



REVISANDO A LOGÍSTICA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁLCOOL ETÍLICO

Hugo T. Y. Yoshizaki
Antonio R. N. Muscat

Departamento de Engenharia de Produção
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Jorge L. de Biazi

Departamento de Administração
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade
Universidade de São Paulo

Resumo

Este estudo mostra a vantagem econômica da distribuição descentralizada de álcool etílico, diretamente a partir das usinas produtoras, contra a política usualmente utilizada de distribuição de vários produtos (álcool, gasolina e óleo diesel) com o intermédio de bases de distribuição. A análise de investimentos utilizou um modelo de distribuição baseado em programação linear para avaliar os custos logísticos. Os resultados quantitativos do estudo influenciaram o cliente do estudo (um dos produtores de álcool) a iniciar esforços para que o governo brasileiro alterasse as regulamentações restritivas, o que foi feito em julho de 1993.

Palavras-chave: *logística - distribuição de combustíveis, estudo de localização.*

1. Introdução

O álcool etílico hidratado representava, no início da década de 90, aproximadamente 40% do consumo (em volume) da frota automobilística brasileira, substituindo parcialmente a gasolina e gerando receitas superiores a um bilhão de dólares por ano. Ele é uma fonte renovável de energia, processada a partir da cana-de-açúcar em centenas de grandes

usinas localizadas, em sua maioria, no Sudeste e no Nordeste do País.

A razão do crescimento da indústria do álcool foi a crise do petróleo nos anos de 1973 e 1979, as quais causaram a necessidade de reduzir as importações de petróleo. A viabilidade técnica de seu uso como combustível automobilístico permitiu ao governo implementar um programa de substituição

da gasolina. Decidiu-se usar os canais tradicionais de distribuição de gasolina para o álcool, isto é, os canais já instalados de bases de distribuição e postos de gasolina controlados pelas distribuidoras, pois esta política permitiria concentrar os investimentos na

expansão da capacidade de produção de álcool ao invés de numa nova rede logística. Para o governo, tal política traria um benefício adicional, uma vez que permitiria utilizar, para o álcool, a mesma estrutura de controle utilizada para a gasolina.

2. Descrição do Problema

Em 1988, o consórcio COSAN (formado pelas Usinas Costa Pinto e Santa Bárbara) solicitou um estudo sobre o problema de distribuição de combustíveis (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 1989). O consórcio COSAN, na época, processava mais de 30 mil toneladas de cana por dia durante a safra, tendo gerado receitas de mais de 130 milhões de dólares em 1993. O processo era o seguinte: todo o

álcool produzido pelas destilarias e usinas deveria primeiro ser vendido e transferido para os terminais centralizados de distribuição para, posteriormente, ser entregue aos postos de gasolina juntamente com outros produtos (gasolina e diesel). A figura 1 apresenta este esquema de distribuição, separando os aspectos físicos e transacionais (vendas).

