

EDUARDO WILSON RIBEIRO RAMALHO

UM MODELO PARA LOCALIZAÇÃO
INDUSTRIAL E TRANSPORTE DE
BAGAÇO DE CANA

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

SÃO PAULO, 1985

EDUARDO WILSON RIBEIRO RAMALHO

Engenheiro Naval - EPUSP, 1978

UM MODELO PARA LOCALIZAÇÃO
INDUSTRIAL E TRANSPORTE DE
BAGAÇO DE CANA

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

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Brinati
Professor Livre Docente do
Departamento de Engenharia Naval
da EPUSP.

São Paulo, 1985

Biblioteca da Escola Politécnica
São Paulo

FD - 671

Ao meu pai que foi e ao pimpolho que virã.
A Madinha, a Julia e a minha mãe.

AGRADECIMENTOS

- Ao professor Marco Antonio Brinatti, pela orientação, interesse e dedicação no decorrer deste trabalho.
- Ao colega professor Milton de Abreu Campanario, pelas contribuições, apoio e oportunidade de desenvolver este trabalho.
- Ao colega professor Antonio Rafael Muscat pelo incentivo e valiosas sugestões.
- Aos professores Carlos Humes e Milton P. Hollaender pelas discussões no início deste trabalho.
- Ao Agrupamento de Economia Industrial da Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas do IPT, pelo apoio administrativo na execução da dissertação.
- As colegas Edna Santos e Maria Aparecida Machado do CENDES - Centro de Documentação da DES/IPT pela imprescindível contribuição na pesquisa bibliográfica.
- Aos colegas Rui Carlos Botter e Carlos A. Dias pelas oportunas e inúmeras colaborações nas tarefas computacionais.
- A colega Vanda Regina Gasparotto pela excelente datilografia.
- Aos demais amigos, que incentivaram.

RESUMO

Este estudo examina a utilização do bagaço de cana como energético no setor industrial. A partir da análise operacional e econômica do problema, foi elaborado um modelo matemático com o objetivo de minimizar os custos globais do processo e satisfazer as restrições de oferta das usinas e destilarias, demanda das indústrias consumidoras, de abastecimento durante o período da entressafra, de adequação dos equipamentos para queima do bagaço e de redução de custo de energia para cada unidade de consumo individualmente.

O modelo considera três formas de bagaço - "in natura", enfardado e peletizado, e o beneficiamento pode ser feito tanto nas usinas e destilarias como em unidades intermediárias.

Em razão do custo de investimento da instalação industrial e da existência de economia de escala no beneficiamento e armazenamento de bagaço, a resolução do modelo contempla a utilização da técnica de programação linear mista-inteira; o método de solução utiliza também os princípios básicos da teoria de localização industrial.

O modelo foi aplicado para a Região Agrícola de Ribeirão Preto e os resultados obtidos mostram a viabilidade da utilização do bagaço como energético, bem como a vantagem da implantação de unidades intermediárias de beneficiamento.

SUMARY

This dissertation focuses attention on the utilization of the sugar cane bagasse a by product of the sugar and alcohol production as an energetic in the industrial sector. After analysing the economic and operational parameters of this question, it is developed a mathematical model whose objective is to minimize the global cost of the processes involved. Some restrictions are imposed to the model: the supply possibilities given by the sugar mills and alcohol destilaries and the demand requirements, including the conversion of the equipments to burn the fiber and the reduction of energy cost for each individual consumer unit.

The model considers three forms of bagasse: "in natura", pellets and baled. The processing of the raw material can occur either in the supply site or in any point nearer the demand.

Given the evidence of economies of scale in the phases of processing and storage the bagasse and the cost of investment of the industrial facilities, the formal solution of the model considers both the mixed-integer programming technique and the basic principles of the industrial location theory.

The model is applied to the Agricultural Region (DIRA) of Ribeirão Preto and the results obtained show the viability of the bagasse as an energetic. It also indicates that the best location for the processing phase is somewhere between supply and demand.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	iii
SUMMARY.....	iv
ÍNDICE.....	v
NOTAÇÃO E NOMENCLATURA.....	ix
LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE TABELAS	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	01
1.1. OBJETIVO DO TRABALHO	03
1.3. ESCOPO E LIMITAÇÕES	04
1.4. DELINEAMENTO DO TRABALHO	05
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	08
2.1. APROVEITAMENTO DO BAGAÇO	08
2.2. TEORIA DA LOCALIZAÇÃO	11
2.2.1. Histórico	11
2.2.2. Fatores Algomerativos na Teoria da Local lização	12
2.3. MODELOS DE TRANSPORTE E DE LOCALIZAÇÃO	13
2.4. CONCLUSÃO	15
CAPÍTULO 3 - O OBJETO E O CENÁRIO DO ESTUDO	16
3.1. O BAGAÇO DE CANA	16
3.1.1. Definição	16
3.1.2. Características Físico-químicas do Bagaço.	19
3.1.3. Tipos de Bagaço	20
3.1.4. Principais Aplicações para o Bagaço	22
3.1.4.1. Bagaço de Cana como Energético ..	23
3.1.4.2. Bagaço de Cana como Matéria Prima	25

	Página
3.2. O CENÁRIO DE ESTUDO	26
CAPÍTULO 4 - MODELOS DE LOCALIZAÇÃO E MÉTODOS DE SOLUÇÃO .	30
4.1. ASPECTOS GERAIS	30
4.2. MODELO PARA LOCALIZAÇÃO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL..	32
4.2.1. Modelo de Weber	32
4.2.2. Modelo Mecânico de Varignon	33
4.2.3. Método das Isodapanas	33
4.2.4. Método dos Transportes Vinculados e um Grafo	34
4.2.5. Método do Centro de Gravidade	35
4.3. MODELOS PARA LOCALIZAÇÃO DE MAIS DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL	37
4.3.1. Técnicas de Programação Matemática	37
4.3.2. Método de "Branch and Bound"	42
4.3.3. Outros Métodos de Programação Linear Inteira	44
4.4. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	46
CAPÍTULO 5 - MODELO MATEMÁTICO	48
5.1. O PROBLEMA A SER RESOLVIDO	48
5.2. PARÂMETROS E HIPÓTESES PARA MODELAGEM	49
5.2.1. Horizonte de Estudo	49
5.2.2. Oferta de Bagaço de Cana	50
5.2.3. Tipos de Bagaço	52
5.2.4. Rendimentos do Bagaço	53
5.2.5. Demanda de Bagaço	55
5.2.6. Sazonalidade	57
5.2.7. Armazenamento	59
5.2.8. Custo da Matéria Prima "Bagaço de Cana Excedente"	63
5.2.9. Custo de Transporte	63
5.2.10. Custo de Adaptação dos Equipamentos Indus trias	67

	Página
5.2.11. Localização das Unidades Industriais de Armazenamento e Beneficiamento de Bagaço .	70
5.2.12. Custo Anual de Energia	71
5.3. O MODELO	72
5.3.1. Variáveis de Decisão	72
5.3.2. Função Objetivo	74
5.3.3. Restrições	77
 CAPÍTULO 6 - MÉTODO DE RESOLUÇÃO E RESULTADOS	 81
6.1. PRÉ-ANÁLISE E SIMPLIFICAÇÃO DO MODELO	81
6.2. ALGORÍTMO DE RESOLUÇÃO	85
6.2.1. Pacote Computacional Utilizado	86
6.2.2. Detalhamento da Primeira Etapa do Método de Resolução	87
6.2.3. Detalhamento da Segunda Etapa do Método de Resolução	94
6.3. PRINCIPAIS RESULTADOS	96
6.3.1. Resultados Sem Unidades Intermediárias	96
6.3.2. Resultados Com Unidades Intermediárias	98
6.3.3. Algumas Considerações Sobre a Primeira e Segunda Etapas	105
6.3.4. Comparação entre as Alternativas Com e Sem Unidades Intermediárias	106
6.3.5. Custo da Energia em Cada Indústria	106
6.3.6. Tempos de Processamento	108
6.3.7. Procedimentos Alternativos Para o Bagaço Peletizado	108
 CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	 110
7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	110
7.2. RECOMENDAÇÕES	112

	Página
APÊNDICE I - CUSTO DE TRANSPORTE	114
APÊNDICE II - CUSTO DE MATÉRIA-PRIMA	126
APÊNDICE III - CUSTO DE ARMAZENAMENTO DO BAGAÇO "IN NATURA"	129
APÊNDICE IV - CUSTO DE BENEFICIAMENTO	133
APÊNDICE V - CUSTO DE ADAPTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	143
APÊNDICE VI - QUADRO SÍNTESE DAS PESQUISAS JUNTO ÀS INDÚSTRIAS E USINAS	145
APÊNDICE VII - COMANDOS UTILIZADOS DO PACOTE COMPUTA CIONAL MPS-TEMPO	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

CAPÍTULO 2

$$C_n = C \cdot \kappa^\beta$$

C_n = Custo da nova fábrica;

C = Custo da antiga fábrica;

κ = Razão entre a escala de produção da nova e antiga fábrica;

β = Expoente que depende do tipo de indústria.

CAPÍTULO 3

C = Carbono

H = Hidrogênio

O = Oxigênio

N = Nitrogênio

S = Enxofre

μ = Umidade do bagaço

PCS = Poder Calorífico Superior

PCI = Poder Calorífico Inferior

s = Teor de açúcar

CAPÍTULO 4

$$\sum_{i=1}^N |X_g - a_i| P_i \cdot CM = \sum_{j=1}^K |X_g - \alpha_j| T_j \cdot CP$$

$$\sum_{i=1}^N |y_g - b_i| \cdot P_i \cdot CM = \sum_{j=1}^K |y_g - \beta_j| T_j \cdot CP$$

a_i = Abscissa do fornecedor i ;

b_i = Ordenada do fornecedor i ;

α_j = Abcissa do consumidor j ;

β_j = Ordenada do consumidor j ;

P_i = Peso total a ser transportado do fornecedor i até a fábrica;

N = Número de centros de oferta;

CM = Custo de transporte de matéria-prima por unidade de distância e de peso;

T_j = Peso total a ser transportado da fábrica até o consumidor j ;

CP = Custo de transporte do produto do tipo t por unidade de distância e de peso;

K = Número de centros de demanda;

(X_g, y_g) = Coordenadas do centro de gravidade dos centros de oferta e de demanda;

$$\emptyset = \alpha h^\beta + p\phi$$

\emptyset = Função de custo de produção = $f(p\phi, h)$

α = Constante de custo de \emptyset ;

β = Expoente que representa a constante elástica da função de custo \emptyset ;

h = Capacidade instalada de produção ou volume de produção,

$p\phi$ = Custo fixo de investimento da instalação

$$h = \sum_{k=1}^p \lambda_k \cdot s_k$$

$$g(p, \delta, h) = \sum_{k=1}^p \lambda_k \cdot \delta_k(p, \delta, h)$$

h = Volume de produção;

s_k = Pontos que linearizam a função de custo;

λ_k = Coeficientes que garantem que para um determinado valor da variável esteja associado um correspondente trecho de reta que lineariza a função;

$f(p, \delta, h)$ = Função de custo = \emptyset anterior;

$g(p, \delta, g)$ = Função representada pelo conjunto de segmentos de reta que linearizam $f(h)$;

p = Número de pontos que linearizam a função custo;

δ_k = Variável binária 0,1, que garante a existência de apenas dois λ_k para cada valor da variável escolhida;

$$\tilde{\emptyset} = C \cdot \delta + v h$$

$\tilde{\emptyset}$ = Função de custo linearizada em duas partes;

C = Parte fixa da função de custo;

δ = Variável binária, vale 0 se não existir produção e 1 em caso contrário;

v = Coeficiente angular da parte linear do custo total (custo por unidade de produção);

h = Volume de produção ou tamanho de unidade industrial a ser instalada;

CAPÍTULO 5

Q_i = Quantidade de excedente de bagaço da usina i , expresso em energia;

PCS = Poder Calorífico Superior do Combustível;

PCI = Poder Calorífico Inferior do Combustível;

η_t = Rendimento térmico do processo operando com bagaço do tipo t ;

t = Tipos de bagaço, onde $t=1$ é "in natura", $t=2$ enfardado e $t=3$ peletizado;

$$DE_k = \sum_{m=1}^M CC_{km} \cdot PCS_m \cdot \eta_m$$

$$DB_{tk} = \sum_{m=1}^M \frac{CC_{km} \cdot PCS_m \cdot \eta_m}{PCS_t \cdot \eta_t}$$

DE_k = Demanda de energia na indústria k ;

DB_{tk} = Demanda potencial em toneladas de bagaço do tipo t , na indústria k ;

CC_{km} = Consumo de combustível na indústria k , pelo equipamento m ;

PCS_m = Poder Calorífico Superior do Combustível queimado no equipamento m ;

η_m = Rendimento térmico do processo no equipamento m ;

PCS_t = Poder Calorífico Superior do bagaço do tipo t ;

m = Índice para designar o tipo de equipamento;

M = Número total de equipamentos;

B_k = Quantidade mínima de bagaço beneficiado, em termos de energia, consumido pela indústria k ;

$$CAB_{ti} = C_{ti} \cdot \delta_{ti} + V_{ti} \cdot H_{ti}$$

$$CABI_{tj} = CI_{tj} \cdot \gamma_{tj} + VI_{tj} \cdot HI_{tj}$$

CAB_{ti} = Custo total anual de armazenamento e beneficiamento de bagaço do tipo t na usina i ;

$CABI_{tj}$ = idem, porém na unidade intermediária j ;

C_{ti} = Custo fixo da função de custo total de armazenamento e beneficiamento para o bagaço do tipo t na usina i ;

CI_{tj} = Idem, porém na unidade intermediária j ;

V_{ti} = Custo por unidade de energia de beneficiamento do bagaço do tipo t na usina i ;

VI_{tj} = Idem, porém na unidade intermediária j ;

H_{ti} = Energia total de bagaço do tipo t beneficiado e armazenado na usina i ;

HI_{tj} = Idem, porém na unidade intermediária j ;

δ_{ti} = Variável binária, que vale 0 se não houver beneficiamento e armazenamento de bagaço do tipo t na usina i , e vale 1 em caso contrário;

γ_{tj} = Idem, porém na unidade intermediária j ;

P_{ti} = Custo por unidade de energia de bagaço do tipo t , gerado na usina i ;

CTB_{tg} = Custo de transbordo por unidade de bagaço do tipo t , operando com o caminhão do tipo g ;

$$CKE_{tg} = \frac{CK_g}{QB_{tg} \cdot \delta_u \cdot PCS_t \cdot n_t}$$

CKE_{tg} = Custo por Km e por unidade de energia de bagaço do tipo t , transportado pelo caminhão do tipo g ;

CK_g = Custo por Km do caminhão tipo g ;

QB_{tg} = Quantidade máxima de bagaço tipo t transportado no caminhão tipo g ;

δ_u = Fator de utilização do caminhão;

g = Tipos de caminhão;

DUI_{ij} = Distância em Km da usina i até a unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento j ;

DUI_{ik} = Distância em Km da usina i até a indústria consumidora k ;

DJI_{jk} = Distância em Km da unidade intermediária j até a indústria k ;

$$CDC_{tkm} = (VA_{tkm} - VR_{tkm}) \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n \cdot 1} + i \cdot VR_{tkm}$$

CDC_{tkm} = Custo de depreciação e capital anual, do equipamento m na indústria k , adaptado para o bagaço t ;

VA_{tkm} = Valor do investimento para adaptação do equipamento m ; na indústria k , para consumir o bagaço tipo t ;

VR_{tkm} = Valor residual do equipamento m , na indústria k , que consome bagaço do tipo t ;

n = Prazo de amortização;

i = Taxa de juros

$$CAD_{tk} = \frac{\sum_{m=1}^M CDC_{tkm}}{DB_{tk} \cdot \eta_t \cdot PCS_t}$$

CAD_{tk} = Custo anual de capital por unidade de energia no indústria k , para consumir bagaço do tipo t ;

GAE_k = Gasto com o combustível atual, por ano, na indústria k ;

x_{ik}^t = Variável de decisão, que indica a quantidade de bagaço do tipo t enviada da usina i para a indústria consumidora k ;

y_{ij} = Variável de decisão, que indica a quantidade de bagaço "in natura" enviada da usina i para a unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento j ;

z_{jk}^t = Variável de decisão, que indica a quantidade de bagaço do tipo t enviada da unidade intermediária j para a indústria k ;

CAPÍTULO 6

x_{ik}^t = quantidade de energia de bagaço do tipo t , que vai da usina i para a indústria k ;

Δ = Acréscimo do valor da solução do Primal.

δ_i = Valor das variáveis inteiras binárias, que na solução do Primal estão entre 0 e 1;

C_i = Custo fixo da função de custo, associado a variável binária δ_i ;

$i=1, \dots, n$ identificação das variáveis binárias que na solução do Primal estão com valores diferentes de 0 ou 1;

- QP_i^* = Quantidade estimada de bagaço peletizado pela usina i ;
 CP_i^* = Custo de peletização da quantidade QP_i^* na usina i ;
 CE_i^* = Custo estimado de peletização por energia na usina i ;

APÊNDICE I

- DEP = Depreciação média mensal em Cr\$/km
 A = Idade média do veículo em anos (IM)
 A' = $IM + 1$
 PVN = Preço do veículo novo
 UT = Utilização mensal do veículo em km
 $VA(VA')$ = Valor do caminhão em $A(A')$ anos de idade
 RC = Custo de remuneração de capital investido em Cr\$/km
 I = Taxa anual de remuneração do capital
 SM = Custo do salário do motorista em Cr\$/km
 $Sal. Mot.$ = Salário mensal do motorista
 ES = Encargos sociais
 VT = Custo do licenciamento em Cr\$/km
 $V.Lic.$ = Valor do licenciamento do veículo
 S = Custo do seguro em Cr\$/km
 SO = Seguro obrigatório
 PC_1 = Custo de preços de reposição em Cr\$/km
 PC = Consumo de Peças
 K = Idade do veículo
 AJ = Ajuste para atualização de valores
 TIP, ST e $AX2$ = Tipos de veículos
 QI = Coeficiente de rugosidade da via

- LC = Custo de mão-de-obra de manutenção em Cr\$/km
 $Pneu$ = Custo de pneus em Cr\$/km
 $Preço_p$ = Preço de mercado do pneu em Cr\$.
 KPT = Total de quilômetros por pneu novo equivalente
 A, B, C = Tamanho do pneu
 RF = Rampas e contra-rampas em metro por km
 ADC = Soma dos ângulos em graus/km
 $FUEL$ = Custo do consumo de combustível em Cr\$/km
 $Preço_o$ = Preço de mercado do óleo diesel
 LO = Custo do consumo de óleo lubrificante em Cr\$/km
 CC = Capacidade de cárter
 $Preço_1$ = Preço de mercado do óleo lubrificante
 GR = Custo da graxa em Cr\$/km
 $Preço_2$ = Preço do kg de mercado da graxa
 LAV = Custo da lavagem em Cr\$/km
 $Preço_3$ = Preço de mercado de lavagem
 $Adm.Event.$ = Custo de administração e eventuais em Cr\$/km
 $Custo$ = É a somatória de todos os itens de custos anteriores

APÊNDICE II

- t = Tonelada
 PCS = Poder Calorífico Superior
 η = Rendimento térmico do processo para os vários tipos de bagaço
 $ORTN$ = Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional
 $Gcal$ = Gicalorias = 10^9 calorias

APENDICE IV

t/h = Tonelada por hora de bagaço

$ORTN/t$ = Custo em ORTN por tonelada

$ORTN/Gcal$ = Custo em ORTN por Gicaloria

CAB_2 = Custo de armazenamento e enfardamento em ORTN

H_2 = Quantidade de bagaço enfardado, expresso em Gcal

CAB_3 = Custo de armazenamento e peletização em ORTN

H_3 = Quantidade de bagaço peletizado, expresso em Gcal

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1. - Sequência do Trabalho	7
Fig. 3.1. - Separação Caldo/Bagaço de Cana	17
Fig. 3.2. - Fluxograma Esquemático da Produção de Bagaço	18
Fig. 3.3. - Poderes Caloríficos do Bagaço em Função da Umidade	21
Fig. 3.4. - Mapa da Região Agrícola de Ribeirão Preto, destacando os Centros de Oferta e Demanda Potencial de Bagaço	29
Fig. 4.1. - Custo de Produção em Função da Capacidade Instalada	38
Fig. 4.2. - Linearização Por Partes da Função de Custo de Produção	39
Fig. 4.3. - Linearização em Duas Partes da Função de Custo de Produção	41
Fig. 5.1. - Oferta e Demanda Potencial Mensal de Bagaço "In Natura"	58
Fig. 5.2. - Estoque Acumulado de Bagaço "In Natura"	60
Fig. 5.3. - Função Linearizada de Custo de Armazenamento e Beneficiamento	61
Fig. 5.4. - Representação Esquemática da Distribuição do Bagaço	64
Fig. 5.5. - Esquema de Fluxos de Bagaço e Localização de Unidades Intermediárias de Beneficiamento	73
Fig. 6.1. - Custos de Matéria-Prima + Armazenamento + Beneficiamento em Função da Distância para os Três Tipos de Bagaço	83
Fig. 6.2. - Algoritmo Simplificado do Método de Solução Proposto	85
Fig. 6.3. - Representação Esquemática dos Fluxos de Bagaço Sem Unidades Intermediárias	87
Fig. 6.4. - Algoritmo Detalhado da Primeira Etapa do Método de Resolução	88

	Página
Fig. 6.5. - Custo Estimado de Peletização Para Cada Usina	90
Fig. 6.6. - Algoritmo de Busca do Custo Real de Peletização	92
Fig. 6.7. - Algoritmo Detalhado da Segunda Etapa do Método de Resolução	95
Fig. 6.8. - Localização das Unidades Industriais Intermediárias de Armazenamento e Beneficiamento de Bagaço	104
Fig. III.1. - Custo de Armazenagem do Bagaço "In Natura".	132
Fig. IV.1. - Custo de Armazenamento e Enfardamento do Bagaço	136
Fig. IV.2. - Fluxograma do Sistema de Secagem e Peletização do Bagaço, do fabricante VOITH S.A.	138
Fig. IV.3. - Custo de Armazenagem e Peletização do Bagaço	140

LISTA DE TABELAS

	Página
Tab. 3.1. - Propriedades Físico-Químicas do Bagaço de Cana	19
Tab. 5.1. - Oferta de Bagaço Excedente por Unidades Produtoras da Região de Ribeirão Preto....	51
Tab. 5.2. - Rendimentos Térmicos de Processos em Função dos Tipos de Bagaço	55
Tab. 6.1. - Volume Distribuído de Bagaço Sem Unidades Intermediárias	96
Tab. 6.2. - Matriz de Fluxo de Bagaço Obtido Com a Solução Sem Unidades Intermediárias	97
Tab. 6.3. - Resultado da Primeira Iteração e Nova Estimativa para a Segunda Iteração	98
Tab. 6.4. - Resultado da Segunda Iteração e Nova Estimativa para a Terceira Iteração	99
Tab. 6.5. - Resultado da Terceira Iteração e Nova Estimativa para a Quarta Iteração	99
Tab. 6.6. - Resultado Final da Quarta e Última Iteração	100
Tab. 6.7. - Volume Distribuído de Bagaço na Solução Final	
Tab. 6.8. - Matriz de Fluxo de Bagaço Com Unidades Intermediárias	102
Tab. 6.9. - Comparação entre o Custo do Bagaço e a Energia Atual na Indústria	107
Tab. 6.10. - Valores da Função Objetivo Obtidos Com os Três Métodos de Resolução Apresentados ...	109
Tab. I.1. - Custo de Transbordo	115
Tab. I.2. - Custo Operacional do Caminhão T-112H da Scânia	123
Tab. I.3. - Custo Operacional do Caminhão MBB-2213 da Mercedes Benz	124

	Página
Tab. I.4. - Síntese dos Custos de Transporte Para os Diversos Tipos de Bagaço	125
Tab. II.1. - Custo da Matéria-Prima Bagaço "In Natura"	128
Tab. III.1. - Composição do Custo de Armazenagem do Bagaço "In Natura"	131
Tab. V.1. - Investimento Por Tonelada de Óleo ou Lenha Substituída	143
Tab. V.2. - Custo de Adaptação de Equipamentos Industriais	144
Tab. VI.1. - Pesquisa junto as Indústrias e Usinas ..	146

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Data de fins do século XVIII, o início no Brasil da utilização do bagaço de cana como combustível, em substituição a lenha nos antigos engenhos.

A partir de 1979, último ano em que a indústria sucro-alcooleira utilizou óleo combustível como fonte complementar de energia, o bagaço de cana passou a ser consumido prioritariamente em sua substituição. Entretanto, com os rápidos processos de modernização e melhorias de eficiência, estas indústrias passaram a não utilizar todo o bagaço produzido na fabricação do açúcar e álcool, gerando desta forma excedentes comercializáveis.

Contudo, só foi a partir de 1981, com a associação entre preços elevados dos combustíveis usuais e a disponibilidade de bagaço como alternativa mais barata, que este passou a ser consumido como energético fora dos limites das usinas.

Desde então, tem sido frequentes os artigos técnicos, comentários e avaliações sobre o potencial do bagaço como insumo energético. Neste sentido, foi desenvolvido no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sob a coordenação do autor, um estudo sobre a viabilidade do bagaço, vide ref. [46]. Este estudo mostrou ser o bagaço, sob determinadas condicionantes, um insumo energético viável técnica e economicamente, como substituto dos óleos derivados de petróleo e lenha, em equipamentos de queima para geração de vapor e calor, com aplicação em vários ramos industriais.

Cientes deste fato, algumas indústrias no Estado de São Paulo, e particularmente na Região Agrícola de Ribeirão

Preto, onde se tem a maior concentração de usinas de açúcar e destilarias de álcool e, portanto, grandes excedentes de bagaço, já vem consumindo este energético, embora não de forma sistemática.

Existe, entretanto, uma grande diferença entre o considerável potencial de geração de excedentes de bagaço nas usinas e destilarias e o mercado consumidor atual. Constata-se, também, que muitas outras indústrias poderiam vir a consumir o bagaço, se uma política de utilização e racionalização fosse posta em prática.

Mesmo assumindo que todo o bagaço excedente fosse destinado à substituição dos óleos de petróleo e lenha, ainda assim haveria demanda insatisfeita. Deste modo, faz-se necessário a identificação de usos que obtenham maiores vantagens comparativas. Para tanto, devem ser considerados:

- Os efeitos da sazonalidade da produção em relação a regularidade de consumo, de forma a garantir o abastecimento de bagaço em perfeitas condições de uso e a custos compensadores para as indústrias, notadamente aquelas que operam 12 meses por ano;
- Redução dos custos de transporte, de modo a viabilizar a sua utilização;
- Redução dos custos de matéria-prima, armazenamento e beneficiamento, cujos valores dependem da quantidade de bagaço manuseadas, e estão sujeitos a economias de escala;
- Redução do custo de investimento em adaptação de equipamentos para queima de bagaço, coerente com o tipo de bagaço mais adequado ao tipo de equipamento, de modo a aumentar os rendimentos do processo industrial;

- A otimização global do sistema (produção-distribuição-consumo), considerando as várias alternativas de localização das unidades de beneficiamento de bagaço;
- As limitações das indústrias que se localizam no perímetro urbano, notadamente daquelas com ausência de espaço para armazenamento de bagaço e problemas de poluição.

Para a consideração de todos estes fatores simultaneamente, foi desenvolvido neste estudo um modelo que tenta ser uma representação simplificada da realidade, mas incorporando os aspectos essenciais do problema. Pelo fato da função objetivo apresentar descontinuidade na origem devida ao investimento inicial para instalação de unidades industriais, e concavidade causada por economias de escalas nos custos de armazenamento e beneficiamento, a utilização de técnicas de programação linear, caracterizada pela hipótese de custos unitários constantes com as mudanças de escala, não é uma forma apropriada para o modelo. Sendo assim, é utilizado um tipo de programação inteira conhecida na literatura especializada por "mixed-integer programming" ou "programação mista-inteira".

1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

Conhecida a potencialidade de oferta de bagaço, que pode ser absorvida como combustível por um determinado mercado potencial, o objetivo deste estudo é minimizar os custos globais de utilização de modo a compatibilizar o suprimento às condições exigidas pela demanda.

Pretende-se com este estudo determinar o número e a localização de unidades de armazenamento e beneficiamento de bagaço, e os tipos e quantidades de bagaço transportado de cada usina e de cada unidade de beneficiamento para cada centro consumidor, e de cada usina para cada unidade de beneficiamento.

O resultado deste trabalho pode subsidiar, em termos de planejamento, a política do Estado no direcionamento deste importante mercado em formação.

Os resultados desta modelagem devem contemplar as seguintes questões:

- Quantas unidades de beneficiamento e armazenamento devem existir?
- Onde elas devem ser localizadas (junto às usinas, ou às indústrias consumidoras ou intermediariamente entre as usinas e indústrias)?
- Qual é a diferença entre as soluções com e sem unidades intermediárias de beneficiamento?
- Qual é o volume de bagaço envolvido nas plantas de beneficiamento?
- Quais tipos de bagaço são distribuídos?
- Quais usinas enviam diretamente o bagaço para as indústrias?
- Qual é o volume envolvido?
- Que tipos de bagaço cada indústria irá consumir?
- Qual o custo da energia bagaço para cada indústria?
- Como se comparam os vários tipos de bagaço?

1.3. ESCOPO E LIMITAÇÕES

Foi desenvolvido um modelo matemático que tenta ser uma representação da realidade do problema encontrado. O cenário escolhido para a sua aplicação foi a Divisão Regional Agrícola de Ribeirão Preto, em face de possuir a maior e mais desenvolvida indústria sucro-alcooleira do país, em correspondência com um promissor mercado potencial para o bagaço.

O universo da pesquisa na região foram todas as 40 indústrias de açúcar e álcool e as 23 principais indústrias consumidoras de óleo combustível e lenha. Os dados da pesquisa são do segundo semestre de 1984 e foram obtidos diretamente com as

indústrias e usuários, enquanto que os demais dados do problema foram retirados das referências bibliográficas citadas.

Foi considerada a utilização do bagaço como combustível e as tecnologias de uso com maiores possibilidades de se consolidarem. Para diminuição do porte do problema foram estudados apenas os tipos de bagaço mais representativos no mercado.

As limitações básicas para a aplicação do modelo proposto são de duas ordens: o porte do problema e a fundamentação empírica para algumas hipóteses de custos.

O porte do problema corresponde a sua restrição mais forte, pois dependendo da dimensão, o tempo de computação pode tornar proibitiva a aplicação de "programação mista-inteira" para obtenção da solução ótima. Neste caso, devem ser usados e/ou desenvolvidos métodos heurísticos de modo a obter soluções aproximadas da situação ótima.

A segunda limitação diz respeito as hipóteses de custos, especialmente para aquisição de matéria-prima, armazenagem e beneficiamento de bagaço. Como o mercado de bagaço está em formação, não existe estatística confiável em relação a preços. A ausência de plantas de beneficiamento operando industrialmente e em várias escalas de produção também dificulta a consistência das informações, pela necessidade de extrapolar os dados. É importante salientar, porém, que os custos são tão somente parâmetros do modelo; assim, desde que se obtenham dados mais confiáveis basta modificar estes parâmetros.

1.4. DELINEAMENTO DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos principais aspectos envolvidos com o tema desta dissertação, iniciando pelos mais importantes trabalhos sobre aproveitamento de bagaço. Depois são revistas as principais contribuições sobre a teoria da localização, e, por último, são revistos trabalhos que tratam da questão localizacional da indústria e de problemas

de grande porte.

O capítulo 3 apresenta o cenário para a aplicação do modelo, mostrando as características do bagaço de cana, suas formas de utilização, as principais aplicações e o mercado potencial.

O capítulo 4 relaciona inicialmente a teoria de localização aos modelos localizacionais, descreve os modelos mais utilizados e apresenta as principais técnicas utilizadas para a sua solução. São abordados também as técnicas para a solução dos problemas localizacionais com economias de escala, e os pacotes computacionais de resolução.

O capítulo 5 apresenta o problema real a ser resolvido, os parâmetros e hipóteses para a modelagem, e o modelo matemático completo. Em apêndice, encontra-se o detalhamento dos custos utilizados na modelagem.

O capítulo 6 apresenta o algoritmo de resolução adotado, detalha os métodos e heurísticas selecionadas, e principais características do programa de computador que executa o modelo proposto, e apresenta os principais resultados obtidos.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e as recomendações para a melhoria do modelo e desdobramentos da pesquisa.

A figura 1.1. apresenta de forma simplificada a sequência do trabalho.

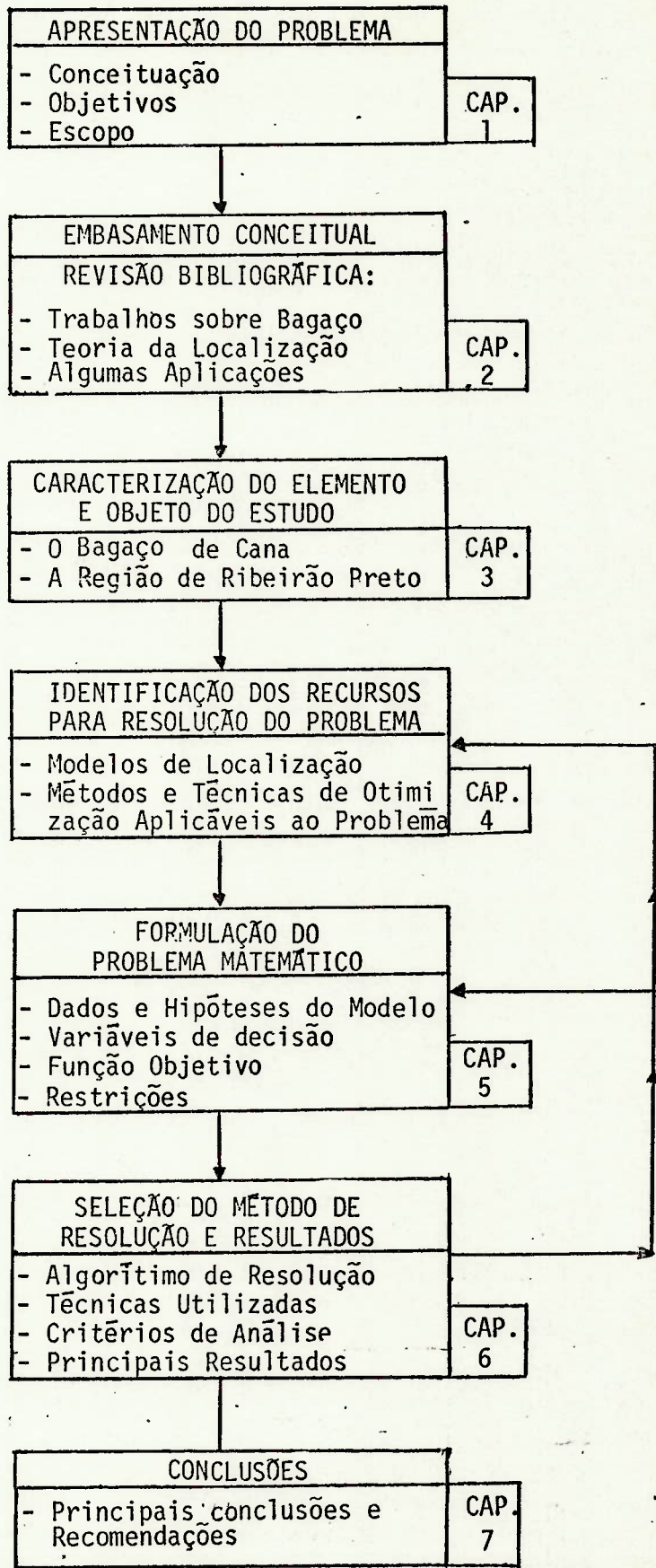


Figura 1.1 - Sequência do Trabalho

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como um dos objetivos deste estudo é determinar o número e a localização de plantas de beneficiamento de bagaço com a finalidade de minimizar os custos totais de utilização, pretende-se examinar neste capítulo os principais aspectos deste tema.

Inicialmente, será feito uma revisão dos principais e mais recentes trabalhos sobre o aproveitamento dos excedentes de bagaço de cana.

Posteriormente, serão mostrados alguns detalhes da Teoria da Localização, através de um breve resumo histórico, salientando os trabalhos mais relevantes, com destaque para a contribuição de autor brasileiro. Finalmente será feita a revisão de trabalhos que tratam da localização industrial e de problemas de grande porte.

2.1. APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA

Almeida [1], ao tratar dos rendimentos de bagaço nas usinas para produção de vapor, faz algumas considerações sobre sua análise elementar, compara o bagaço com outros combustíveis e aborda a questão da sua conservação e armazenamento.

