidade de Resíduos Gerados (Mqrg)				1	
31		Tempo de Vida das Indústrias de Reciclagem (Mtvj)				10	
32		Custo Fixo de Instalação (Mcfi)				1	
33		Custo Fixo de Operação (Mcfo)				1	
34		Custo Variável de Operação (Mcvo)				1	
35		Custo Variável de Estoque (Mcve)				1	
36		Custo Variável de Transporte (Mcvt)				1	
37							

Figura A.6: Multiplicadores para simulações

I.1. Utilizando a Ferramenta *Solver*

O *Solver* encontra-se automaticamente instalado no pacote de ferramentas do programa Microsoft Office Excel, podendo ser selecionado e disponibilizado para utilização no menu “Ferramentas / Suplementos”. Faz parte de um conjunto de programas algumas vezes chamados de ferramentas de otimização com análise hipotética (um processo de alteração de valores em células para saber como essas alterações afetam o resultado de fórmulas na planilha).

Conforme os tópicos de ajuda da ferramenta *Solver* 2003, o programa resolve os problemas de programação linear pelo método simplex, com limites sobre as variáveis, e de programação inteira pelo método de desvio e limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, da Frontline Systems, Inc. Para os problemas de programação não-linear é utilizado o algoritmo de otimização de gradiente reduzido genérico (GRG2), desenvolvido por Leon Lasdon, da Universidade do Texas em Austin e Allan Waren, da Universidade Estadual de Cleveland.

Segundo Martim (2005), o *Solver* literalmente traduzido para o português é “resolvente”. Em outras palavras, é aquilo que consegue resolver algo, que é capaz de encontrar uma solução ou resolver um problema. O mesmo foi criado para resolver os mais variados problemas matemáticos. Um sinônimo de *Solver* em inglês é “optimizer” (otimizador), pois na maioria dos casos é utilizado para otimizar a alocação de vários recursos.

Com o *Solver*, pode-se localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula - chamada de célula de destino - em uma planilha. O mesmo trabalha com um grupo de células relacionadas direta ou indiretamente com a fórmula na célula de destino. O *Solver* ajusta os valores nas células variáveis especificadas - chamadas de células ajustáveis - para produzir o resultado especificado na fórmula da célula de destino. Podem ser aplicadas restrições aos valores que serão utilizados no modelo matemático e as mesmas podem se referir as outras células que afetem a fórmula da célula de destino. O *Solver* pode ser usado para determinar os valores máximo e mínimo de uma célula pela alteração de outras células.

O **Solver** foi utilizado apenas no **Cenário 1** (sub-cenários 1.1, 1.2 e 1.3), por possuir uma limitação, na Versão do Microsoft Office Excel 2003, de máximo 200 células ajustáveis.

O primeiro passo é clicar no menu “Ferramentas / Solver”, conforme Figura A.7. Escolhe-se a célula de destino que representa o valor da função objetivo do modelo matemático e apresentará o custo total para a implantação das indústrias de reciclagem nos locais selecionados. A célula de destino, conforme exemplo do Sub-Cenário 1.1 na Figura A.8, contém a fórmula do custo total, apresentada na modelagem do problema proposto na Seção 3.4. Como se deseja encontrar o custo mínimo para a instalação das indústrias de reciclagem, é marcada a opção “min”.

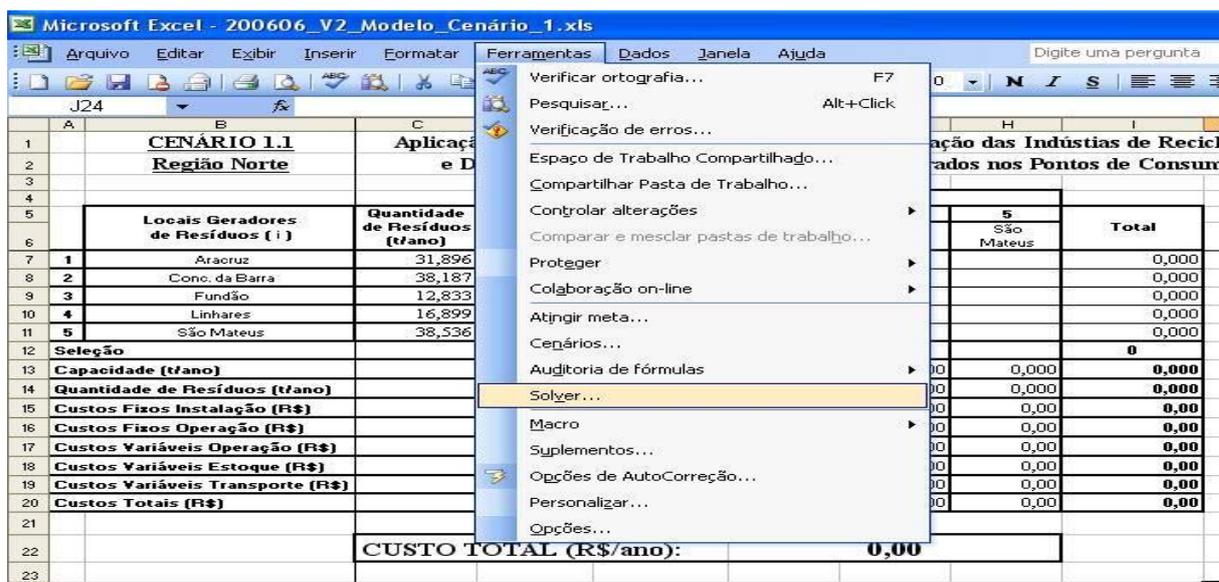


Figura A.7: Menu “Ferramentas / Solver”



Figura A.8: Definição da célula de destino que contem a fórmula do custo total e opção “min”

As células variáveis (ajustáveis) de decisão, conforme exemplo do Sub-Cenário 1.1 na Figura A.9, irão compreender as células de coordenadas entre os locais geradores de resíduos de coco (i) e os locais candidatos (j), incluindo-se ainda as células de seleção, com valores a serem determinados pelo *Solver* na solução do modelo matemático.