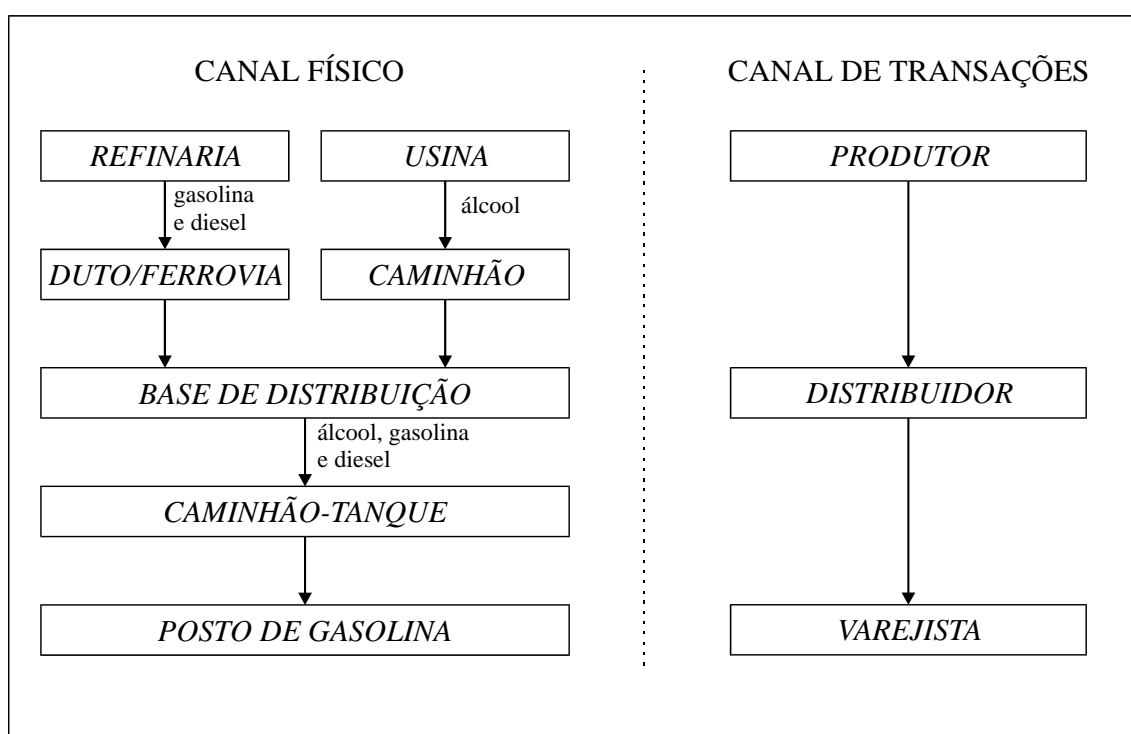


Figura 1 - Esquema de distribuição

Tal esquema de distribuição era consequência de estratégias e políticas federais, a saber:

a) para tornar-se um distribuidor de combustíveis, uma companhia deveria ser

capaz de entregar, regularmente, pelo menos três opções de combustível num volume mínimo anual;

b) um rígido controle federal nos assuntos energéticos, implicando uma grande

centralização da política de produção e distribuição de energia;

c) a concentração da capacidade de refino de petróleo em apenas 10 grandes plantas, cada uma responsável por uma área de influência definida, além de um canal de distribuição hierarquizado.

Na prática, tais políticas implicavam que as usinas e destilarias (que não se encontram necessariamente próximos às refinarias) não poderiam ser distribuidoras, restringindo a

distribuição de álcool às companhias tradicionais. Estas últimas compravam todo o álcool combustível e faziam sua distribuição conjuntamente com combustíveis fósseis.

Especificamente para a COSAN, todo o álcool produzido era vendido para um único distribuidor, que o transferia para dois terminais: Paulínia e Barueri. A figura 2 apresenta a área de influência dos terminais da distribuidora abastecida pela COSAN.