O Ministério da Indústria e Comércio, vide referência [11], desenvolveu, talvez, a primeira grande contribuição sobre o tema, procurando demonstrar a importância deste insumo dentro da agroindústria canavieira, seja como energético ou como matéria-prima.

Nos anais do seminário sobre bagaço promovido pela COOPERSUCAR, vide ref. [50], são abordados os aspectos sobre

a produção de excedentes de bagaço, as tecnologias de uso, os custos envolvidos, e o mercado existente ou a ser criado no Estado de São Paulo.

A Usina Santa Lydia, através da Bagatex, empresa que fornece bagaço enfardado, mostra em [54] o seu processo de fabricação e faz uma comparação com o bagaço "in natura", mostrando as vantagens do bagaço beneficiado em relação ao "in natura".

Coelho & Oliveira [17] da DEDINI, fabricante de caldeiras para bagaço, analisam a potencialidade do bagaço como substituto energético do óleo combustível e madeira, tendo como referência a obtenção de bagaço a partir de uma destilaria autônoma para produção de álcool, de 120.000 litros/dia.

A ELETROBRÁS através de um trabalho a nível interministerial [23] deu a mais importante contribuição sobre o aproveitamento energético dos resíduos da agroindústria da cana de açúcar (vinhoto e bagaço) para todo o país. São analisados entre outros fatores, o estado atual da arte, as possíveis utilizações, as ofertas e demandas potenciais para cada Estado, os custos envolvidos, a otimização energética de destilarias visando a produção de bagaço e outras considerações.

O Seminário de Tecnologia Industrial promovida pela COOPERSUCAR, vide ref. [52], examinou questões envolvendo a movimentação do bagaço nas usinas e destilarias, os processos de beneficiamento de bagaço, a sua utilização em gasogênio, a adaptação de caldeiras a óleo para queima de bagaço e outras aplicações como matéria-prima.

O Seminário de Avaliação do Bagaço promovido pela SOPRAL, vide ref. [49], apresentou importantes contribuições sobre as questões econômicas do aproveitamento do bagaço como combustível, os processos de secagem do bagaço e a otimização energética das unidades geradoras de bagaço, visando a sua sobra.

O ITAL [32] desenvolveu um estudo sobre economia de energia e redução de custo na indústria de suco de laranja, com o consumo de bagaço em substituição ao óleo combustível.

Wilheim [58] desenvolveu um trabalho a pedido da STI - Secretaria de Tecnologia Industrial do MIC, onde são tratadas as principais questões referentes a oferta e demanda de bagaço. É de grande relevância as estimativas de custos e investimentos descritos, principalmente para a matéria-prima e armazenagem.

O IPT desenvolveu um trabalho, vide ref. [46], da qual este autor foi o coordenador, que objetivou analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização do bagaço como energético, em uma específica região do Estado. Neste trabalho foi resolvido o problema clássico de transporte, para ofertas e demandas potenciais, e para uma particular indústria foi analisada a viabilidade econômica da utilização do bagaço.

O SEADE publicou um artigo, vide ref. [44], onde mostra os efeitos do PROALCOOL na Região de Ribeirão Preto, principalmente sobre as estruturas da propriedade e da produção, sobre os fluxos de migração interna e composição da mão-de-obra e salários.

Há inúmeros outros trabalhos e artigos sobre o bagaço de cana, e seria por demais exaustiva a tentativa de descrevê-los. Para qualquer referência adicional, existe um Guia de Informações e Bibliografias Básicas [12] disponível para consultas.

Vale apenas ressaltar que todas estas publicações são recentes, posteriores a 1981, coincidindo com a época que o bagaço de cana passou a ser utilizado como energético fora dos limites das usinas de açúcar e destilarias de álcool.

2.2. TEORIA DA LOCALIZAÇÃO

Em razão do caráter multidisciplinar da Teoria de Localização, de volumosa bibliografia e dos objetivos deste estudo, serão mencionados apenas as contribuições mais relevantes. O leitor interessado no assunto pode se reportar a obra de Azzoni [4,5,6] que apresenta uma análise crítica e efetua uma síntese dos principais trabalhos sobre teoria da Localização.

Nesta seção será apresentado, através de um tratamento puramente informativo, um breve resumo histórico e os fatores aglomerativos da Teoria da Localização. Os principais modelos localizacionais juntamente com os métodos de resolução serão apresentados no Capítulo 4.

2.2.1. Histórico

Apesar da Teoria da Localização estar intimamente ligada ao planejamento da produção, também os cientistas sociais têm apresentado diversas contribuições para o setor. De qualquer forma, os principais trabalhos tem sido de economistas alemães, que até pouco tempo responderam quase que exclusivamente pelo desenvolvimento desta teoria.

Segundo Azzoni [6] a origem dessa teoria pode ser atribuída a três autores alemães: Von Thünen (1842), W. Lauthardt (1882), Alfred Weber (1909). Embora os mesmos não dêem idêntico tratamento ao problema, tiveram uma característica comum ao tratar o problema de localização apenas pelo lado dos custos, negligenciando os aspectos relacionados com a receita. Para esses autores, a localização ótima é a que minimiza os custos. A crítica a esta abordagem é que ela pressupõe uma concorrência perfeita nos mercados.

Ainda segundo Azzoni [6] a partir de August Löh (1936) desenvolveu-se uma teoria que trata da localização industrial como dependente de custos e receitas. Coube porém, a

Greenhut M.L. (1956) pesquisar no sentido de difundir os dois enfoques numa teoria mais realista. W. Isard (1956) conseguiu desenvolver uma teoria mais geral em termos de princípio de substituição, considerando a teoria da localização como um ramo da teoria econômica, abordando-a através da maximização de lucros.

Numerosos outros autores apresentaram contribuições diversas, merecendo destaque o trabalho de Leme [35], principalmente por se tratar de uma obra que considera as condições da economia brasileira. Em seu trabalho, Leme incorpora aos modelos clássicos da teoria da localização (Weber, Lösch e Thünen) alguns instrumentos novos como a teoria dos grafos e a programação matemática. Estabelece ainda um esquema integrativo do efeito dos fatores localizacionais: transporte, aglomerativo e desaglomerativo, com os modelos clássicos da teoria da localização, através de uma analogia física.

Certamente não se pretendeu esgotar o rol dos autores que tratam do assunto, mas conforme mencionado no início, apenas situar dentro da literatura o tipo de teoria com que se está lidando.

2.2.2. Fatores Aglomerativos na Teoria da Localização

Os fatores localizacionais aglomerativos tem recebido ultimamente, em detrimento dos demais, uma maior importância, merecendo dos pesquisadores maiores atenções.

Segundo Leme [35] o motivo pelo qual acontece a aglomeração, está na possibilidade de se reduzir o custo unitário de transformação com o volume de produção, devido às denominadas economias de escala. Assim, necessário se faz conhecer o custo de produção em função da escala.

De acordo com Déan [22] existem basicamente dois métodos aplicáveis na prática para o estabelecimento do custo de produção em função da escala: o método de comparação dos custos

orçados de fábricas de diferentes dimensões, baseado no conhecimento de dados técnicos da produção, e o método da análise estatística dos dados de custos, apurados pela contabilidade em diversas unidades, de diferentes dimensões, pertencentes a mesma empresa, produzindo o mesmo produto.

Segundo Willian [59] o porte do equipamento e o seu custo tem uma correlação que se exprime muito bem por uma relação exponencial conhecida como "equação do fator a seis décimos". Chilton [16] apresentou uma generalização do conceito de fatorização, de modo a torná-lo um princípio de aplicação mais geral:

$$C_n = C \cdot n^\beta \quad (2-1)$$

onde:

C_n = Custo da nova fábrica;

C = Custo da antiga fábrica;

n = Razão entre a escala de produção da nova e antiga fábrica;

β = expoente que depende do tipo de indústria.

Peter & Timmerhaus [34] apresentam uma série de expoentes para custo de equipamentos, mão-de-obra, e custos de unidades instaladas, em função da escala de produção.

2.3. MODELOS DE TRANSPORTE E DE LOCALIZAÇÃO

Apresenta-se, a seguir, a revisão bibliográfica de trabalhos que trazem alguma contribuição para com o estudo aqui desenvolvido.

Wanderley [55] apresenta um estudo de minimização de custos de reunião e de distribuição de matérias-primas consumidas na Indústria Siderúrgica, com o objetivo de otimizar a localização de novas siderúrgicas. É utilizada a Programação Discreta, Inteira, sendo desenvolvido um modelo suscetível de ser resolvido pelo método "branch and bound".

Hollander [30] trata do problema da determinação do número e da localização de centros de distribuição, e apresenta um algoritmo, heurística, para resolver um problema real.

Wright [59] aplicou para o caso do escoamento da safra agrícola paranaense, com problemas de transporte e armazenamento, o Algoritmo de Ford-Fulkerson, objetivando localizar e quantificar os custos dos pontos de estrangulamento, simulando a melhoria da infra-estrutura possíveis na reorientação dos fluxos.

Costa [19] estudou a distribuição de gás liquefeito de petróleo - GLP por uma empresa privada na Grande São Paulo, objetivando a localização ótima de bases operacionais. Foi utilizado o Algoritmo Ford-Fulkerson-"out-of-kilter".

Assis [2] objetivando avaliar a expansão da capacidade de produção na indústria brasileira de cimento, em um determinado período de análise, usou um modelo de "programação mista-inteira", tendo em vista que os custos de investimento apresentam economias de escala.

Assis [3] utilizando a "programação mista-inteira" mostra como a programação matemática pode ser usada para formular modelos capazes de escolher entre projetos, e ao mesmo tempo, realizar o planejamento para um setor inteiro.

Kendrick & Stoutjesdijk [53] apresentam um modelo matemático de aplicação geral, com variáveis reais e inteiras, utilizado para análise de projeto e planejamento de investimentos.

Feldman & Ray [24] desenvolveram uma heurística para solução de problemas de localização de armazéns, quando os custos de armazenagem são representados por funções côncavas contínuas.

Kuehn & Hamburger [35] desenvolveram uma heurística para localização de armazéns, objetivando maximizar os lucros através do equacionamento do custo de operação do armazém com custo de transportes e com o incremento na rapidez de entrega.

Crowder & Johnson [20] desenvolveram um programa de computador que utiliza simultaneamente as técnicas de plano de cortes e "branch and bound", para solução de problemas de grande porte utilizando programação linear com variável 0-1. Este programa utiliza os pacotes da IBM de programação Linear MPSX/370 e de programação inteira MIP/370.

Galvão [25] estuda a localização de instalações (depósito de distribuição, escolas, hospitais) que atendem à população de uma determinada área geográfica. O método utilizado é o de localização em redes, abordando em detalhes o problema das p-medianas.

2.4. CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica aqui apresentada não esgota o assunto, porém serviu para a obtenção de um conhecimento básico do que tem-se pesquisado sobre o tema deste estudo.

Em todos os trabalhos referenciados, procurou-se não descrevê-los detalhadamente, nem criticá-los ou compará-los com o que se pretende neste estudo, pois isto foge ao escopo proposto. De qualquer forma, todos, em maior ou menor grau, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

CAPÍTULO 3 - O OBJETO E O CENÁRIO DO ESTUDO

Este capítulo é dividido em duas partes. Na primeira é exposto sucintamente o elemento objeto do estudo - o bagaço de cana, sub-produto da indústria sucro-alcooleira, mostrando como ele é obtido, descrevendo suas principais características: formas em que é encontrado no mercado, seu mercado potencial e suas principais características como combustível. São apresentados também, como informação adicional, as principais aplicações do bagaço como matéria-prima industrial, muito embora por se tratar de utilizações ainda incipientes, elas não sejam consideradas neste estudo.

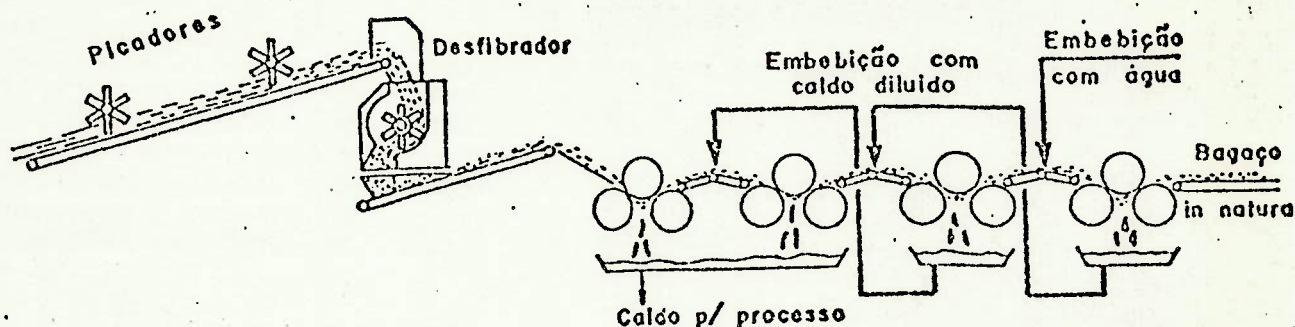
A segunda parte justifica a escolha da Divisão Agrícola de Ribeirão Preto como cenário deste estudo, relacionando a sua importância no contexto do PROALCOOL, para o Estado e o país, ao mesmo tempo em que são estabelecidas relações de causa e efeito entre a oferta e demanda de bagaço nesta área.

3.1. O BAGAÇO DE CANA

3.1.1. Definição

O bagaço é proveniente da cana de açúcar, da qual foi extraído o caldo para a produção do açúcar e álcool nas usinas¹. A separação caldo/bagaço é obtida procedendo-se a sua passagem num conjunto de rolos compressores, dispostos conforme mostra a figura 3.1.

¹ O termo "usinas" é usado para denominar as unidades geradoras de bagaço, que podem ser tanto as usinas de açúcar com destilarias anexas que produzem açúcar e álcool, como também as destilarias autônomas que produzem apenas álcool.



FONTE: Wilhelm |57|

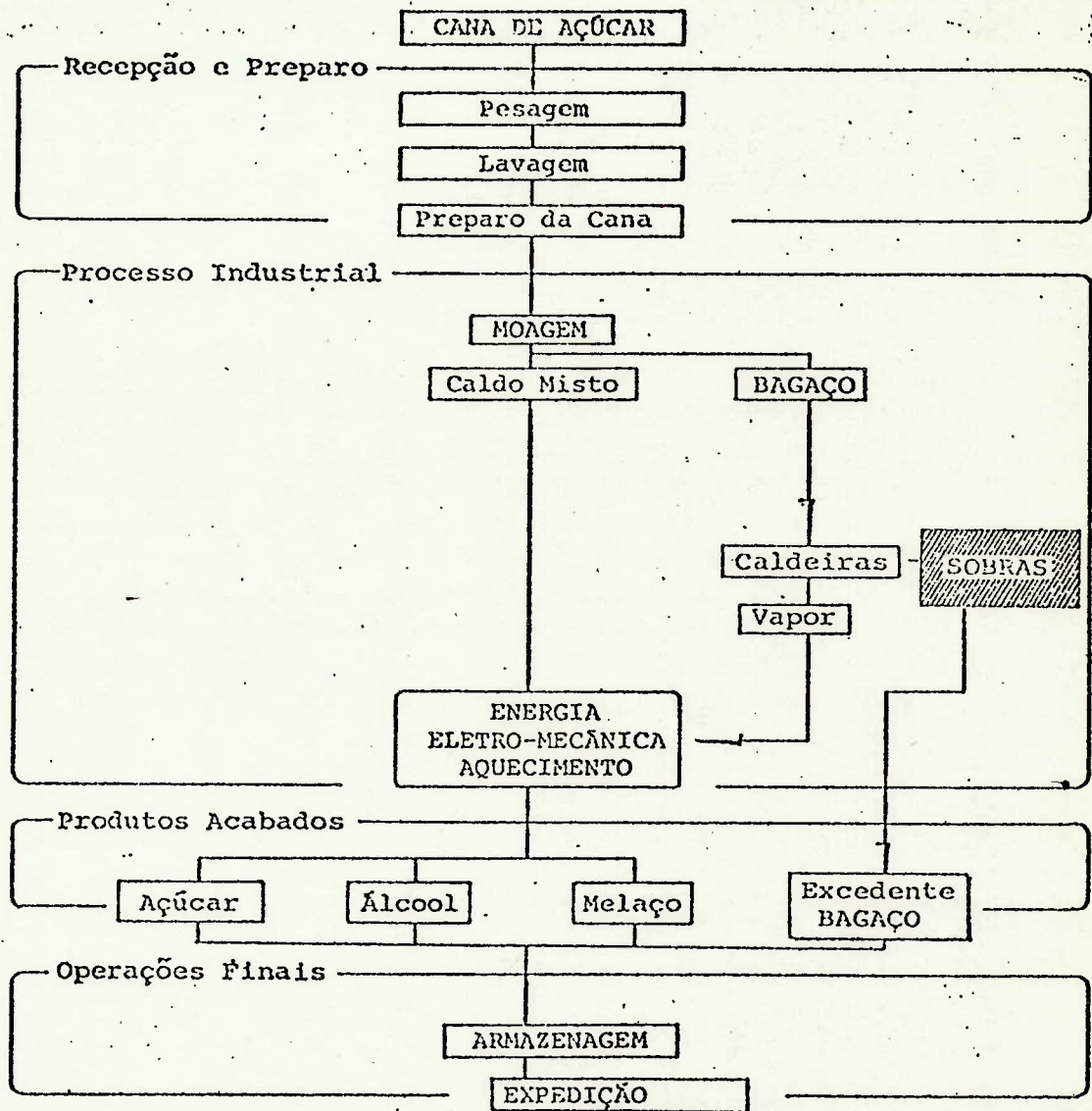
Figura 3.1 - Separação caldo/bagaço de cana

O bagaço deixa as moendas, contendo aproximadamente 50% de umidade e apresentando estrutura fibrosa e composição química semelhantes a da madeira.

As fibras tem uma granulometria variável, no entanto, os comprimentos não são superiores a 50 mm e aproximadamente 30% de células parenquimatosas (medula) têm dimensões inferiores a 0,3 mm.

A figura 3.2 mostra esquematicamente o fluxograma da produção do bagaço "in natura". Observa-se que o bagaço tem dois destinos: a maior parte é utilizada prioritariamente como combustível em caldeiras, para geração de vapor a ser utilizado no processo de produção de açúcar e/ou álcool. A sobra será destinada a outros usos.

Este estudo focaliza seus objetivos exclusivamente sobre esta quantidade excedente de bagaço.



FONTE: Wilhelm [57]

Figura 3.2- Fluxograma Esquemático da produção de bagaço

3.1.2. Características físico-químicas do bagaço

A Tabela 3.1 resume as principais características físico-químicas do bagaço.

PROPRIEDADE	VALOR/CONDIÇÃO
Composição média	
Fibra	13,0%
Açúcar	13,8%
Outras substâncias	2,3%
Água	70,3%
Cinzas	0,6%
Análise elementar	
C	46,3%
H	6,4%
O	43,3%
N	-
S	-
Cinzas	4,0%
Densidade aparente de pilha (kg/m^3)	150 (in natura, $\mu = 50\%$) 370 (enfardado, $\mu = 20\%$) 550 (extrudado, $\mu = 12\%$)
Densidade aparente de partícula (kg/m^3)	1000 (extrudado, $\mu = 12\%$)
Densidade esquelética de partícula (kg/m^3)	1466 (extrudado, $\mu = 12\%$)
Poder calorífico superior (Kcal/kg, base seca)	4550
Poder calorífico inferior (Kcal/kg, base seca)	4200
Relação AR/Combustível (mássica, base seca)	5,36

onde μ = umidade do bagaço

FONTE: IPT |46|

Tabela 3.1 - Propriedades Físico-Químicas do Bagaço de Cana

3.1.3. Tipos de Bagaço

O mais difundido e comercializado tipo de bagaço é o "in natura", como sai das moendas das usinas. Porém, dependendo da natureza de sua aplicação, há um correspondente tipo de bagaço mais adequado ao uso. Por exemplo, para utilização com fim energético, em fornos de tratamento térmico, o bagaço deve passar por um processo de beneficiamento, transformando-se em "peletes" ou "briquetes". Estes produtos são utilizados em gaseificador para gerar o "gás pobre", que quando em combustão produz o calor exigido pelo processo industrial.

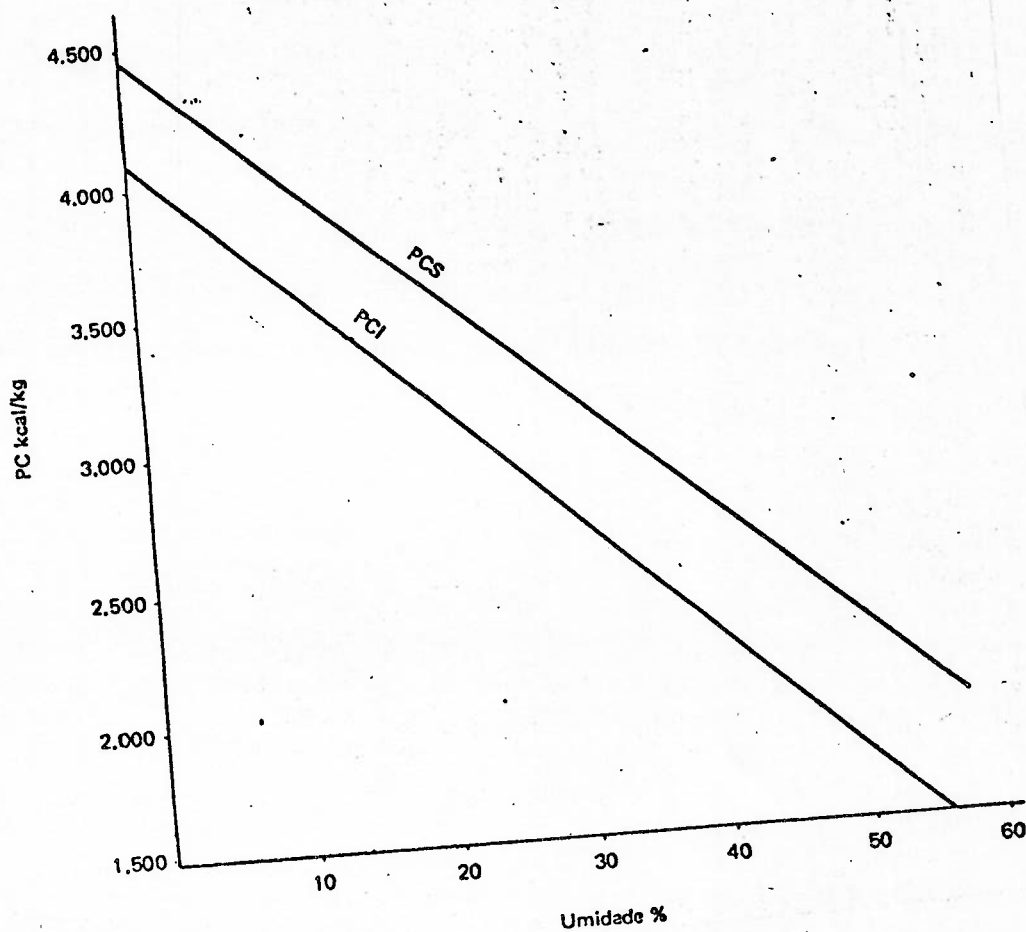
Contudo, não é somente o uso final que indica o tipo de bagaço mais adequado. O limite econômico da distância de transporte é outro elemento fundamental, haja visto que quando se transporta bagaço "in natura", metade da massa transportada é água.

Uma forma de se diminuir a umidade do bagaço é submetê-lo a um processo de secagem, o que causará um aumento do seu poder calorífico e do seu rendimento térmico.

A Figura 3.3 mostra os poderes caloríficos do bagaço em função da umidade, segundo a fórmula de E. Hugot [31].

Existem vários processos de secagem de bagaço, entre eles:

- Secagem natural ao ar livre;
- Secagem utilizando gases quentes produzidos por um combustor;
- Secagem utilizando os gases quentes provenientes das chaminés das caldeiras;
- Secagem pela queima do próprio bagaço;
- Secagem com catalizadores químicos;
- Combinação de alguns destes processos.



FONTE: ELETROBRÁS [23]

Figura 3.3 - Poder Calorífico Superior e Inferior do Bagaço de Cana em Função da Umidade Calculado pelas Fórmulas de Hugot.

FÓRMULA DE E. HUGOT (ref. [31])

$$PCS = 4.600 - 12s - 46\mu$$

$$PCI = 4.250 - 12s - 48,5\mu$$

$$s = 4\% - \text{teor de açúcar}$$

$$\mu = \text{umidade em \% no bagaço}$$

$$PCS = \text{Poder Calorífico Superior em Kcal/kg}$$

$$PCI = \text{Poder Calorífico Inferior em Kcal/kg}$$

Todavia, somente a secagem algumas vezes não é suficiente para viabilizar economicamente o transporte do bagaço, torna-se também necessário aumentar a sua densidade, o que pode ser feito através de um processo de compactação. Há dois processos básicos: enfardamento que utiliza prensas e opera com bagaço úmido ou pré-seco e a briquetagem e peletização que operam com bagaço seco, com umidade entre 12 a 18%.

Dentre as tecnologias de compactação, apenas o processo de enfardamento já é utilizado em escala normal de produção. A briquetagem e peletização ainda se encontram em fase de desenvolvimento, abaixo de uma escala industrial regular.

As principais alternativas quanto ao tipo de bagaço para atender as exigências de mercado são:

- Bagaço "in natura" com 50% de umidade, porém enfardado
- Bagaço pré-seco, com 20 a 30% de umidade, solto, a granel
- Bagaço enfardado, com 20% de umidade
- Bagaço briquetado, com cerca de 12% de umidade
- Bagaço peletizado, com cerca de 15% de umidade.

3.1.4. Principais Aplicações para o Bagaço

Conforme já mencionado, o bagaço de cana tem sido utilizado prioritariamente e tradicionalmente pelo próprio setor sucro-alcooleiro. Os excedentes dessa aplicação podem ser consumidos como matéria-prima ou como energético. Apesar desse estudo se restringir à segunda alternativa, serão apresentadas aqui também, a título de ilustração e de forma sucinta, as principais aplicações do bagaço como matéria-prima industrial.

3.1.4.1. Bagaço de Cana como Energético

O bagaço como energético é a alternativa mais promissora a curto prazo, podendo substituir com vantagens o óleo combustível e a lenha.

A aplicação mais difundida e tradicional, com tecnologia perfeitamente consolidada, é em caldeiras para geração de vapor. Nesta aplicação, a experiência das usinas foi de grande importância para o avanço tecnológico. Porém, o uso térmico não se restringe a caldeiras, podendo o bagaço também ser utilizado em fornalhas para geração de gases quentes, fornos para tratamento térmico de metais e fornos cerâmicos.

O aproveitamento do bagaço de cana em caldeiras e fornalhas, como substituto do combustível atual, requer modificações cujo grau depende do tipo e porte do equipamento e do energético utilizado; em alguns casos torna-se necessária a própria troca do equipamento.

No caso de fornos para tratamento térmico de metais e fornos cerâmicos, valem as mesmas observações anteriores, porém, estes equipamentos não podem consumir qualquer tipo de bagaço. Para os primeiros, não é possível a utilização direta do combustível sólido; assim, a substituição implica necessariamente a conversão do bagaço em gás, o que por sua vez exige pré-beneficiamento do bagaço (secagem, peletização ou briquetagem). Para os segundos, que precisam operar em temperaturas bem elevadas, o bagaço com 50% de umidade não é tecnicamente viável, necessitando uma pré-secagem para ser utilizado.

Embora seja possível, dentro das condições mencionadas, o uso de bagaço em fornos, é em caldeiras e fornalhas que ele vem sendo utilizado com mais frequência.

Com relação às indústrias que consomem bagaço, pelo menos um dos aspectos abaixo está presente:

- Alto custo da energia relativamente ao custo total de produção;
- Consumo de grande quantidade de energia térmica em detrimento da elétrica;
- Localização fora do perímetro urbano;
- Período de produção próximo a sazonalidade da indústria sucroalcooleira.

Enquadram-se nestes requisitos as indústrias do ramo alimentício, principalmente de sucos e concentrados de frutas, óleos vegetais, laticínios e café solúvel.

Algumas observações merecem comentários. Primeiro, a localização da indústria no espaço urbano é um fator inibidor ao consumo de bagaço. Esta afirmação é baseada em duas constatações: uma devido aos problemas de poluição causados pelos particulados resultantes da combustão do bagaço e a outra relativa a área para armazenagem de bagaço: ou a indústria não tem área disponível ou os altos preços dos terrenos urbanos inviabilizam a sua aquisição para esta finalidade. Outra observação importante é que o período de operação da indústria pode favorecer o consumo de bagaço do tipo "in natura", que tem problemas de deterioração quando armazenado na entressafra da cana.

Com relação aos combustíveis substituídos a maior vantagem econômica tem sido no caso do óleo combustível, apesar de que a substituição da lenha, por se tratar de um combustível sólido como o bagaço, demande, a priori, menores alterações e investimentos.

Este é o mercado potencial para o bagaço como energético; para que ele se concretize, será necessário superar os problemas tecnológicos de processos e equipamentos e satisfazer os requisitos econômicos.

3.1.4.2. Principais Aplicações do Bagaço como Matéria-Prima

i) ADUBO

O bagaço pode ser usado na produção de adubo na própria usina, misturado com vinhaça e outros componentes para formar a denominada "compostagem". Esta aplicação vem sendo gradativamente desenvolvida.

ii) RAÇÕES

O bagaço pode ser utilizado de várias formas para a produção de ração: simples enchimento, volumoso (bagaço tratado), como alimento completo (tratamento enzimático); como proteína unicelular (hidrólise ácida a frio ou a quente) e como cama de frango. Devido a alguns problemas: preços, especificações rígidas, necessidades de pré-beneficiamento e entraves tecnológicos, ainda não está dissimulado este uso, embora exista um grande mercado potencial inexplorado.

iii) PAPEL E CELULOSE

A utilização de bagaço nesta aplicação já é uma realidade no país, não existindo problemas tecnológicos que possam inibir a sua expansão. A dificuldade de penetração neste mercado se deve à competitividade com a madeira, pois os produtores de celulose e papel normalmente possuem seu próprio reflorestamento.

iv) FURFUROL

Para a produção de furfurool a partir do bagaço de cana, não há maiores dificuldades tecnológicas, havendo inclusive, uma fábrica operando no país. As barreiras para a sua expansão ficam por conta da aparente indefinição do lado do consumo de furfurool, excessivamente concentrado em poucas indústrias far

macêuticas e na Petrobrás, além do mercado externo.

v) ALCÓOL

No Brasil, embora ainda não se faça industrialmente a hidrólise ácida do bagaço, já há estudos bem avançados, adaptados à conjuntura nacional, desenvolvidos principalmente após o advento do PROALCOOL; não há, porém, uma tecnologia para implantação industrial. Sendo assim, as perspectivas de curto prazo para o bagaço nesta aplicação são bastante remotas.

vi) AGLOMERADOS

A chapa de aglomerado produzido com bagaço de cana apresenta vantagens em relação a chapa de madeira, no teste de tração e pelo menor conteúdo de resina. Porém, ela apresenta no processo de fabricação duas desvantagens; de um lado, o alto teor de sílica do bagaço torna-o bastante abrasivo e, por outro, o pó fino do bagaço que fica em suspensão provoca problemas de saúde. Outrossim, a sazonalidade da produção de bagaço, que implica em grandes áreas de armazenamento na indústria, e os produtores altamente oligopolizados e com seu próprio reflorestamento, tornam inviáveis a curto prazo esta aplicação.

3.2. O CENÁRIO DE ESTUDO

O Programa Nacional do Alcool - PROALCOOL, instituído em novembro de 1975, configurava, no ato de sua criação, uma resposta ao primeiro "choque" do petróleo, tendo seu caráter de alternativa energética ao consumo de gasolina.

Por outro lado, o PROALCOOL apareceu também como uma alternativa viável a utilização da cana, uma vez que a "superprodução" do açúcar determinara a queda de seu preço no mercado internacional. Este foi um dos motivos essenciais para que a resposta ao programa fosse dada primeiramente pelos produtores de açúcar. Desta forma, a incorporação das destilarias "anexas" as

usinas de açúcar foi feita, até certo ponto, sem maiores dificuldades, pois o investimento também foi subsidiado pelas condições de financiamento introduzidas pelo programa.

Assim, em um primeiro instante, o PROÁLCOOL contribuiu para dar vazão à safra de cana-de-açúcar, ao mesmo tempo que diminuía a oferta de açúcar no mercado internacional.

A Região Agrícola de Ribeirão Preto, por possuir tradição no cultivo da cana-de-açúcar, estrutura pré-existente, poder político, altos índices tecnológicos e, sobretudo, capacidade e agilidade para responder aos estímulos à redistribuição de seu espaço produtivo, se tornou o centro preferencial dos investimentos gerados pelo PROÁLCOOL no Estado de São Paulo, constituindo-se na sua principal região produtiva.

A importância do PROÁLCOOL na região pode melhor ser dimensionada quando se analisa a participação na produção de açúcar e álcool não só em relação ao Estado, mas também, em relação ao país.

Há na Região de Ribeirão Preto 26 usinas de açúcar com destilarias anexas e 14 destilarias autônomas, que na safra de 84 corresponderam por 40% da produção de açúcar e 35% da produção de álcool do Estado. Este, por sua vez, lidera a produção nacional, com cerca de 45% e 65% respectivamente do total de açúcar e álcool do país.

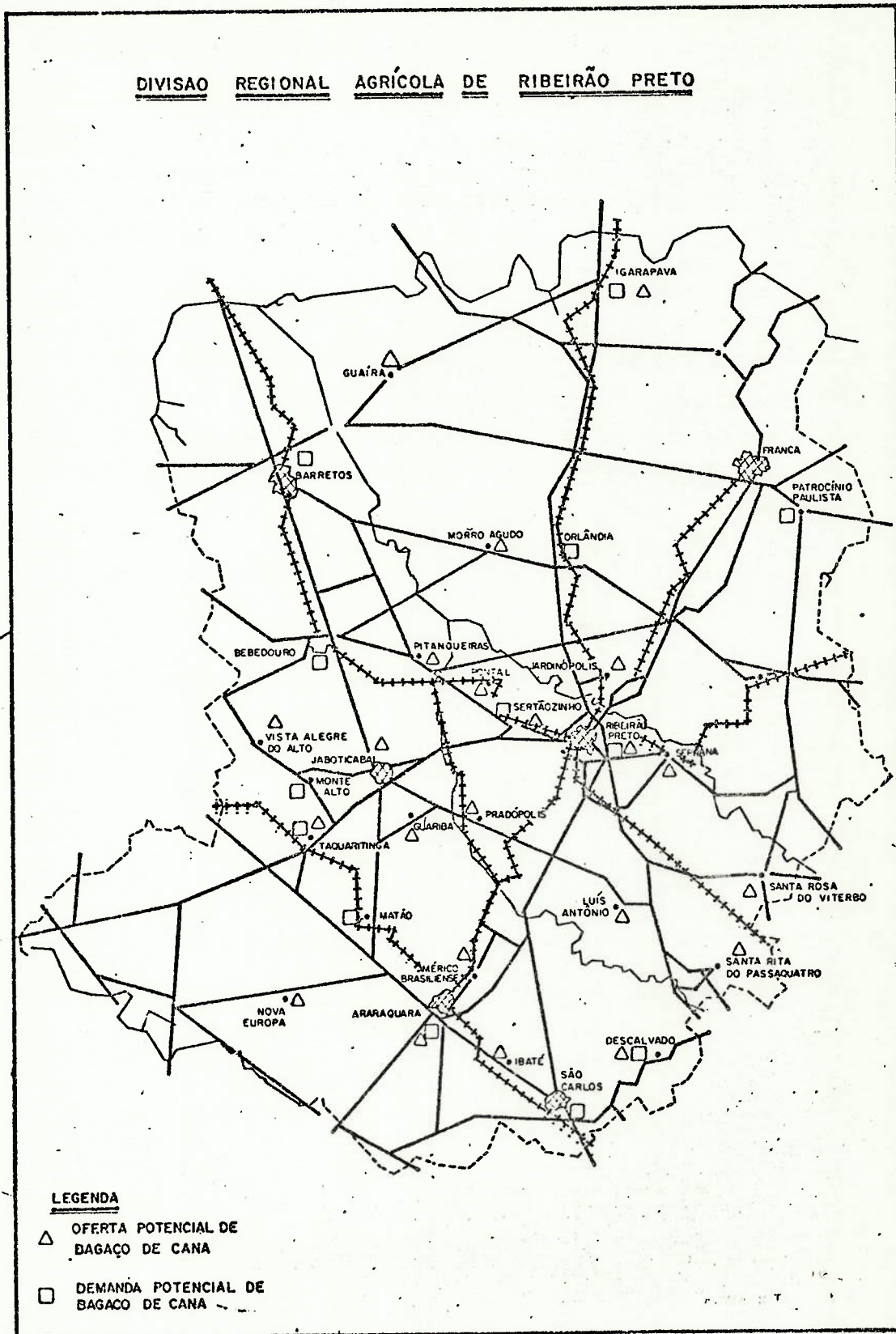
Assim, o impacto de um programa de tal dimensão como o PROÁLCOOL na região, além dos efeitos macro-econômicos que provovou, propiciou condições para o desenvolvimento, ainda que incipiente, de um mercado para o bagaço. Isto porque, de um lado trouxe o desenvolvimento e modernização das indústrias sucro-alcóoleiras, gerando cada vez maiores excedentes de bagaço, do outro lado favoreceu o fortalecimento de indústrias na região, particularmente de alimentos, potenciais consumidoras de bagaço.