CENÁRIO 1.1		Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo						
Região Norte								
		Locais Candidatos (j)						
Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	Total	
		Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhães	São Mateus		
1	Aracruz	31,896					0,000	
2	Conc. da Barra	38,187					0,000	
3	Fundão	12,833					0,000	
4	Linhães	16,899					0,000	
5	São Mateus	38,536					0,000	
Seleção							0	
Capacidade (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Quantidade de Resíduos (t/ano)								
Custos Fixos Instalação (R\$)								
Custos Fixos Operação (R\$)								
Custos Variáveis Operação (R\$)								
Custos Variáveis Estoque (R\$)								
Custos Variáveis Transporte (R\$)								
Custos Totais (R\$)								

Figura A.9: Células variáveis (ajustáveis) de decisão para o *Solver*

O próximo passo é a escolha das restrições a serem atendidas de acordo com o modelo matemático, conforme definido nas Seções 3.4 e 4.4. Neste cenário em questão, as restrições a serem obedecidas, conforme exemplo do Sub-Cenário 1.1 na Figura A.10 a seguir, são:

- As células “Seleção” deverão ter valores binários (1–local candidato selecionado ou 0–local candidato não selecionado);
- A quantidade de resíduos destinada a cada local candidato deverá ser menor que a capacidade da indústria de reciclagem a ser instalada. Desta forma, como para os casos de locais candidatos não selecionados a capacidade da indústria de reciclagem dos mesmos é considerada zero, o *Solver* não irá destinar resíduos para os mesmos. Esta restrição garante que só serão destinados resíduos dos locais geradores para os locais candidatos escolhidos (seleção igual a 1);
- A quantidade de resíduos de coco provenientes dos locais geradores é igual à quantidade total distribuída para os locais escolhidos para instalação das indústrias de reciclagem. Esta restrição garante que o total dos resíduos originados nos locais geradores será distribuído e processado pelas indústrias.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		CENÁRIO 1.1	Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo							
2		Região Norte								
3										
4			Locais Candidatos (j)							
5		Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	Total	
6				Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus		
7	1	Aracruz	31,896						0,000	
8	2	Conc. da Barra	38,187						0,000	
9	3	Fundão	12,833						0,000	
10	4	Linhares	16,899						0,000	
11	5	São Mateus								
12	Seleção									
13	Capacidade (t/ano)									
14	Quantidade de Resíduos (t/ano)									
15	Custos Fixos Instalação (R\$)									
16	Custos Fixos Operação (R\$)									
17	Custos Variáveis Operação (R\$)									
18	Custos Variáveis Estoque (R\$)									
19	Custos Variáveis Transporte (R\$)									
20	Custos Totais (R\$)									
21										
22										
23										
24										
25										

Parâmetros do Solver

Definir célula de destino:

Igual a: Máx Mín Valor de:

Células variáveis:

Submeter às restrições:

-
-
-
-

Figura A.10: Definição das restrições a serem submetidas pelo Solver no modelo matemático

O ultimo passo é escolher as opções do Solver para a solução do problema, clicando no botão “Opções”, onde é apresentada a tela conforme Figura A.11.

Opções do Solver

Tempo máximo: segundos

Iterações:

Precisão:

Tolerância: %

Convergência:

Presumir modelo linear Usar escala automática

Presumir não negativos Mostrar resultado de iteração

Estimativas: Tangente Quadrática

Derivadas: Adjacente Central

Pesquisar: Newton Conjugado

Figura A.11: Opções de execução do Solver

Nesta dissertação, foram considerados os valores de opções de execução do Solver conforme apresentado na Figura A.11. O tempo máximo considerado foi de 400 segundos, para um máximo de 400 iterações a serem realizadas. A precisão e convergência foram definidas como 0,0001, ou seja, quatro casas decimais. A tolerância foi considerada como de 1%.

Foram marcadas ainda as opções “Presumir modelo linear” e “Presumir não negativos”, para atender as definições do modelo matemático do Cenário 1 (sub-cenários 1.1, 1.2 e 1.3).

Martim (2005) define cada opção conforme a seguir:

- Tempo Máximo: limita o tempo usado pelo processo de iteração. Pode ser modificada para um máximo de 32.767 segundos. O valor padrão é de 100 segundos e na maioria dos casos é suficiente para encontrar soluções de modelos simples e relativamente complexos.
- Iterações: assim como o tempo máximo, esta opção aceita um valor de 32.767 o qual limitará o número de cálculos intermediários das iterações. O valor padrão é de 100 iterações e na maioria dos casos é suficiente para resolver um problema no *Solver*;
- Precisão: serve para controlar a precisão das soluções utilizando o número fornecido para determinar se o valor de uma célula de restrição alcançou a meta ou satisfaz a um limite superior ou inferior. A precisão deve ser indicada por uma fração entre 0 (zero) e 1. Uma precisão maior é indicada quando o número fornecido possui mais casas decimais, como por exemplo, 0,0001 é mais preciso que 0,01;
- Tolerância: porcentagem através da qual a célula de destino de uma solução atendendo as restrições de número inteiro pode divergir do valor ideal e ainda ser considerada aceitável. Esta opção é aplicada somente aos problemas com restrições de número inteiro. Uma tolerância mais alta tende a acelerar o processo de solução;
- Convergência: quando a alteração relativa no valor da célula de destino é menor que o número exibido na caixa “convergência” para as cinco últimas iterações, o *Solver* irá terminar. A convergência é aplicada apenas aos problemas não lineares e deve ser indicada por um número fracionário entre 0 (zero) e 1. Uma convergência menor é indicada quando o número inserido tem mais casas decimais, como por exemplo, 0,0001 tem uma alteração relativa menor que 0,01. Quanto menor o valor da convergência, mais tempo será necessário para o *Solver* encontrar uma solução;
- Presumir modelo linear: acelera o processo de solução quando todas as relações no modelo forem lineares e seja desejado resolver um problema de otimização linear;
- Mostrar resultado da iteração: instrui o *Solver* a fazer uma pausa e exibir os resultados de cada iteração;
- Usar escala automática: deve-se utilizar a escala automática quando as entradas e saídas tiverem tamanhos muito diferentes, por exemplo, quando a maximização da porcentagem de lucros for feita com bases em investimentos de milhões de dólares;
- Presumir não negativos: faz com que seja assumido um limite inferior 0 (zero) para todas as células ajustáveis para as quais não foi definido um limite inferior na caixa “Restrição” da caixa de diálogo “Adicionar Restrição”;
- Estimativas: especifica a abordagem usada para obter estimativas iniciais das variáveis básicas em cada pesquisa unidimensional;
- Tangente: usa a extrapolação linear de um vetor tangencial;