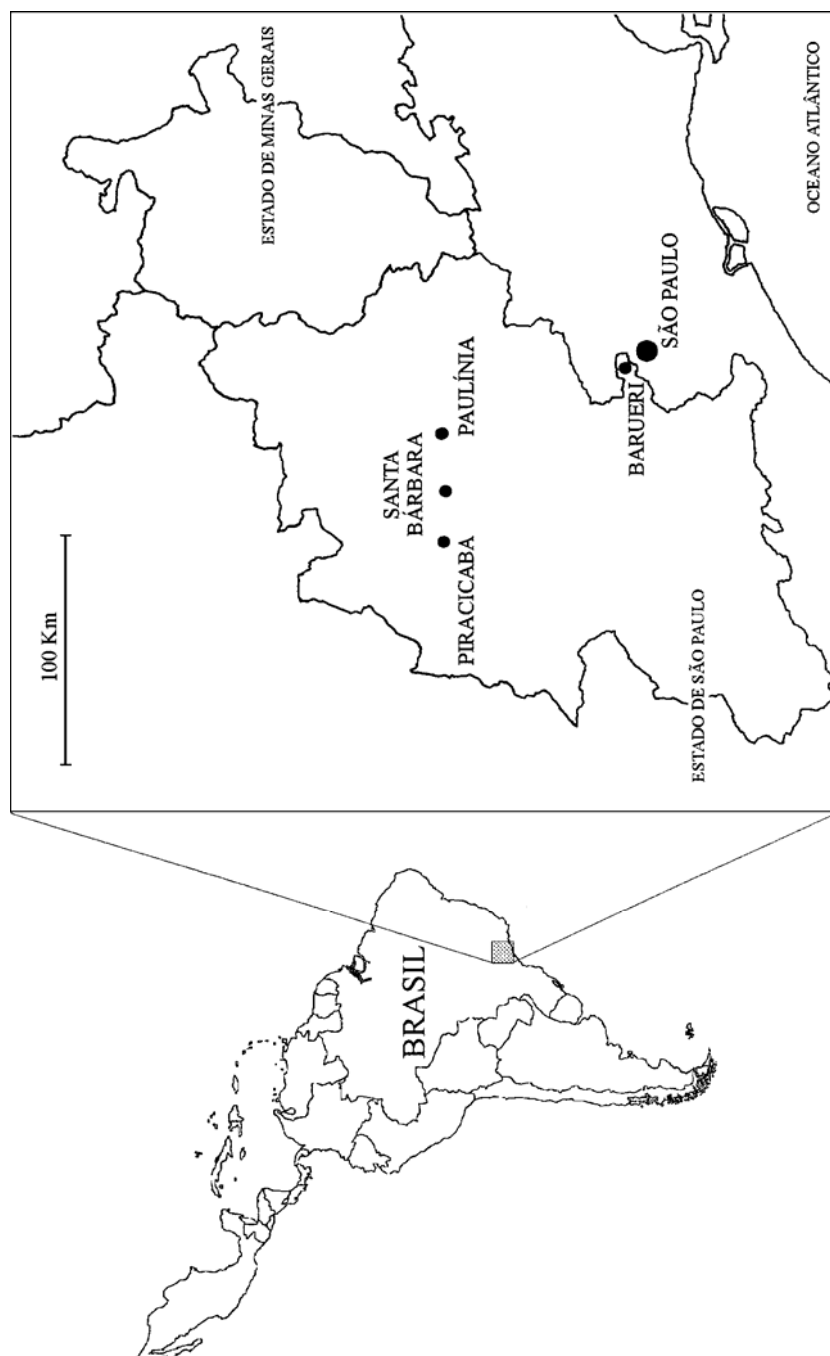


Figura 2 - Área atendida pela COSAN (por intermédio de uma única distribuidora)

Uma vez que as duas usinas do grupo estavam localizadas dentro da área geográfica servida pelos dois terminais, o álcool consumido próximo dos locais de produção iria antes para os terminais e depois voltaria para os postos de gasolina da região, configurando o chamado “turismo do álcool”.

Distribuir o álcool separadamente da gasolina e do diesel era, portanto, uma alternativa

clara, e, nesse sentido, um estudo de viabilidade econômica foi solicitado pela COSAN.

Este novo esquema implicaria a implementação de dois pequenos terminais de distribuição ao lado da tancagem das duas usinas, alimentando os caminhões que entregariam o álcool diretamente aos postos. Isto economizaria parte das operações de transferência de álcool para suprir os terminais principais (Paulínia e Barueri) a

partir das usinas. A transferência era feita por dutos (somente entre Paulínia e Barueri) e por caminhões de compartimento único de 32m^3 . A distribuição final (transporte de ponta) era, em geral, realizada por caminhões de 14m^3 com 3 ou 4 compartimentos, permitindo a entrega dos 3 combustíveis de uma só vez. Dado que alguns pequenos revendedores consumiam apenas um ou dois compartimentos de álcool por semana, seria necessário um plano de roteamento para minimizar os custos de transporte (no esquema anterior, os postos requisitavam caminhões cheios, com cada entrega normalmente composta pelos três diferentes

combustíveis) para garantir o serviço, no mínimo, semanal.

Uma vez que a alternativa precisaria de desregulamentação e novos procedimentos operacionais com o distribuidor, os pontos de vista dos três diferentes interessados foram necessários para avaliar o problema: governo (que aboliria as limitações legais), distribuidor e COSAN + distribuidor (para dividir as economias decorrentes).

O uso dos três pontos de vista foi justificado pelos diferentes aspectos políticos de cada instância de negociação: para alterar as leis, para convencer o distribuidor associado das vantagens econômicas e para tornar claras as razões para o próprio cliente.

3. Desenvolvimento da Solução

Este estudo apresenta a viabilidade econômica da descentralização da distribuição de álcool hidratado, permitindo o suprimento dos postos diretamente a partir das usinas (COSAN +

distribuidor), ao invés do sistema centralizado (realizado apenas pelo distribuidor). As duas situações são apresentadas nas figuras abaixo.