Vale ressaltar que, antes de 1981, o uso térmico do bagaço na região fora dos limites da usina era pouco signifi-

cativo, com um consumo naquele ano de 12.000 toneladas, segundo dados do Conselho Nacional de Petróleo - CNP. Desde então este consumo vem crescendo e em 1984 atingiu 332.000 toneladas, valor ainda muito aquém da oferta potencial, estimada em 1.250.000 toneladas.

Por possuir o setor sucro-alcooleiro mais ativo e moderno do Estado, com capacidade geradora de excedentes comercializáveis de bagaço e por apresentar um potencial de mercado em pleno desenvolvimento, a Região Agrícola de Ribeirão Preto foi a área escolhida como cenário para o presente estudo.

A figura 3.4, mostra esta região, destacando os centros de oferta e demanda potencial de bagaço.



FONTE: IPT |46|

Figura 3.4 - Centros de Oferta e Demanda Potencial de Bagaço

CAPÍTULO 4 - MODELOS DE LOCALIZAÇÃO E MÉTODOS DE SOLUÇÃO

Inicialmente neste capítulo é feito um breve resumo ligando a Teoria de Localização aos modelos de localização. A seguir são apresentados os principais modelos de localização para uma unidade industrial, mostrando as vantagens e as hipóteses consideradas. Em seguida, procede-se ao detalhamento do Método de Centro de Gravidade, escolhido para determinar a localização inicial de unidades industriais intermediárias entre os pontos de oferta e de demanda.

Posteriormente são examinadas as técnicas de programação matemática utilizadas para a determinação de mais de uma localidade industrial, com destaque ao método mais utilizado: "Branch and Bound". São mostrados também dois tipos de tratamento matemático para a função de custo com economia de escala.

Na sequência são mencionados os programas de computação adequados à solução de problemas de localização com economias de escala, ou seja, problemas de programação Linear mista inteira. Finalmente é apresentado o programa MPS-TEMPO da BURROUGHS escolhido para a solução do problema em questão, e são feitas algumas observações sobre o método Simplex Revisado utilizado no referido programa.

4.1. ASPECTOS GERAIS

Segundo Leme | 35 | os métodos empregados na aplicação da Teoria da Localização são os indutivos e os dedutivos, todos de caráter quantitativo e voltados para a macro-localização (determinação da região ou cidade).

Entre os indutivos tem-se o estatístico, o histórico e o baseado em questionários. Os métodos dedutivos consistem em estabelecer um modelo representativo da realidade passiva

vel de tratamento matemático; porém, por não considerarem os aspectos qualitativos fornecem geralmente, apenas a solução sub-ótima do problema.

Objetivando superar esta dificuldade, existe um método que não aplica a Teoria da Localização, denominado "método dos orçamentos comparados". Para cada alternativa de localização este método considera os aspectos imponderáveis, orça as receitas e os custos e escolhe aquela que prevê o maior lucro. Este método, tem como grande vantagem a escolha da solução ótima da macro e micro-localização (escolha do terreno) e, como principal restrição o alto custo de sua aplicação, limitando portanto a sua abrangência. O ideal, de acordo com vários autores, é a utilização deste método complementarmente com os métodos baseados na Teoria da Localização.

Qualquer que seja o método utilizado, o que se busca é dar suporte às respostas dos planejadores privados ou governamentais para uma questão básica: onde produzir (e/ou armazenar)? Neste sentido, uma outra indagação não menos importante se coloca: quantas instalações deve existir para atender a um dado mercado?

Para a determinação do número de instalações existem duas abordagens: modelos para localização de somente uma unidade e modelos para localização de mais de uma unidade.

Segundo Hollaender [30], os modelos de localização de uma unidade de processamento são utilizados quando se sabe de antemão que deverá existir uma única unidade em toda a região a ser atendida ou, então quando fatores geográficos ou políticos permitem que se estabeleça uma divisão apriorística dessa região. Pode-se também utilizar esse modelo ao se transformar um problema de localização de N unidades de processamento, em N problemas de localização de uma única unidade de processamento.

Com relação ao modelo para localização de mais de uma unidade industrial, duas abordagens são consideradas: conjunto inicial infinito, em que as unidades podem se localizar em

qualquer ponto da região em estudo e o conjunto inicial finito, onde as unidades industriais podem se localizar em determinados pontos previamente escolhidos

Dentro destes enfoques, serão a seguir apresentados os principais modelos para localização industrial.

4.2. MODELOS PARA LOCALIZAÇÃO DE SOMENTE UMA UNIDADE INDUSTRIAL

Estes modelos são classificados como dedutivos, estão baseados na Teoria da Localização, consideram predominantemente o fator transporte, adotam como principal hipótese o conhecimento prévio do mercado e localização dos pontos de oferta e de demanda e são uma variação ou extrapolação da teoria clássica de Weber.

Segue-se uma breve descrição de cada modelo:

4.2.1. Modelo de Weber

Este modelo determina a localização ótima de uma unidade industrial, através da minimização dos custos de transporte. As hipóteses¹ para a sua aplicação são:

- Os transportes se dão em linha reta;
- Os custos de transporte são proporcionais à distância e ao peso a ser transportado.

Este modelo é resolvido através das derivadas parciais da função objetivo-custo de transporte e tem o inconveniente de não gerar a solução ótima, caso esta localização coincida com um dos pontos de oferta ou de demanda.

¹ LEME [35] critica as hipóteses de transporte admitidas no Modelo de Weber; e propõe uma adaptação do modelo às condições brasileiras.

Objetivando superar este problema, foram desenvolvidos dois métodos de resolução: o gradiente modificado de Kuhn e o procedimento de aproximação pelo Hiperbolóide (HAP). Estes modelos propõem uma modificação no enfoque da derivada parcial do modelo de Weber, resolvem iterativamente o problema e garantem a convergência para a solução ótima. Para maiores detalhes, recomenda-se a obra de Hollaender [30].

4.2.2. Modelo Mecânico de Varignon

Admitidas as mesmas hipóteses do modelo de Weber, este modelo determina a localização ótima através de uma solução puramente mecânica.

O mecanismo é furar num mapa os pontos de oferta e demanda. Para cada furo, passa-se um fio, que são unidos por um nó na extremidade sobre o plano do mapa e na outra extremidade são colocados pesos proporcionais ao produto da quantidade transportada de cada localidade multiplicado pelo custo tonelada quilômetro. A posição de equilíbrio do nó é a solução da localização procurada.

No caso de somente três pontos de oferta e consumo, existe um processo gráfico denominado "triângulo de pesos", que determina com rapidez e eficiência a localização ótima da indústria. Detalhes deste método estão em Hollaender [30] e Leme [35].

4.2.3. Método das Isodapanas

Este é um método gráfico de solução do problema de localização. O conceito de isodapanas foi inicialmente usado por Weber, para representar as linhas que se pode traçar em torno dos pontos que possuem o mesmo custo total de transporte, considerando-se todos os materiais transportados daquele ponto para todos os outros.

Este método foi posteriormente desenvolvido, segundo Leme [35], por Hoover e Pollander, para uma aplicação mais ampla, com custos de transporte não lineares.

A grande vantagem deste método é que a sua representação gráfica admite uma visualização dos custos de transporte em relação ao ponto ótimo, permitindo fazer análises comparativas entre diversas localidades, considerando outros fatores além do transporte. O seu inconveniente é a dificuldade de se trabalhar com vários pontos de oferta e demanda.

Para maiores detalhes deste método, recomenda-se consultar a obra de Hollaender [30].

4.2.4. Método dos Transportes Vinculados a um Grafo

Este método adota a abordagem de conjunto inicial finito, e admite como hipótese básica que o transporte está vinculado a rede de transporte existente e não em linha reta como preconizado pelos métodos descritos anteriormente.

A escolha da solução ótima, que minimiza os custos de transporte, é obtida através de um método gráfico, que utiliza as vias reais de transporte ligando as localidades, num processo denominado árvores de transporte.

O inconveniente deste método, comum aos métodos gráficos, é a impossibilidade de operar com muitos pontos de oferta e demanda.

Para maiores detalhes deste método, recomenda-se consultar a obra de Leme [35].

4.2.5. Método do Centro de Gravidade

Este é o mais simples e difundido método para localização de indústrias. Basea-se na determinação do centro de gravidade dos pontos de oferta e demanda, associando a cada um destes pontos um par de coordenadas cartesianas.

Para o caso de transporte de matéria-prima dos pontos de oferta até a unidade de processamento e transporte de produtos acabados desta unidade até os pontos de consumo, ou seja, no caso dos custos de transporte serem estabelecidos de acordo com os tipos de produto transportado, a determinação das coordenadas do centro de gravidade (X_g, Y_g) é feita da seguinte forma:

Sejam:

a_i = Abscissa do fornecedor i ;

b_i = Ordenada do fornecedor i ;

α_j = Abscissa do consumidor j ;

β_j = Ordenada do consumidor j ;

P_i = Peso total a ser transportado do fornecedor i para a fábrica

q = Número de centros de oferta;

CM = Custo de transporte de matéria prima por unidade de distância e de peso;

T_j = Peso total a ser transportado da fábrica ao consumidor j ;

CP = Custo de transporte do produto do tipo t por unidade de distância e de peso;

l = Número de centros de consumo

Então a partir das relações tem-se:

$$\sum_{i=1}^q |X_g - a_i| \cdot P_i \cdot CM = \sum_{j=1}^l |X_g - \alpha_j| \cdot T_j \cdot CP \quad (4-1)$$

$$\sum_{i=1}^q |y_g - b_i| \cdot P_i \cdot CM = \sum_{j=1}^l |y_g - \beta_j| \cdot T_j \cdot CP \quad (4-2)$$

onde:

$$|X_g - a_i| = (X_g - a_i) \text{ para } X_g > a_i$$

$$|X_g - a_i| = (a_i - X_g) \text{ para } X_g < a_i$$

As mesmas observações valem para:

$$|y_g - b_i|, |y_g - \beta_j|$$

Obtendo-se X_g e y_g

Pelo exposto, este método admite duas hipóteses:

- Os custos de transporte são lineares com a distância e com a quantidade (peso) transportada;
- Toda a matéria-prima é processada na fábrica cuja localização foi determinada pelas coordenadas (X_g, y_g)

Por facilidades no tratamento e por fornecer uma boa solução inicial para o problema de localização industrial, este método foi escolhido para a primeira solução de um processo iterativo, da localização das unidades industriais intermediárias entre os pontos de oferta e de demanda de bagaço.

4.3. MODELOS PARA LOCALIZAÇÃO DE MAIS DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL

Estes modelos, também de caráter dedutivo, são usados quando se sabe que deverá existir mais de uma unidade industrial, mas não é possível determinar previamente o mercado de cada uma.

Segundo Hollaender [30], as técnicas para resolver este tipo de problema podem ser:

- Técnicas numérico-analíticas;
- Técnicas de programação matemática;
- Técnicas de simulação em computadores;
- Técnicas heurísticas.

Dependendo da característica do problema, pode-se combinar o uso de mais de uma dessas técnicas. Por ser de interesse específico deste trabalho, serão apenas examinadas as técnicas de programação matemática, embora no método de solução adotado (capítulo 6) tenha sido também utilizada uma técnica heurística. Esta heurística contudo, utilizada como ferramenta complementar, foi desenvolvida própria e exclusivamente para a solução de determinadas partes do problema objeto deste estudo.

4.3.1. Técnicas de Programação Matemática

A utilização de Técnicas de Programação Matemática para o problema de localização de mais de uma indústria pode ter duas abordagens.

A primeira abordagem considera que o custo da instalação da indústria é composto apenas pela parte variável com o volume da produção e que a instalação industrial não apresenta economias de escala. Neste caso, o problema pode ser tratado com técnicas de programação linear ou com o algoritmo out-of-kilter.

A segunda abordagem considera que os custos da instalação são compostos por uma parte fixa e outra variável, que depende do volume da produção e/ou que a instalação industrial apresenta economias de escala com os níveis de produção. Neste caso, o problema deve ser resolvido por técnicas como a programação linear-mista-inteira, cujas variáveis inteiras (binárias) assumem valores zero ou um. Este enfoque representa melhor a realidade, sendo o adotado para este estudo.

Dentro desse tratamento, a forma escolhida para representar a função custo de produção de unidade industrial determinará a complexidade do problema em termos de número de variáveis inteiras.

Esta função obtida pelo conceito de fatorização, descrita na equação (2-1) do capítulo 2, pode também ser expressa por:

$$\varnothing \equiv p\delta + \alpha \cdot h^{\beta} \quad (4-3)$$

onde p representa o custo fixo da instalação, o coeficiente β representa a constante elástica, h o tamanho da capacidade instalada e α é uma constante de custo. A representação gráfica desta função é mostrada na figura 4.1.

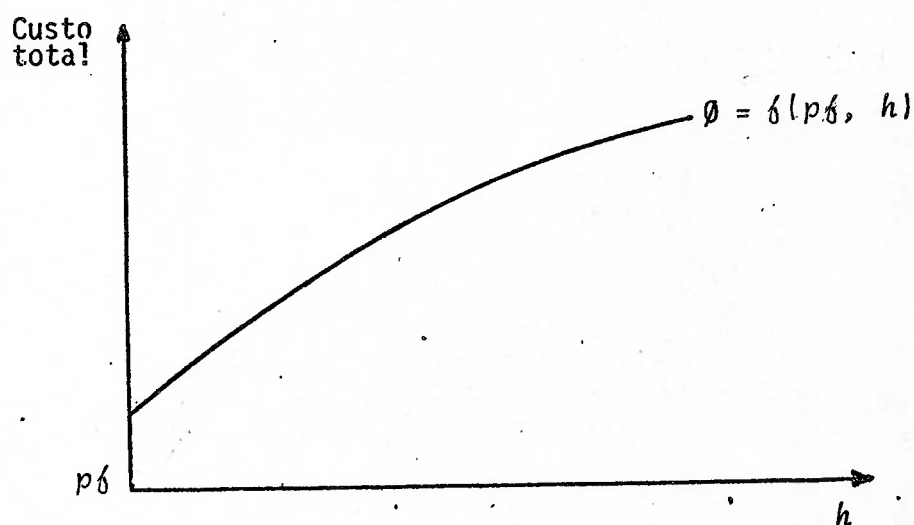


Figura 4.1 - Custo de Produção em Função da Capacidade Instalada

Para permitir um tratamento compatível com as técnicas de resolução deste tipo de problema, esta função necessita ser linearizada. Há duas formas de fazê-lo: a linearização em várias partes e a linearização em apenas duas partes.

A figura 4.2 mostra a aproximação por partes da função de custo, sendo no caso linearizada em 4 trechos.

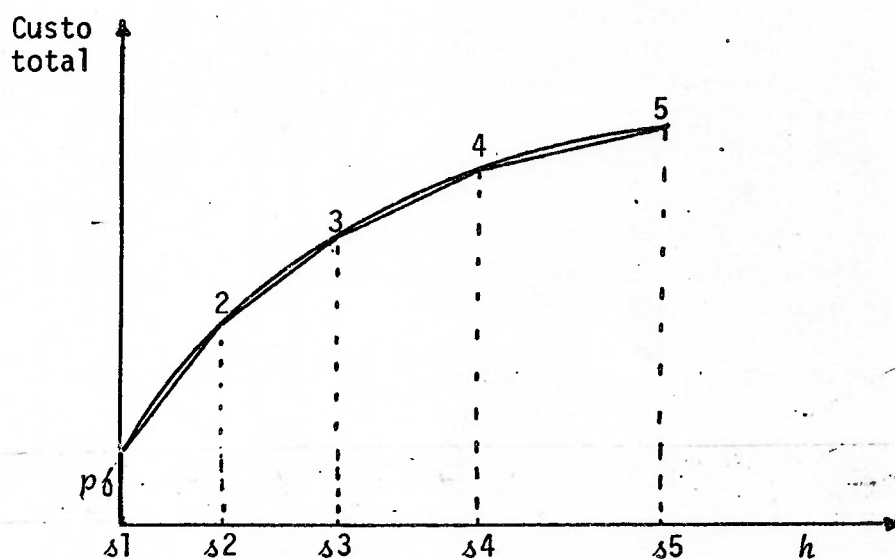


Figura 4.2 - Linearização Por Partes da Função de Custo de Produção

Garfinkel e Nemhauser [26] mostram como esta linearização pode ser tratada matematicamente. Uma vez escolhidos os pontos s_k que definem os trechos de linearização, a função $g(h)$ pode ser expressa como se segue:

$$\text{seja } h = \sum_{k=1}^p \lambda_k \cdot s_k$$

$$g(p_0, h) = \sum_{k=1}^p \lambda_k \cdot s_k(p_0, h) \quad (4-4)$$

$$\sum_{k=1}^p \lambda_k = 1$$

$$\lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, p$$

Para um dado h^* , $g(h^*)$ dado por (4-4) é um ponto do conjunto de segmentos de retas, se não mais que dois λ_k foram positivos e estes são da forma λ_k, λ_{k+1} . Esta condição pode ser obtida pelas restrições:

$$\lambda_1 \leq \delta_1$$

$$\lambda_k \leq \delta_{k-1} + \delta_k, \quad k = 2, \quad p-1$$

$$\lambda_p \leq \delta_{p-1}$$

(4-5)

$$\sum_{k=1}^{p-1} \delta_k = 1$$

$$\delta_k = 0 \text{ ou } 1, \quad k = 1, \dots, p-1$$

De (4-5) segue que para algum t , $1 \leq t \leq p-1$, $\delta_t = 1$ e $\delta_k = 0$, $k \neq t$. Mais $\lambda_t \leq 1$, $\lambda_{t+1} < 1$, e $\lambda_k = 0$, em qualquer outro caso. Os δ_k são as variáveis inteiras binárias.

É desnecessário afirmar que quanto maior a quantidade de segmentos de retas, mais próxima da função original $f(h)$ estará a linearização. Porém, como para cada segmento de reta adicional existe uma correspondente variável inteira binária, pode-se tornar proibitivo o tratamento computacional do problema por este tipo de aproximação.

Uma outra forma de resolver a questão, restringindo o número de variáveis inteiras binárias do problema, é linearizar a função na forma indicada na figura 4.3.

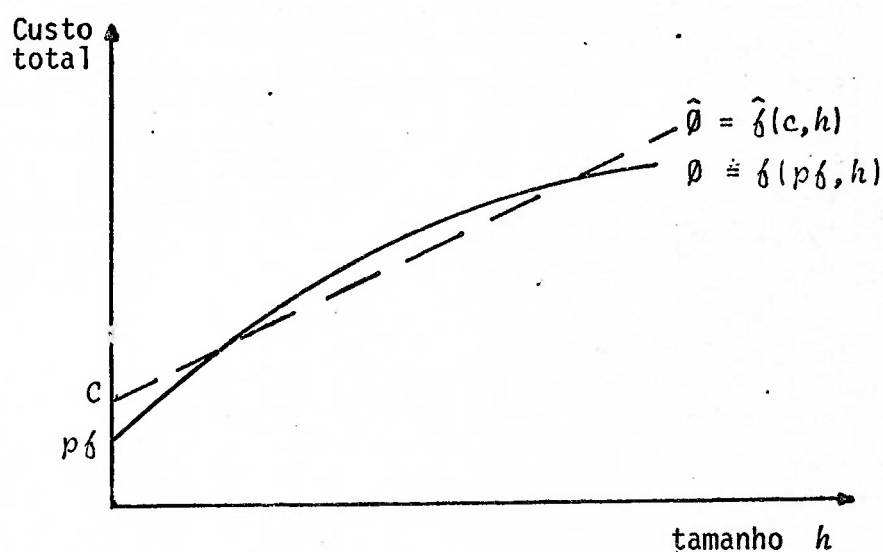


Figura 4.3 - Linearização da Função de Custo de Produção

A função de custo real $f(h)$ é aproximada por custo fixo mais um segmento linear. Esta aproximação, conforme Kendrick e Stoutjesdijk [33], pode assim ser expressa:

$$\hat{\vartheta} = C \cdot \delta + v h \quad (4-6)$$

onde:

$\hat{\vartheta}$ = Custo total aproximado, para uma unidade industrial de tamanho h ;

C = parte fixa da função de custo total aproximado;

δ = 0,1 variável binária, e vale 0 se não existir produção, e vale 1 em caso contrário;

v = Coeficiente angular da parte linear do custo total;

h = Tamanho (volume da produção) da unidade industrial a ser instalada.

A escolha do tipo de linearização vai depender da forma da função e do número de variáveis inteiras do pro-

blema, que, em última instância, determina as dificuldades computacionais de resolvê-lo.

As técnicas de programação matemática adequadas para resolver o problema de localização, com estas particularidades, são as seguintes de acordo com Maculan [36]:

- Métodos dos cortes ou dos planos de cortes;
- Métodos de "Branch and Bound";
- Métodos de enumeração implícita;
- Métodos aplicando a teoria dos grupos;
- Métodos de decomposição de Benders;
- Algoritmo de Driebeek.

Nas subseções seguintes serão apresentadas algumas características de cada um dos métodos, com maior destaque para o "Branch and Bound".

4.3.2. Método de "Branch and Bound"

Admitindo-se que a função objetivo deva ser minimizada, o método de "Branch and Bound" consiste na construção sucessiva de sub-problemas, denominados ramos que são resolvidos de acordo com a seguinte lógica:

- a- Resolve-se o problema original ignorando as restrições inteiras;
- b- Separa-se o intervalo inicial das variáveis inteiras em dois novos intervalos. Um composto pelo limite inferior e o maior inteiro menor do valor da variável obtida em (a). O outro intervalo é composto pelo menor inteiro maior do valor da variável obtido em (a) e o seu limite superior;
- c- Seleciona-se um nó, isto é, uma variável que cause a maior de gradação na função objetivo;

d- Seleciona-se um branch-ramo, que mais facilmente atingirá uma solução inteira e otimiza-o. Estima-se, para o outro ramo deste nó, o limite inferior da função objetivo e armazena-se este resultado.

e- Para o ramo que vai ser otimizado, resolve-se o problema com os novos limites determinados em (b), ignorando-se as restrições inteiras. Quatro possibilidades podem ocorrer:

e.1- O problema é inviável;

e.2- O custo está acima de um valor de referência (valor dado pelo usuário ou determinado por uma solução inteira qualquer);

e.3- O sub-problema é ótimo e esta solução é a melhor solução inteira já obtida. Este valor da função objetivo é o novo valor de referência;

e.4- O sub-problema é ótimo, mas algumas variáveis inteiras violaram as restrições inteiras;

Nos casos e.1, e.2 e e.3 vai-se para (f). No caso de e.4 volta-se para (c)

f- Escolhe-se entre os outros ramos armazenados, o mais viável, e vai-se para (d). Somente os ramos com estimativas de custo abaixo do valor de referência são avaliados. Se não há nenhum ramo viável armazenado, o problema chegou ao fim. A melhor solução inteira obtida é a solução ótima.

A eficiência deste algoritmo é fortemente influenciada pela estratégia da escolha da variável (nó) e do ramo mais viável (para retornar a um nó não explorado).

Normalmente são utilizadas heurísticas para estas escolhas, sendo o algoritmo de Driebeek um dos mais utilizados.

Para maiores detalhes, sugere-se consultar Garfinke & Nemhauser [26] ou Hiller & Lieberman [29].

4.3.3. Outros Métodos de Programação Linear Inteira

i) Método dos Cortes ou dos Planos de Cortes

A idéia geral deste método é o acréscimo sistemático de restrições (cortes) sem que nenhuma solução inteira seja eliminada do conjunto de restrições. Resolve-se inicialmente o problema pelo método simplex sem as restrições inteiras e acha-se uma solução. Se a solução for inteira, o problema terminou, caso contrário introduz-se uma restrição (realiza-se um corte), sem deixar de fora nenhuma solução inteira, resolve-se o novo problema pelo simplex, até que sejam inteiras todas as variáveis sujeitas a esta restrição.

Existem basicamente três maneiras de encontrar planos de corte para a solução dos problemas de programação linear inteira: o algoritmo fracionário, o algoritmo dual totalmente inteiro e o algoritmo primal totalmente inteiro.

Por ser muito custoso em termos de tempo de computação, este método não tem sido muito utilizado para os problemas aplicados.

Para maiores detalhes, sugere-se consultar Garfinkel e Nemhauser [26].

ii) Método de Enumeração Implícita

Segundo Maculan [36], o desenvolvimento do método de enumeração implícita deve-se exclusivamente a E. Balas. Outros pesquisadores introduziram algumas modificações em seu algoritmo, porém a essência não foi alterada.

Este método desenvolve uma arborescência, parte de uma solução inteira qualquer, viável ou não, e deriva desta a solução viável ótima. Não se utiliza o simplex, não há problema de arredondamento em computadores, pois as operações utilizadas são somas, subtrações e comparações. Como este método é usado

para problemas em que todas as variáveis são inteiras binárias, ele não pode ser aplicado ao problema em estudo.

iii) Métodos Aplicando a Teoria de Grupos

Foram desenvolvidos alguns algoritmos para a utilização deste método, porém apesar dos avanços teóricos obtidos neste campo de pesquisa, a sua aplicação ainda é muito restrita.

Para maiores detalhes, sugere-se consultar Gartinkel e Nermhauser [26].

iv) Método de Decomposição de Benders

Este método resolve iterativamente o problema de programação linear misto, através do relaxamento do problema original. A idéia é encontrar a solução do problema relaxado sem ter que trabalhar com todas as restrições. Em cada iteração é adicionado uma restrição e assim sucessivamente até obter o valor ótimo.

A convergência deste algoritmo é assegurada e o mesmo tem grande emprego para a solução de problemas mistos binários, isto é, aqueles em que as variáveis inteiras só podem assumir valores iguais a zero ou um.

Para maiores detalhes, sugere-se consultar Maculan [36].

v) Algoritmo de Driebeek

O método de Driebeek é aplicado para resolução de problemas de programação mista, quando o número de variáveis inteiras é reduzido e os limites superiores destas são pouco elevados. Este método introduz a noção de penalidades e pode ser utilizado nos algoritmos de "Branch and Bound" para a escolha de variáveis e de nós a serem desenvolvidos.

Para maiores detalhes, sugere-se consultar Maculan [36].

4.4. PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

Conforme visto na seção anterior, de todos os métodos de solução existentes, os mais desenvolvidos para a solução de problemas de programação linear mista inteira, com variáveis inteiras binárias, são os métodos de "Branch and Bound" e o de decomposição de Benders.

Os demais, ou não se encaixam dentro do problema em estudo, caso do método de Enumeração Implícita, ou ainda não estão em condições de uso, caso do Método Aplicando a Teoria de Grupos, ou tem aplicação muito restrita em termos de número de variáveis inteiras e um alto custo em termos de tempo de processamento, caso dos Métodos dos Planos de Corte e do Algoritmo de Driebeek.

Algumas empresas de computadores desenvolveram pacotes de programas computacionais, denominados usualmente de códigos que resolvem problemas de programação linear mista inteira e utilizam alguns destes métodos vistos. Estes pacotes se encontram no mercado e os mais conhecidos são o MPS-TEMPO da BURROUGHS, o MPSX-MIP da IBM e o APEX-III da CDC. O método utilizado por estes pacotes é o "Branch and Bound" e para a solução do primal, é utilizado o algoritmo simplex revisado.

Segundo Dantzing [21] as principais vantagens do algoritmo simplex revisado estão no menor número de colunas atualizadas de uma iteração para outra, o que permite resolver grandes problemas em computadores de limitada capacidade de memória e reduzir o tempo de processamento. Quando há uma alta porcentagem de elementos nulos no problema, executa-se um menor número de multiplicações.

Entre os pacotes computacionais disponíveis no mercado, foi escolhido o programa MPS-TEMPO da BURROUGHS, pelas

facilidades de acesso ao terminal de computação da USP. Este programa permite também a solução de modelos de programação linear e programação inteira separadamente.

CAPÍTULO 5 - MODELO MATEMÁTICO

Inicialmente neste capítulo o problema a ser resolvido é reapresentado em seus aspectos fundamentais. A seguir são abordadas as principais informações, a origem dos dados e as hipóteses admitidas para a constituição do modelo. Também são apresentadas, de forma qualitativa, as diversas parcelas de custo, mostrando-se a metodologia para o seu cálculo.

A seguir, é apresentado o modelo matemático, começando com as variáveis de decisão, depois a função objetivo e finalmente as restrições envolvidas no problema.

5.1. O PROBLEMA A SER RESOLVIDO

O setor sucro-alcooleiro da região objeto deste estudo, a Divisão Regional Agrícola de Ribeirão Preto, é o mais desenvolvido do Brasil, contando com 40 usinas e destilarias, que no ano de 1984 comercializaram cerca de 330.000 toneladas de bagaço para consumo como combustível em 7 indústrias.

Pesquisas efetuadas pelo IPT, vide ref. [46], indicaram que estas usinas têm condições de fornecer cerca de 1.250.000 toneladas/ano de bagaço, quantidade essa que pode ser absorvida por um mercado potencial representado por 23 indústrias espalhadas na região.

Assim, o objetivo básico deste trabalho será, através da minimização dos custos globais de utilização, adequar o potencial de oferta gerado por estas 40 usinas às condições de suprimento exigidas pelas 23 indústrias potencialmente consumidoras.

Quatro tipos de problemas se colocam:

1. Aonde instalar unidades de armazenamento e beneficiamento de bagaço, cuja função de custo de produção apresenta economias de escala, de modo a otimizar o sistema global? Estas unidades seriam localizadas nas próprias usinas ou em pontos selecionados junto à malha viária?
2. Quanto e que tipo de bagaço cada unidade de beneficiamento irá produzir?
3. Quanto, que tipo e para qual indústria, cada usina e cada unidade de beneficiamento irão distribuir bagaço?.
4. Como atender as condições do consumidor: reduzir o custo de utilização do bagaço como combustível, adaptar o equipamento para consumo de bagaço, adequar o tipo de bagaço ao tipo de equipamento, consumir bagaço em boas condições durante todo o período de produção da indústria, independentemente da época de safra da cana?

O equacionamento matemático destas questões e sua posterior resolução são os objetivos deste trabalho.

5.2. PARÂMETROS E HIPÓTESES PARA MODELAGEM.

A seguir serão apresentadas as principais informações, dados técnicos e as hipóteses admitidas para a constituição do modelo matemático que resolve os problemas levantados na seção anterior.

5.2.1. Horizonte de Estudo

Segundo informações do BNDES [10] e de Borges [9] e estudos realizados pelo IPT com projeção até o ano de 1990, vi de ref. [46], os excedentes de bagaço nas usinas para comercialização são suficientes para atender a demanda potencial das indústrias.

Atualmente existe um relativo equilíbrio entre a oferta e a demanda potencial, com uma ligeira vantagem para a oferta. Neste sentido, serão considerados, num mesmo instante de tempo, todas as modificações e investimentos necessários ao atendimento do mercado potencial.

5.2.2. Oferta de Bagaço de Cana

Para estimar a oferta de bagaço excedente na Região de Ribeirão Preto, foram analisadas as 26 usinas de açúcar com destilarias anexas e 14 destilarias autônomas, de acordo com os dados da safra 84, fornecidos pelo Instituto do Açúcar e do Alcool - IAA e pelas pesquisas efetuadas junto a algumas destas indústrias, cujo quadro síntese das informações encontra-se no Apêndice VI.

De posse destes dados foi estabelecida uma metodologia para a determinação do bagaço excedente, com base nos rendimentos dos processos industriais. Os valores obtidos alcançaram cerca de 1.250.000 toneladas de bagaço, representando 11,2% do volume total de bagaço produzido. O restante foi consumido pelas próprias usinas, nas suas caldeiras para a produção de açúcar e álcool.

As quantidades excedentes de bagaço de cada unidade produtora i foram convertidas em energia e denominadas Q_i , através da ponderação do poder calorífico do bagaço "in natura" e do rendimento térmico, cujos detalhamentos serão posteriormente abordados.

Os pontos de oferta, representados pelas unidades produtoras de bagaço, para efeito deste estudo foram localizados nas cidades em que as usinas e as destilarias estão situadas.

A Tabela 5.1, mostra a oferta excedente de bagaço por unidades produtoras da Região de Ribeirão Preto.

SUB-REGIÃO	MUNICÍPIO	USINAS/ DESTILARIAS	BAGAÇO EXCEDENTE TON/ANO
ARARAQUARA	Araraquara	1. Maringa	22.779
		2. Santa Luzia	17.686
		3. Zanim	20.873
	A Brasiliense	4. Santa Cruz	49.266
	Nova Europa	5. Santa Fê	12.082
BEBEDOURO	Guariba	6. Bonfim	54.062
	Jaboticabal	7. Santa Adélia	27.601
		8. São Carlos	25.443
		9. Santa Luzia*	31.645
	Pradópolis	10. São Martinho	91.395
Pitangueiras	11. Andrade*	47.379	
ORLÂNDIA	Morro Agudo	12. V. do Rosário	41.498
		13. MB	58.237
	Igarapava	14. Junqueira	30.385
RIBEIRÃO PRETO	Sertãozinho	15. Albertina	8.532
		16. Santo Antonio	23.681
		17. São Francisco	16.326
		18. São Geraldo	21.678
		19. Santa Eliza	58.241
	20. Santa Ines*	15.442	
	S.R. de Viterbo	21. Amália	21.005
	Pontal	22. Barbacena	8.954
		23. Bela Vista	12.424
		23. N.S. Aparecida	23.022
		25. Bazan*	18.620
	Serrana	26. Da Pedra	55.183
		27. Martinópolis	23.596
	S.R. Passaquadro	28. Santa Rita	17.467
	Ribeirão Preto	29. Santa Lydia	17.596
30. Galo Bravo*		64.563	
Jardinópolis	31. Jardest*	47.268	
Luiz Antonio	32. Moreno*	16.234	
SÃO CARLOS	Ibate	33. Da Serra	20.639
		34. São Gregório	36.922
	Descalvado	35. Ipiranga	7.731
BARRETOS	Guaíra	36. Colombo*	69.785
		37. Guaíra*	28.107
		38. Mandu*	36.602
TAQUARITINGA	Taquaritinga	39. Contendas	9.450
	V.A. do Alto	40. Nardini	36.601

* Destilarias autônomas, demais usinas de açúcar com destilarias anexas.

Tabela 5.1 - Oferta de bagaço excedente por unidades produtoras da Região de Ribeirão Preto

5.2.3. Tipos de Bagaço

Conforme já abordado no Capítulo 3, encontram-se disponíveis no mercado vários tipos de bagaço para utilização como combustível. Os principais fatores que influem sobre a escolha do tipo de bagaço são: o rendimento térmico do processo, o tipo de equipamento de queima, o custo de transporte por unidade de energia e o custo de adaptação das instalações para utilização do bagaço.

Para fins deste estudo serão analisados três tipos de bagaço, que melhor representam seus distintos campos de aplicação. Estes bagaços são:

Tipo 1: - "In Natura", com 50% de umidade, distribuído a granel, como sai das moendas das usinas.

- Poder Calorífico Superior - PCS - 2.252 Kcal/kg
- Poder Calorífico Inferior - PCI - 1.777 Kcal/kg
- Densidade de empilhamento - 130 kg/m³

Tipo 2: - Enfardado, com 20% de umidade

- Poder Calorífico Superior - PCS - 3.632 Kcal/kg
- Poder Calorífico Inferior - PCI - 3.232 Kcal/kg
- Densidade de empilhamento: 370 kg/m³
- Dimensões médias do fardo: (1,10 x 0,90 x 0,55)m

Tipo 3: - Peletizado, com 15% de umidade

- Poder Calorífico Superior - PCS - 3.862 Kcal/kg
- Poder Calorífico Inferior - PCI - 3.474 Kcal/kg
- Densidade do pelete: 1.200 kg/m³
- Densidade do empilhamento: 550 kg/m³
- Dimensões do pelete: cilindros com 6 a 10 mm de diâmetro e 30 a 40 mm de comprimento.