- Quadráticas: usa a extrapolação quadrática, que pode melhorar os resultados em problemas altamente não-lineares;
- Derivadas: especifica a diferenciação usada para estimar as derivadas parciais das funções de objetivo e de restrição;
- Adiante: usada na maioria dos problemas em que os valores de restrição são alterados com relativa lentidão;
- Central: usada em problemas em que as restrições são rapidamente alteradas, principalmente perto dos limites. Embora essa opção exija mais cálculos, ela poderá ser útil quando o *Solver* retornar uma mensagem informando que não pôde melhorar a solução;
- Pesquisar: especifica o algoritmo que será usado em cada iteração para determinar a direção da pesquisa;
- Newton: usa um método Quasi-Newton que geralmente exige mais memória e bem menos iterações que o método gradiente conjugado;
- Conjugado: requer menos memória que o método Newton, mas geralmente necessita de mais iterações para atingir um determinado nível de precisão. Deve-se utilizar esta opção quando houver algum problema de desconvergência e a quantidade de memória disponível for uma preocupação, ou quando o progresso através das iterações ficar lento;
- Carregar modelo: exibe a caixa de diálogo Carregar Modelo, na qual se pode especificar a referência para o modelo que deseja carregar;
- Salvar modelo: exibe a caixa de diálogo Salvar Modelo, em que se pode especificar onde deseja salvar o modelo. Deve-se clicar nesta caixa somente quando se desejar salvar mais de um modelo com uma planilha, já que o primeiro modelo é salvo automaticamente.

Após escolha das opções de execução do *Solver*, basta clicar no botão “Resolver”, apresentado na Figura A.10, e o *Solver* irá processar todos os dados de entrada e restrições, conforme formulação definida no modelo matemático, onde diante de várias combinações possíveis será otimizada a escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem e a distribuição de resíduos dos locais geradores aos mesmos, minimizando desta forma o custo total. Caso haja uma solução para o modelo matemático, diante das restrições e condições otimizadas estabelecidas, o *Solver* irá retornar uma mensagem conforme Figura A.12.

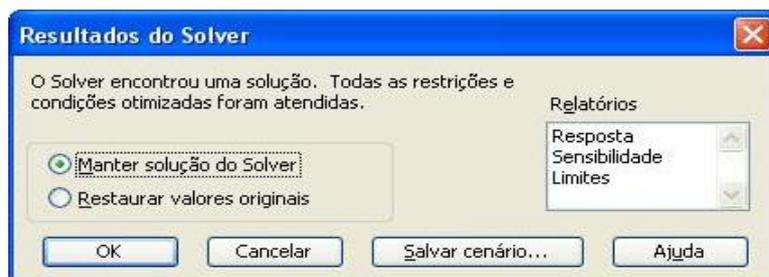


Figura A.12: Solução encontrada pelo *Solver*

I.2. Utilizando a Ferramenta *What'sBest!*

O *What'sBest!* precisa ser instalado à parte para compor o pacote de ferramentas do programa Microsoft Office Excel, podendo ser selecionado e disponibilizado para utilização no menu “Ferramentas / Suplementos”. Faz parte de um conjunto de programas algumas vezes chamados de ferramentas de otimização com análise hipotética (um processo de alteração de valores em células para saber como essas alterações afetam o resultado de fórmulas na planilha).

Conforme os tópicos de ajuda da ferramenta *What'sBest!* 2000, o programa resolve os problemas de programação linear pelos métodos primal simplex, dual simplex ou barrier, de programação inteira pelo método de branch-and-bound e de programação mista por uma combinação destes métodos. Para os problemas de programação não-linear é utilizado o código de otimização de gradiente reduzido genérico (GRG).

O *What'sBest!* permite resolver problemas com uma quantidade permitida de células ajustáveis maior que a do *Solver*, conforme relação a seguir em função da versão.

Versão do <i>What'sBest!</i>	Células Ajustáveis
Trial Version	300
Personal Version	500
Commerical Version	2000
Professional Version	8000
Industrial Version	32000
Extended Version	Unlimited

Desta forma, em problemas onde haja a necessidade de um número maior de células ajustáveis, o *What'sBest!* vem a suprir as limitações do *Solver*.

A primeira versão do *What'sBest!* originou em 1984 pela VisiCalc, e vem sofrendo contínuo desenvolvimento, com o aperfeiçoamento dos modelos e métodos, para atender os mais complexos problemas profissionais. Atualmente é um programa pertencente à empresa LINDO Systems, Inc.

O *What'sBest!* foi utilizado nos Cenários 2 a 10, por permitir trabalhar com mais de 200 células ajustáveis (limite máximo do *Solver*), mais exatamente para atender as 272 células ajustáveis destes cenários.

O primeiro passo é clicar no menu “WB! / Best”, conforme Figura A.13 a seguir. Escolhe-se a célula de destino que representa o valor da função objetivo do modelo matemático e apresentará o custo total para a implantação das indústrias de reciclagem nos locais selecionados. A célula de destino, conforme exemplo do Cenário 2 na Figura A.14 a seguir, contém a fórmula do custo total, apresentada na modelagem do problema proposto na Seção 3.4. Como se deseja encontrar o custo mínimo para a instalação das indústrias de reciclagem, é marcada a opção “Minimize”.

Microsoft Excel - 200606_V2_Modelo_Cenário_4.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela WB! Ajuda Digite uma pergunta

Adjustable...
Best...
Constraints...
Solve
Integer...
Options
Advanced
Help

	A	B	C	D	E	H	I
1		CENÁRIO 2			Aplicação		
2		Todo o Estado do ES			e Dis		mático para Localização
3		1 indústria					s do Coco Verde Gerados
4							
5		Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	5	6
6				Araucruz	Conc. da Barra	São Mateus	Anchieta
18	12	Caracioca	633,399				
19	13	Serra	768,478				
20	14	Viana	106,134				
21	15	Vila Velha	807,744				
22	16	Vitória	650,969				
23		Seleção					
24		Capacidade (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000
25		Quantidade de Resíduos (t/ano)		0,000	0,000	0,000	0,000
26		Custos Fixos Instalação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00
27		Custos Fixos Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00
28		Custos Variáveis Operação (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00
29		Custos Variáveis Estoque (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00
30		Custos Variáveis Transporte (R\$)		0,00	0,00	0,00	0,00
31		Custos Totais (R\$)		0,00	0,000	0,000	0,00
32							
33			CUSTO TOTAL (R\$/ano):			0,00	

Figura A.13: Menu “WB! / Best”

Microsoft Excel - 200606_V2_Modelo_Cenário_4.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela WB! Ajuda Digite uma pergunta

Times New Roman 18

F33 = T31

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		CENÁRIO 2							
2		Todo o Estado do ES			Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização				
3		1 indústria			e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados				
4									
5		Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	6
6				Araucruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta
24		Capacidade (t/ano)		0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
25		Quantidade de Resíduos (t/ano)		0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
26		Custos Fixos Instalação (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
27		Custos Fixos Operação (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
28		Custos Variáveis Operação (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
29		Custos Variáveis Estoque (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
30		Custos Variáveis Transporte (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
31		Custos Totais (R\$)		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
32									
33			CUSTO TOTAL (R\$/ano):			0,00			

Best

Minimize \$F\$33:\$H\$33

Help Cancel OK

Figura A.14: Definição da célula de destino que contém a fórmula do custo total e opção “Minimize”

As células variáveis (ajustáveis) de decisão, conforme exemplo do Cenário 2 na Figura A.15 a seguir, irão compreender as células de coordenadas entre os locais geradores de resíduos de coco (i) e os locais candidatos (j), incluindo-se ainda as células de seleção, com valores a serem determinados pelo *What'sBest!* na solução do modelo matemático.