Justifica-se esta seleção, pelos seguintes motivos:

- O bagaço "in natura" é o tipo de bagaço mais tradicionalmente difundido e regularmente consumido;
- O bagaço enfardado com 20% de umidade, alia tanto a diminuição da umidade quanto o aumento da densidade energética e é também um produto que vem sendo regularmente consumido;
- Existem alguns tipos de equipamentos que demandam exclusivamente o bagaço briquetado ou peletizado. E entre estes dois tipos, o peletizado tem melhores condições de se viabilizar tecnicamente, pelas próprias características de bagaço, que por ser um material mais fibroso se adequa mais ao processo de compactação, garantindo uma maior resistência mecânica ao produto.

5.2.4. Rendimentos do Bagaço

Para cada processo e equipamento que consome determinado tipo de combustível, existe um correspondente rendimento térmico¹. Assim foram analisados os processos de geração de vapor para caldeiras fogotubulares e aquatubulares em várias faixas de potência, os processos de secagem com geração de gases quentes e os processos de aquecimento de fornos para tratamento térmico de metais.

Foram estimados os rendimentos para o bagaço "in natura", com 50% de umidade, para o enfardado com 20% de umidade e para o peletizado com 15% de umidade. A medida que se diminui a umidade de combustível, ganha-se em termos de eficiência global, acima da variação dos poderes caloríficos.

¹ Define-se como rendimento térmico de um processo em um determinado equipamento, a relação entre a quantidade de energia líquida absorvida pela queima do combustível e a quantidade de energia fornecida.

Segundo o IPT, vide ref. [47], estes ganhos devem-se ao processo de evaporação da água do combustível que ocorre antes de se processar a combustão. Assim, por exemplo, para utilizações em caldeiras, quanto maior a umidade do combustível menor a energia líquida disponível para a geração de vapor, menor a temperatura de chama, maior a probabilidade de combustão incompleta e maior o excesso de ar de combustão. Em caldeiras fogotubulares, quanto maior a umidade do combustível, menor é a massa molar fictícia da mistura de gases e maior o seu volume específico. Assim, aumenta a velocidade dos gases no interior dos tubos, reduzindo seu tempo de permanência e contribuindo para a elevação da temperatura da chaminé. Também cresce com a umidade, para uma mesma capacidade de geração de vapor, a vazão mássica de gases úmidos efluentes, devido ao acréscimo no consumo de combustível para compensar a redução da energia líquida.

Enfim, uma série de vantagens são obtidas com a redução da umidade do combustível e entre as principais têm-se:

- Redução do excesso de ar necessário a combustão;
- Aumento da temperatura da fornalha;
- Redução das "perdas" de energia nos gases efluentes devido ao menor excesso de ar necessário à combustão;
- Redução das perdas por combustível não queimado;
- Aumento na taxa de liberação de calor da fornalha e
- Redução do volume de gases na caldeira, reduzindo a carga nos ventiladores.

Estas vantagens são traduzidas em termos de ganhos de eficiência, que estão relacionados com o rendimento térmico do processo. Assim, para cada tipo de bagaço, com teor diferenciado de umidade, haverá um específico rendimento térmico do processo. Seja η_t este rendimento, onde t é o índice que indica o tipo de bagaço consumido.

A Tabela 5.2 a seguir mostra estes valores, apresentados de forma genérica, esclarecendo que a sua determinação exata é tarefa bastante complexa, na medida que cada processo e equipamento têm as suas particularidades:

CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO OU PROCESSO	RENDIMENTOS DO BAGAÇO		
	t=1 in natura	t=2 enfardado	t=3 peletizado
Caldeiras fogotubulares adaptadas para queima de bagaço - Potência até 15 MW	70%	74%	75%
Caldeiras aquatubulares específicas para o bagaço - Potência superior a 15 MW	75%	78%	80%
Fornos de secagem, sem limitação do estado de saída dos gases do secador	78%	81%	82%
Fornos de secagem, com limitação do estado de saída dos gases do secador	80%	83%	85%
Processos de aquecimento de fornos para tratamento térmico de metais - rendimento do gaseificador.	-	-	60%

Tabela 5.2 - Rendimentos Térmicos de Processos em Função dos Tipos de Bagaço

5.2.5. Demanda de Bagaço

Como este estudo contempla apenas a alternativa do uso do bagaço como energético, foram pesquisados 67 maiores consumidores de combustíveis da região de Ribeirão Preto, conforme listagem resultante da "Pesquisa de Consumo de Energia", realizado pelo Conselho Nacional de Petróleo - CNP.

Destas 67 indústrias foram selecionadas as 23 maiores, que consumiram 90% do óleo combustível e 80% da lenha da região. Estas 23 indústrias foram tratadas individualmente,

e tiveram os seguintes itens examinados:

- Tipo e quantidade de combustível que consome, por equipamento;
- Localização da indústria (cidade, perímetro urbano ou rural);
- Existência de local para armazenagem de bagaço;
- Processo industrial e
- Regime anual de produção

O quadro síntese das informações obtidas com a pesquisa junto às 23 indústrias, encontra-se no Apêndice VI.

De posse destes dados foram determinados, para cada indústria, o custo de adaptação dos equipamentos para o consumo de bagaço (vide item 5.2.6) e a demanda potencial. A demanda potencial foi obtida da soma do consumo de combustíveis nos equipamentos das indústrias, como segue:

$$DE_k = \sum_{m=1}^M CC_{km} \cdot PCS_m \cdot \eta_m \quad (5-1)$$

$$DB_{tk} = \sum_{m=1}^M \frac{CC_{km} \cdot PCS_m \cdot \eta_m}{PCS_t \cdot \eta_t} \quad (5-2)$$

onde:

DE_k = Demanda de energia na indústria K;

DB_k = Demanda potencial em toneladas de bagaço tipo t , na indústria K;

CC_{km} = Consumo de combustível atual (óleo ou lenha) na indústria K, pelo equipamento m ;

PCS_m = Poder calorífico superior do combustível lenha ou óleo atualmente queimado no equipamento m ;

η_m = Rendimento térmico do processo no equipamento m ;

PCS_t = Poder calorífico superior do bagaço do tipo t ;

η_m = Rendimento térmico do processo operando com o bagaço do tipo t , conforme 5.2.4;

m = Índice para designar o tipo de equipamento: Caldeiras equitubulares, caldeiras fogotubulares, secadores, etc;

M = Número total de equipamento.

5.2.6. Sazonalidade

O período de obtenção do bagaço "in natura" depende fundamentalmente das condições climáticas da região, do tipo de variedade da cana e do período útil de industrialização. Este trabalho considera o período de safra de maio a novembro, que é para a região em estudo, o período encontrado com maior frequência. Tendo em vista os problemas de deterioração do bagaço "in natura" causada pela fermentação do açúcar residual de suas fibras, este tipo de bagaço não pode ser consumido durante todo o ano. Admite-se, como hipótese, que este consumo pode se dar de maio a dezembro. O tratamento dado para levar em conta que o bagaço "in natura" pode ser consumido em dezembro, ou seja, um mês após a sua obtenção, é apenas uma aproximação da situação real. Nos demais meses, o consumo deve necessariamente ser de bagaço beneficiado.

O consumo industrial de combustível ocorre ao longo de todo o ano, porém com maior intensidade no período próximo da safra de produção de bagaço. A justificativa para esta coincidência é que os mais importantes consumidores de energia da região e por conseguinte os maiores consumidores potenciais de bagaço de cana são as indústrias de suco-cítricos, que têm período de produção coincidente com a safra da produção de bagaço. Também a produção das indústrias de óleo, importantes consumidoras da região, apresenta uma variação sazonal embora de período mais longo e atinge os níveis mais elevados no segundo semestre do ano.

Porém, muitas outras potenciais consumidoras de bagaço operam durante todo o ano e necessitam, para satisfazer a sua demanda, de bagaço beneficiado durante a entressafra da cana.

De posse dos dados de sazonalidade e produção de bagaço, regime de produção e consumo de energia na indústria, estima-se para cada indústria a quantidade máxima de bagaço "in natura" que pode consumir e a quantidade mínima de bagaço beneficiado. Isto porque, dependendo dos custos envolvidos, a indústria pode consumir mais bagaço beneficiado do que a quantidade

mínima previamente estimada.

Assim, seja B_k a quantidade mínima de bagaço beneficiado, em termos de energia, consumido pela indústria k , no período da estressafra.

A figura 5.1 mostra a oferta mensal de bagaço "in natura" de todas as usinas da região, em confronto com a demanda agregada de todas as indústrias potencialmente consumidoras. Ressalta-se que embora a representação gráfica agregue no tempo todo o volume de bagaço ofertado e demandado, o tratamento dado ao problema, embora determinístico, foi individualizado por unidade produtora e consumidora de bagaço.

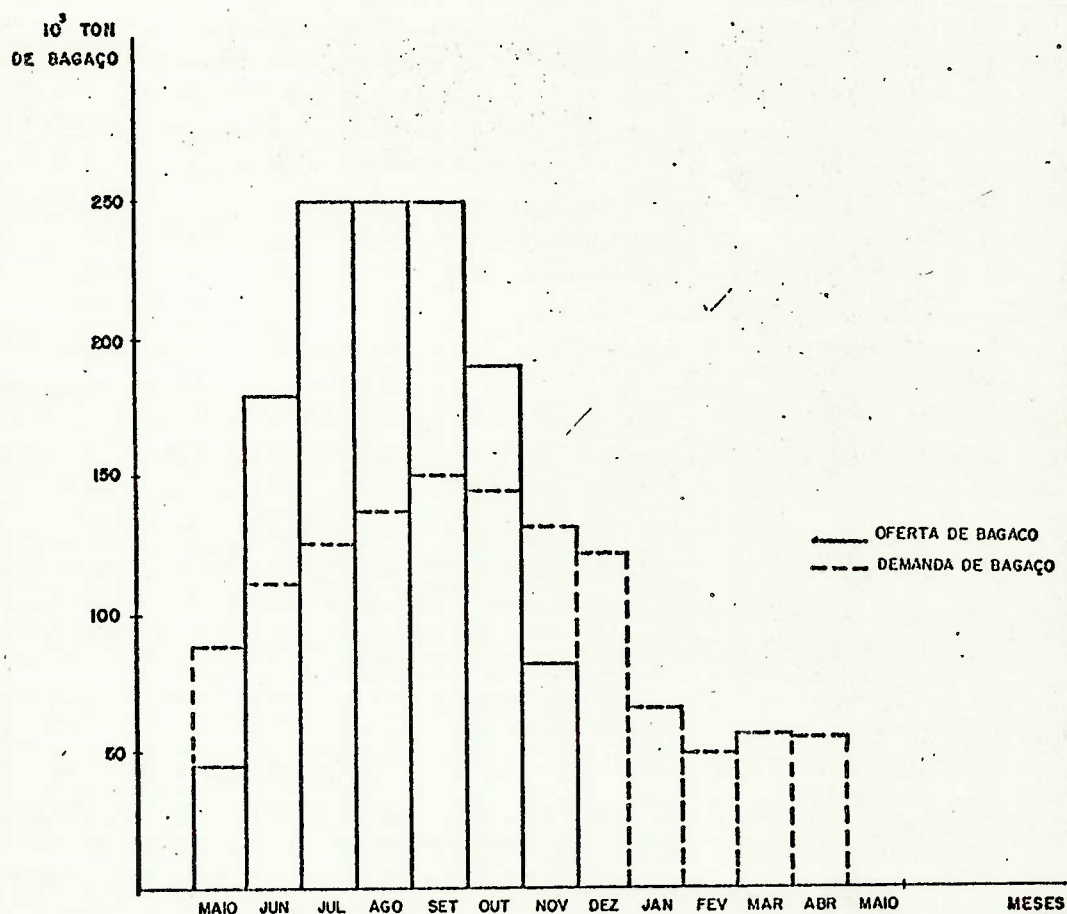


Figura 5.1.- Oferta e Demanda Potencial Mensal de Bagaço "in natura" na região de Ribeirão Preto.

5.2.7. Armazenagem e Beneficiamento do Bagaço

O custo de armazenagem do bagaço, apresentado em detalhes no Apêndice III, é diferenciado para os três tipos de bagaço e esses valores dependem da quantidade armazenada.

A armazenagem pode ser feita tanto nas usinas como nas unidades de beneficiamento. Como já mencionado, a armazenagem do bagaço "in natura" se realiza somente no período de maio a dezembro, em virtude dos problemas de deterioração deste tipo de bagaço, quando expostos ao tempo durante longos períodos. A hipótese admitida neste trabalho é que o bagaço "in natura" pode ser consumido no máximo um mês após o período da safra. Durante a safra, existe uma grande renovação do bagaço nas usinas, motivo pelo qual admite-se que não será necessário impor uma restrição para o beneficiamento do bagaço "in natura" neste período.

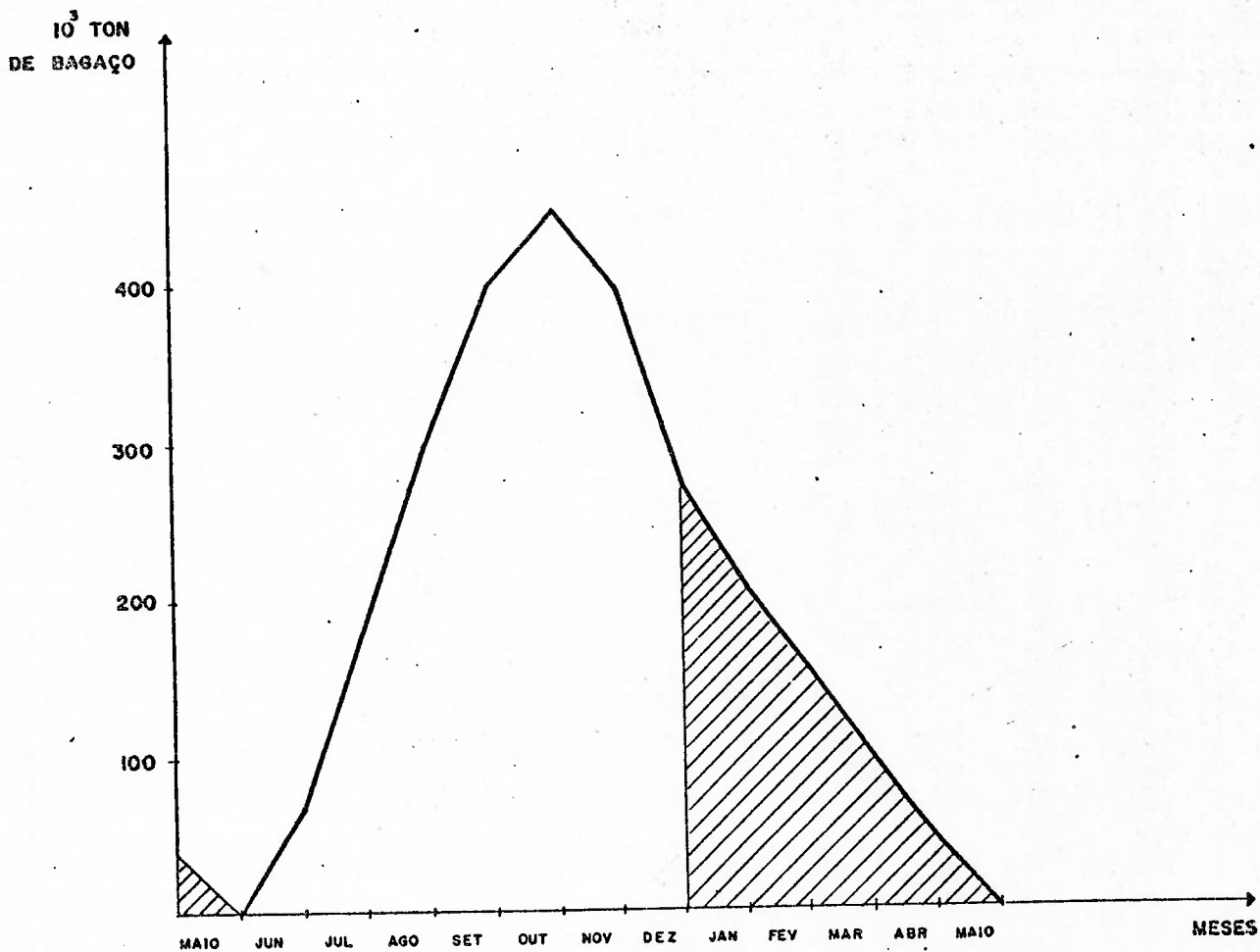
A armazenagem do bagaço beneficiado pode ser realizada durante todo o ano sem riscos de deterioração.

O estoque acumulado de bagaço de todas as usinas da região resultante do balanço entre produção e consumo (figura 5.1), é apresentado na figura 5.2..

Segundo estudos da CIBRAZEM [15], o custo de armazenagem é função da quantidade estocada e apresenta economia de escala. Neste custo, para o bagaço, está incluído além da infra-estrutura para a armazenagem, uma parte relativa às operações de movimentação e empilhamento.

A quantidade de bagaço armazenada nas usinas está limitada pela capacidade de produção de bagaço de cada usina, enquanto que na unidade intermediária não existe limite de armazenagem.

O custo de beneficiamento, também detalhado no Apêndice IV e conforme já mencionado, apresenta economia de escala com os valores de produção.



▨ Toneladas de Bagaço "in natura" que devem ser beneficiadas

Figura 5.2 - Estoque Acumulado de Bagaço

Os custos de armazenamento e beneficiamento são tratados conjuntamente, por pertencerem ao mesmo empreendimento industrial.

Os custos de beneficiamento são diferenciados para a peletização e enfardamento, enquanto que obviamente não existe custo de beneficiamento para o bagaço "in natura".

Os custos de armazenamento e peletização na usina são menores do que na unidade intermediária, pois na usina os gases de escape das caldeiras são aproveitados para a secagem do bagaço, enquanto na unidade intermediária consome-se o próprio bagaço no processo de geração de gases quentes para secagem.

Os custos de enfardamento são os semelhantes na usina e nas unidades intermediárias, pois é empregado o mesmo processo químico de secagem nos dois casos.

Na Figura 5.3 mostra-se a forma adotada para o custo de armazenamento e beneficiamento do bagaço. Com a linearização admitida há uma parcela fixa (c) e uma outra proporcional à quantidade produzida (v), isto é:

$$CAB = C\delta + vH \quad (5-3)$$

onde δ é uma variável binária, e vale 0 se não houver armazenamento e beneficiamento e 1 em caso contrário.

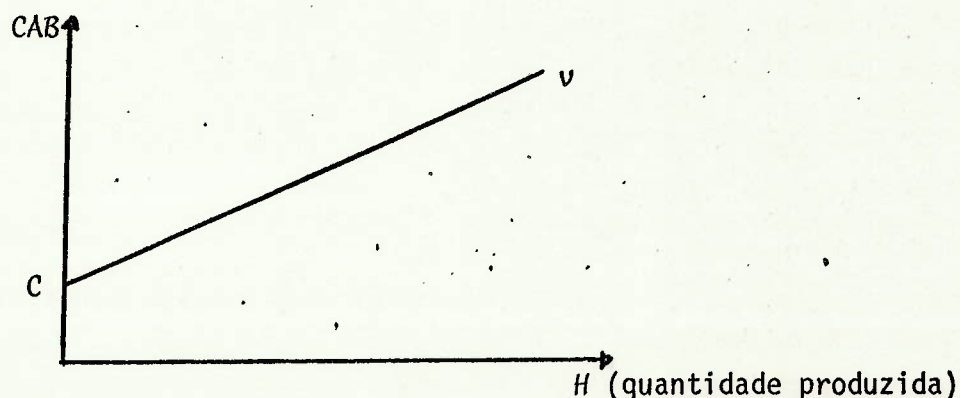


Figura 5.3 - Função Linearizada de Custo de Armazenamento e Beneficiamento

Os custos de armazenamento e beneficiamento para cada tipo de bagaço em cada unidade industrial situada na própria usina ou em localidades intermediárias podem ser expressos na forma abaixo:

$$CAB_{ti} = C_{ti} \cdot \delta_{ti} + v_{ti} \cdot H_{ti} \quad (5-4)$$

$$CABI_{tj} = CI_{tj} \cdot \gamma_{tj} + VI_{tj} \cdot HI_{tj} \quad (5-5)$$

onde:

CAB_{ti} = Custo total anual de armazenamento e beneficiamento de bagaço do tipo t na usina i ;

$CABI_{tj}$ = Idem, porém na unidade de beneficiamento intermediária j ;

C_{ti} = Termo independente da função de custo total para o bagaço do tipo t na usina i (custo);

CI_{tj} = Idem, porém na unidade de beneficiamento intermediária j ;

v_{ti} = Coeficiente angular da função custo total para o bagaço do tipo t na usina i (custo por energia);

VI_{tj} = Idem, para a unidade de beneficiamento intermediária j ;

H_{ti} = Quantidade total de bagaço do tipo t armazenado e beneficiado na usina i (energia);

HI_{tj} = Idem, para a unidade de beneficiamento intermediária j ;

δ_{ti} = Variável binária, que vale 0 se não houver beneficiamento e armazenamento de bagaço do tipo t na usina i e vale 1 em caso contrário;

γ_{tj} = Idem, para a unidade de beneficiamento intermediária j ;

5.2.8. Custo da Matéria-Prima "Bagaço de Cana Excedente"

Para a determinação do custo de bagaço de cana excedente, são analisados os investimentos e custos operacionais, envolvendo desde o despejo do bagaço excedente até o seu empilhamento no pátio.

Os investimentos são compostos de algumas instalações e equipamentos, que, basicamente, se restringem a uma extensão da esteira e à aquisição de trator, se for o caso, para as operações de empurra e empilhamento do bagaço. Normalmente, as usinas já possuem tratores dotados de pã mecânica, restando a verificação da necessidade adicional ou de racionalização dos trabalhos.

Não se considera como custo a aquisição da matéria-prima, uma vez que a cana de açúcar é matéria-prima compulsória de uma atividade principal, que é a produção de açúcar e álcool e o bagaço é um resíduo deste processo.

Os itens que compõem os custos de produção, segundo Wilhelm [57], estão detalhados no Apêndice II. O custo por tonelada de bagaço varia com a quantidade excedente de bagaço de cada usina, mostrando haver vantagens em se adquirir o bagaço em diferentes locais de produção. Este custo por tonelada, convertido em custo por energia, é representado por:

P_{ti} = Custo por unidade de energia de bagaço do tipo t , gerado na usina i .

5.2.9. Custo de Transporte

O custo de transporte considerado neste estudo é constituído pelo custo de transporte propriamente dito mais o custo de transbordo, cujos detalhes estão no Apêndice I.

A operação transbordo é feita por trator munido de acionamento hidráulico. De acordo com o tipo de bagaço, o gar

fo de apanha é convenientemente dimensionado para evitar a perda de eficiência da máquina. Este custo é variável com o tipo de bagaço e com a capacidade de carga do caminhão. O valor é o mesmo para o carregamento e/ou descarregamento feito nas usinas, nas unidades intermediárias ou nas indústrias consumidoras. O parâmetro que expressa este valor é dado por:

CTB_{tg} = Custo de transbordo por unidade de energia do bagaço tipo t , operando com o caminhão tipo g .

Com relação ao custo de transporte propriamente dito, este depende essencialmente do meio de transporte utilizado, das distâncias percorridas e do tipo de bagaço transportado.

Considera-se aqui que o bagaço pode ser enviado diretamente das "usinas" para as indústrias consumidoras, em qualquer dos seus tipos: "in natura", enfardado e peletizado. Porém, das usinas para as unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento, admite-se que somente o bagaço "in natura" pode ser enviado. E destas unidades intermediárias, o bagaço poderá ser enviado para as indústrias consumidoras nas suas três formas. A figura 5.4 a seguir resume as hipóteses adotadas para o transporte de bagaço neste estudo.

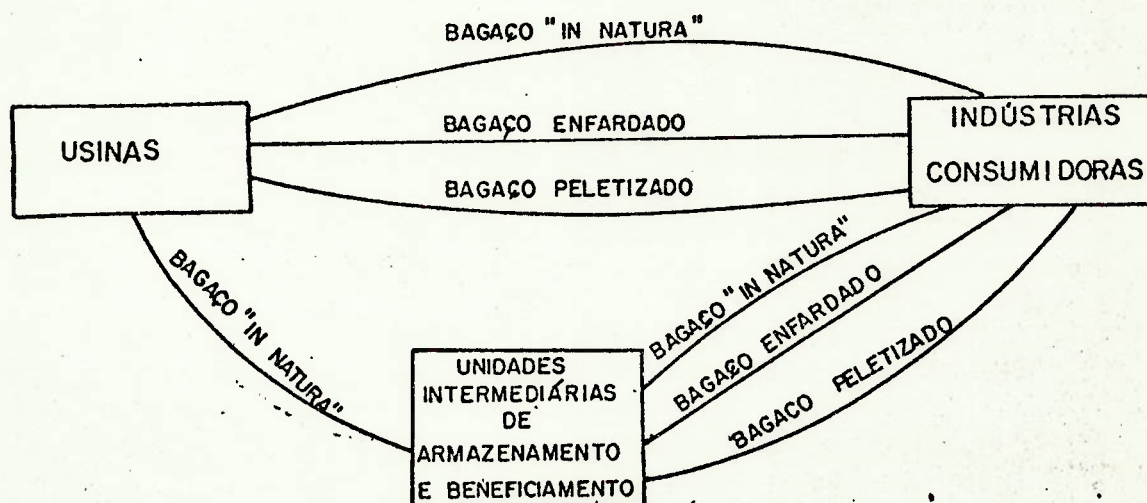


Figura 5.4 - Representação Esquemática da Distribuição de Bagaço

Isto exposto, resta a determinação deste custo de transporte. Para tanto, considerou-se que o transporte será feito por caminhões e em rodovias pavimentadas. O transporte por outros modos não será considerado, em virtude de serem poucas as usinas que podem ser ligadas por meio deles aos usuários, e também por não ser prática na região estas utilizações.

É evidente que, devido aos diferentes tipos de caminhões existentes, não é possível chegar a um custo/km homogêneo sem cometer distorção. Para reduzir tal distorção foi adotada uma metodologia de cálculo de custo, para dois tipos de caminhões normalmente utilizados para este transporte na região de estudo: o caminhão MBB-2213 da Mercedes Benz, de 16 t de capacidade e o caminhão semi-reboque T-112H da Scânia, de 40 t de capacidade.

O método de cálculo adotado é o PICR, vide ref. [13]. Este método, utilizado pelo Agrupamento de Transportes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), vide ref. [48], engloba os custos fixos e variáveis do transporte rodoviário.

A conversão do custo quilômetro para cada tipo de caminhão em custo por quilômetro por energia de bagaço é feita do seguinte modo:

$$CKE_{tg} = \frac{CK_g}{QB_{tg} \cdot \delta u \cdot PCS_t \cdot \eta_t} \quad (5-6)$$

$$\text{com } QB_{tg} = \begin{cases} VL_g \cdot d_t, & \text{para } VL_g \cdot dt < TA_g \\ TA_g, & \text{para } VL_g \cdot dt \geq TA_g \end{cases} \quad (5-7)$$

onde:

CKE_{tg} = Custo por km e por unidade de energia de bagaço do tipo t , transportado pelo caminhão do tipo g ;

CK_g = Custo por km do caminhão do tipo g , obtido pelo método PICR;

QB_{tg} = Quantidade máxima em toneladas de bagaço do tipo t , transportado no caminhão tipo g ;

VL_g = Volume útil de carga do caminhão tipo g ;

d_t = Densidade de empilhamento do bagaço tipo t ;

TA_g = Capacidade útil de carga do caminhão tipo g ;

f_u = Fator de utilização do caminhão, no caso, igual a 0,5 pois vai carregado e volta vazio ou vice-versa;

PCS_t = Poder Calorífico Superior do bagaço do tipo t ;

η_t = Rendimento térmico do bagaço tipo t ;

g = Índice que indica os tipos de caminhão; no caso têm-se o MBB-2213 da Mercedes Benz e o T-112H da Scânia.

A escolha de qual o tipo de caminhão que fará o transporte, se dará pelo porte da unidade. Para as maiores usinas, com excedentes de bagaço superiores a 40.000 t/ano, o caminhão selecionado é o maior deles: o Scânia T-112H e para as demais o Mercedes Benz MBB-2213. Para todas as unidades intermediárias foi escolhido o Scânia T-112H, pois estas unidades podem movimentar grandes volumes de bagaço. Esta é apenas uma hipótese admitida, sendo que o modelo não se altera caso seja considerado um único tipo de caminhão para efetuar o transporte de bagaço.

Embora os custos por km obtidos pela metodologia PICR estejam baseados nos custos médios para cada tipo de caminhão, ou seja, é uma média de caminhões cheios, parcialmente carregados e vazios, existe uma certa penalização sobre os custos quando se transporta bagaço de baixa densidade. Este é o caso do bagaço "in natura", na qual a metodologia não contempla os ganhos de combustível, pneu e desgaste, quando se transporta o produto sem atingir a capacidade útil de carga do caminhão.

Para a transformação do custo/Km/energia em custo/energia, foi utilizada a matriz de distâncias, entre as cidades em que estão localizadas as usinas, indústrias consumidoras e unidades intermediárias. Considerou-se as distâncias reais, a partir de malha rodoviária, de acordo com a ref. [46].

Assim, seja:

DUI_{ij} = Distância em Km da usina i até a unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento de bagaço j ;

DUI_{ik} = Distância em Km da usina i até a indústria consumidora k ;

DJI_{jk} = Distância em Km da unidade intermediária j até a indústria-consumidora k .

Portanto, o custo de transporte por unidade de energia fica composto por três parcelas:

- i) Custo de transbordo mais transporte da usina até a unidade intermediária = $CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DUI_{ij}$
- ii) Custo de transbordo mais transporte da usina até a indústria consumidora = $CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DUI_{ik}$
- iii) Custo de transbordo mais transporte de unidade intermediária até a indústria = $CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DJI_{jk}$

5.2.10. Custo de Adaptação dos Equipamentos Industriais para o Consumo de Bagaço

Conforme mencionado em 5.2.5, a pesquisa individualizada com as indústrias potencialmente consumidoras de bagaço identificou as modificações a serem introduzidas nos equipamentos existentes, operando com óleo combustível e lenha, para queima do bagaço.

A descrição feita e sumarizada no Apêndice V, é suficiente para se estimar os investimentos necessários às modificações previstas ou para descartar a possibilidades dessas modificações, optando pela substituição dos equipamentos.

Além das modificações e substituições de equipamentos, considera-se também, quando for o caso, a necessidade de equipamentos adicionais para conversão dos combustíveis, bem como modificações qualitativas do desempenho de equipamentos existentes, quando da substituição do combustível anterior por bagaço.

Inclui-se também além dos investimentos nos equipamentos de queima propriamente dito, os investimentos para os seguintes componentes da instalação:

- Periféricos;
- Instrumentação;
- Estrutura;
- Montagem;
- Obras civis;
- Instalação Elétrica;
- Equipamento de Recepção;
- Equipamento de Transporte e
- Equipamento de Armazenagem.

Embora exista economia de escala nos custos de adaptação em função da capacidade do equipamento, a mesma não aparecerá na equação de custo pois, para cada indústria, já estão definidos os investimentos necessários. Há, inclusive, indústrias que já transformaram seus equipamentos para queima de bagaço e terão portanto, valores nulos na equação de custo. Para o caso de indústria que tem mais de um tipo de equipamento a ser adaptado, os investimentos contemplaram os diversos tipos separadamente

Assim, os investimentos foram anualizados através da Fôrmla do Custo Anual Uniforme Equivalente, incluindo também os custos de depreciação:

$$CDC_{tkm} = (VA_{tkm} - VR_{tkm}) \frac{(1+i)^N \cdot i}{(1+i)^N - 1} + i \cdot VR_{tkm} \quad (5-8)$$

onde:

CDC_{tkm} = Custo anual de capital do equipamento m , na indústria K , adaptado para o bagaço do tipo t ;

VA_{tkm} = Valor do investimento para adaptação do equipamento m , na indústria K , para consumir o bagaço do tipo t ;

VR_{tkm} = Valor residual do equipamento m , na indústria K , que consome bagaço do tipo t ;

N = Prazo de amortização

i = Taxa de juros correspondentes ao custo de oportunidade do capital.

Estes valores são rateados pela quantidade de bagaço convertida em energia e que é demandada por cada tipo de equipamento. Esta conversão é processada através dos poderes caloríficos e de rendimentos de cada tipo de bagaço, conforme já abordado anteriormente.

Como visto, para cada tipo de bagaço existe um correspondente custo global de adaptação nos equipamentos. Via de regra, os investimentos para o bagaço "in natura" são maiores do que para o enfardado e para este são maiores do que para o peletizado.

Isto ocorre porque as instalações para o bagaço "in natura" requerem maiores investimentos no sistema de descarga, composta de plataforma para basculamento dos caminhões, prédio de descarregamento, unidade de despoeiramento e coleta de pó e armazém pulmão de grande dimensão.

Os investimentos maiores para o enfardado em relação ao peletizado devem-se a unidade de desintegração do fardo, não necessária para o peletizado. Os demais itens que compõem os custos de adaptação dos equipamentos industriais são os mesmos para os 3 tipos de bagaço. Detalhes destes custos, para uma indústria particular, podem ser vistos no trabalho da COOPERSUCAR [18].

A partir do custo anual de capital CDC_{tkm} obtém-se o custo anual de capital por unidade de energia aproveitada na indústria K, consumindo o bagaço tipo t , CAD_{tk} , utilizando-se a seguinte relação:

$$CAD_{tk} = \frac{\sum_{m=1}^M CDC_{tkm}}{DB_{tk} \cdot \eta_t \cdot PCS_t} \quad (5-9)$$

onde:

DB_{tk} = Demanda potencial de bagaço tipo t , na indústria K, (visto em 5.2.5);

η_t = Rendimento térmico do processo consumindo bagaço tipo t ;

PCS_t = Poder Calorífico Superior do bagaço tipo t ;

M = Número dos diversos equipamentos que serão adaptados.

5.2.11. Localização das Unidades Industriais de Armazenamento e Beneficiamento de Bagaço.

Estas unidades podem ser instaladas nos seguintes locais:

1. Na própria usina produtora de bagaço, como parte do próprio empreendimento da usina.
2. Em local próximo às usinas produtoras de bagaço. É o caso em que existe mais de uma usina na cidade e a unidade industrial é instalada próxima das mesmas.

3. Em local próximo as indústrias consumidoras de bagaço. É o caso em que existe mais de um consumidor na cidade, ou um consumidor muito significativo e é instalado uma unidade de armazenamento e beneficiamento para atender este mercado.
4. Estrategicamente localizadas intermediariamente entre as usinas e as indústrias.

Existe também uma quinta alternativa, que é a localização na própria indústria consumidora, fazendo parte do seu empreendimento industrial. Por julgá-la menos realista tal opção não foi considerada neste estudo.

Independentemente da localização das unidades industriais de armazenamento e beneficiamento adotou-se a hipótese que todo bagaço adquirido por estas unidades, será integralmente distribuídos naquele ano para as indústrias consumidoras.

A determinação da localização destas unidades incorporará o conceito de conjunto inicial finito, pois o mercado necessita de mais de uma unidade de beneficiamento e estas unidades, por demandarem uma série de facilidades, não poderão se localizar em qualquer ponto da região. Sendo assim e por existirem economias de escala nessas unidades, a determinação de suas localizações possui teoricamente solução ótima através de um problema de programação linear com variáveis inteiras binárias, cujo modelo matemático será apresentado na próxima seção.

5.2.12. Custo Anual de Energia

Embora o modelo focalize globalmente a utilização do bagaço como combustível, nenhum potencial usuário irá consumi-lo, se os custos da energia substituída for inferior ao custo da energia do bagaço. O próprio modelo dispõe de restrições que impedem eventuais soluções prejudiciais às indústrias.

Assim, para poder comparar o custo da energia do bagaço com o gasto atual de energia na indústria foram analisados

para cada indústria os gastos com o combustível atual e os seus rendimentos. Assim foi possível calcular o gasto com o combustível atual, por ano, na indústria k , que será representado por GAE_k .

5.3. O MODELO

O modelo matemático a ser apresentado, deverá de terminar os tipos e as quantidades de bagaço movimentados das usinas para as indústrias e para as unidades de beneficiamento, e destas últimas para as indústrias. Determinará também quantas e onde devem ser localizadas as unidades de beneficiamento, de modo a minimizar o custo global da utilização do bagaço como energético.

Assim, inicialmente será apresentado as variáveis de decisão, a seguir a função objetivo e finalmente as restrições do modelo.

5.3.1. Variáveis de Decisão

Sejam I o conjunto de usinas, J o conjunto de unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço, K o conjunto de indústrias consumidoras e T o conjunto de tipos de bagaço. A distribuição de bagaço fica perfeitamente especificada quando são conhecidas as variáveis:

x_{ik}^t = Quantidade de energia de bagaço do tipo t enviada da usina i para a indústria consumidora k , $i \in I$, $k \in K$ e $t \in T$;

y_{ij} = Quantidade de energia de bagaço "in natura" enviada da usina i para a unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento de bagaço j , $i \in I$, $j \in J$;

z_{jk}^t = Quantidade de energia de bagaço do tipo t enviada da unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento de bagaço j para a indústria consumidora k , $j \in J$, $k \in K$ e $t \in T$.

Estas são, portanto, as variáveis de decisão do problema. Em face, porém, da forma adotada para as funções de custo de beneficiamento e armazenamento de bagaço no modelo matemático, a solução do problema envolve também a determinação das variáveis binárias:

Sejam as variáveis binárias:

δ_{ti} = Indica se vai haver e onde processamento de bagaço e vale 1 se o bagaço do tipo t vai ser processado na usina i e vale 0 em caso contrário;

γ_{tj} = Indica também se vai haver e onde processamento de bagaço e vale 1 se o bagaço do tipo t vai ser processado na unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento j e vale 0 em caso contrário.

A figura 5.5 mostra esquematicamente os fluxos dos vários tipos de bagaço juntamente com a localização das unidades intermediária de beneficiamento.

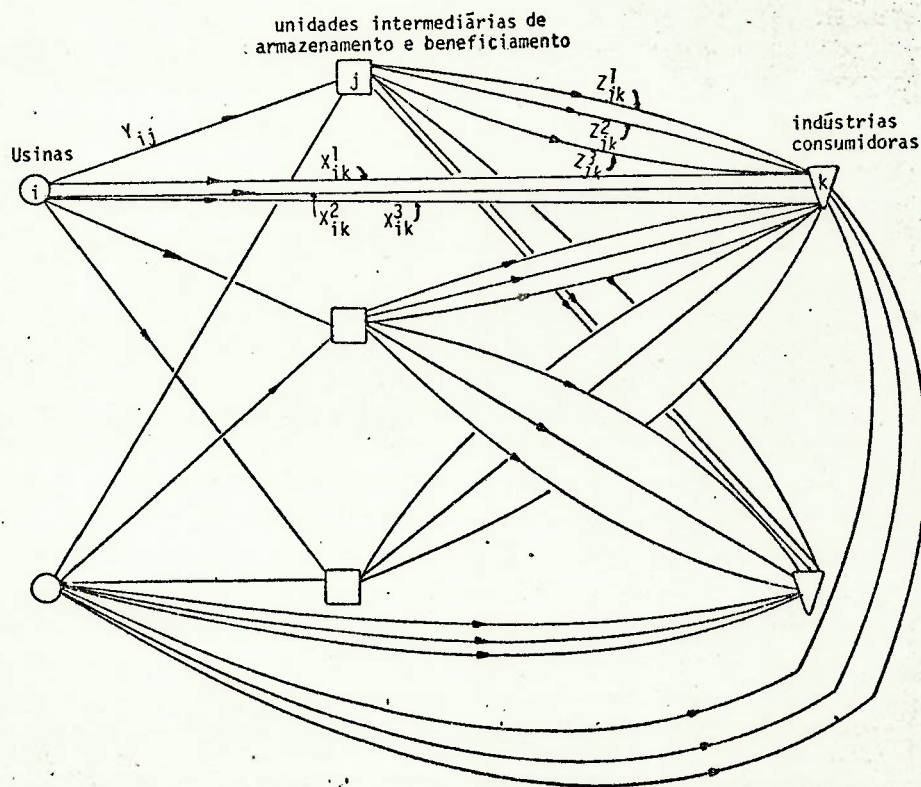


Figura 5.5. - Esquema de fluxos de bagaço e localização de unidades intermediárias de beneficiamento

5.3.2. Função Objetivo

Para um melhor entendimento, a função objetivo será dividida nos seguintes componentes:

\varnothing_p = Custo total de matéria-prima (bagaço);

\varnothing_A = Custo total de armazenamento e beneficiamento de bagaço;

\varnothing_T = Custo total de transporte e

\varnothing_C = Custo total de adaptação de equipamentos para queima de bagaço.

A função objetivo é a soma algébrica destes custos e a figura de mérito é minimizá-la; isto é, minimizar os custos totais:

$$\text{minimizar } Z = \varnothing_p + \varnothing_A + \varnothing_T + \varnothing_C$$

onde:

$$\varnothing_p = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} P_{ti} \cdot x_{ik}^t + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} P_{1i} y_{ij} \quad (5-10)$$

Custo de matéria-prima = Custo total de bagaço "in natura" fornecido pela usina i a indústria consumidora k + custo total de bagaço "in natura" fornecido à unidade intermediária de armazenamento e beneficiamento j .

onde:

P_{ti} = Custo por unidade de energia de bagaço do tipo t , gerado na usina i (vide seção 5.2.8).

$$\varnothing_A = \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} (C_{ti} \cdot \delta_{tj} + V_{ti} \sum_{k \in K} x_{ik}^t) + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} (CI_{tj} \cdot \gamma_{tj} + VI_{tj} \sum_{k \in K} z_{jk}^t) \quad (5-11)$$

Custo de armazenamento = Custo na usina i + custo na unidade e beneficiamento intermediária j .

onde:

C_{ti} = Custo fixo da função de custo total de armazenamento e beneficiamento de bagaço do tipo t na usina i , (vide seção 5.2.7);

V_{ti} = Custo variável da função de custo total de armazenamento e beneficiamento de bagaço do tipo t na usina i , (vide seção 5.2.7);

CI_{tj} = Custo fixo da função de custo total de armazenamento e beneficiamento do bagaço tipo t na unidade intermediária j ; (vide seção 5.2.7);

VI_{tj} = Custo variável da função de custo total de armazenamento e beneficiamento do bagaço tipo t na unidade intermediária j , (vide seção 5.2.7).

$$\varnothing_T = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \left[(CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DUI_{ik}) \cdot x_{ik}^t \right] + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[(CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DUJ_{ij}) \cdot y_{ij} \right] + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \left[(CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DJI_{jk}) \cdot z_{jk}^t \right] \quad (5-12)$$

Custo de transporte = Custo de transporte de bagaço da usina i até a indústria consumidora k + custo de transporte de bagaço "in natura" da usina i até as unidades intermediárias j + custo de transporte de bagaço das unidades intermediárias j até as indústrias consumidoras k .

onde:

CTB_{tg} = Custo de transbordo por unidade de energia de bagaço do tipo t , operando com o caminhão tipo g , (vide seção 5.2.9);

CKE_{tg} = Custo por Km e por unidade de energia de bagaço do tipo t , transportado pelo caminhão tipo g , (vide seção 5.2.9);

DUI_{ik} = Distância em Km da usina i até a indústria consumidora k , (vide seção 5.2.9);

DUJ_{ij} = Distância em Km da usina i até a unidade intermediária j , (vide seção 5.2.9);

DJI_{jk} = Distância em Km da unidade intermediária j até a indústria consumidora k , (vide seção 5.2.9).

$$\varnothing_C = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \left(\sum_{i=1}^I x_{ik}^t + \sum_{j \in J} z_{jk}^t \right) \cdot CAD_{tk} \quad (5-13)$$

Custo de adaptação de equipamentos = Custo de adaptação de equipamento na indústria k , que recebe bagaço das usinas i e das unidades intermediárias j .

onde:

CAD_{tk} = Custo anual de capital por unidade de energia utilizada na indústria k , consumindo o bagaço tipo t , (vide seção 5.2.10)

5.3.3. Restrições

A função objetivo está sujeita às seguintes restrições:

- i) Restrições de Oferta de Bagaço: A soma da quantidade de energia de bagaço "in natura" que sai das usinas para as unidades intermediárias com a quantidade de energia, de vários tipos de bagaço, que sai das usinas para as indústrias, não pode superar a quantidade de energia de bagaço ofertado pelas usinas.

$$\sum_{j \in J} y_{ij} + \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} x_{ik}^t \leq Q_i \quad (5-14)$$

para cada $i = 1, 2, \dots, I$

onde:

Q_i = Quantidade de energia de bagaço ofertado pela usina i ,
(vide seção 5.2.2).

- ii) Restrição de Balanço de Energia da Unidade Intermediária: Toda a quantidade de energia contida no bagaço que chega à unidade intermediária deve ser integralmente distribuída para as indústrias. Nas unidades intermediárias não pode haver sobras de bagaço (energia).

$$\sum_{i \in I} y_{ij} = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} z_{jk}^t \quad (5-15)$$

$j = 1, 2, \dots, J$

- iii) Restrição de Demanda de Bagaço: A soma da quantidade de energia, na forma de vários tipos de bagaço, enviada das usinas para as indústrias mais a quantidade enviada pelas unidades intermediárias, deve ser igual a necessidade energética das indústrias (demanda potencial).

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ik}^t + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} z_{jk}^t = DE_k \quad (5-16)$$

para cada $K = 1, 2, 3 \dots k$

onde:

DE_k = Demanda de energia na indústria k (vide seção 5.2.5).

- iv) Restrição Específica da Demanda: Determinadas indústrias devido ao seu processo industrial, só podem consumir energia de um determinado tipo de bagaço t .

$$\sum_{i \in I} x_{ik}^t + \sum_{j \in J} z_{jk}^t = DE_k \quad \text{para determinados } k \quad (5-17)$$

onde:

DE_k = Vista na equação (5-16)

- v) Restrição de Sazonalidade: As indústrias no período da entressafra não podem consumir bagaço "in natura" devendo consumir neste período bagaço beneficiado, expresso em energia.

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} x_{ik}^t + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} z_{jk}^t \geq B_k \quad (5-18)$$

onde:

B_k = Quantidade de bagaço beneficiado, em termos de energia, consumido pela indústria k , no período da entressafra, (vide seção 5.2.6).

vi) Restrição de Custo de Energia para as Indústrias: A fim de viabilizar a substituição do energético atual pelo bagaço, o custo total da energia de bagaço a ser consumida pelas indústrias não pode superar o custo atual da energia consumida por estas indústrias.

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I} (P_{ti} + V_{ti} + CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DUI_{ik} + CAD_{tk}) x_{ik}^t +$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in J} (VI_{tj} + CTB_{tg} + CKE_{tg} \cdot DJI_{jk} + CAD_{tk}) \cdot z_{jk}^t \leq GAE_k$$

$$k = 1, 2, \dots, K \quad (5-19)$$

onde:

P_{ti} = Visto na equação (5-10)

CTB_{tg} , CKE_{tg} , DUI_{ik} , DUI_{ij} , DJI_{jk} = Vistos na equação (5-12)

V_{ti} , VI_{tj} = Visto na equação (5-11)

CAD_{tk} = Visto na equação (5-13)

GAE_k = gasto com o combustível atual, por ano, na indústria k , (vide seção 5.2.12)

vii) Restrição para as Variáveis Inteiras Binárias: Para garantir que quando houver fluxo de energia de um determinado tipo de bagaço nas usinas ou nas unidades intermediárias, as correspondentes variáveis binárias valem 1 e em caso contrário zero.

$$\sum_{k \in K} x_{ik}^t \leq Q_i \cdot \delta_{ti}$$

para $t = 2, 3 \dots T$

$i = 1, 2 \dots I$

$$\sum_{k \in K} x_{ik}^1 + \sum_{j \in J} y_{ij} \leq Q_i \delta_{ti}$$

para $t = 1$
 $i = 1, 2, \dots, I$

$$\sum_{k \in K} z_{jk}^t \leq \sum_{i \in I} y_{ij} \cdot \gamma_{tj}$$

para $t = 1, 2, \dots, T$
 $j = 1, 2, \dots, J$

onde:

$$Q_i = \text{Visto na equação (5-14)}$$

viii) Restrição de Não Negatividade: As variáveis de decisão que representam quantidades de energia de bagaço não poderão assumir valores negativos.

$$x_{ik}^t \geq 0, y_{ij} \geq 0, z_{jk}^t \geq 0, \quad v_i, v_j, v_k, v_t$$

CAPÍTULO 6 - MÉTODO DE RESOLUÇÃO E RESULTADOS

A resolução do modelo matemático completo tal como proposto no capítulo anterior, requer grandes recursos computacionais, tendo em vista o razoável número de variáveis do problema, principalmente as inteiras binárias. Sendo assim, este capítulo aborda inicialmente as simplificações adotadas no modelo a fim de torná-lo operacional do ponto de vista computacional.

A seguir, é apresentado o algoritmo de resolução do modelo simplificado, detalhando as suas duas etapas. Nesta fase é apresentado o programa de computador utilizado com os comandos de execução e de redução do tempo de processamento.

Também é mostrado um procedimento que verifica a qualidade da solução inteira obtida e é apresentada uma heurística para a solução do problema sem as variáveis inteiras referentes ao custo de peletização. Para o caso desta solução não convergir ou gastar muito tempo de processamento, são propostas duas outras heurísticas.

Finalmente são apresentados os principais resultados obtidos, identificando os fluxos e tipos de bagaço, as soluções com e sem unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento, a relevância da restrição do custo de energia na indústria e os tempos gastos de processamento em cada etapa do método de resolução.

6.1. PRÉ-ANÁLISE E SIMPLIFICAÇÃO DO MODELO

O modelo matemático completo como apresentado no capítulo anterior, aplicado à Região de Ribeirão Preto, merece algumas considerações preliminares.

Por ser um dos objetivos deste estudo, não se conhece, a priori, o número e a localização de unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço. Sendo assim, sem considerar estas unidades intermediárias, portanto eliminando do modelo completo as variáveis reais y_{ij} e z_{ik}^t e as variáveis inteiras binárias γ_{tj} , $i \in I$, $j \in J$, $k \in K$, $t \in T$, onde I é o conjunto de centros de oferta de bagaço, J é o conjunto das unidades intermediárias, K o conjunto das indústrias potencialmente consumidoras e T é o conjunto dos tipos de bagaço, o modelo passa a apresentar as seguintes características:

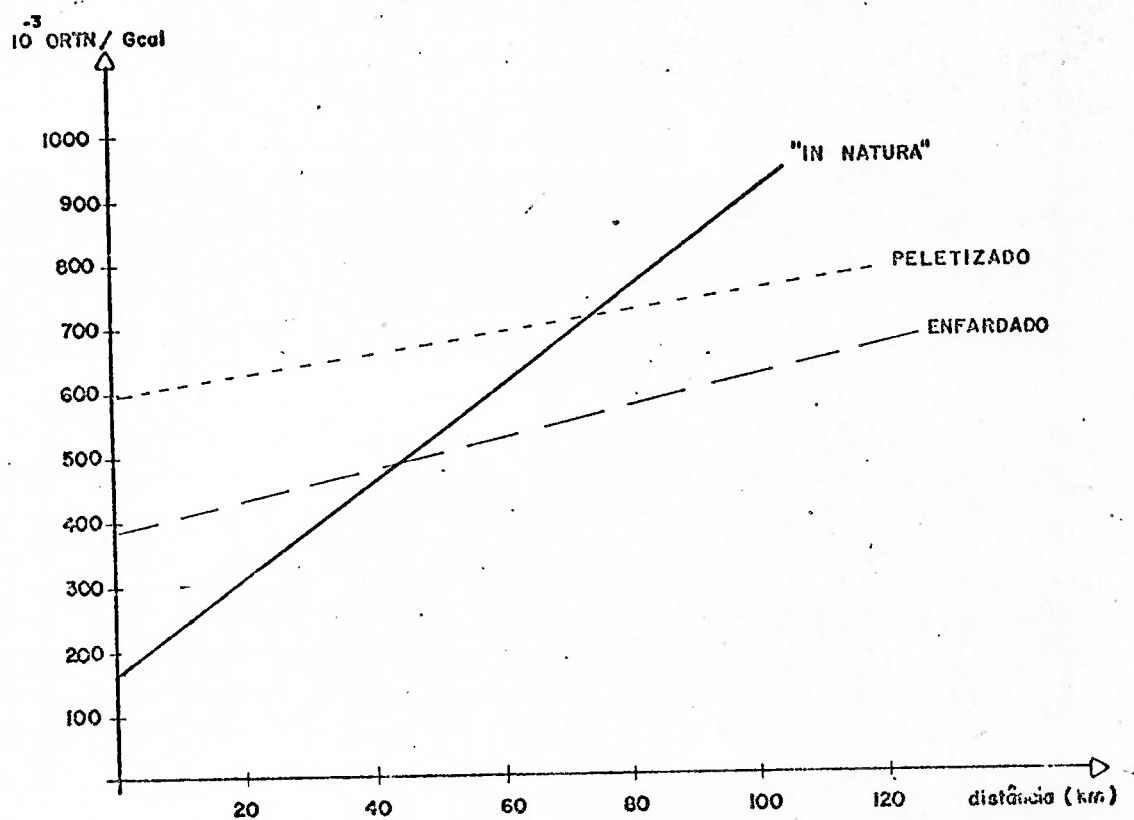
- Número de centros de oferta $i = 40$
- Número de indústrias consumidoras $k = 23$
- Número de tipos de bagaço $t = 3$
- Número de variáveis reais $x_{ik}^t = 2.760$
- Número de variáveis inteiras binárias $\delta_{ti} = 120$

Além disso, existem 40 restrições de oferta, 23 restrições de demanda, 23 restrições de sazonalidade, 23 restrições de custo de energia para as indústrias e 120 restrições relativas as variáveis inteiras.

Mesmo com um porte menor e com recursos limitados em termos de tempo de processamento, torna-se impraticável a solução do problema através de programas computacionais disponíveis no mercado.

A fim de torná-lo operacional do ponto de vista de processamento, foram reduzidos o número de variáveis reais e inteiras, com base nos seguintes critérios:

- i) A comparação entre os custos do bagaço "in natura" e o enfardado, mostra que, na pior das hipóteses, o bagaço enfardado é mais vantajoso do que o "in natura" para distâncias superiores a 60 km entre o produtor e o consumidor. A Figura 6.1 a seguir mostra, para uma determinada escala de produção, os custos de produção do bagaço em função da distância de transporte.



Obs.: Os custos referem-se a escala de 30.000 ton/ano de bagaço "in natura"

Figura 6.1 - Custo de Matéria-Prima + Armazenamento + Beneficiamento em função da Distância de Transporte

- ii) Os mesmos custos de produção, mostram que o custo do bagaço peletizado é sempre superior ao custo do bagaço enfardado, independentemente da escala de produção e da distância de transporte encontrada na região.
- iii) Usinas que produzem menos de 10.000 toneladas ano de bagaço, por serem de pequeno porte não irão beneficiar bagaço, a menos que se localizem a mais de 60 km de qualquer consumidor.

Segundo (i) pode-se eliminar as variáveis reais que contemplem bagaço "in natura" com distâncias entre usinas e indústrias superiores 60 km. Existem 3 usinas que distam mais de 60 km de qualquer indústria e estas usinas são beneficiarão o bagaço, reduzindo-se assim, em 3 o número de variáveis inteiras.

Com base em (ii), conclui-se que são irão consumir bagaço peletizado as indústrias cujos processos de fabricação ou tipo de equipamento exigem exclusivamente este tipo de bagaço. Existem 5 indústrias nesta situação, sendo que para 2, o consumo de bagaço peletizado representa uma fração do consumo total. Para as outras 3 indústrias, foram eliminadas as variáveis reais relativas ao bagaço "in natura" e enfardado.

Em função da participação de apenas 4% da demanda de bagaço peletizado em relação a demanda total da região, desconsiderou-se a introdução de variáveis inteiras relativas ao custo fixo de peletização e estimou-se um custo prévio de processamento para todas as usinas. Somente com este procedimento, que será posteriormente detalhado, foram eliminadas todas as 40 variáveis inteiras binárias de peletização.

De acordo com (iii) existem 3 usinas nestas condições, isto é, são distribuirão bagaço "in natura", reduzindo assim em mais 6 o número de variáveis inteiras.

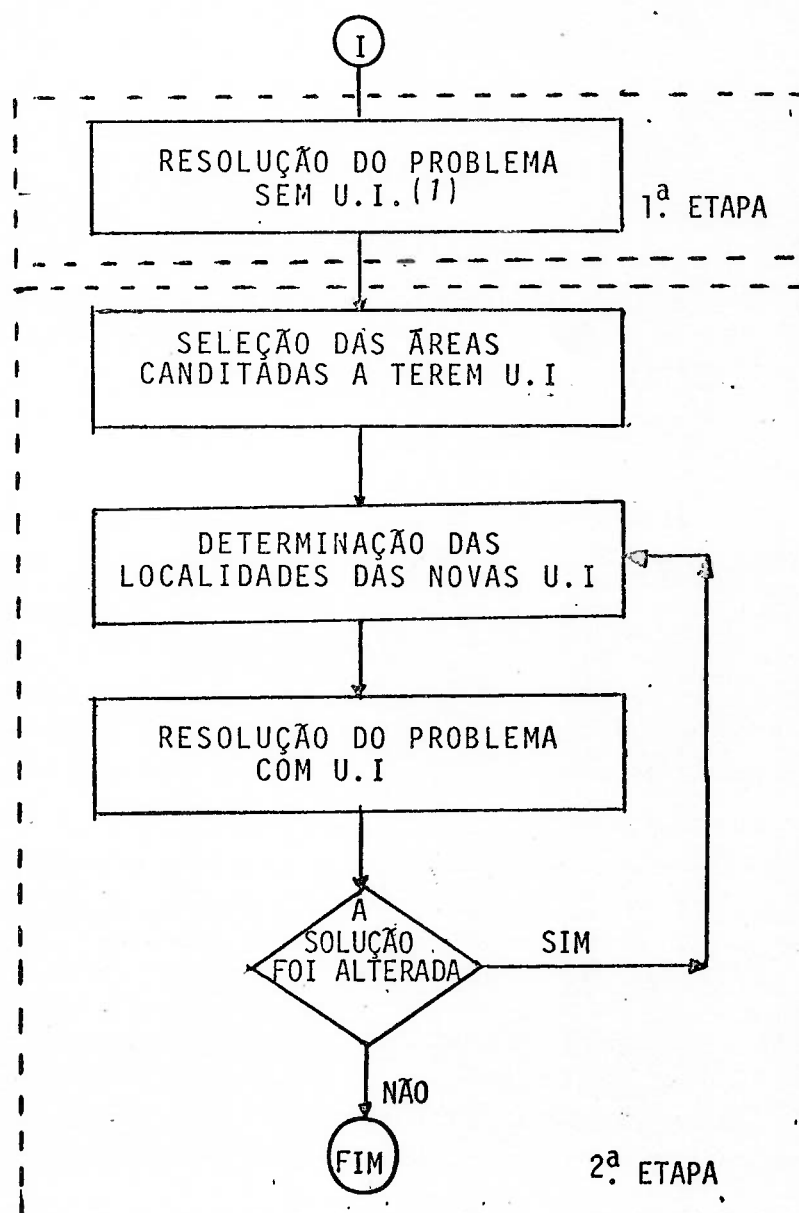
Com todas as simplificações juntas foi possível reduzir a dimensão do problema para 1.359 variáveis reais e 71 variáveis inteiras.

Em relação às restrições, houve redução do número de restrição de sazonalidade e das variáveis inteiras. Para as do primeiro tipo, a redução foi de 23 para 20, pela exclusão das 3 indústrias que consomem exclusivamente e em quantidades fixas o bagaço peletizado; e para as do segundo a queda foi de 120 para 71.

Obtido o modelo simplificado, passou-se à sua resolução.

6.2. ALGORÍTMO DE RESOLUÇÃO

A resolução do modelo simplificado foi feita em duas etapas. Na primeira, buscou-se a solução ótima sem unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço, objetivando determinar as áreas candidatas a instalarem estas unidades intermediárias, enquanto que na segunda etapa resolveu-se o problema completo com as unidades intermediárias. A Figura 6.2, na forma de diagrama de blocos, representa o algoritmo simplificado de Resolução:



(1) U.I = Unidade Intermediária de Armazenamento e Beneficiamento de Bagaço

Figura 6.2.- Algoritmo Simplificado do Método de Resolução Proposto

O objetivo central tanto da primeira etapa como da segunda é a resolução de um modelo de programação mista inteira, conforme mostrado no capítulo 5. Para a resolução de tal modelo é utilizado, em ambas etapas, um mesmo pacote computacional, cujos aspectos principais serão a seguir descritos:

6.2.1. Pacote Computacional Utilizado

Para a resolução do modelo apresentado, de programação linear mista inteira, com variáveis inteiras binárias, existem disponíveis no mercado alguns programas computacionais adequados a este tipo de problema.

Conforme mencionado no Capítulo 4, item 4.4, o pacote computacional MPS-TEMPO da BURROUGHS foi o escolhido, pelas facilidades de acesso ao terminal de computação do Centro de Computação Eletrônica da USP. Os métodos utilizados pelo pacote são o Método Simplex Revisado e o "Branch and Bound"

O pacote MPS-TEMPO é estruturado para utilizar dois blocos de comandos de controle, vide ref. [14]. No primeiro estão os registros contendo os dados do problema, que devem ser fornecidos de acordo com determinados formatos. Para facilidades de uso em problemas de grande porte, é vantajoso fazer um programa que gere os dados do problema para o programa. No segundo bloco estão os comandos de execução do problema e estes podem ser separados em dois subconjuntos: os comandos de execução propriamente dito e os comandos de redução do tempo de processamento, cujos detalhes estão apresentados no Apêndice VII.

6.2.2. Detalhamento da Primeira Etapa do Método de Resolução

O objetivo da primeira etapa é determinar a solução ótima do problema, que minimiza os custos totais de utilização do bagaço como combustível, sem a existência das unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço. As unidades industriais de beneficiamento de bagaço se localizarão nas próprias usinas como parte deste empreendimento.

Pretende-se com esta abordagem determinar as áreas potenciais candidatas a instalarem unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço, assunto objeto da segunda etapa.

A Figura 6.3 representa esquematicamente os fluxos de bagaço sem unidades intermediárias e a figura 6.4 apresenta o algoritmo detalhado dessa primeira etapa.

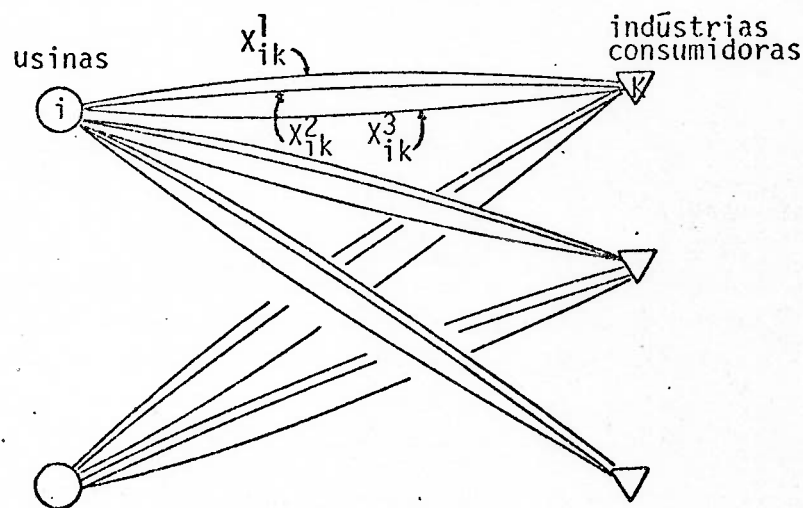


Figura 6.3 - Representação Esquemática dos Fluxos de Bagaço sem Unidades Intermediárias

x_{ik}^t = Quantidade de energia de bagaço do tipo t , transportado da Usina i para a indústria k .

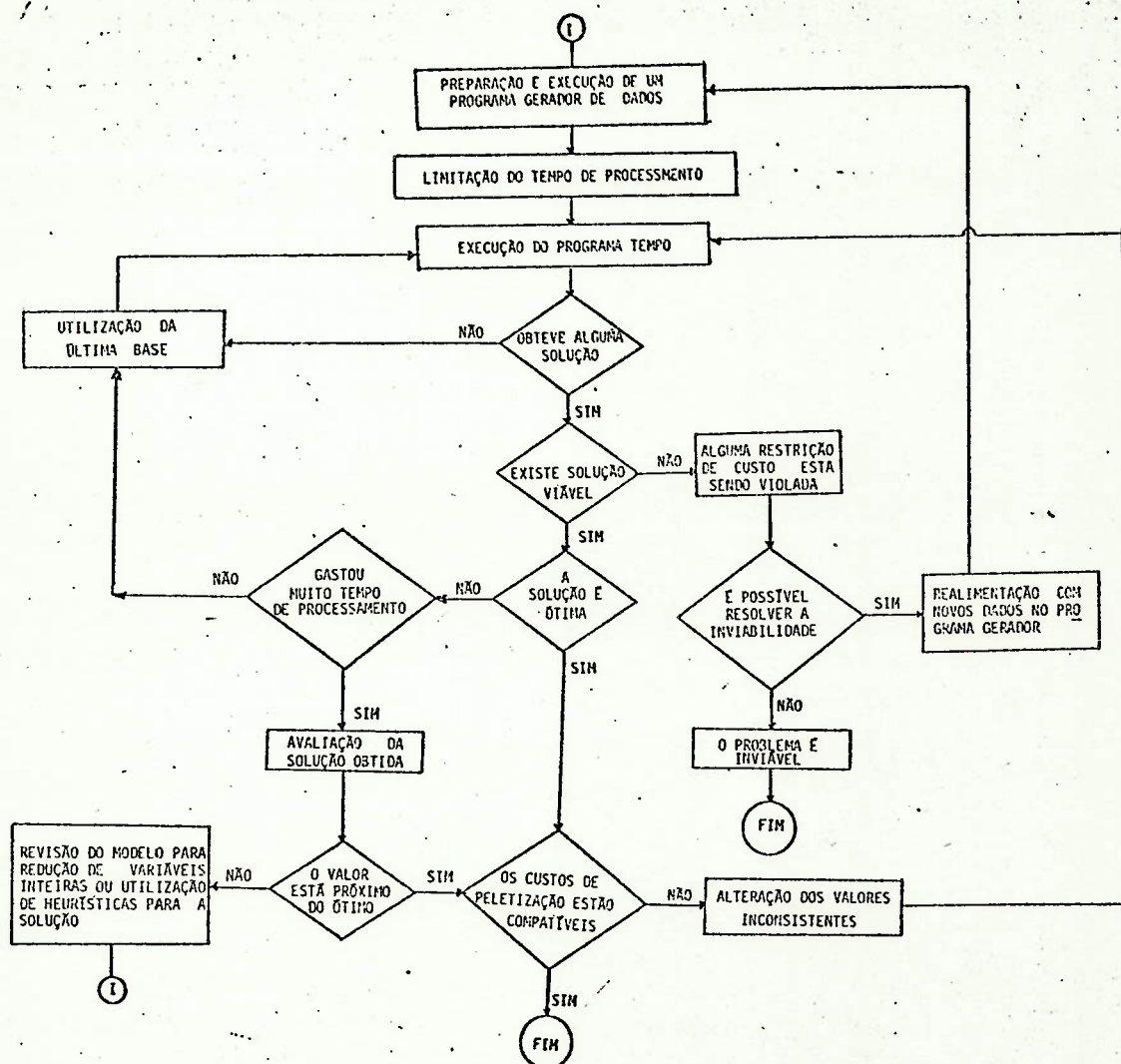


Figura 6.4 - Algoritmo Detalhado da Primeira Etapa do Método de Resolução.

Alguns aspectos deste algoritmo a seguir serão considerados:

- i) Tendo em vista o porte do problema e o número de vezes que se vai utilizar o programa, é necessário criar um programa gerador dos dados de entrada do programa TEMPO.
- ii) É importante controlar os gastos com processamento e conforme visto anteriormente, a utilização adequada de determinados comandos pode reduzir o tempo de processamento.
- iii) No caso da solução obtida não ser viável, significa que alguma restrição do custo de energia de bagaço na indústria está sendo violada. É necessário identificar e analisar a restrição inviável. Se for possível eliminar esta inviabilidade o problema pode ser reiniciado, caso contrário o problema é inviável.
- iv) Caso a solução inteira obtida não seja ótima e já se gastou muito tempo de processamento, pode-se verificar se esta é uma solução boa através da seguinte análise aproximada:

O programa TEMPO determina inicialmente a solução ótima do problema PRIMAL na qual são relaxadas as restrições de integridade das variáveis e depois busca a solução ótima inteira. Na solução ótima do PRIMAL, obtém-se a solução para o problema de programação linear, onde as variáveis inteiras binárias são transformadas em variáveis reais com valores entre 0 e 1. Sabendo-se também que a cada variável inteira binária está associado um custo fixo, utiliza-se o seguinte procedimento aproximado: seja δ_i o valor das variáveis inteiras binárias que na solução ótima do PRIMAL estão com valores diferentes de 0 e 1, C_i o custo fixo associado a estas variáveis, e n o número total de variáveis. Calcula-se :

$$\Delta = \sum_{i=1}^n (1 - \delta_i) \cdot C_i$$

Soma-se ao valor da solução ótima do PRIMAL o valor Δ . Compara-se o valor desta soma com a solução inteira obtida. Duas alternativas se colocam: a soma está muito abaixo ou está próxima do valor da solução inteira obtida. No primeiro caso, a solução inteira obtida não é boa e se os recursos forem limitados, o melhor é rever o modelo reduzindo o número de variáveis inteiras ou utilizar alguma heurística para a solução. No segundo caso, a solução inteira obtida está próxima do ótimo e se os recursos estiverem limitados pode-se parar o processamento e admitir esta solução.

- v) Depois de obtida a solução ótima ou uma solução próxima desta, é necessário verificar os custos de peletização antes de encerrar a primeira etapa. Isto porque, conforme mencionado nos critérios para redução do número de variáveis, foram eliminadas as variáveis inteiras relativas ao custo de peletização, estimando-se em seu lugar um custo unitário de processamento para cada usina. A Figura 6.5 abaixo ilustra a hipótese admitida:

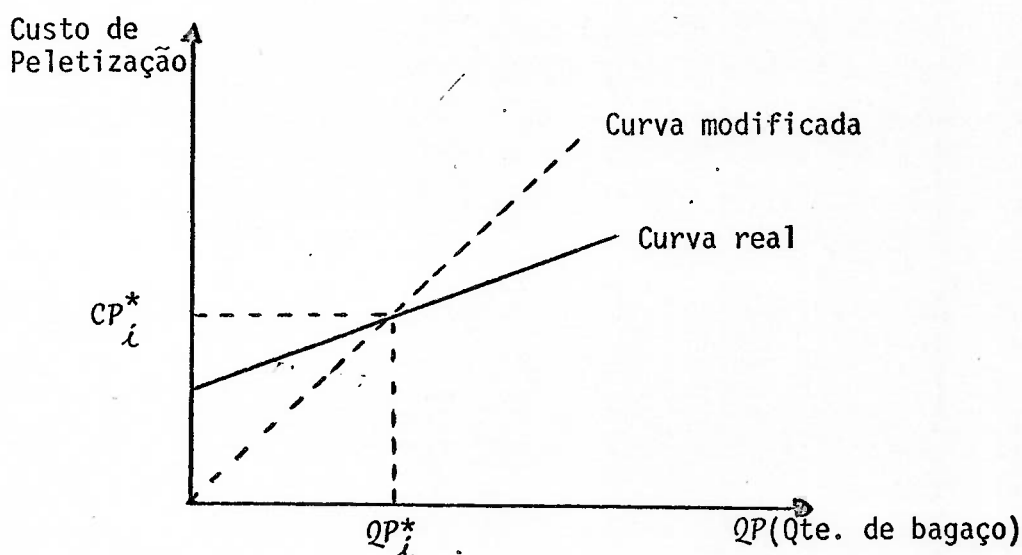


Figura 6.5 - Custo Estimado de Peletização Para Cada Usina

Na solução obtida deve-se verificar se a quantidade de bagaço peletizado pela usina i coincide com QP_i^* , que é a quantidade correspondente ao custo estimado $CE_i^* = CP_i^*/QP_i^*$, fornecida ao programa. Se não coincidirem, novas iterações devem ser feitas com a introdução de novos valores até obter a convergência.

Embora no decorrer do trabalho tenha sido utilizado um procedimento mais empírico, pode-se, como sugestão, adotar o seguinte processo iterativo:

Seja QP_i a quantidade peletizada obtida pelo processamento do programa e CE_i o custo unitário correspondente a esta quantidade peletizada.

1. Se $QP_i > QP_i^*$, significa que o custo unitário obtido desta solução deverá ser inferior ao previamente estimado, isto é, $CE_i < CE_i^*$. Deve-se portanto, fornecer um novo custo unitário CE_n ao programa, onde:

$$CE_n = \frac{CE_i + CE_i^*}{2}$$

Roda-se novamente o programa, pois com o novo valor menor é possível que a usina peletize ainda maiores quantidades de bagaço, alterando novamente os fluxos obtidos.

2. Se $QP_i < QP_i^*$, significa que o custo unitário obtido desta solução será superior ao previamente estimado, isto é, $CE_i > CE_i^*$. Deve-se fornecer o novo custo

$$CE_n = \frac{CE_i + CE_i^*}{2}$$

e processar novamente o programa. Não se garante que a usina continue peletizando, pois com os novos custos unitários maiores é possível que exista outra solução mais econômica.