The figure consists of two screenshots of Microsoft Excel, illustrating the 'What'sBest!' interface for setting adjustable cells in a mathematical model.

Top Screenshot: The Excel window title is 'Microsoft Excel - 200606_V2_Modelo_Cenário_4.xls'. The menu bar includes 'Arquivo', 'Editar', 'Exibir', 'Inserir', 'Formatar', 'Ferramentas', 'Dados', 'Janela', 'WB!', and 'Ajuda'. The 'WB!' menu is open, showing options: 'Adjustable...', 'Best...', 'Constraints...', 'Solve', 'Integer...', 'Options', 'Advanced', and 'Help'. The active cell is F33, containing the formula '=T31'. The spreadsheet shows a table with the following data:

CENÁRIO 2		Aplicação		
Todo o Estado do ES		e Di		
1 indústria				
	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2
			Aracruz	Conc. da Barra
7	1	Aracruz	31,896	
8	2	Conc. da Barra	38,187	
9	3	Fundão	12,833	
10	4	Linhares	16,899	
11	5	São Mateus	38,536	

Bottom Screenshot: The Excel window title is the same. The menu bar includes 'Arquivo', 'Editar', 'Exibir', 'Inserir', 'Formatar', 'Ferramentas', 'Dados', 'Janela', 'WB!', and 'Ajuda'. The active cell is D7. The spreadsheet shows a table with the following data:

CENÁRIO 2		Aplicação Final do Modelo Matemático p						
Todo o Estado do ES		e Distribuição dos Resíduos do Coco						
1 indústria								
	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	6
			Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta
7	1	Aracruz	31,896					
8	2	Conc. da Barra	38,187					
9	3	Fundão	12,833					
10	4	Linhares	16,899					
11	5	São Mateus	38,536					
12	6	Anchieta	35,404					
13	7	Guarapari	221,246					
14	8	Itapemirim	52,571					
15	9	Marataizes	128,832					
16	10	Piúma	35,773					
17	11	Pres. Kennedy	0,553					
18	12	Caraciaca	633,399					
19	13	Serra	768,478					
20	14	Viana	106,134					

The 'Adjustable' dialog box is open, showing 'Make Adjustable' selected in the dropdown menu. The 'Refers To' field contains the formula: '=Cenário4 - Todo o ES!\$D\$7:\$S\$23'. The dialog box has 'Help', 'Cancel', and 'OK' buttons.

Figura A.15: Células variáveis (ajustáveis) de decisão para o *What'sBest!*

O próximo passo é a escolha das restrições a serem atendidas de acordo com o modelo matemático, conforme definido nas Seções 3.4 e 4.4. No trabalho em questão, as restrições básicas a serem obedecidas, conforme exemplo do Cenário 2 nas Figuras A.16 e A.17 a seguir, são:

- As células “seleção” deverão ter valores binários (1-local candidato selecionado ou 0-local candidato não selecionado);
- A quantidade de resíduos destinada a cada local candidato deverá ser menor que a capacidade da indústria de reciclagem a ser instalada. Desta forma, como para os casos de locais candidatos não selecionados a capacidade da indústria de reciclagem dos mesmos é considerada zero, o *What'sBest!* não irá destinar resíduos para os mesmos. Esta restrição garante que só serão destinados resíduos dos locais geradores para locais candidatos escolhidos (seleção igual a 1);
- A quantidade de resíduos de coco provenientes dos locais geradores é igual à quantidade total distribuída para os locais escolhidos para instalação das indústrias de reciclagem. Esta restrição garante que o total dos resíduos originados nos locais geradores será distribuído e processado pelas indústrias.
- Demais restrições específicas de cada Cenário 2 a 10, tais como uma, duas ou três indústrias de reciclagem a serem instaladas, limitação de um local candidato por região e capacidade de cada indústria de reciclagem igual ao total de resíduos gerados no Cenário dividido por dois, três, ou outro valor.

Obs.: As restrições, no caso da ferramenta *What'sBest!*, são estabelecidas através de células particulares implementadas na própria planilha, vinculadas as células que deverão sofrer as restrições, utilizando-se Constraints (<, >, <=, >=, =) restritas da própria ferramenta.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the Solver Parameters dialog box open. The 'Integer' option is selected under the 'Make Variable Cells' section. The spreadsheet data is as follows:

	A	B	C	D	E
1		CENÁRIO 2			
2		Todo o Estado do ES			
3		1 indústria			
4					
5		Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2
6				Aracruz	Conc. da Barra
7	1	Aracruz	31,896		
8	2	Conc. da Barra	38,187		

The 'Integer - Binary' dialog box shows the following details:

- Binary Names in Workbook:** WBBINBIN1, WBBINBIN2, WBBINBIN3
- Refers To:** ='Cenário4 - Todo o ES'!\$D\$23:\$E\$23
- Integer Type:** Binary - WBBIN, General - WBINT

Figura A.16: Definição das restrições a serem submetidas pelo *What'sBest!* no modelo matemático, utilizando-se valor Binário para as restrições das células "Seleção"

Restrições do What'sBest relacionadas ao modelo:

Quantidade de Resíduos Menor que a Capacidade			
1	0,000	= <=	0,000
2	0,000	= <=	0,000
3	0,000	= <=	0,000
4	0,000	= <=	0,000
5	0,000	= <=	0,000
6	0,000	= <=	0,000
7	0,000	= <=	0,000
8	0,000	= <=	0,000
9	0,000	= <=	0,000
10	0,000	= <=	0,000
11	0,000	= <=	0,000
12	3.579,454	= <=	3.579,454
13	0,000	= <=	0,000
14	0,000	= <=	0,000
15	0,000	= <=	0,000
16	0,000	= <=	0,000