3. Os procedimentos 1 e 2 devem continuar até que o valor fornecido coincida com o obtido pelo programa.
4. Para as demais usinas que no resultado do programa não peletizaram, não alterar os custos unitários fornecidos.

O fluxograma abaixo sintetiza esta heurística.

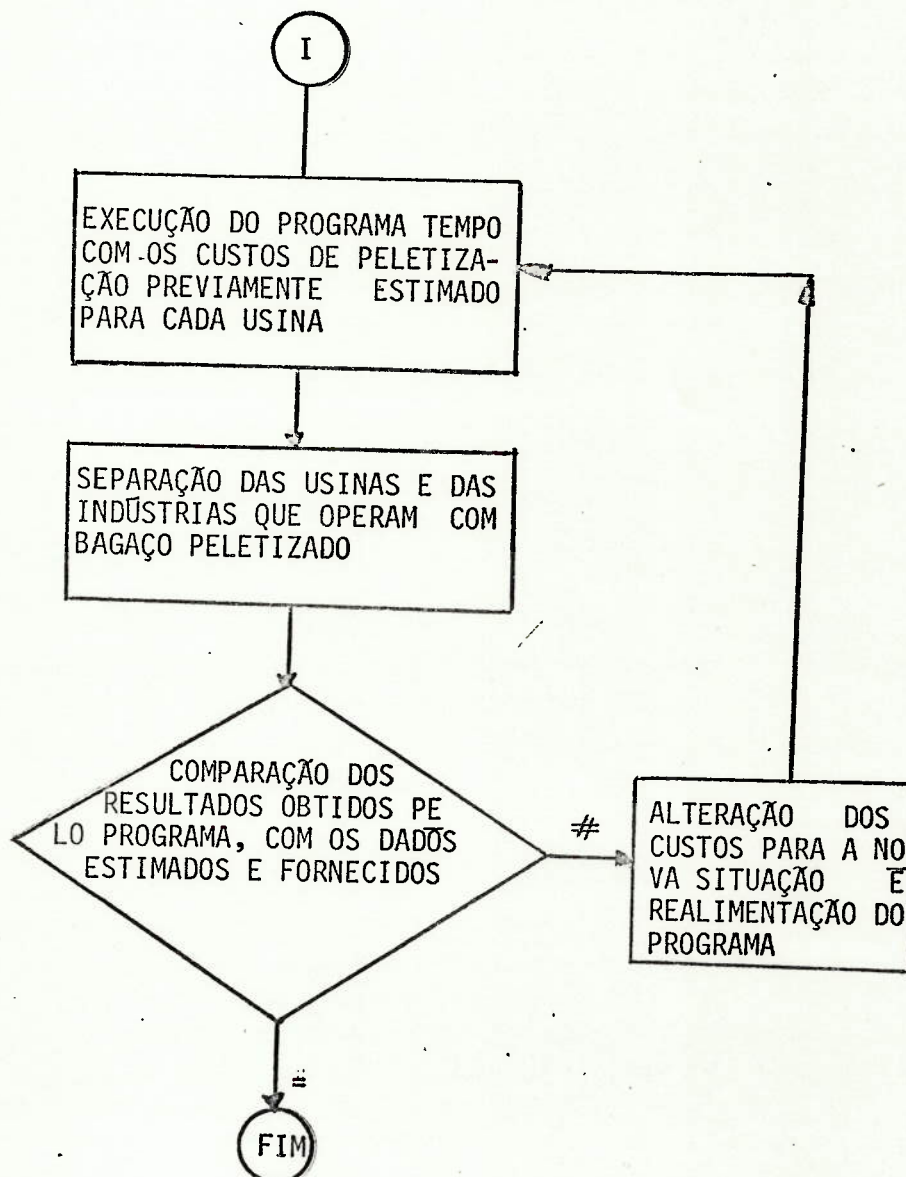


Figura 6.6. - Algoritmo de Busca do Custo Real de Peletização

Ressalta-se que, este é um método aproximado e que foi desenvolvido sem se preocupar em garantir a sua convergência nem a otimalidade, tendo em vista os altos custos de processamento e a pequena parcela que representa o bagaço peletizado no contexto de todo o bagaço envolvido. Com a finalidade de avaliar a qualidade deste método e no caso do mesmo não convergir, são propostos dois outros procedimentos de subotimização, que consideram os custos fixos de peletização, isto é, incluem as variáveis inteiras binárias relativas a este tipo de beneficiamento. Os detalhes, os resultados e a comparação destes procedimentos alternativos estão apresentados ainda neste capítulo, no item 6.3.7.

6.2.3. Detalhamento da Segunda Etapa do Método de Resolução

Na primeira etapa determina-se a solução ótima sem as unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço. Porém, a solução ótima do problema deve contemplar a existência de tais unidades industriais que podem se localizar junto às usinas, ou aos centros consumidores ou intermediarmente entre eles. A localização destas unidades intermediárias vai depender dos custos envolvidos e a sua determinação é objetivo desta segunda e última etapa do método de resolução.

A solução da primeira etapa serve para subdividir a região em estudo em um conjunto de áreas, cada qual aproximadamente suficiente em termos de suprimento e consumo. Assim, delimitadas as áreas, admite-se a existência de apenas uma unidade intermediária em cada área.

Estas hipóteses permitem transformar o problema de determinação de várias unidades intermediárias em vários problemas de localização de uma única unidade intermediária. Para a localização em cada área selecionada utiliza-se o método de Centro de Gravidade, conforme visto em 4.2.5. Admite-se, inicialmente, para cada área delimitada a hipótese de que todo o fluxo de bagaço das usinas passe pela unidade intermediária e desta seja distribuída para as indústrias consumidoras. A localização obtida, caso esteja fora da rede viária de transporte é realocada para o seu ponto mais próximo. Assim, determinadas as distâncias envolvidas, calcula-se a nova matriz de custos agora com as unidades intermediárias e o programa TEMPO é reprocessado, com o modelo matemático completo.

A solução obtida é reanalisada. Caso as hipóteses de fluxo de bagaço admitidas na aplicação do método de Centro de Gravidade sejam confirmadas, a solução é ótima. Caso contrário, com os novos fluxos da solução obtida, novas localizações são determinadas pelo mesmo método, até que a diferença entre o resultado obtido pelo programa TEMPO e as hipóteses de

fluxos admitidas sejam desprezíveis.

O fluxograma da Figura 6.7. esquemmatiza os passos desta segunda etapa, onde as considerações sobre tempo de processamento, custo de peletização e determinação da solução ótima são as mesmas mencionadas no fluxograma da primeira etapa.

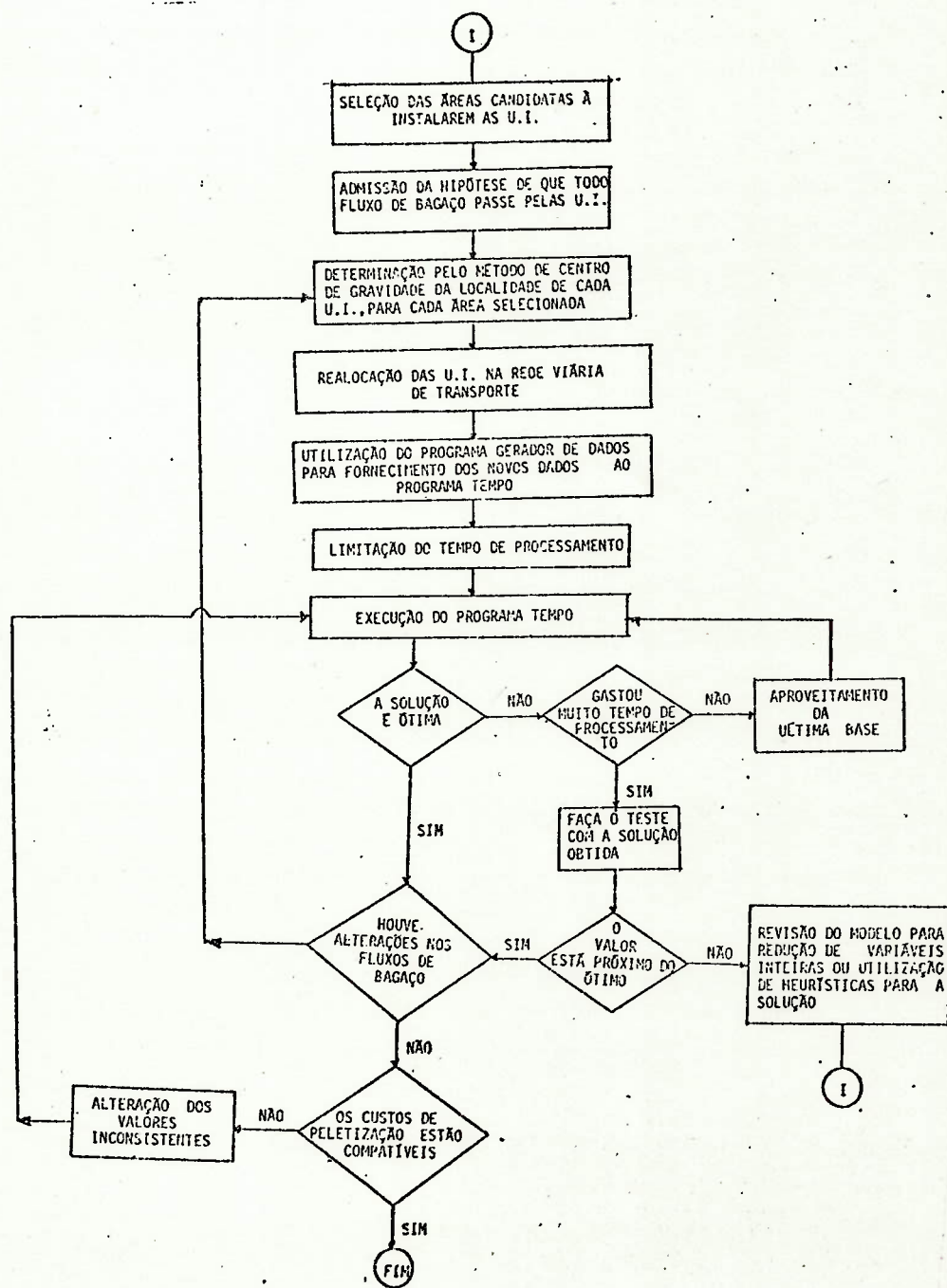


Figura 6.7 - Algoritmo Detalhado da Segunda Etapa do Método de Resolução

6.3. PRINCIPAIS RESULTADOS

Conforme visto na seção 6.1, o custo do bagaço en fardado é mais barato do que o "in natura" para as indústrias consumidoras que se localizam a mais de 60 km dos centros de oferta; e, independentemente da escala de produção e da distância de transporte encontrada na região, o custo do bagaço peletizado é sempre superior ao enfardado. Estes resultados juntamente com as hipóteses para o bagaço peletizado permitiram simplificar o problema, que foi resolvido em duas etapas: sem unidades intermediárias e com unidades intermediárias de armazenamento e beneficiamento. Os primeiros resultados destas etapas serão descritos a seguir.

6.3.1. Resultados Sem Unidades Intermediárias

A Tabela 6.1, sintetiza os resultados em termos de volume por tipo de bagaço, obtido pelo processamento sem as unidades intermediárias.

	"IN. NATURA"	ENFARDADO	PELETIZADO	TOTAL
Volume (10^3 Gcal)	1.372	1.333	124	2.829
%	48	47	4	100%

Tabela 6.1 - Volume Distribuído de Bagaço Sem Unidades Intermediárias

Estes resultados, mostram que foi beneficiado 1.457×10^3 Gcal de bagaço, quantidade superior às necessidades mínimas exigidas pelas restrições de sazonalidades, que é de 622×10^3 Gcal.

A Tabela 6.2, mostra a matriz de fluxos de bagaço.

Os resultados mostram também que 18 usinas distribuirão bagaço "in natura", outras 19 irão enfardar, 2 irão peletizar, enquanto que apenas 1 irá executar duas atividades simultâneas: "in natura" e peletização.

6.3.2. Resultados Com Unidades Intermediárias

A solução final obtida com as unidades intermediárias passou por um processo iterativo para ajuste do custo de peletização. Conforme já mencionado, a fim de reduzir o número de variáveis inteiras do problema, foi estimado um custo variável para a peletização. Inicialmente estimou-se um custo unitário equivalente a peletização de 46×10^3 Gcal de energia de bagaço, que é uma quantidade média de oferta de bagaço nas usinas, expressa em energia.

Os resultados obtidos estão mostrados na tabela abaixo, onde x_{ik}^3 é a quantidade de bagaço peletizado que é enviada da usina i para a indústria k .

VARIÁVEL	QUANTIDADE ESTIMADA	QUANTIDADE PROCESSADA	NOVOS VALORES ESTIMADOS
$x_{9,3}^3$	46	71,8	71,8
$x_{10,22}^3$	46	18,8	30,0
$x_{12,3}^3$	46	5,2	35,0
$x_{13,21}^3 + x_{13,22}^3$	46	28,2	35,0

Tabela 6.3 - Resultados da Primeira Iteração e Nova Estimativa Para a Segunda Iteração.

Nota-se que somente uma usina (9) peletizou mais bagaço do que foi estimado. Assim, para estas usinas que estão peletizando foram estimados novos valores e processado novamente o programa. Os resultados desta iteração estão na Tabela 6.4 a seguir.

VARIÁVEL	QUANTIDADE ESTIMADA	QUANTIDADE PROCESSADA	10 ³ Gcal
			NOVA ESTIMATIVA
$x^3_{9,3}$	71,8	71,8	-
$x^3_{10,3}$	30,0	5,2	20
$x^3_{12,21} + x^3_{12,22}$	35,0	27,4	32
$x^3_{21,21}$	46,0	19,6	30

Tabela 6.4 - Resultado da Segunda Iteração e Nova Estimativa Para a Terceira Iteração

Nota-se que a estimativa para a usina 9 coincidiu com o valor obtido do processamento. Os resultados da terceira iteração estão na tabela abaixo, onde z^3_{jk} é a quantidade de bagaço peletizado enviado da unidade intermediária j para a indústria k .

VARIÁVEL	QUANTIDADE ESTIMADA	QUANTIDADE PROCESSADA	10 ³ Gcal
			NOVA ESTIMATIVA
$x^3_{9,3}$	71,8	71,8	-
$x^3_{13,3}$	36,0	5,2	30
$x^3_{16,21}$	46,0	18,8	30
$z^3_{2,21} + z^3_{2,22}$	46,0	28,2	46,0
$z^3_{1,3}$	46,0	-	77

Tabela 6.5 - Resultado da Terceira Iteração e Nova Estimativa para a Quarta Iteração

Nesta iteração apareceu pela primeira vez o processamento sendo efetuado pela unidade intermediária 2, ($z^3_{2, 21}$ e $z^3_{2, 22}$). Também, como na usina 9 está na sua capacidade limite de processamento e por isso não consegue atender toda a demanda da indústria 3, foi introduzida a unidade intermediária 1 ($z^3_{1, 3}$) no processo iterativo. Esta unidade intermediária está localizada próxima a usina 9 e pode satisfazer toda a necessidade energética da indústria 3. O resultado desta iteração está na tabela abaixo.

- VARIÁVEL	10 ³ Gcal	
	QUANTIDADE ESTIMADA	QUANTIDADE PROCESSADA
$z^3_{1, 3}$	77	77
$z^3_{2, 21} + z^3_{2, 22}$	46	47

Tabela 6.6 - Resultado Final da Quarta e Última Iteração

Ou seja, o problema convergiu, e somente as unidades intermediárias 1 e 2 passaram a peletizar o bagaço.

A seguir é apresentado a tabela 6.7, que sintetiza os resultados obtidos do processamento com as unidades intermediárias.

	"IN NATURA"	ENFARDADO	PELETIZADO	TOTAL
Volume (10 ³ Gcal)	1133,8	1545,2	124	2802
%	41	55	4	100%

Tabela 6.7 - Volume distribuído de bagaço na solução final

Estes resultados mostram que foi beneficiado 1669×10^3 Gcal de bagaço, quantidade bastante superior às necessidades mínimas exigidas pelas restrições de sazonalidade.

A tabela 6.8 a seguir, mostra a matriz de fluxos de bagaço.

As principais informações obtidas desta tabela são:

i) Volume de energia de bagaço enviado diretamente pelas usinas = $1596,2 \times 10^3$ Gcal.

- "In Natura" - $839,1 \times 10^3$ Gcal
- Peletizado - $757,1 \times 10^3$ Gcal
- 14 usinas enviam diretamente bagaço "in natura"
- 11 usinas enviam diretamente bagalo enfardado
- 19 usinas se associaram as unidades intermediárias

ii) Volume de energia de bagaço processado pelas unidades intermediárias = $1206,8 \times 10^3$ Gcal

- "In Natura" - $294,7 \times 10^3$ Gcal
- Enfardado - $788,1 \times 10^3$ Gcal
- Peletizado - $124,0 \times 10^3$ Gcal
- 2 unidades intermediárias enviam bagaço "in natura" e peletizam
- 4 unidades intermediárias processam apenas bagaço enfardado

iii) Os resultados da primeira etapa permitiram determinar 10 localidades candidatas a unidades de armazenamento e beneficiamento de bagaço.

Estas são:

- I - Junto as usinas 7, 8 e 9 de Jaboticabal
- II - Junto as usinas 12 e 13 de Morro Agudo
- III - Junto as usinas 36, 37 e 38 de Guaira
- IV - Junto as usinas 15 a 20 de Sertãozinho
- V - Junto as usinas 22 a 25 de Pontal
- VI - Junto as usinas 26 e 27 de Serrana
- VII - Junto as usinas 29 e 30 de Ribeirão Preto
- VIII - Entre as cidades de Pontal e Sertãozinho
- IX - Entre as cidades de Ribeirão Preto e Serrana
- X - Entre as cidades de Ribeirão Preto, Jardinópolis, Serrana, Pontal e Sertãozinho.

Porém, na solução final somente 6 permaneceram:
I, II, III, V, VIII e X.

A figura 6.8, a seguir mostra a localização no ma
pa destas unidades intermediárias.

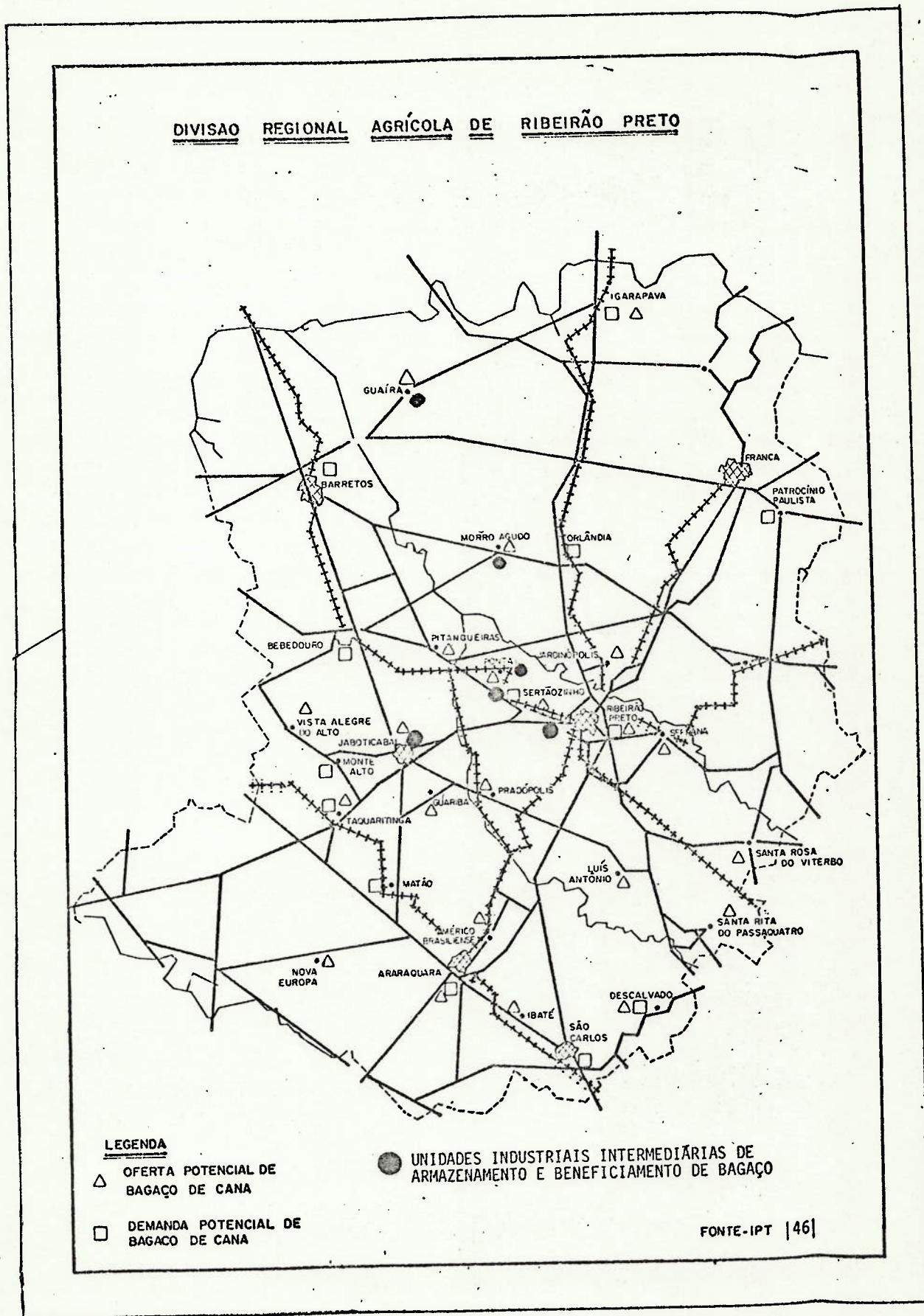


Figura 6.8 - Localização das Unidades Industriais Intermediárias de Armazenamento e Beneficiamento do Bagaço.

6.3.3. Algumas Considerações sobre a Primeira e Segunda Etapas do Método de Resolução.

- i) Na primeira etapa o programa não convergiu para a solução ótima e como estava gastando muito tempo de processamento foi utilizado o procedimento descrito no item 6.2, para avaliar a qualidade da solução inteira obtida. Esta etapa foi resolvida sem a introdução da restrição de custo de energia para cada indústria.
- ii) Resolveu-se posteriormente, na segunda etapa, aperfeiçoar o modelo conservando de um lado o enfoque de custo global, e introduzindo, por outro, um tratamento econômico individual para cada indústria consumidora, levando em conta que o sucesso do programa de aproveitamento do bagaço deve repousar sobre as vantagens econômicas das empresas.
- iii) Ao se introduzir a restrição de custo para cada indústria, percebeu-se que não havia sido considerado, inicialmente, que duas indústrias teriam que satisfazer uma determinada fração do seu consumo, obrigatoriamente com bagaço peletizado.
- iv) Considerando que:
 - a) A finalidade da primeira etapa é dar uma orientação para a localização de unidades industriais intermediárias;
 - b) O processo na segunda etapa é iterativo e um pequeno erro apenas aumenta o tempo de convergência;
 - c) A quantidade de bagaço peletizado representa muito pouco na quantidade total de bagaço, apenas 4%;
 - d) E, o alto custo de processamento;

A primeira etapa não foi reprocessada com as restrições de custo e com a inclusão das duas restrições adicionais para peletização, sendo porém incluídas na segunda etapa do método de resolução.

6.3.4. Comparação Entre as Alternativas Com e Sem Unidades Intermediárias

- i) A alternativa com unidades intermediárias processa mais bagaço enfardado do que sem unidades intermediárias, mostrando haver vantagens de concentrar o beneficiamento de bagaço em algumas localidades estratégicas.
- ii) O custo da alternativa com unidades intermediárias é cerca de 9% mais barata do que sem unidades intermediárias, confirmando as vantagens da economia de escala nos custos de beneficiamento de bagaço.
- iii) O custo total da alternativa com unidades intermediárias foi de 1.346.435 ORTN.
- iv) É mais vantajoso do ponto de vista econômico, que as unidades produtoras de bagaço de uma mesma cidade se juntem para processar o bagaço. Apenas duas localidades permaneceram na solução final como unidades industriais intermediárias, sem estar situadas junto às usinas.

6.3.5. Custo de Energia em Cada Indústria

Conforme visto na seção anterior, foi introduzida a restrição de custo de energia para cada indústria individualmente. O programa foi processado e obteve-se duas inviabilidades relativas a duas indústrias (9 e 12), que apresentam alto custo de adaptação de alguns de seus equipamentos industriais. Estas indústrias foram reanalisadas e excluídos os equipamentos cujos custos de adaptação inviabilizam economicamente a substituição do combustível atual pelo bagaço. Foram desconsideradas também o consumo de energia destes equipamentos, que para essas indústrias representam 12% e 13% respectivamente de seu consumo total.

Assim, o programa foi novamente processado, considerando que o custo do bagaço não pode ultrapassar 80% do custo atual de energia na indústria. Este é apenas um valor paramétrico no modelo, que considera uma margem de 20% sobre os custos do bagaço.

A tabela 6.8 a seguir, apresenta estes resultados. Nota-se que as indústrias teriam grandes vantagens econômicas na substituição, sendo que no melhor caso é de 23% a relação entre o custo de bagaço e o custo da energia atual, e no pior caso é de 72%.

INDUSTRIAS	CUSTO (ORTN/ANO)		
	A- CUSTO TOTAL DO BAGAÇO	B- CUSTO TOTAL DA ENERGIA ATUAL	A/B em %
1	177.030	655.000	27
2	7.575	18.000	42
3	52.360	116.000	45
4	86.145	207.000	41
5	68.323	103.000	66
6	3.522	5.000	70
7	181.615	650.000	28
8	93.879	300.000	31
9	72.390	106.000	67
10	6.174	12.000	52
11	186.439	420.000	44
12	22.144	34.000	64
13	96.917	180.000	54
14	40.749	76.000	52
15	27.415	64.000	42
16	21.394	45.000	47
17	28.945	80.000	36
18	2.983	8.000	37
19	61.992	137.000	45
20	8.965	40.000	23
21	23.079	37.000	62
21	36.010	50.000	72
23	2.790	5.000	56

Tabela 6.9 - Comparação Entre os Custos do Bagaço e da Energia Atual na Indústria

6.3.6. Tempos de Processamento.

O programa processado no computador BURROUGHS/6900 do Centro de Computação Eletrônica da USP, apresentou os seguintes resultados em termos de tempo de processamento:

A primeira etapa, com 1359 variáveis reais, 71 variáveis inteiras, 154 restrições num total de 5408 elementos e 2,57% de densidade gastou 1 minuto e 36 segundos para obter a solução ótima do PRIMAL. Gastou mais 3 minutos e 43 segundos para obtenção da primeira solução inteira, mais 55 minutos e 40 segundos para obter a segunda solução inteira, mais 1 minuto e 11 segundos para obter a terceira solução inteira e mais 45 minutos e 40 segundos sem obter nenhuma outra solução. Em função da não convergência para a solução ótima foi avaliada a solução inteira conforme visto na seção 6.2.2.. A solução foi considerada boa, foi feita a iteração para o custo de peletização e passou-se para a segunda etapa.

Com os resultados obtidos na primeira etapa foram eliminadas algumas variáveis, introduzidas as restrições de custo de energia na indústria e determinadas as localidades candidatas a instalarem unidades intermediárias. O programa rodou com 1335 variáveis reais, 55 variáveis inteiras, 172 restrições, num total de 6100 elementos e densidade de 2,66%. Gastou-se em torno de 4 minutos em cada processamento iterativo.

6.3.7. Procedimentos Alternativos Para o Bagaço Peletizado

Conforme anteriormente abordado, para a primeira e a segunda etapa do método de resolução, não foram consideradas as variáveis inteiras relativas a parte fixa do custo de peletização. Visando avaliar os resultados obtidos, foram propostos dois procedimentos alternativos de subotimização:

1º Procedimento Alternativo

Resolve inicialmente o problema para as indústrias consumidoras de bagaço "in natura" e enfardado e com o

que restar de oferta de bagaço resolve exclusivamente para as indústrias consumidoras de bagaço peletizado.

2º Procedimento Alternativo

Resolve inicialmente o problema sô para as indústrias consumidoras de bagaço peletizado e com o que restar de bagaço resolve para as demais indústrias.

Em ambos procedimentos são consideradas as localidades candidatas a instalarem unidades industriais de armazenamento e beneficiamento de bagaço, determinadas pela primeira etapa do método de resolução proposto.

É apresentado na tabela abaixo uma comparação dos resultados obtidos com os três métodos testados: o método de resolução adotado, o 1º e o 2º Procedimentos Alternativos:

Custo em ORTN	Método de Resolução Adotado	1º Procedimento Alternativo	2º Procedimento Alternativo
Sem Peletização	1.234.986	1.218.232	1.227.778
Sô Com Peletização	111.449	142.071	88.802
TOTAL	1.346.435	1.360.303	1.316.580

Tabela 6.10 - Valores da Função Objetivo Obtidos com os Três Métodos de Solução Apresentados.

Nota-se que o melhor resultado é pelo 2º procedimento alternativo, na qual, uma única usina (nº 26) peletiza todo o bagaço consumido na região. Esta melhor solução é cerca de 2% mais econômica do que a obtida pelo método de resolução adotado, cujo resultado depende dos custos iniciais estimados e do procedimento iterativo utilizado.

Ressalta-se contudo que os três métodos são aproximados e foram desenvolvidos para tornar exequível o tratamento dado ao problema.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Em termos de metodologia, a formulação de um modelo matemático de otimização global do sistema produção-distribuição-consumo foi uma importante contribuição deste estudo. A principal conclusão foi a demonstração dentro das hipóteses de custos admitidas, da viabilidade técnica e econômica da utilização do bagaço de cana como energético alternativo na região de estudo. Entre as qualidades deste modelo matemático ressaltam-se a pesquisa das várias alternativas para localização de unidades industriais de beneficiamento e armazenamento de bagaço e a consideração de funções descontínuas na origem e não lineares (côncavas). Estas funções representam na função objetivo os custos de investimento das instalações industriais e as economias de escala nos custos de processamento destas unidades industriais.

Embora o modelo e o método de solução adotados tenham sido desenvolvidos para um problema específico, os mesmos contêm uma abordagem genérica e podem ser utilizados, com algumas adaptações, para outras aplicações semelhantes. Neste sentido, foram desenvolvidos um procedimento para avaliar a qualidade da solução inteira obtida, quando o algoritmo não consegue determinar a solução ótima e, algumas heurísticas para a redução do tempo de processamento.

Entre as limitações para a aplicação do modelo têm-se as devidas ao tempo de computação, as dificuldades de modelar as localidades industriais e as hipóteses de custo adotadas.

Para tornar exequível o modelo para utilização do pacote computacional MPS-TEMPO, foi necessário introduzir hipóteses simplificadoras para o custo de peletização, reduzindo o número de variáveis inteiras do problema. Embora somente 4% de todo o volume de bagaço vá ser peletizado, o resultado final depende das estimativas do custo inicial de peletização e do

procedimento iterativo adotado, não se garantindo portanto, a otimalidade da solução. Por outro lado, a técnica de escolha das localidades industriais de armazenamento e beneficiamento de bagaço, também não garante a obtenção da solução ótima. Isto porque, após obter a solução da primeira etapa do método de resolução, a região em estudo foi dividida em sub-regiões, cada qual candidata a instalar uma unidade industrial. Qualquer que seja o critério de escolha destas sub-regiões é muito difícil garantir a cobertura de todas as combinações possíveis.

Com relação as hipóteses de custo, conforme já abordado no Capítulo 1, as mesmas são de difícil quantificação, porém como são tão somente parâmetros do modelo, podem ser modificadas a medida que se obtenham dados mais confiáveis.

Em termos de resultados deste trabalho, merecem destaques:

- Como o custo do bagaço enfardado para as indústrias é mais baixo do que o peletizado, este só será consumido como combustível nas indústrias para as quais os outros tipos de bagaço não são tecnicamente viáveis.
- A análise da utilização do bagaço de cana como energético alternativo, embora buscando a minimização dos custos globais, mostra que a substituição do combustível atual, seja óleo combustível ou lenha, pode provocar uma redução de custos de pelo menos 20% para cada indústria examinada, excluídas duas para as quais o custo de adaptação é excessivamente alto.
- A implantação de unidades industriais intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço reduz o custo global da substituição em torno de 9% quando comparado com o custo da alternativa sem unidades intermediárias. Estas unidades, além de promoverem uma melhor distribuição de bagaço, produzem custos unitários mais baixo, resultante do fator de economia de escala no beneficiamento.

7.2. RECOMENDAÇÕES

As recomendações em termos de possíveis desdobramentos da pesquisa, são relativas as melhorias no modelo e aos resultados obtidos.

No modelo adotado, foram considerados num mesmo instante de tempo todas as modificações e investimentos efetuados. Porém, como o bagaço é um produto novo no mercado, a sua consolidação não se realiza em curto período de tempo. Sendo assim, seria interessante que o modelo contemplasse o acompanhamento da evolução da oferta e da demanda ao longo do tempo, a fim de serem determinadas as datas ótimas de implantação ou ampliação das unidades industriais de beneficiamento de bagaço.

- Também, tendo em vista que foram introduzidas hipóteses simplificadoras referentes ao custo de peletização para a redução do número de variáveis inteiras do problema, sugere-se a análise e/ou desenvolvimento de procedimentos heurísticos para a solução do problema completo. A razão para a utilização de heurísticas é que embora esteja havendo um grande desenvolvimento computacional e da teoria de programação inteira, ainda não é possível obter a solução ótima de problemas de grande porte utilizando os pacotes computacionais disponíveis no mercado.

Em relação aos resultados obtidos, merecem destaque:

- Em função da viabilidade técnica-econômica e operacional da utilização do bagaço de cana como energético, mostrado através do modelo adotado neste trabalho, seria interessante estender para outras regiões o estudo feito na Região de Ribeirão Preto. Os balanços de oferta e demanda de cada região permitirão avaliar a falta ou a sobra de bagaço e as possibilidades de suplementação ou aproveitamento do bagaço de outras regiões.
- Seria interessante também, que fossem adotadas algumas medidas, a nível de governo, para a consolidação deste importante mercado. Algumas destas medidas seriam: coleta e divulgação

para todos interessados de dados sobre produção, comercialização, excedente de bagaço nas usinas, lista dos consumidores de óleo combustível ou lenha, e resultados técnicos e econômicos da substituição, etc; e, financiamentos, em condições favoráveis, para implantação de unidades de beneficiamento e substituições de equipamentos para queima de bagaço. Ou seja, o governo pode agir de forma a orientar, disciplinar e estimular o mercado de bagaço, com vantagens para o país em termos de economias de divisas com o petróleo importado e utilização de produto genuinamente nacional.

- O custo atual de peletização inibe a expansão de seu mercado, neste sentido, seria desejável um esforço nas atividades de pesquisa de tecnologia sobre secagem, compactação e gaseificação visando reduzir os custos envolvidos com a utilização deste energético.
- Os resultados indicaram a macro-localização das unidades industriais intermediárias de armazenamento e beneficiamento de bagaço. Para a sua efetiva implantação, deve ser pesquisada a escolha do terreno, que pode ser obtida através da aplicação do "Método dos Orçamentos Comparados".
- As dificuldades computacionais encontradas podem ser particulares do pacote e do computador utilizados. Por este motivo, seria interessante que o problema fosse processado em outro computador e com outro pacote, a fim de verificar se as dificuldades encontradas são da mesma magnitude.

APENDICE I
CUSTO DE TRANSPORTE

Como custo de transporte, foram considerados os custos de:

- Transbordo
- Custo Operacional Rodoviário (custo/km)

Estes custos serão detalhados para dois tipos de caminhão:

- T-112H de Scania - Carroceria Graneleira - com 3 eixos e capacidade de carga de 40 toneladas.
- MBB-2213 da Mercedes-Benz - Carroceria Graneleira - com 3 eixos e capacidade de carga de 16 toneladas.

O custo de transbordo depende da quantidade de bagaço carregado/descarregado e do tipo de bagaço. Tabela I.1, a baixo resume estes custos:

TIPOS DE BAGAÇO	CR\$/CAMINHÃO		10 ⁻³ ORTN/Gcal	
	MBB-2213	T-112H	MBB-2213	T-112H
"In Natura"	13.000	20.000	19,10	15,73
Enfardado	20.000	32.000	6,17	5,28
Peletizado	15.000	30.000	4,46	3,61

Tabela I.1 - Custo de Transbordo

A seguir é apresentado as planilhas de cálculo do custo operacional rodoviário, de acordo com a metodologia definida pelo PICR/GEIPOT, vide ref. [13] para os dois tipos de caminhões considerados como sendo representativos das classes de veículos.

A formulação utilizada para este cálculo, envolve dois itens principais ou sejam; item de custo fixo e item de custo variável.

Os elementos que compõem o custo fixo são:

- Depreciação;
- Remuneração de capital;
- Salário de motorista;
- Licenciamento; e
- Seguro.

Estes custos fixos, independem da utilização do veículo em algum tipo de transporte, devendo o empresário ou carreteiro, assumir de qualquer forma estes gastos.

Já os custos variáveis, implicam no uso do veículo para efetuar algum transporte e por consequência em gastos com pneus, combustíveis, manutenção, etc.

Os elementos que compõem o custo variável nesta metodologia são:

- Peças de reposição;
- Mão-de-Obra de oficina;
- Pneus;
- Combustível;
- Óleo lubrificante
- Graxa;
- Lavagens; e
- Gastos com administração e eventuais.

A seguir são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo do custo operacional.

Elementos de Custo Fixo

a) Depreciação

$$DEP = \frac{(VA - VA') \cdot PVN}{12 \cdot UT}$$

$$VA = e^{(-0,185 - 0,175 \cdot A)}$$

$$VA' = e^{(-0,185 - 0,175 \cdot A')}$$

onde:

DEP = Depreciação média mensal em Cr\$/km

A = Idade média do veículo em anos (IM)

A' = IM + 1

PVN = Preço do veículo novo

UT = Utilização mensal do veículo em km

VA(VA') = Valor do caminhão em A(A') anos de idade no mercado de veículos usados, expresso como sendo um percentual do preço do veículo novo

b) Remuneração do Capital

$$RC = \frac{VA \cdot PVN \cdot I}{12 \cdot UT}$$

onde:

RC = Custo de remuneração de capital investido em Cr\$/km

I = Taxa anual de remuneração do capital

VA, PVN, e UT = Já definidos anteriormente

c) Salário do Motorista

$$SM = \frac{Sal.Mot.(1+ES)}{UT}$$

onde:

SM = Custo do salário de motorista em Cr\$/km

Sal.Mot. = Salário mensal do motorista

ES = Encargos sociais

UT = Já definido anteriormente

d) Licenciamento

$$VL = \frac{\bar{V}. Lic.}{12 . UT}$$

onde:

VL = Custo do licenciamento em Cr\$/km

V. Lic. = Valor do licenciamento do veículo

UT = Já definido anteriormente

e) Seguro

$$S = \frac{S0}{12 . UT} + \frac{0,00542 . PVN}{12 . UT}$$

onde:

S = Custo do seguro em Cr\$/km

S0 = Seguro obrigatório

PVN, UT = Já definidos anteriormente

Elementos de Custo Variável

a) Peças de Reposição

$$PC_1 = \frac{PC}{1000} \cdot \left(\frac{K}{204}\right)^{0,374} \cdot AJ$$

$$PC = 2865 - 2198 \cdot TIP + 3537 \cdot ST - 2560 \cdot AX2 + 105,17 \cdot QI$$

onde:

PC_1 = Custo de peças de reposição em Cr\$/km

PC = Consumo de peças

K = Idade do veículo em unidades de 1000 km

$AJ = \frac{ORTN \text{ março}/84}{ORTN \text{ dez}/81}$ = ajuste utilizado para a conversão do custo de cruzeiros de 81 para cruzeiros de março de 1984.

TIP = 1 se o veículo é basculante e 0 nos outros casos

ST = 1 se o veículo é pesado e 0 nos outros casos

AX2 = 1 se o veículo é de 2 eixos e 0 nos outros casos

QI = coeficiente de rugosidade da via

b) Mão-de-Obra de Oficina

$$LC = \frac{e^{\ln(LC)}}{1000}$$

$$\ln(LC) = 3.396 + 0,519^{\ln} (1000 \cdot PC_1)$$

onde:

LC = Custo de mão-de-obra de manutenção em Cr\$/km

PC_1 = Já definido anteriormente

c) Pneus

$$Pneu = \frac{N^{\circ} \text{ de Pneus} \cdot \text{preço}_p}{10.000 \cdot KPT}$$

$$KPT = 5.756 \cdot A + 6,004 \cdot B + 9,450 \cdot C - 0,00951 \cdot QI - 0,00424 \cdot RF - 0,00127 \cdot ADC$$

onde:

$Pneu$ = Custo de pneus em Cr\$/km

Preço_p = Preço de mercado do pneu em Cr\$

KPT = total de quilômetros por pneu novo equivalente, em unidades de 10.000 km

$A=1$ = se o tamanho do pneu é 900 x 20 e 0 nos outros casos

$B=1$ = se o tamanho do pneu é 1000 x 20 e 0 nos outros casos

$C=1$ = se o tamanho do pneu é 1100 x 20 e 0 nos outros casos

RF = rampas e contra-rampas em metros por km. É o gradiente médio da estrada multiplicado por 10

ADC = a soma dos ângulos centrais de todas as curvas horizontais no trecho multiplicado pela extensão do trecho em graus/km

QI = Já definido anteriormente

d) Combustível

$$FUEL = \frac{e^{\ln(FUEL) \cdot \text{Preço}_0}}{1000} \text{ para veículos médios e semi-pesados}$$

$$FUEL = e^{(5,735 + 0,00108 \cdot QI)}$$

onde:

$FUEL$ = Custo do consumo de combustível em Cr\$/km

Preço_0 = Preço de mercado do óleo diesel

QI = Já definido anteriormente

e) Óleo Lubrificante

$$LO = \frac{2 \cdot cc \cdot Preço_1}{UT}$$

onde:

LO = Custo do consumo de óleo lubrificante em Cr\$/km

cc = Capacidade do cârter

Preço_j = Preço de mercado do óleo lubrificante

UT = Já definido anteriormente

f) Graxa

$$CR = \frac{1,8 \cdot Preço_2}{UT}$$

onde:

GR = Custo da graxa em Cr\$/km

Preço₂ = Preço do kg da graxa vigente no mercado

UT = Já definido anteriormente

g) Lavagem

$$LAV = \frac{2 \cdot Preço_3}{UT}$$

onde:

LAV = Custo da lavagem em Cr\$/km

Preço₃ = Preço de mercado da lavagem

UT = Já definido anteriormente

h) Administração e Eventuais

$$\text{Adm. Event.} = 0,15 [\text{custo} - (\text{RC} + \text{DEP})]$$

onde:

Adm. Event. = Custo de administração e eventuais em Cr\$/km

custo = É a somatória de todos os itens de custos anteriores

RC, DEP = Já definidos anteriormente

A seguir são apresentadas as planilhas do custo do sistema de cálculo do PICR, calculadas para cada tipo de veículo considerado neste estudo.

CUSTOS	DADOS	10^{-3} ORTN/km
FIXOS		
Depreciação	PVN = 144.686.840,00 UT = 7.858 IM = 6.91	3,05
Remuneração do Capital	IM = 6.91 UT = 7.858 I = 13% PVN = 144.686.840,00	2,46
Salário do Motorista	ES = 63.4% Sal. Mot. = 773.625,00 UT = 7.858	8,00
Licenciamento	V. Lic. = 402.796,80 UT = 7.858	0,21
Seguro	SO = 33.555,60 PVN = 144.686,00 UT = 7.858	4,93
SUB-TOTAL		18,70
VARIÁVEIS		
Peças de Reposição	TIP = 0 K = 777.677 ST = 1 ORTN Nov/84 = 20.118.71 AX2 = 0 ORTN Dez/81 = 1.982,09 QI = 550	13,91
Mão-de-Obra de Manutenção	-	1,44
Pneus	Nº de Pneus = 18 C = 1 Preço = 864.547,00 QI = 50 A = 0 RF = 29 B = 0 ADC = 65	8,82
Combustível	QI = 50 UT = 7.878 Preço = 950,00/l	26,40
Óleo Lubrificante	QI = 50 UT = 7.878 Preço = 3.869,00/l	1,22
Graxa	Preço = 7.500,00/kg UT = 7.858	0,09
Lavagem	UT = 7.858 Preço = 64.800,00	0,82
Administração e Eventuais	Custo = 1.322,00	9,03
SUB-TOTAL		61,73
CUSTO OPERACIONAL TOTAL		80,43

Obs.: Valores em Cr\$ de Nov/84.

Tabela I.2 - Custo Operacional Rodoviário do T-112H da Scânia Carroceria Graneleira, com 3 eixos.

CUSTOS	DADOS	10^{-3} ORTN/km
FIXOS		
Depreciação	PVN = 129.628,00	2,54
Remuneração do Capital	IM = 7,61 UT = 73.84 I = 13% PVN = 129.628.612,00	2,07
Salário do Motorista	ES = 63.4% Sal. Mot. = 614.921,00 UT = 7.384	6,76
Licenciamento	V. Lic. = 202.564,80 UT = 7.384	0,11
Seguro	S0 = 33.555,60 PVN = 129.628.612,00 UT = 7.384	4,75
SUB-TOTAL		16,24
VARIÁVEIS		
Peças de Reposição	TIP = 0 K = 799.087 ST = 0 ORTN Nov/81 = 20.118.71 AX2 = 0 ORTN Dez/81 = 1.382,09 QI = 50	9,78
Mão-de-Obra de Manutenção	-	1,20
Pneus	Nº de Pneus = 10 Preço = 699.636,00 A = 1 B = 0 C = 0	6,84
Combustível	QI = 50 UT = 7.384 Preço = 950,00/ℓ	15,43
Óleo Lubrificante	UT = 7.384 Preço = 3.869,00/ℓ CC = 16,8 ℓ	0,88
Graxa	Preço = 7.500,00/kg UT = 7.384	0,09
Lavagem	UT = 7.384 Preço = 38.944,00	0,52
Administração e Eventuais	Custo = 807,00	5,32
SUB-TOTAL		40,07
CUSTO OPERACIONAL TOTAL		56,31

Obs.: Valores em Cr\$ de Nov/84.

Tabela I.3 - Custo Operacional do Mercedes Benz MBB-2213, Carroceria Graneleira, com 3 eixos.

A tabela I.4 apresenta a síntese do custo de transporte para os diversos tipos de bagaço, exemplificado para os caminhões T-112H e MBB.2213.

TIPOS DE BAGAÇO	DENSIDADE (kg/m ³)	QUANTIDADE TRANSPORTADA (ton)		% SOBRE A CARGA ÚTIL		Cr\$/ton/km (*)		10 ⁻³ ORTH/Gcal . km	
		MBB-2213	T-112H	MBB-2213	T-112H	MBB-2213	T-112H	MBB-2213	T-112H
"In Natura"	150	6,85	12,3	42,0	31,0	335,7	263,1	7,41	5,81
Enfardado	370(**)	15,0	27,3	93,0	68,0	151,5	118,5	1,99	1,56
Peletizado	550	16,2	40,0	100,0	100,0	139,9	80,9	1,77	1,03

(*) Valores de Nov/84

(**) Perda de 10% do volume útil do caminhão

Tabela I.4 - Síntese dos Custos de Transporte para os diversos tipos de bagaço

APENDICE II
CUSTO DE MATÉRIA PRIMA

A indústria sucra-alcooleira tem como função básica a produção de açúcar e álcool. Os recursos investidos em melhorias do processo resultam em benefícios diretos para o sistema global. Um dos benefícios é a sobra de bagaço, resultante também de outras melhorias técnicas e operacionais. Sem um aproveitamento comercial, o bagaço de sub-produto torna-se um rejeito industrial.

Pelas variadas condições operacionais, no setor como um todo, torna-se impraticável a aplicação de algum raio com os demais produtos, em função da dificuldade de estabelecer critérios e apropriação de custos para a produção de bagaço excedente dentro da complexidade operacional de uma usina. Ademais, é bastante discutível a definição de onde se iniciam e onde terminam as operações produtivas de bagaço.

Sendo assim, e objetivando contornar estas dificuldades, foi estabelecido um custo de matéria-prima, relativo aos investimentos e custos operacionais das atividades desde o despejo do bagaço excedente até o seu empilhamento.

Devido à variação dos portes das usinas, quatro situações foram analisadas: usinas com excedentes de 10.000, 20.000, 40.000 e 80.000 toneladas de bagaço "in natura". A composição dos dados básicos de custos foi obtido de Wilhelm [57].

Os itens que compõem este custo são:

- Combustível para manuseio do excedente, principalmente de diesel para os movimentos do trator;
- Mão-de-obra mais encargos sociais do pessoal que se dedica exclusivamente a esta atividade;
- Manutenção, considerado na base média anual de 4% sobre os investimentos;
- Custo Administrativo, previsto uma incidência de 15% sobre as despesas diretas;
- Custo financeiro, admitido 12% de custo de capital e 9% de de-

preciação ao ano.

O custo operacional por tonelada de bagaço "in natura" fica:

	QUANTIDADE EXCEDENTE DE BAGAÇO			
	10.000 ton/ano	20.000 ton/ano	40.000 ton/ano	80.000 ton/ano
Custo* Cr\$/t	1.734	1.704	1.694	1.663

* Valores de Jan/84.

Para determinar o custo para o bagaço enfardado e peletizado, deve-se considerar:

- 1 tonelada de bagaço "in natura" = 625 kg de enfardado
- 1 tonelada de bagaço "in natura" = 588 kg de peletizado
- PCS "in natura" = 2252 Kcal/kg
- PCS enfardado = 3632 Kcal/kg
- PCS peletizado = 3862 Kcal/kg

$$\frac{\eta_{\text{enfardado}}}{\eta_{\text{in natura}}} = 1,04 \qquad \frac{\eta_{\text{peletizado}}}{\eta_{\text{in natura}}} = 1,05$$

onde η é o rendimento térmico.

Fazendo os devidos cálculos, obtêm-se a Tabela II.1, abaixo, que sintetiza o custo da matéria-prima do bagaço "in natura", expresso em termos de custo por unidade de energia para os três tipos de bagaço:

TIPOS	Custo em 10^{-3} ORTN/Gcal			
	QUANTIDADE EXCEDENTE DE BAGAÇO POR ANO			
	10.000 ton	20.000 ton	40.000 ton	80.000 ton
"In Natura"	102,4	100,2	99,6	97,8
Enfardado	97,3	95,6	95,1	93,3
Peletizado	99,7	97,9	97,3	95,6

Tabela II.1 - Custo da matéria-prima bagaço "in natura"

APÊNDICE III

CUSTO DE ARMAZENAMENTO DO BAGAÇO "IN NATURA"

A armazenagem do bagaço está relacionada basicamente a três fatos:

- i) A sazonalidade, que implica num período de armazenagem de, no mínimo, cinco meses que correspondem ao período de entressafra da cana;
- ii) A densidade do bagaço, que requer uma elevada cubagem para o seu acondicionamento;
- iii) A necessidade de proteger o produto, evitando-se a perda e a sua deterioração, mantendo as características físicas para utilização como combustível.

Esta questão afeta tanto o produtor como o usuário, exigindo de ambos uma análise criteriosa sobre os procedimentos a serem executados. Os custos relativos ao usuário serão abordados no apêndice sobre custos de adaptação de equipamentos.

Os custos de armazenagem para o produtor, incide no manuseio e nos investimentos para proteção do produto.

Existem várias situações possíveis para armazenar o bagaço, porém deve-se buscar alternativas que sejam eficientes e ao mesmo tempo ofereçam o menor custo possível, pois o custo final do bagaço definirá o seu próprio poder de competição no mercado perante outras fontes de energia.

Para o bagaço "in natura", a princípio a alternativa mais prática e econômica é promover a cobertura com lonas plásticas sobretudo nos períodos chuvosos e úmidos. Esta solução implica espaço físico e uma pequena proteção em alvenaria circundando o monte de bagaço, a fim de protegê-lo das infiltrações de umidade ou de águas pluviais.

Com relação ao manuseio, é preciso verificar a necessidade de adquirir um trator específico para as operações de armazenagem. Uma melhor racionalização do trabalho, dependendo do caso, pode evitar este tipo de investimento.

Assim, especificados os investimentos, que podem ser em: trator, lonas plásticas, obras civis e terreno, os custos de armazenagem, segundo três situações de excedentes de bagaço são:

ITENS	Custos em Cr\$/t *		
	10.000 ton/ano	20.000 ton/ano	40.000 ton/ano
Combustível	136	155	194
Mão-de-Obra e Encargos sociais	336	416	319
Custo Financeiro e Manutenção	635	385	260
Total Operacional	1107	956	773
Custo Administrativo	166	143	116
Custo de Armazenagem	1273	1099	889
Custo de Armazenagem em 10^{-3} ORTN/Gcal	75,0	64,8	52,2

* Valores de Jan/84 atualizados em ORTN. Fonte básica Wilhelm [57].

Tabela III.1- Composição do Custo de Armazenagem do Bagaço "In Natura"

A Figura III.1 mostra o custo de armazenagem em função da quantidade de bagaço (em termos de energia) movimentada.

Os custos de armazenagem do bagaço enfardado e do peletizado não serão considerados, por estarem inclusos nos custos de beneficiamento, objeto do APÊNDICE IV.

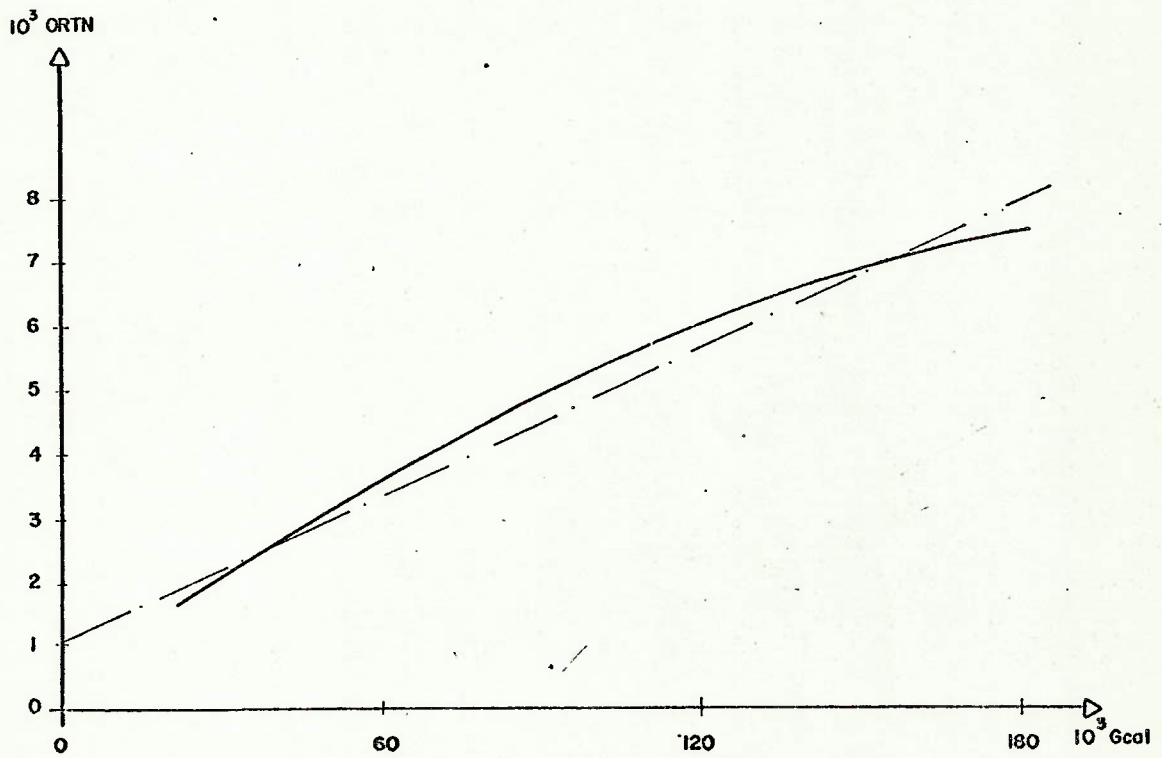


Figura III.1 - Custo de Armazenagem do Bagaço "In natura"

APÊNDICE IV

CUSTO DE BENEFICIAMENTO

Os custos de beneficiamento incidem sobre o bagaço enfardado e peletizado, ao passo que obviamente, é inexistente para o bagaço "in natura".

IV.1 - CUSTO DE BENEFICIAMENTO DO BAGAÇO ENFARDADO

O custo de beneficiamento do bagaço enfardado com 20% de umidade, em uma unidade que processa 30.900 toneladas de bagaço "in natura", tem a seguinte estrutura de custo, de acordo com a ELETROBRÁS |23|.

Sendo 0,625 o fator de redução de peso do bagaço "in natura" para o enfardado, uma unidade que processe 30.900 toneladas de bagaço "in natura", produzirá 19.310 t/ano de bagaço enfardado com 20% de umidade. Para esta condição têm-se os seguintes custos:

- Investimento⁽¹⁾

	ORTN
Linha de Secagem para 3 t/h	17.989
1 enfardadeira H-1300 para 6 t/h	3.146
Obras Civas e Montagem (35% do total)	7.398
Outras despesas de implantação	<u>5.707</u>
TOTAL	34.240

- Custo Operacional Anual

Energia Elétrica, Linha de Secagem, Enfardadeira, etc.	1.433
Mão-de-Obra	3.362
Manutenção e Despesas Diversas	<u>3.422</u>
TOTAL	8.218

(1) Atualizando segundo Índices da coluna 35 da Fundação Getúlio Vargas.

- Custo Anual do Investimento

Admitindo 10% de juros amortizados em 10 anos .. 5.573

- Custo Operacional e Investimento Anualizado 13.791

Considerando-se que 12% do bagaço é necessário para gerar calor de secagem, o custo do bagaço enfardado fica:

$$\frac{13.791}{0,88 \times 19.310} = 0,81 \text{ ORTN/t ou } 215 \times 10^{-3} \text{ ORTN/Gcal}$$

Estes valores estão próximos dos fornecidos pela BAGATEX, empresa pertencente ao grupo empresarial da Usina Santa Lydia, que vem processando regularmente a industrialização do bagaço enfardado com 20% de umidade.

Embora o sistema de secagem desta empresa seja por via química, as diferenças na estrutura de custos estão se compensando:

Ainda de acordo com a BAGATEX, que processa o bagaço em unidades modulares, para uma unidade com capacidade para 65.000 toneladas de bagaço enfardado, têm-se um ganho de economia de escala de 8% nos custos de investimento em relação a uma unidade padrão de 25.000 toneladas.

Considerando estas informações, foi levantado a curva de custos, com base na equação de Chilton [16], que expressa os custos em função do porte da unidade.

Esta curva, mostrada na figura IV.1, foi linearizada para a utilização no modelo matemático, e pode ser expressa pela seguinte equação:

$$CAB_2 = 4000 + 224 \cdot 10^{-3} \cdot H_2$$

onde:

CAB_2 = Custo de armazenamento e enfardamento em ORTN

H_2 = Quantidade de bagaço enfardado, em termos de energia em Gcal.

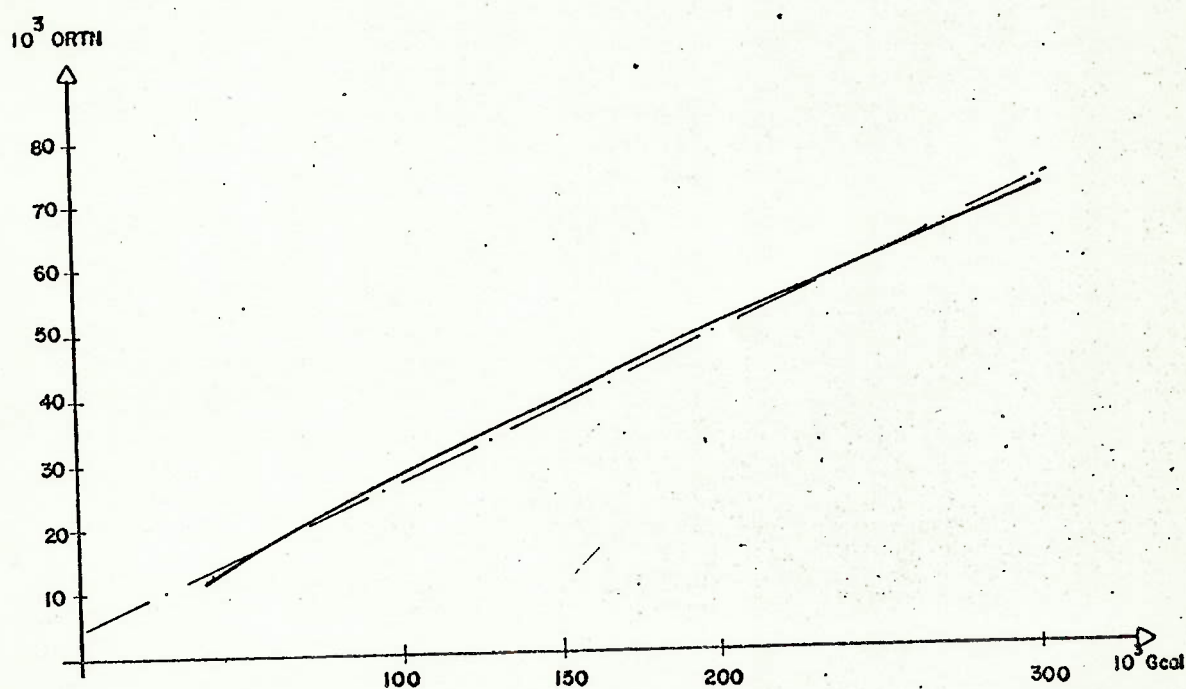


Figura IV.1- Custo de Armazenamento e Enfardamento do Bagaço

IV.2 - CUSTO DE BENEFICIAMENTO DO BAGAÇO PELETIZADO

Utilizando a mesma estruturação de custo da ELE-TROBRÁS [23], porém, atualizando as informações segundo os dados do fabricante destas unidades - a VOITH S.A., foi estimado o custo de peletização para uma unidade que processa 30.900 toneladas de bagaço "in natura". O fluxograma, segundo o sistema de secagem e peletização da VOITH está apresentado na Figura IV.2.

Sendo de 0,59 o fator de redução de peso do bagaço "in natura" para o peletizado, uma unidade que processe 30.900 t/ano de bagaço "in natura", poderá produzir 18.230 t de bagaço peletizado com 15% de umidade. Para esta condição têm-se os seguintes custos:

<u>- Investimento</u>		ORTN
Linha de secagem		11.889
Peletizadora		8.513
2 moinhos (2 x 2.200)		2.616
Tamises		2.972
Transportadores		1.783
Ar comprimido		1.486
Obras Civis (35% do total)		10.241
Despesas diversas		7.900
	TOTAL	47.401
<u>- Custo Operacional Anual</u>		
Reposição de matrizes		4.128
Energia Elétrica		8.543
Mão-de-Obra		3.976
Manutenção e despesas diversas		7.171
	TOTAL	23.824
<u>- Custo Anual do Investimento</u>		
Admitindo 10% ao ano pagos em 10 anos		7.714
<u>- Custo Operacional + Investimento Anualizado</u>		31.539

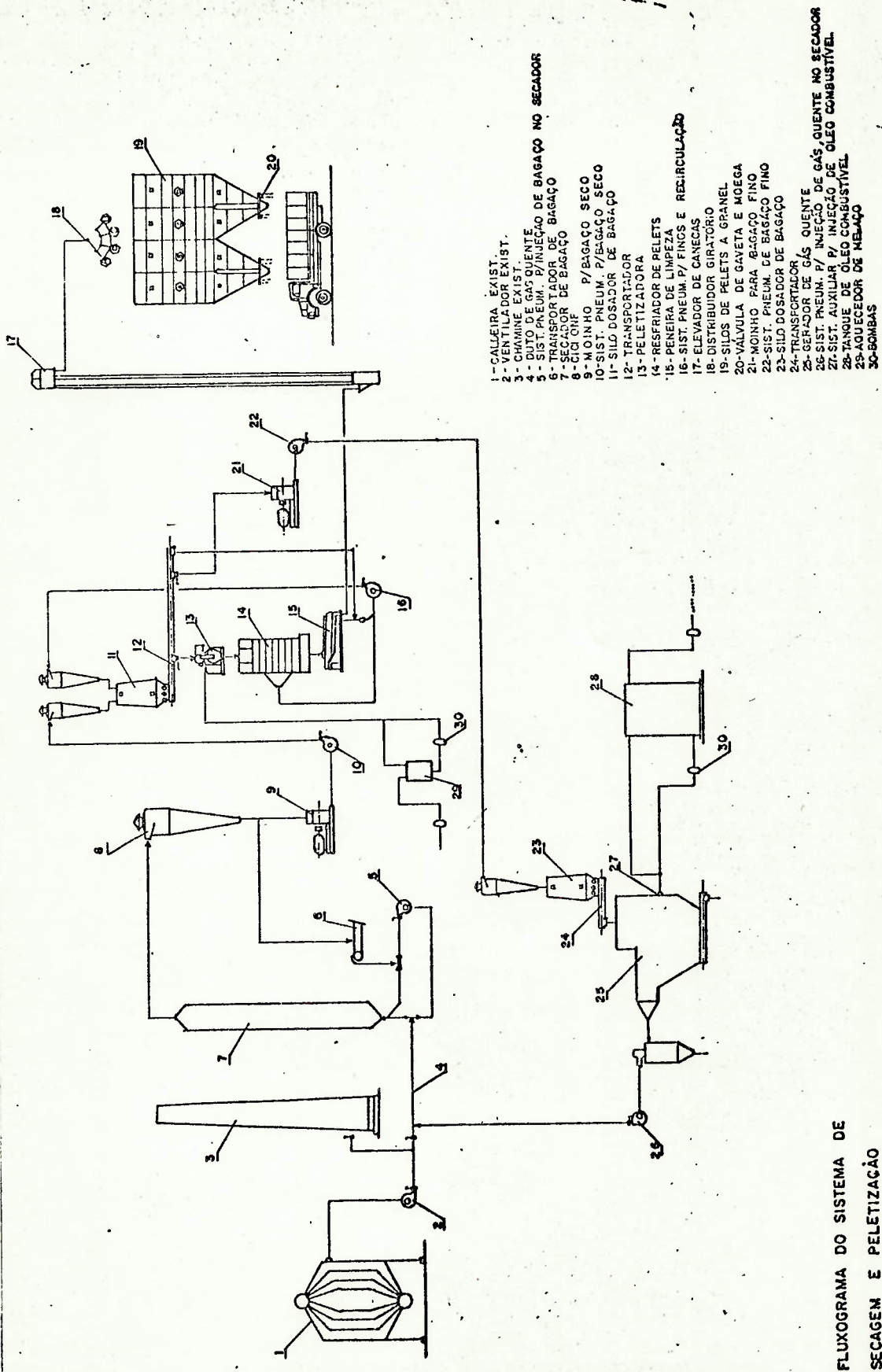


Figura IV.2 - Fluxograma do sistema de secagem e peletização do bagaço de cana

O custo de peletização é diferenciado, se a fábrica está acoplada a usina ou não. No primeiro caso, pode-se aproveitar os gases de escape das caldeiras para secar o bagaço, enquanto no segundo consome-se cerca de 12% de bagaço "in natura" para geração de calor de secagem.

Assim, tem-se:

i) custo de bagaço peletizado pela usina:

$$\frac{31.539}{18.230} = 1,73 \text{ ORTN/t} \quad \text{ou} \quad 441 \cdot 10^{-3} \text{ ORTN/Gcal}$$

ii) custo de bagaço peletizado fora da usina:

$$\frac{31.539}{0,88 \times 18.230} = 1,97 \text{ ORTN/t} \quad \text{ou} \quad 501 + 10^{-3} \text{ ORTN/Gcal}$$

A inexistência de unidades em operação de peletização de bagaço, torna muito difícil a quantificação dos custos para fábricas de diferentes portes. Assim, para estimar estes custos em função da capacidade de processamento, foi utilizado a expressão simplificada de CHILTON | 16 |, com expoente 0,8.

As funções de custo foram linearizadas para utilização no modelo matemático, e são expressas pelas seguintes equações:

$$CAB_3 = 12.000 + 339 \times 10^{-3} H_3$$

$$CAB_3^* = 12.000 + 386 \times 10^{-3} H_3$$

onde:

CAB_3 = Custo de armazenamento e peletização em ORTN

H_3 = Quantidade de bagaço peletizado, em termos de energia em Gcal.

* indica beneficiamento fora das usinas.

A Figura IV.3 mostra a curva de custo de armazenagem e peletização para unidades instaladas nas usinas.

É importante verificar que ao se comparar o custo de enfardamento com o de peletização, o primeiro leva nítida vantagem, independente das escalas de produção e para distâncias de transporte de no mínimo 800 km. Sendo assim, no âmbito das hipóteses admitidas para a formação dos custos, é mais econômico consumir bagaço enfardado do que peletizado.

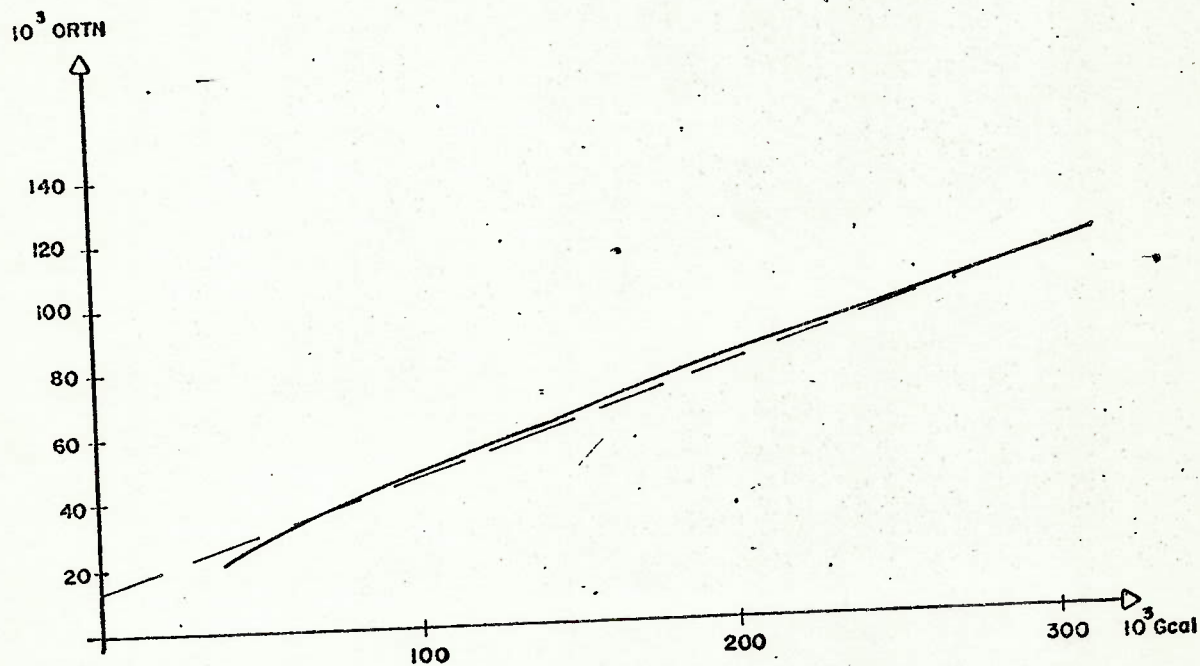


Figura IV.3- Custo de Armazenamento e Peletização do Bagaço

APÊNDICE V

CUSTO DE ADAPTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Os custos de adaptação de equipamentos para queima de bagaço foram pesquisados pelo projeto desenvolvido no IPT | 46 |, e foram obtidos de várias fontes: usuários de caldeiras que fizeram conversões recentes e fabricantes de caldeiras, fornalhas, queimadores e gaseificadores; tradicionais fornecedores no mercado nacional.

Os valores foram dados em ORTN/MW para várias potências de equipamentos, dado a partir do qual se chegou ao valor do investimento por tonelada de óleo ou lenha substituída por ano, conhecidas as potências dos equipamentos sob análise e o seu regime de operação. A tabela V.1 resume estas informações.

De posse destes dados, e seguindo a metodologia descrita na seção 5.2.10. montou-se a tabela V.2, que fornece para cada indústria o custo de adaptação de equipamento para o consumo dos três tipos de bagaço: "in natura", enfardado e pelletizado.

Detalhes dos investimentos necessários para a adaptação dos equipamentos para consumo de bagaço em uma determinada indústria pode ser visto na referência |18|.