Quantidade de Resíduos é Igual ao Total de Resíduos			
1	31,896	=	31,896
2	38,187	=	38,187
3	12,833	=	12,833
4	16,899	=	16,899
5	38,536	=	38,536
6	35,404	=	35,404
7	221,246	=	221,246
8	52,571	=	52,571
9	128,832	=	128,832
10	35,773	=	35,773
11	0,553	=	0,553
12	633,399	=	633,399
13	768,478	=	768,478
14	106,134	=	106,134
15	807,744	=	807,744
16	650,969	=	650,969

Quantidade de Locais Candidatos			
Região Norte	1	=	1
Região Sul	1	=	1
Região da Grande Vitória	1	=	1

Figura A.17: Exemplo do Cenário 2. Definição das restrições a serem submetidas pelo *What'sBest!* no modelo matemático, utilizando-se Operadores Lógicos (Constraints)

Na Figura A.18 abaixo, são apresentados os ícones de atalho disponibilizados pela ferramenta *What'sBest!* para montagem do modelo matemático, sendo pela ordem apresentados os ícones para marcação/demarcação de células ajustáveis, operadores lógicos (constraints) e Solve para executar o modelo e apresentar o resultado otimizado.

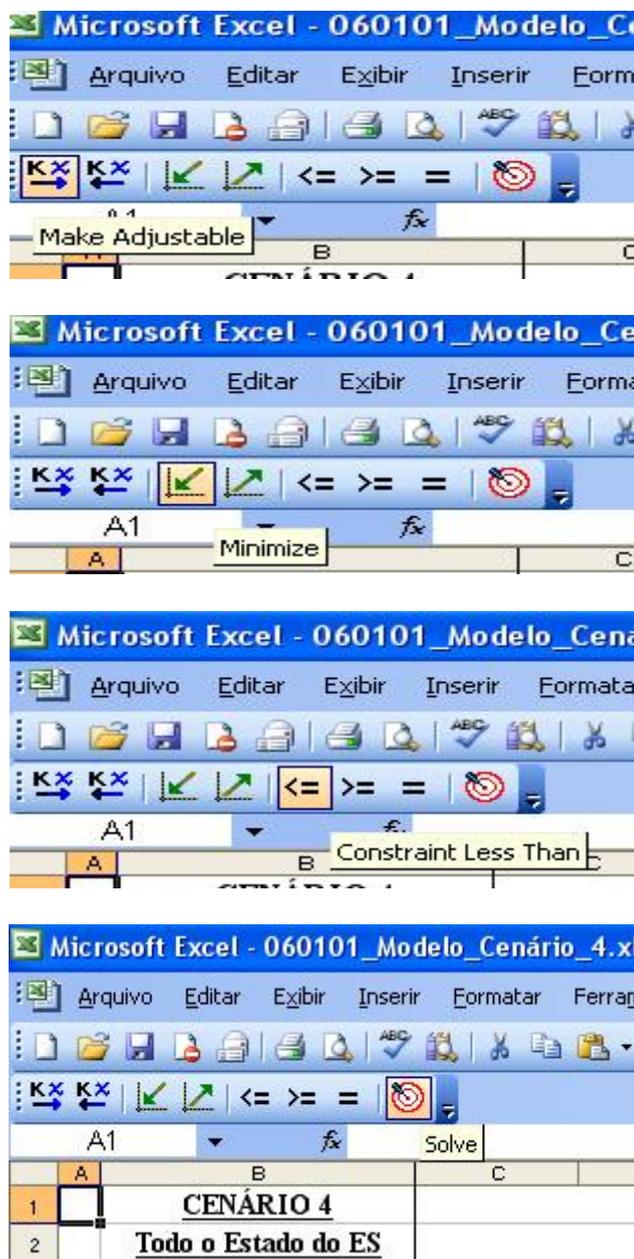


Figura A.18:  cones de atalho disponibilizados pela ferramenta *What'sBest!*

O ultimo passo é escolher as opções do *What'sBest!* para a solução do problema, clicando no menu “WB! / Options”, onde é apresentada a tela conforme Figura A.19.