ITEM	INDÚSTRIA	CONSUMO DE ÓLEO COMBUSTÍVEL TON X ANO	CONSUMO DE LENHA TON X ANO	FINALIDADE	FRAÇÃO DE CONVERSÃO KG DE BAGAÇO/KG DE COMBUSTÍVEL	DEMANDA POTENCIAL DE BAGAÇO TON X ANO	POTÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS (MW)	INVESTIMENTO (ORTN/MW)	INVESTIMENTO ORTN/TON/ANO DE BPF OU LENHA
1	CITROSUCO PAULISTA	32.000	-	SECADOR	5,77	84.600	14,5	2.200	3,0
2	"	-	-	G.V.	-	136.000	64,8	-	-
3	SUCOCÍTRICO CUTRALE	15.732	-	G.V.	5,5	86.500	64,8	5.248	21,6
4	"	18.970	-	SECADOR	5,77	109.500	14,5	2.200	5,0
5	FRUTESP	10.094	-	G.V.	5,5	55.500	50,9	5.900	29,7
6	"	11.103	-	SECADOR	5,77	64.000	17,5	2.350	3,7
7	CARGIL INDUSTRIAL	13.500	-	SECADOR	5,77	77.900	19,3	2.600	3,7
8	"	-	-	G.V.	-	40.000	43,5	-	-
9	CIA MOGIANA DE ÓLEOS VEGETAIS	1.000	-	DESODORIZADOR	5,77	5.770	1,6	4.600	7,5
10	"	-	49.500	SECADOR	1,6	69.200	12,0	1.450	0,4
11	"	-	-	G.V.	-	50.000	18,5	-	-
12	S.A. FRIGORÍFICO ANGLU UN. I	8.150	-	G.V.	5,5	44.800	19,0	5.100	11,9
13	"	-	8.085	G.V.	1,56	10.701	3,2	2.500	1,0
14	OLMA BEBEDOURO ÓLEOS VEGETAIS	1.272	-	DESODORIZADOR	5,5	7.000	8,5	4.100	3,2
15	"	-	2.200	SECADOR	1,6	2.987	8,7	2.720	10,7
16	"	-	12.250	G.V.	1,53	15.903	32,3	8.200	21,6
17	"	-	-	G.V.	-	38.090	32,3	-	-
18	FRUTROPIC	10.000	-	SECADOR	5,77	57.700	14,5	2.200	3,2
19	"	-	4.620	G.V.	1,53	5.997	13,9	1.200	3,6
20	"	-	-	G.V.	-	4.000	13,9	-	-
21	NESTLÉ	4.553	-	G.V.	5,5	25.000	23,10	9.652	49,3
22	"	1.000	-	SECADOR	5,77	5.770	1,5	5.200	7,9
23	CICA	4.119	-	G.V.	5,5	22.654	19,5	11.000	49,4
24	CERVEJARIA ANTÁRTICA NIGER S.A.	2.640	-	G.V.	5,5	14.500	9,2	2.200	7,7
25	"	-	2.606	G.V.	1,53	3.383	11,0	1.400	5,0
26	PRODUTOS ALIMENTÍCIOS ORLÂNDIA S.A.	718	-	FLUIDO TÉRMICO	5,5	3.900	0,3	2.000	2,8
27	"	-	5.940	G.V.	1,53	7.711	41,6	4.900	34,5
28	"	-	-	G.V.	-	14.000	2,8	-	-
29	PEIXE	2.500	-	G.V.	5,5	13.700	15,0	2.500	15,0
30	CARGIL AGRÍCOLA S.A.	-	-	G.V.	-	50.000	15,7	-	-
31	REF. AMERICANA	700	-	G.V.	5,5	3.850	9,2	2.100	30,0
32	BRASCITROS	1.215	-	G.V.	5,5	6.700	3,7	3.000	9,13
33	ZANINI S.A. EQUIPAMENTOS PESADOS	1.200	-	FORNOS TRAT. TÉRMICO	7,7	9.200	7,0	9.000	52,5
34	CIA NACIONAL DE ESTAMPARIA	2.270	-	FLUIDO TÉRMICO	5,5	12.500	3,3	3.700	5,3
35	"	-	22.606	G.V.	1,53	34.587	21,0	2.900	2,0
36	CLIMAX	1.400	-	G.V.	5,2	7.280	6,8	2.500	2,3
37	"	197	-	SECADOR	5,77	1.150	1,0	4.600	23,4
38	"	403	-	FORNOS DE FUSÃO	7,7	3.100	3,2	3.800	30,2
39	MARCHEZAN INPL. AGRÍCOLAS	4.000	-	FORNOS	7,7	33.900	11,0	9.000	22,5
40	MEIAS LUPO S.A.	-	2.318	G.V.	1,53	3.009	7,0	1.600	4,8
41	FRIGORÍFICO PATROCÍNIO PAULISTA	230	-	G.V.	5,2	1.200	2,3	4.250	42,7
42	REFRIGEROS IPIRANGA	413	-	G.V.	5,2	2.200	5,5	2.800	37,6
	TOTAL	149.379	110.075			1.240.202			

Fonte: IPT [46]

Tabela V.I - Investimento por tonelada de óleo ou lenha substituída por ano para as Indústrias da Região.

INDÚSTRIA	CUSTO DE ADAPTAÇÃO EM 10 ⁻³ RTN/Gcal		
	IN NATURA	ENFARDADO	PELETIZADO
1. Citrosuco Paulista	22	21	20
2. Brascitros	96	91	87
3. Marchezan Impl. Agrícolas**	-	-	160
4. Frutropic	193	184	175
5. Nestlé	595	567	540
6. Meias Lupo S.A.	216	205	196
7. Sucocitrico Cutrale	245	233	222
8. Cargil Industrial	37	36	34
9. Olma Bebedouro - Óleo Vegetal	456	433	418
10. Ref. Americana	291	277	264
11. Frutesp	351	341	325
12. Produtos Alim. Orândia S.A.	465	443	424
13. Cia. Mogiana de Óleos Vegetais	88	84	80
14. CICA	548	522	497
15. Cargil Agrícola S.A.*	-	-	-
16. Cervejaria Antarctica Niger S.A.	344	328	313
17. Cia. Nacional de Estamparia	159	151	144
18. Refrescos Ipiranga	405	386	368
19. S.A. Frig. Anglo I	169	161	153
20. Peixe	159	161	144
21. Zanini S.A. - Eq. Pesados **	-	-	397
22. Climax **	-	-	594
23. Frig. Patrocínio Paulista	427	449	428

* Já adaptaram completamente seus equipamentos para queima de bagaço

** Podem consumir exclusivamente bagaço peletizado

Tabela V.2 - Custo de adaptação de equipamento Industrial por unidade de energia para os três tipos de bagaço.

APÊNDICE VI

QUADRO SÍNTESE DAS PESQUISAS JUNTO ÀS
INDÚSTRIA E USINAS

ORDEM	INDÚSTRIA	LOCALIZAÇÃO	CONSUMO ANUAL			EQUIPAMENTO DE QUEIMA	REGIME	OBSERVAÇÕES
			BPF Ton.	Lenha m ³	Bagaço Ton.			
1	Citro-suco Paulista	Matão Urbano c/ espaço	32.000 p/ secador	-	136.000 p/ caldeira	2 caldeiras de 35 ton/h de bagaço. 3 secadores de 1.200 kg/h de óleo cada e vazão máxima de 1.800 kg/h cada.	24 h/dia 6 dias/semana de maio/janeiro	Bagaço posto fábrica = 5,4 US/ton. "In natura". 4 caldeiras aquatubular de "stand by" - 30 ton/h Dediní - 2 x 10 ton/h ATA Prevê mudança do secador p/bagaço.
2	Succefitri- co Oitral	Araquara Urbano c/ espaço	17.752 p/vapor 18.970 ton. p/secador 34.702	-	-	6 caldeiras aquatubular: 2 x 30 ton/h 1 x 20 ton/h 3 x 8 a 9 ton/h 3 secadores rotativos GULF de 1.000 kg/h vazão máxima = 3,6 ton/h - juntos.	24 h/dia para 1 domingo/mês + 10 meses de março/janeiro	Adquiriu 2 caldeiras novas p/bagaço p/35 ton/h de vapor, com consumo de 14 ton/h de bagaço p/cada caldeira → Prevê uso em 1985.
3	Frutesp	Bebedouro Rural	10.094* p/caldeira 11.103* ton. p/secador	-	-	1 caldeira aquatubular de 55 ton/h de vapor da COEXASIA em atividade. 5 caldeiras fogotubular de 10 ton/h da ATA em desuso. 2 secadores rotativos de 1,45 ton/h de óleo.	24 h/dia 6 dias/semana maio/fevereiro ou março	Prevê p/ o próximo ano 1 caldeira p/bagaço p/substituir o consumo de óleo em G.V.
4	Cargill Industrial S.A.	Bebedouro Urbano c/ espaço	13.500 p/secador	-	40.000 p/ caldeira	2 caldeiras Foster Willer p/comb.sólidos de 23,5 ton/h de vapor. 3 secadores de 1,6 ton/h de óleo vazão máxima = 2,0 ton/h - juntos.	24 h/dia 6 dias/semana maio/janeiro	Prevê mudança do secador p/bagaço. - Compra bagaço a 15% da tonelada da cana "in natura". - Transporta de 20 a 60 km em caminhão com 4 12 a 13 toneladas de bagaço.
5	Cia Mogiana de Oleos Vegetais	Orelândia Rural (21 ha)	1.000 p/desodori- zador 803*	150.000 p/secador 127.200*	50.000	1 caldeira a bagaço (840 m ² de superf.) de 20 ton/h de vapor (consome 150 ton/dia de bagaço). 1 caldeira a bagaço (420 m ² de superf.) de 10 ton/h de vapor - "stand by". 2 secadores a lenha p/secagem de grão 2 desodadores (p/fluido térmico) - Anuocedores ATA 1 x 400.000 Kcal e 1 x 1.000.000 Kcal.	caldeira 24 h/11 meses desodadores 24 h/dia 6 dias/semana	- Prevê diminuir participação do BPF. - Compra bagaço posto fábrica por Cr\$7.500/ton. (usa frete e caminhão próprio) - transporta de 50 a 60 km. - As caldeiras a bagaço eram original p/CHPS (madeira) - Custo da lenha - 20.000/m ³ .
6	S.A. Frigo rífico Unidade I	Barretos Rural	8.150	24.500	-	1 caldeira flamatubular p/10.000 kg/h de vapor a óleo. 1 caldeira aquatubular p/10.500 kg/h de vapor a óleo. 2 caldeiras aquatubular p/3,5 ton/h de vapor juntas, transformada p/lenha.	14 a 16 h/dia 6 dias/semana = 330 dias/ano	- Consumo médio 26 ton/dia de óleo, máx. 32 a 35 ton/dia de janeiro a agosto e 26 ton/dia na entre-saíra. - Compra lenha a Cr\$8000/m ³ (má qualidade de serrado). - A BAEATEX já entrou em contato.
7	Olim Bebedouro Oleos Vegetais	Bebedouro Rural	1.272	43.617	38.090	1 caldeira de 10 ton/h de vapor consome 2,50 m ³ /h de lenha. 1 caldeira de 10 ton/h de vapor consome 0,623 ton/h de lenha + 3,85 ton/h de bagaço. 3 secadores gravitacionais p/secagem da soja consome 2,3 m ³ /h de lenha cada.	24 h/dia folga domingo, dezembro e janeiro. Os secadores funcionam 2 a 3 meses no máximo	- 1 caldeira nova de 35 ton/h, para consumir 12 a 15 ton/h de bagaço para o próximo ano. - O consumo de lenha é 353 p/caldeira e 151 p/secadores. - Tem 1 cald. flamatubular da ATA p/ 19,0 ton/h de vapor e 1 desodador de 504.000 Kcal/h c/vazão máxima de 70,6 kg/h de BPF, que consomem todo o BPF do ano.

(*) 1983, os demais 1984

Tabela VI.1a - Pesquisas com as Indústrias

ORDEM	INDÚSTRIA	LOCALIZAÇÃO	CONSUMO ANUAL			EQUIPAMENTO DE QUEIMA	REGIME	OBSERVAÇÕES
			BPF Ton.	Lenha m ³	Bagaço Ton.			
8	Frutropic S.A.	Matão Rural	10.000	14.000	4.000	1 caldeira de 15 ton/h p/lenha e bagaço consome 60 ton/dia (150 m ³ /dia) de lenha ou 80 ton/dia de bagaço. Às vezes mistura bagaço e lenha (70%). 1 caldeira ATA aquatubular de 10 ton/h em desuso p/óleo. 1 secador rotativo p/ração p/1.200 kg/h de óleo e vazão máxima de 1.800 kg/h.	24 h/dia 6 dias/semana Maio/fevereiro.	Bagaço a 2.000/ton na fábrica. Lenha - 16.500/m ³ na fábrica.
9	Cia Ind. Cca. Bras. de Prod. Alim. NESTLÉ	Araquara Urbano c/ espaço	5.553*	-	-	2 caldeiras aquatubular a óleo de 6 ton/h de vapor e 1 de 14 ton/h de vapor a óleo (consta de 18 ton/dia). 2 fornos de ar quente para secagem do leite em pó (3 ton/dia).	24 h/dia 330 dias/ano maio parada p/linha de leite condensado e junho p/leite em pó.	Prevê para os próximos anos mudança para bagaço.
10	Cia Industrial de Conservas Alimentícias CICA	Monte Alto Urbano c/ espaço	4.119*	-	-	4 caldeiras aquatubular sendo: 2 x 20 ton/h (1 é mais usada) 1 x 5 ton/h 1 x 3 ton/h	22 h/dia saifa - março/outubro entre-saifa - novembro/fevereiro.	Prevê, para 1985, 1 caldeira a bagaço para 10 ton/h e para 1986 outra m/a capacidade.
11	Ceryjaria Antártica Niger S.A.	Ribeirão Preto Urbano c/ espaço	2.782 3.060*	7.750 6.743*	-	Fáb. 1 - 2x CEC 600 de 7,8 ton/h de vapor a óleo - 1x ATA 26 de 6,0 ton/h de vapor a óleo - 1x ATA 30 de 10,0 ton/h de vapor a óleo Fáb. 2 - 1x ZANINI aquatubular de 13,0 ton/h de vapor reconvertida a lenha. - 1x THEODOR WILLE flamatubular de 3,7 ton/h a óleo.	Fáb. 1 - 24 h/dia 360 d/ano Fáb. 2 - 24 h/dia 300 d/ano	- consumo médio - BPF - 220 ton/mês - lenha - 658 m ³ /mês Já tentou a subst. pelo bagaço s/sucesso
12	Produtos Alimentícios Orlândia S.A.	Orlândia Urbano c/ espaço	718* p/fluido térmico	18.000 p/ caldeira de 40 = 50 ton/h	14.000 p/ caldeira de 3.000 kg/h de vapor	1 aquecedor de fluido térmico que produz 229.000 Kcal/h e consome 2 ton/dia de óleo. 1 caldeira a bagaço p/ 3 ton/h. 1 caldeira a lenha p/ 40 a 50 ton/h de vapor.	24 h/dias 7 dias/semana 1 a 2 dias/mês de parada.	Bagaço posto fábrica = Cr\$9,30/kg Lenha de eucalipto = 20.000/m ³ Bagaço vem de carreta Scania de 20 a 25 ton, numa distância média de 30 a 60 km → transp. particular.
13	Indústria Alimentícia Carlos de Brito PEINE	Taquaritinga Rural	2.300* 2.500	-	-	5 caldeiras flamatubular a óleo: 3 x 40 ton/h de vapor (1 parada) 1 x 8 ton/h de vapor 1 x 6 ton/h de vapor	24 h/dia 6 dias/semana 365 dias/ano	Extrato de tomate (87% da produção) de maio a outubro. Milho verde - novembro-fevereiro Pasta de goiaba - janeiro-fevereiro. Azeitona, figo - janeiro-abril.
14	Cargill Agrícola S.A.	Monte Alto Rural c/ espaço	187*	-	50.000 18.800*	3 caldeiras aquatubular: 2 p/bagaço de 10 e 7 ton/h de vapor e consome 160 ton/dia de bagaço. 1 p/BPF de 14 ton/h de vapor (stand by).	Caldeira 24 h/dia 300 d/ano. Secadores 24 h/dia 120 dias/ano.	Secam soja com vapor e não utiliza BPF. Bagaço vem = 50 km a Cr\$11.000/ton posto Cargill.
15	Refinaria Americana S.A.	Rêbedouro não tem espaço/ Urbano	700	-	-	3 caldeiras flamatubular da ATA de: 2 x 10 ton/h de vapor 1 x 8 ton/h de vapor.	5 h/dia 5 dias/semana 330 dias/ano	

(*) 1983, os demais em 1984

Tabela IV.1b - Pesquisas com as Indústrias

ORDEN	INDÚSTRIA	LOCALIZAÇÃO	CONSUMO ANUAL			EQUIPAMENTO DE QUEIMA	REGIME	OBSERVAÇÕES
			BPF Ton.	Lenha m ³	Bagaço Ton.			
16	Brascitros S.A. Ind. e Com.	Nação Rural c/ espaço	1.215	-	-	1 caldeira marca TENGE, flamatubular de 4,0 ton/h de vapor a 10,5 kg/m ² e consome 300 kg/h (= 200 ton/mês de BPF).	24 h/dia 7 dias/semana 10 meses	Prevê para 1985, 1 secador de 25.000 lb/h de água evaporada para consumir 5,0 ton/h de bagaço.
17	Zamini S.A. Equipamentos Pesados	Sertãozinho Rural c/ espaço	1.200	-	-	4 fornos p/aquecimento tipo vazão c/cano para alívio de tensão e normalização T = 909°C 1 x c/ 4 queimadores c/ v = 40 litros/h 1 x c/ 4 queimadores c/ v = 50 litros/h 1 x c/ 12 queimadores c/ v = 40 litros/h 1 x c/ 4 queimadores c/ v = 40 litros/h (individualmente)	8 h/dia 5 dias/semana ano inteiro.	
18	Cia Nacional de Estamparia	Ribeirão Preto urbano c/ espaço de 20x30 coberto. Estoque de 5 dias de CHIPS (400 ton)	2.270	7.940 ton. CHIPS de madeira + 8.300 ton. de carvão mineral	-	2 caldeiras fogotubular ATA 24 e 30 adaptada inicialmente p/carvão mineral e depois p/CHIPS através de uma anti-formalha. Produzem juntos 14,5 a 15,0 ton/h de vapor e consomem 80 ton/dia de CHIPS. 2 caldeiras fogotubular ATA 14 e 16, em adaptação p/CHIPS (com anti-formalha) para gerarem 8,0 ton/h de vapor. 1 caldeira fogo ATA SP 815 a óleo BPF de "stand by" p/ 13,0 ton/h de vapor. 2 aquecedores de fluido-térmico de 1 x 2.000.000 Kcal e 1 x 800.000 Kcal.	Caldeira 24 h/dia 30 dias/mês 365 dias/ano. Aquecedores 16 h/dia 30 dias/mês.	CHIPS - PC 3-200 Kcal/kg a 30% umido - vem de Agudos 200 km). - Cr\$66.000/ton. posto fábrica e produz 4,2 kg de vapor/kg de CHIPS. - Tem rendimento de 65%. Em época de pico a demanda de vapor e de 10,0 ton/h, necessitando a entrada em operação da ATA SP 815 a BPF. Prevê-se a sua substituição pelas 2 caldeiras ATA 14 e 16. Prevê-se também a substituição do BPF nos aquecedores, pelo CHIPS. Mudança de BPF p/ CHIPS ocorreu a partir de setembro/84, após queimava carvão mineral da CAEB. Experimentou bagaço sem sucesso.
19	Climax Ind. Com.	São Carlos não tem espaço para armazenamento.	2.000 1.060*	-	-	2 caldeiras flamatubular, 1 ATA 14 de 1,8 ton/h de vapor e 1 ATA 24 de 5,5 ton/h de vapor, 1 formalha que opera com o trocador de calor (ar de secagem de pintura)/2 queimadores de 750 litros/dia de óleo BPF. 8 fornos de fusão de vidro de 2.725x10 ⁶ Kcal/h. Produzem 0,15 ton/h de vidro.	12 h/dia - caldeiras 12 h/dia - formalha 24 h/dia - fornos (funcionam em média 4)	
20	MarChezan Impl. Agrícolas	Nação Urbano c/ espaço	4.000 2.286*	-	-	5 fornos de soleira rotativa e 11 fornos de soleira fixa p/moldagem (forjaria) e/ou tempera.	abril a setembro 24 h/dia de outubro a março ± 15 h/dia.	
21	Meias Lupo S.A.	Araçuaia Urbano c/ espaço	-	7.025 m ³	-	1 caldeira a lenha de 6,0 ton/h de vapor 1 caldeira convertida de BPF p/lenha de 1,5 ton/h de vapor.	24 h/dia - caldeira a lenha 16 h/dia - cald. convertida	A caldeira a lenha pertence a fábrica nova (desde 1981) e consome = 20 m ³ /dia. A caldeira convertida pertence a Fab. Velha e consome = 5 m ³ /dia. Tem reflorestamento próprio e já experimentaram bagaço sem sucesso.
22	Frig. Patrocinio Paulista	Patrocinio Paulista Urbano c/ patio	250*	-	-	1 caldeira fogotubular de capacidade de 2,5 ton/h de vapor.	Regime - depende da necessidade.	
23	Refrescos Ipiranga	Ribeirão Preto Rural c/ espaço	413*	-	-	1 caldeira fogotubular de 6,0 ton/h de vapor.	ano inteiro	

(*) 1983, os demais 1984

Tabela IV.1c - Pesquisas com as Indústrias

Usina com Destilaria Anexa	kg de Bagaço por ton/cana	Unidade média Bagaço(\$)	Consumo de vapor por kg/Açúcar	Consumo de vapor por litro/Alcool (hidratado)	Consumo de vapor por litro/Alcool (anidro)	Vapor gerado por 1 kg. de Bagaço	Bagaço necessário p/pari- das da Usina	Dias de Operação da Usina (consecutivos)	Bagaço Excedente	Compradores do Bagaço Excedente	Valor Comercializa- do (Cr\$/ton)	Bagaço é Beneficiado ?	Quantidade Vendida	Distância até o Consumidor
Santa Elisa (Sertãozinho)	270	50	-	4,0 kg (hidratado)	4,5 kg (anidro)	2,2	-	184 (consecutivos)	65.000 ton.	. Cargill . Olma . Bagatex . Amalia	400 a 1.400	Não	5.000 ton.	± 100 km
Bonfim (Guariba)	260	50	440 kg/ton. cana	2,1 a 2,4	6.000 ton.	-	-	-	70.000 ton. (safra 83/84) 80.000 ton. (safra 84/85)	. Citro-suco . Outrale . Cargill . Fruitropic	6.000	Não	18.000 ton.	± 30 km
Martinópolis (Serrana)	250	50	3,15 kg	3,5 kg	2,2	-	-	-	20% de bagaço gerado	. Usina Amalia . Usina Sta Lydia	2.000	Não	-	± 40 km
São Francisco (Sertãozinho)	275	52	-	3,0 kg	2,2	Usa Lenha ± 600 m ³	180	180	Déficit de Bagaço	. Usina Sta Lydia	2.000 a 2.500	Não	-	± 30 km
Da Pedra (Serrana)	276	52	5,0 kg	4,0 kg (hidratado)	45,0 kg (anidro)	2,0	10.000 ton.	237	-	-	-	-	-	-
Santa Adélia (Jaboticabal)	270	50	4,8 kg	4,2 kg	2,2	370.000 ton.	180	180	20.000 ton. (safra 84/85) 12.000 ton. (safra 83/84)	. Cargill (Monte Alto)	800 (safra 83) 3.800 c/im posto (safra 84)	Não	8.000 ton.	25 km
Vale do Rosário. (Norro Agodo)	300	50	Para processar 14.000 ton/ cana a usina necessita de 320.000 kg/h/vapor	4,0 kg (hidratado)	45,0 kg (anidro)	-	30%	180	300 ton/ dia	. Comovc . Arroz Brej. . Coop. Agrícola . La Orlandia	70% preço Lenha	Não	15.000 ton.	16 a 20 km
São Martinho (Pradópolis)	250 a 270	49	Utiliza 520 kg/h/vapor para processar 1 ton. de cana	-	-	± 20.000 ton.	180	180	200.000 ton.	. Citro-suco Paulista	25% do preço da ton. da cana ± 7.000	Ainda não. -Em estudo.	70.000 ton.	56 km
São Geraldo (Sertãozinho)	250	52	8,18 kg (em todo o processo)	10,02 kg (em todo o processo)	1,7	200 ton. (estoque) ± 300 m ³ (lenha)	208	208	-	. Citro-suco Paulista	20% do preço da ton. da cana	Ainda não. -Pensa no futuro.	-	40 km
Acácia (Santa Rosa do Viterbo)	280	51	325 kg/50 kg ou 6,5 kg	-	2,0	1.500 ton.	224	224	4.051 ton	. Ind. Matarna . Embalagem . Fermentaria . Procelma	-	-	-	Menos de 1 km

(-) Informações não obtidas.

(*) A usina vende vapor na entre-safra.

-Transporta bagaço por pã carregadoi- ra e esteira ao consumidor.

Tabela IV.1d - Pesquisas com as Usinas

APÊNDICE VII

COMANDOS UTILIZADOS DO PACOTE COMPUTACIONAL

MPS-TEMPO

O pacote MPS-TEMPO disponível no computador BURROUGHS 6900 do Centro de Computação Eletrônica da USP e aplicado na resolução do problema específico abordado nesta dissertação, envolveu a utilização de dois blocos de comandos de controle: os comandos de execução e os comandos de redução do tempo de processamento.

VII.1 - COMANDOS DE EXECUÇÃO DO PACOTE

Os comandos utilizados foram:

- ZNAME - Dá o nome do problema para o programa;
- ZDATA - Dá o nome do arquivo que contém os dados do problema;
- INPUT - Realiza a leitura dos dados;
- ZBNSDT - Dá o nome ao vetor que delimita as variáveis;
- ZOBJ - Dá o nome da função objetivo;
- SETUP(MIN) - Indica que a função objetivo deve ser minimizada; e, caso se deseje maximizá-la, deve usar SETUP (MAX);
- PRIMAL - Obtém a solução ótima dos problemas lineares sem a restrição de variáveis inteiras em cada nó do "Branch and Bound";
- MAXINT - Resolve o problema de programação mista-inteira;
- OUTPUT - Imprime os resultados;
- SAVEFILE - Armazena o último resultado em arquivo, para reiniciar o processamento posteriormente;
- EXIT - Fim das instruções.

VII.2 - COMANDOS DE REDUÇÃO DO TEMPO DE PROCESSAMENTO

Com a finalidade de reduzir o tempo de processamento, podem ser utilizados conjuntamente com os anteriores, os seguintes comandos:

i) Comando ZBIOBJ

Hã duas formas; na primeira, quando se tem uma idêia do valor da função objetivo da solução inteira, ou uma solução subótima inteira já conhecida, utiliza-se $ZBIOBJ = \text{Valor conhecido}$. Neste caso, o programa irá procurar soluções que tenham valores melhores do que este de referência e não pesquisará os nós cujos valores da função objetivo sejam piores do que esta referência. O segundo modo de utilizar $ZBIOBJ$ é quando não se tem nenhuma informação sobre o valor da solução inteira. Neste caso, faz-se $ZBIOBJ = ZCUIROB-\theta$, e o programa procura soluções que estejam θ abaixo dos valores das soluções inteiras abtidas. Quando o processamento é terminado, um intervalo θ abaixo da última solução permanece inexplorado. Para se obter a solução ótima, diminui-se sucessivamente o valor de θ ou simplesmente elimina-o. Caso seja eliminado, utiliza-se o valor da última solução inteira como referência para o comando $ZBIOBJ$, e processa-se novamente o programa.

ii) Comando ZDELTM

Este comando limita o tempo de processamento e é importante a sua utilização com os comandos $SAVEFILE$ e $ZBIOBJ$ nos problemas de grande porte, em que as incertezas de processamento estão presentes. Pode-se, por exemplo, limitar o tempo de processamento a valores suficientes para obter a solução do $PRIMAL$. Com o valor do $PRIMAL$, estima-se um θ adequado, que junto com o comando $ZBIOBJ$ reduz o tempo de processamento. Por outro lado, a utilização dos comandos $ZDELTM$ e $SAVEFILE$ permitem que se houver interrupção do processamento por atingir o limite de tempo previamente determinado por $ZDELTM$, o mesmo poderá ser retomado a partir da última base armazenada em $SAVEFILE$, sem necessidade de repetir operações já processadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- |1| ALMEIDA, Jayme Rocha de. Bagaço. In: SEMANA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA, 3. Anais. Piracicaba, ESALQ, 1966.
- |2| ASSIS, Christine A. A mixed-integer programming model for the brazilian cement industry. Baltimore, the Johns Hopkins University, 1977. (Thesis P.H.D.)
- |3| ASSIS, Christine A. Planejamento setorial em vez da análise de investimentos. Rio de Janeiro, PUC, 1980.
- |4| AZZONI, Carlos R. Fatores localizacionais, incentivos fiscais e a localização da indústria no Estado de São Paulo. São Paulo, FEA/USP, 1967. (Dissertação de Mestrado).
- |5| AZZONI, Carlos R. Onde Produzir? Aplicações da teoria de localização no Brasil. São Paulo, IPE/USP (Ensaio Econômico nº 49), 1985..
- |6| AZZONI, Carlos R. Teoria da localização: Análise crítica a partir de evidência empírica no Estado de São Paulo. São Paulo, FEA/USP, 1982. (Tese de Doutorado).
- |7| BAGAÇO de Cana uma fonte de energia e alimento. Revista do Alcool, 4 (28): 4-5, mar./abr. 1985.
- |8| BERNHARDT, D.R. Dulk storage of bagasse. The Sugar Journal, 30 (10): 3-7, mar. 1968.
- |9| BORGES, Julio M.M. Programa Nacional do Alcool: perspectivas para os anos de 1990 e 2000. s.l.p., COOPERSUCAR, s.d.
- |10| BNDES. Cenário para a economia brasileira 1984-1990. Rio de Janeiro, BNDES, 1984.

- [11] BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Conselho de Desenvolvimento Industrial. Utilização racional do bagaço de cana. Brasília, MIC/CDI, 1981
- [12] BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. Secretaria Tecnologia Industrial. Bagaço: guia de informações e bibliografia básica. Brasília, MIC/STI, 1985.
- [13] BRASIL, Ministério dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Pesquisa sobre o inter relacionamento dos custos de construção, conservação e utilização de rodovias: relatório final 1981. Brasília, Geipot, 1982, v.1
- [14] BURROUGHS. Mathematical programming system: User's manual. Detroit, Burroughs Corporation, 1976.
- [15] CIBRAZEM. Pesquisa básica para um programa global de armazenagem intermediária. Brasília, CIBRAZEM, s.d.
- [16] CHILTON, Cecil H. & PERRY, Robert H. Manual de engenharia química. 5 ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.
- [17] COELHO, P.R.L. & OLIVEIRA, J.L. A produção de bagaço e seus impactos nos processos industriais da destilaria autonôma. Piracicaba, DEDINI/Diretoria de Desenvolvimento, 1983.
- [18] COOPERSUCAR. Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de caldeira para queima de bagaço na CUR - Limeira. Piracicaba, Coopersucar, 1984.
- [19] COSTA, Reinaldo Pacheco da. Localização industrial. Rio de Janeiro, UFRJ, 1982. (Dissertação de Mestrado).

- |20| CROWDER, Harlan et al. Solving large-scale zero-one linear programming problems. Operations Research, 31 (5):803-34, sep./oct., 1983.
- |21| DANTZING, George B. Linear programming and extensions. New jersey, Princeton University Press, 1963.
- |22| DEAN, J. Economia de empresas. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1962.
- |23| ELETROBRÁS. Aproveitamento energético dos resíduos da agroindústria de cana de açúcar. Rio de Janeiro, Eletrobrás, 1983.
- |24| FELDMAN, F.A.K. & Ray. T.L. Warehouse Location Under Continuous Economies of Scale - Programming For Optimal Decisions - Middlesex, Penguin Books Ltd, 204-23, 1970.
- |25| GALVÃO, Roberto D. Modelos e Algoritmos para Problemas de Localização em Redes. Pesquisa Operacional, 1 (1): 3-22, out. 1981.
- |26| GARFINKEL, Robert S. & NEMHAUSER, George L. Integer Programming. New York, John Wiley & Sons, 1972.
- |27| GOLDMAN, A.J. Linearization in 0-1 variables: a clarification - Operations Research, 31 (5): 946-47, Sep./out. 1983.
- |28| GUILHOM, C.V. Bagaço de Cana: substituto potencial do óleo combustível. Brasil Açucareiro, 99 (1): 17-21, jan. 1982.
- |29| HILLIER, Frederick S. & LIEBERMAN, Gerald J. Introduction to operations research. San Francisco, s.c.p., 1970.

- [30] HOLLAENDER, Milton P. Centros de distribuição: Funções, Número e Localização. São Paulo, EPUSP, 1978. (Tese de Mestrado).
- [31] HUGOT, E. Manual para ingenieros azucareros. 4 ed. México, Cia Editorial Continental, 1976.
- [32] ITAL. Economia de energia e redução de custo na industria de suco de laranja. s.l.p. Instituto de Tecnologia Industrial, 1984.
- [33] KENDRICK, David A. & STOUTJESDIJK, Ardy J. The planning of industrial investment programmes: a methodology. London, World Bank, 1978.
- [34] KUEHN, A.A. & HAMBURGER, M.J. A heuristic program for location warehouses - Management Decision Making. Middlesex, Penguin Books Ltd. 228-58, Oct. 1970.
- [35] LEME, Rui A.S. Contribuições à Teoria da Localização Industrial. São Paulo, IPE/USP. (Ensaio Econômico nº 22), 1982.
- [36] MACULAN, Nelson F. Programação linear inteira. Rio de Janeiro, COPPE/UFRS, 1978.
- [37] MINAS GERAIS. Fundação Centro Tecnológico. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte, CETEC, 1982.
- [38] MITRE, M.N. Caldeiras para a queima de madeiras e bagaço. s.l.p., s.c.p., s.d.
- [39] NERY, Telma Lucia Valença. Levantamento da disponibilidade de de bagaço de cana na região nordeste: safra 1981/1982. Revista Pernambucana Tecnologia, 3 (2), 1983.

- [40] NOVAES, Antonio G.N. Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos probabilísticos. São Paulo, EDUSP/McGraw-Hill, 1975. 23 a.p.
- [41] OLIVEIRA, H.P. Aproveitamento do bagaço de cana como combustível nas usinas e destilarias. Brasil Açucareiro, 95 (2): 20-4, fev. 1982.
- [42] PARANÁ - Governo do Estado. Custo de armazenagem. Curitiba, OCEPAR, s.d.
- [43] PETERS, Max. S. & TIMMERHANS, Klaus D. Plant design and economics for chemical engineers. 3 ed. Tokio, McGraw-Hill, 1980.
- [44] O PROÁLCOOL na região de Ribeirão Preto. Revista da Fundação Seade, 1 (1):7-16, jan./abr. 1985.
- [45] SÃO PAULO. Departamento de Estradas de Rodagem. Mapa rodoviário do Estado de São Paulo. São Paulo, DER, 1985.
- [46] SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Estudo de viabilidade de utilização do bagaço de cana na região Ribeirão Preto. São Paulo, IPT, 1984. (Relatório IPT/DES/AEI nº 21.639).
- [47] SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual de conservação de energia na indústria do açúcar e álcool. São Paulo, IPT, 1985. (Relatório em fase de elaboração).
- [48] SÃO PAULO. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Modelos urbanos regionais de transportes. São Paulo, IPT, 1983.

- |49| SEMINÁRIO SOBRE AVALIAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR, 1. Anais. São Paulo, SOPRAL, 1983.
- |50| SEMINÁRIO SOBRE BAGAÇO DE CANA. Anais. Piracicaba, Centro de Tecnologia Coppersúcar, 1983.
- |51| SEMINÁRIO NACIONAL DE ARMAZENAGEM, 2. Anais. Brasília, Ministério de Agricultura/CIBRAZEM, 1977. 3 v.
- |52| SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL, 1, Anais. Piracicaba, Centro de Tecnologia Coopersucar, 1983.
- |53| UNITED STATES. Pat.3,964,961. Method for storing bagasse. 22, jun. 1976.
- |54| USINA SANTA LYDIA. Aproveitamento do excedente do bagaço de cana. Ribeirão Preto, Usina Santa Lydia, 1983.
- |55| WANDERLEY, Milton B. Localização Industrial - Otimização dos custos de reunião e de distribuição no setor siderurgico. Rio de Janeiro, COPPE/UFRS, 1980 (Tese de Douto-ramento).
- |56| WANG, Joseph S.I. & HSIEN-YUNG, Tao. The bagasse handling and storage system at pingtung pulp factory. Taiwan Sugar, 26 (1):12-18, jan./fev. 1979.
- |57| WILHEIM, Jorge. Oferta e distribuição do Bagaço. São Paulo, J.W.C.A, 1984.
- |58| WILLIAN, Junior, Roger. "Six-tenths factors", aids in approximation costs. Chemical Engineering, 54 (12):124-25, dec. 1947.
- |59| WRIGHT, Charles I. Problemas de Transporte e Armazenamento: Métodos das redes capacitadas. Revista de Economia Rural, 5 (2), 1979.