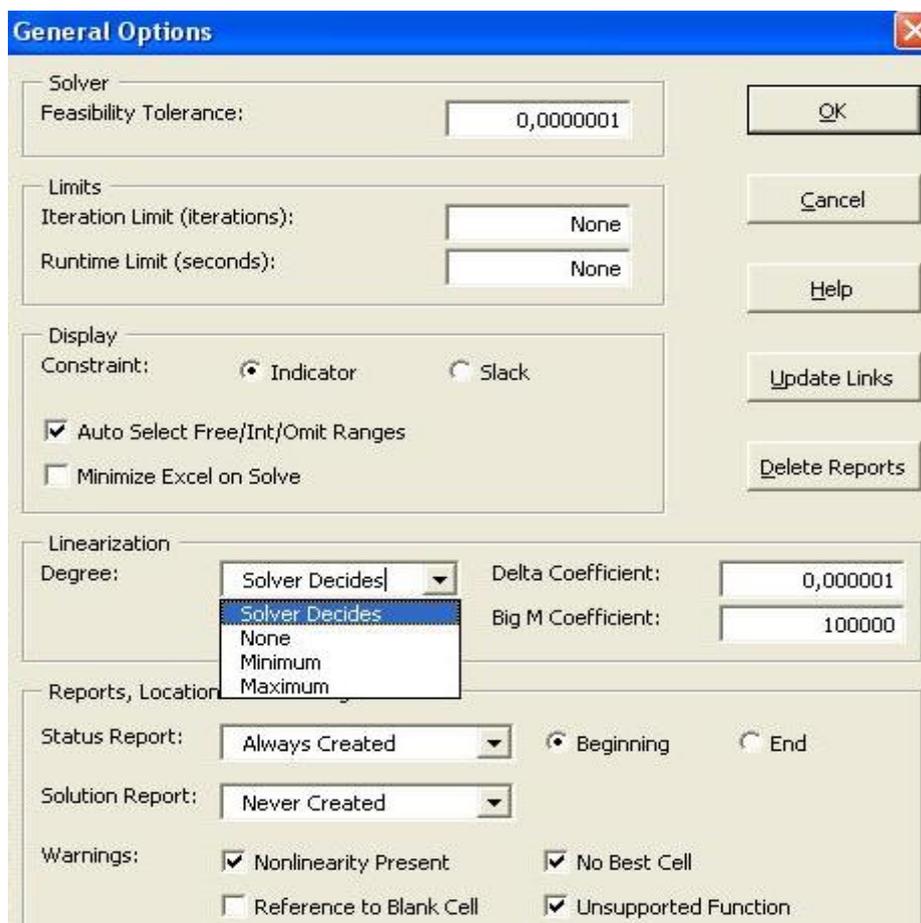
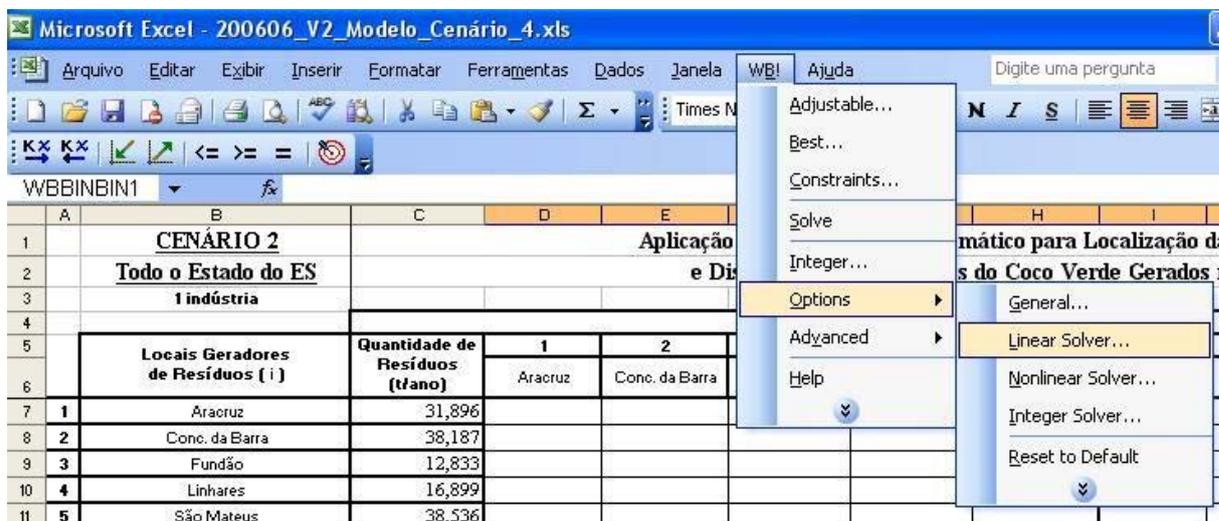


Figura A.19: Opções de execução do *What'sBest!*

Nesta dissertação, foram considerados os valores de opções de execução do *Solver* conforme apresentado na Figura A.19. A precisão e convergência foram definidas respectivamente como 0,0000001 e 0,000001, ou seja, seis e cinco casas decimais, assim como selecionada a opção “None” para “Limites de Iterações” e “Limite de Tempo”, para uma maior exatidão do resultado, apesar de um maior tempo de resposta. Foram selecionadas as opções “Presumir Valores não negativos” e “Solver Decides” para o *What'sBest!* decidir qual o melhor tipo de programação (linear, inteira e não linear) e também o melhor método a ser aplicado na solução do modelo matemático.

Após escolha das opções de execução do *What'sBest!*, basta clicar no botão “Solve” e o *What'sBest!* irá processar todos os dados de entrada e restrições, conforme formulação definida no modelo matemático, onde diante de várias combinações possíveis será otimizada a escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem e a distribuição de resíduos dos locais geradores aos mesmos, minimizando desta forma o custo total.

Caso haja uma solução para o modelo matemático, diante das restrições e condições otimizadas estabelecidas, o *What'sBest!* irá criar uma nova pasta, chamada WB! Status, contendo o resultado conforme exemplo de solução “linear” na Figura A.20 e “não-linear” na Figura A.21 a seguir.

1	What'sBest!® 8.0 (Jan 11, 2006) - Status Report -		
3	DATE GENERATED:	fev 10, 2006	01:21 AM
4	MODEL INFORMATION:		
5	CLASSIFICATION DATA	Current	Capacity Limits
7	Numerics	641	
8	Variables	497	
9	Adjustables	272	300
10	Constraints	32	150
11	Integers/Binaries	0/16	30
12	Nonlinears	0	30
13	Coefficients	1265	
15	Minimum coefficient value:	0.553 on <RHS>	
16	Minimum coefficient in formula:	Cenário4 - Todo o ESID88	
17	Maximum coefficient value:	382788.69 on Cenário4 - Todo o ESIS23	
18	Maximum coefficient in formula:	Cenário4 - Todo o ESIS27	
20	MODEL TYPE:	Mixed Integer / Linear	
22	SOLUTION STATUS:	GLOBALLY OPTIMAL	
24	OBJECTIVE VALUE:	5855164.0082102	
26	DIRECTION:	Minimize	
28	SOLVER TYPE:	Branch-and-Bound	
30	TRIES:	862	
32	INFEASIBILITY:	2.7433610938488e-013	
34	BEST OBJECTIVE BOUND:	5855164.0082102	
36	STEPS:	18	
38	ACTIVE:	0	
40	SOLUTION TIME:	0 Hours 0 Minutes 0 Seconds	
42	End of Report		
	WB! Status / Cenário4 - Todo o ES / Cen. 4 - Simula		

Figura A.20: Exemplo de solução “linear” encontrada pelo *What'sBest!*

	A	B	C
1	What'sBest! 5.0 Status Report		
2	8/23/06 1:20 AM		
3			
4	Solver memory allocated: 51200		
5			
6	Selective constraint evaluation turned on		
7			
8	Model Type: NONLINEAR / INTEGER		
9			
10	CLASSIFICATION STATISTICS Current / Maximum		
11	-----		
12	Numeric	1763 /	10000
13	Adjustable	544	
14	Constraints	32	
15	Integers	16	
16	Optimizable	1054	
17	Nonlinear	64	
18	Coefficients	2212	
19			
20	Best integer value: 629094.4 @ 11166 tries. Theoretical limit: 629094.4		
21			
22	Solution Status: LOCALLY OPTIMAL.		
23	Optimality Cond: SATISFIED.		
24			
25	Solution Time: 0 Hours 1Minutes 48 Seconds		
26			
27			
28	End of report.		
29			
30			

Figura A.21: Exemplo de solução “não-linear” encontrada pelo *What'sBest!*

Finalmente, seguem dois exemplos de soluções finais encontradas pelo *Solver* e *What'sBest!*, Sub-Cenário 1.3 e Cenário 6, respectivamente, conforme Figuras A.22 e A.23 a seguir.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	CENÁRIO 1.3		Aplicação Final do Modelo Matemático para Localização das Indústrias de Reciclagem e Distribuição dos Resíduos do Coco Verde Gerados nos Pontos de Consumo						
2	Região da Grande Vitória								
3									
4			Locais Candidatos (j)						
5	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	12	13	14	15	16	Total	
6			Cariacica	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória		
7	12	Cariacica	633,399	633,399	0,000	0,000	0,000	0,000	633,399
8	13	Serra	768,478	768,478	0,000	0,000	0,000	0,000	768,478
9	14	Viana	106,134	106,134	0,000	0,000	0,000	0,000	106,134
10	15	Vila Velha	807,744	807,744	0,000	0,000	0,000	0,000	807,744
11	16	Vitória	650,969	650,969	0,000	0,000	0,000	0,000	650,969
12	Seleção		1	0	0	0	0	1	
13	Capacidade (t/ano)		2.966,724	0,000	0,000	0,000	0,000	2.966,724	
14	Quantidade de Resíduos (t/ano)		2.966,724	0,000	0,000	0,000	0,000	2.966,724	
15	Custos Fixos Instalação (R\$)		14.440,40	0,00	0,00	0,00	0,00	14.440,40	
16	Custos Fixos Operação (R\$)		128.020,72	0,00	0,00	0,00	0,00	128.020,72	
17	Custos Variáveis Operação (R\$)		343.136,97	0,00	0,00	0,00	0,00	343.136,97	
18	Custos Variáveis Estoque (R\$)		470,06	0,00	0,00	0,00	0,00	470,06	
19	Custos Variáveis Transporte (R\$)		18.916,35	0,00	0,00	0,00	0,00	18.916,35	
20	Custos Totais (R\$)		504.984,50	0,00	0,00	0,00	0,00	504.984,50	
21									
22			CUSTO TOTAL (R\$/ano):					504.984,50	
			Total de KM percorridos:		1.168,71				
			Considerando a capacidade (em toneladas) de um caminhão Truck ou Toco =					7,8	

Figura A.22: Exemplo de um resultado de solução implementada pelo *Solver*

	Locais Geradores de Resíduos (i)	Quantidade de Resíduos (t/ano)	1	2	3	4	5	6
			Aracruz	Conc. da Barra	Fundão	Linhares	São Mateus	Anchieta
1	Aracruz	31,896	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	Conc. da Barra	38,187	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	Fundão	12,833	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Linhares	16,899	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	São Mateus	38,536	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	Anchieta	35,404	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	35,404
7	Guarapari	221,246	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	221,246
8	Itapemirim	52,571	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	52,571
9	Maratáizes	128,832	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	128,832
10	Piúma	35,773	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	35,773
11	Pres. Kennedy	0,553	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,553
12	Caraiçica	633,399	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	Serra	768,478	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	Viana	106,134	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15	Vila Velha	807,744	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	Vitória	650,969	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Seleção			0	0	0	0	0	1
Capacidade (t/ano) = Qtd. Resíduos Destinados			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	474,379
Custos Fixos Instalação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.395,28
Custos Fixos Operação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21.336,79
Custos Variáveis Operação (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54.867,58
Custos Variáveis Estoque (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,16
Custos Variáveis Transporte (R\$)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4.429,42
Custos Totais (R\$)			0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	84.104,23

Locais Candidatos (j)										
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Guarapari	Itapemirim	Maratáizes	Piúma	Pres. Kennedy	Caraiçica	Serra	Viana	Vila Velha	Vitória	
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	31,896	0,000	0,000	0,000	31,896
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	38,187	0,000	0,000	0,000	38,187
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,833	0,000	0,000	0,000	12,833
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	16,899	0,000	0,000	0,000	16,899
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	38,536	0,000	0,000	0,000	38,536
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	35,404
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	221,246
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	52,571
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	128,832
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	35,773
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,553
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	633,399	0,000	0,000	0,000	0,000	633,399
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	768,478	0,000	0,000	0,000	768,478
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	106,134	0,000	0,000	0,000	106,134
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	807,744	0,000	0,000	0,000	807,744
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	650,969	0,000	0,000	0,000	650,969
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	3
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2.198,246	906,829	0,000	0,000	0,000	3.579,454
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.033,67	6.960,05	0,00	0,00	0,00	22.389,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	106.683,93	42.673,57	0,00	0,00	0,00	170.694,29
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	254.253,34	104.885,58	0,00	0,00	0,00	414.006,49
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	348,30	143,68	0,00	0,00	0,00	567,15
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8.661,45	8.346,61	0,00	0,00	0,00	21.437,47
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	381.980,68	163.009,48	0,00	0,00	0,00	629.094,39

CUSTO TOTAL (R\$/ano): **629.094,39**

Multiplicadores para Simulações	Valor
Capacidade das Indústrias de Reciclagem (Moir)	1
Quantidade de Resíduos Gerados (Mqrg)	1
Tempo de Vida das Indústrias de Reciclagem (Mtvj)	10
Custo Fixo de Instalação (Mofi)	1
Custo Fixo de Operação (Mofo)	1
Custo Variável de Operação (Movo)	1
Custo Variável de Estoque (Move)	1
Custo Variável de Transporte (Mcvj)	1

Total de KM percorridos: **7.218,01**

Considerando a capacidade (em toneladas) de um caminhão Truck ou Toco = **7,8**

Figura A.23: Exemplo de um resultado de solução implementada pelo *What'sBest!*

ANEXO II

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SENSIBILIDADE REALIZADAS EM CADA CENÁRIO

Tabela A.1: Simulações no Sub-Cenário 1.1

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus																
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos					Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mofi	Mofa	Mevo	Mve	Mvnt	1	2	3	4	5			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					X	44.311,74	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0					X	47.791,76	7,85%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0					X	81.672,39	84,31%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0					X	47.782,80	7,83%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0					X	42.571,73	-3,93%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0					X	25.631,41	-42,16%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5					X	42.576,21	-3,92%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					X	47.791,76	7,85%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0					X	42.571,73	-3,93%	

Tabela A.2: Simulações no Sub-Cenário 1.2

6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy																	
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																	
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos						Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mofi	Mofa	Mevo	Mve	Mvnt	6	7	8	9	10	11			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						84.104,23	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						87.499,52	4,04%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	X						160.383,78	90,70%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	X						88.533,65	5,27%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	X						82.406,59	-2,02%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	X						45.964,47	-45,35%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	X						81.899,53	-2,62%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						87.499,52	4,04%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						82.406,59	-2,02%	

Tabela A.3: Simulações no Sub-Cenário 1.3

12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																	
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																	
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos						Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mofi	Mofa	Mevo	Mve	Mvnt	12	13	14	15	16				
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						504.984,50	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						519.424,90	2,86%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0	X						976.612,25	93,39%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	X						523.900,14	3,75%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	X						497.764,30	-1,43%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	X						269.170,62	-46,70%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	X						495.526,32	-1,87%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						519.424,90	2,86%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	X						504.984,50	0,00%	

Tabela A.4: Simulações no Cenário 2

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus																											
6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy																											
12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mefc	Mevc	Mvev	Mvvt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X						643.986,47	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X						663.240,33	2,99%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0											X						1.229.254,40	90,88%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0											X						683.451,14	6,13%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0											X						634.359,54	-1,49%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0											X						351.352,50	-45,44%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5											X						624.254,13	-3,06%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X						663.240,33	2,99%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X						634.359,54	-1,49%	

Tabela A.5: Simulações no Cenário 3

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus																											
6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy																											
12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mefc	Mevc	Mvev	Mvvt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					643.820,41	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					667.367,44	3,66%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0											X	X					1.229.088,35	90,91%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0											X	X					678.825,85	5,44%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					632.046,90	-1,83%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0											X	X					351.186,44	-45,45%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5											X	X					626.317,69	-2,72%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					667.367,44	3,66%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					632.046,90	-1,83%	

Tabela A.6: Simulações no Cenário 4

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus																											
6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy																											
12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mefc	Mevc	Mvev	Mvvt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X	X				662.254,35	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X	X				691.117,36	4,36%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0											X	X	X				1.268.859,07	91,60%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0											X	X	X				689.040,98	4,04%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X	X				647.822,85	-2,18%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0											X	X	X				358.951,99	-45,80%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5											X	X	X				648.861,04	-2,02%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X	X				691.117,36	4,36%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X	X				647.822,85	-2,18%	

Tabela A.7: Simulações no Cenário 5

1-Araeruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos								Custo Total (R\$/ano)	Variação	Simulação Base								
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcof	Mvov	Mvov	Mvot	1	2	3	4	5	6	7	8				9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						665.777,32	0,00%	
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						694.182,73	4,27%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0			X			X					X						1.272.382,04	91,10%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0			X			X					X						696.544,51	4,62%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						651.574,62	-2,13%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0			X			X					X						362.474,96	-45,58%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5			X			X					X						650.393,73	-2,31%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						694.182,73	4,27%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						651.574,82	-2,13%	

Tabela A.8: Simulações no Cenário 6

1-Araeruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos								Custo Total (R\$/ano)	Variação	Simulação Base								
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcof	Mvov	Mvov	Mvot	1	2	3	4	5	6	7	8				9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X					629.094,39	0,00%	
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X					651.483,39	3,56%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0						X					X	X					1.214.362,32	93,03%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0						X					X	X					650.531,86	3,41%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X					617.899,89	-1,78%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0						X					X	X					336.460,43	-46,52%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5						X					X	X					618.375,66	-1,70%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X					651.483,39	3,56%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X					617.899,89	-1,78%	
Faixa de 1000 t	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X								X						636.331,43	1,15%	
2 x Resíduos	1,0	2,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0							X				X						1.234.445,30	96,23%	

Tabela A.9: Simulações no Cenário 7

1-Araeruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos								Custo Total (R\$/ano)	Variação	Simulação Base								
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcof	Mvov	Mvov	Mvot	1	2	3	4	5	6	7	8				9	10	11	12	13	14	15	16
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					635.725,53	0,00%	
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					657.125,98	3,37%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0											X	X					1.220.993,46	92,06%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0											X	X					664.782,68	4,57%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					625.025,31	-1,68%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0											X	X					343.091,57	-46,03%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5											X	X					621.196,95	-2,29%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					657.125,98	3,37%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											X	X					625.025,31	-1,68%	

Tabela A.10: Simulações no Cenário 8

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcfc	Movo	Movc	Movt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						629.700,29	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						651.784,22	3,51%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0			X			X					X						1.214.968,22	92,94%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0			X			X					X						652.048,72	3,55%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						618.658,32	-1,75%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0			X			X					X						337.066,32	-46,47%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5			X			X					X						618.526,08	-1,77%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						651.784,22	3,51%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X						618.658,32	-1,75%	

Tabela A.11: Simulações no Cenário 9

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcfc	Movo	Movc	Movt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X	X				629.327,35	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X	X				654.371,37	3,98%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0						X					X	X	X				1.214.595,28	93,00%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0						X					X	X	X				648.342,75	3,02%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X	X				616.805,34	-1,99%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0						X					X	X	X				336.693,39	-46,50%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5						X					X	X	X				619.819,65	-1,51%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X	X				654.371,37	3,98%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						X					X	X	X				616.805,34	-1,99%	

Tabela A.12: Simulações no Cenário 10

1-Aracruz / 2-Conc. da Barra / 3-Fundão / 4-Linhares / 5-São Mateus 6-Anchieta / 7-Guarapari / 8-Itapemirim / 9-Marataízes / 10-Piúma / 11-Pres. Kennedy 12-Cariacica / 13-Serra / 14-Viana / 15-Vila Velha / 16-Vitória																											
(considerando a variação máxima das variáveis de 1 vez o seu valor - 100 % - para mais ou para menos)																											
Simulação	Multiplicadores								Locais Candidatos																Custo Total (R\$ /ano)	Variação	
	Mcir	Mqrg	Mtvi	Mcfi	Mcfc	Movo	Movc	Movt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
1	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X	X	X				648.990,31	0,00%	Simulação Base
2	1,0	1,0	10,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X	X	X				677.429,61	4,38%	
3	1,0	1,0	10,0	1,0	2,0	2,0	2,0	1,0			X			X					X	X	X				1.255.595,03	93,47%	
4	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0			X			X					X	X	X				662.936,59	2,15%	
5	1,0	1,0	10,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X	X	X				634.760,65	-2,19%	
6	1,0	1,0	10,0	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0			X			X					X	X	X				345.687,95	-46,73%	
7	1,0	1,0	10,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5			X			X					X	X	X				642.017,17	-1,07%	
8	1,0	1,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X	X	X				677.429,61	4,38%	
9	1,0	1,0	20,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			X			X					X	X	X				634.760,65	-2,19%	

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)