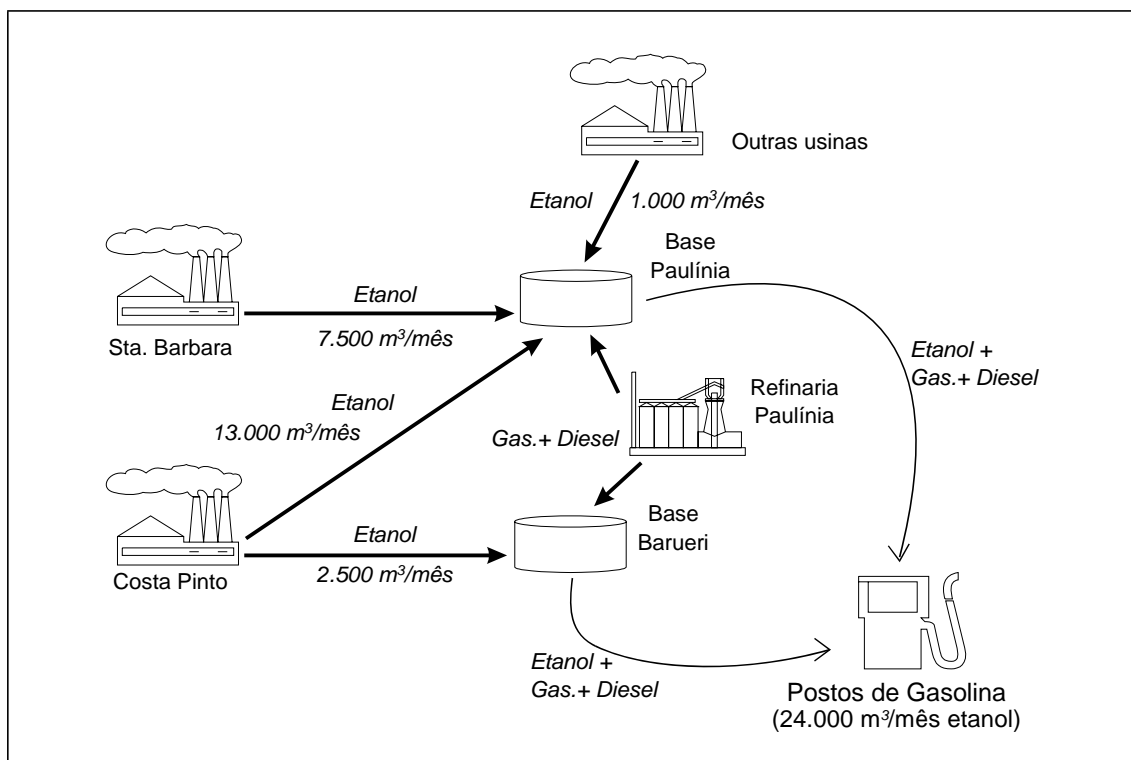


Figura 3 - Distribuição sem bases junto às usinas

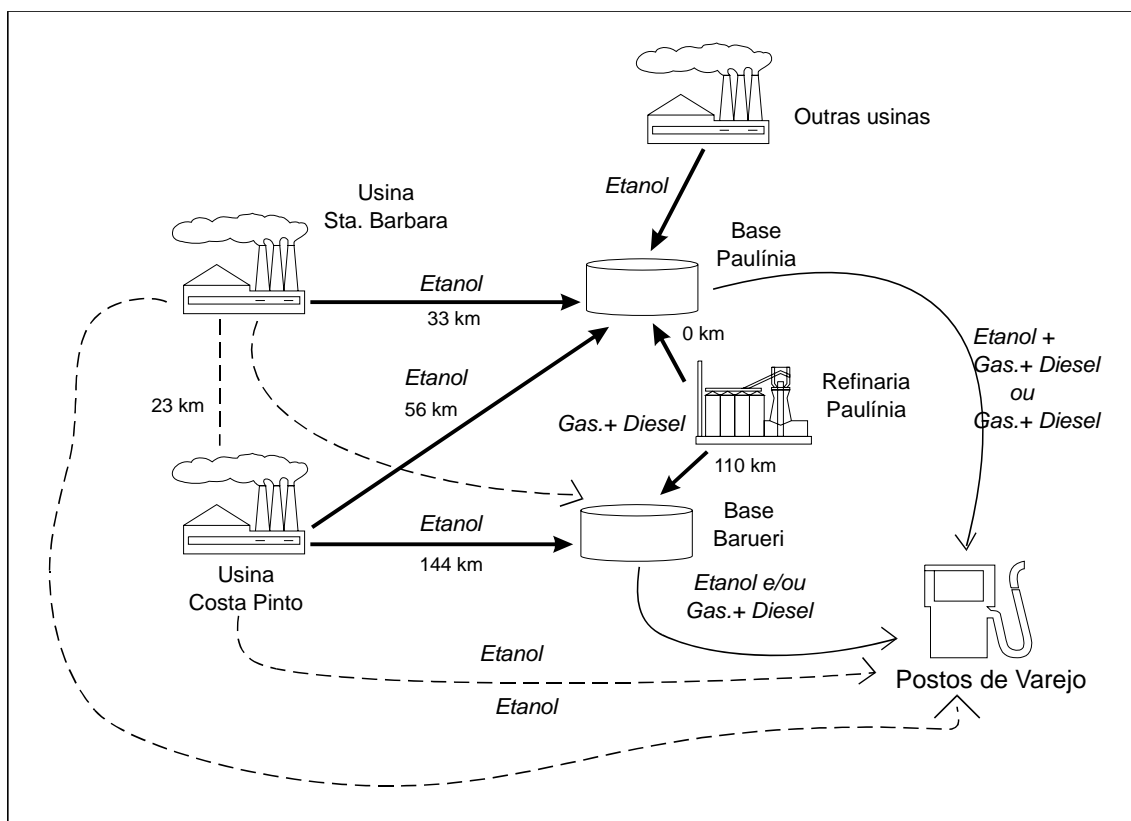


Figura 4 - Distribuição com bases junto às usinas

O modelo de análise de investimentos foi aplicado para cada um dos pontos de vista (apresentados na figura abaixo): 1) Governo

(sociedade), 2) Distribuidor e 3) Distribuidor + COSAN.

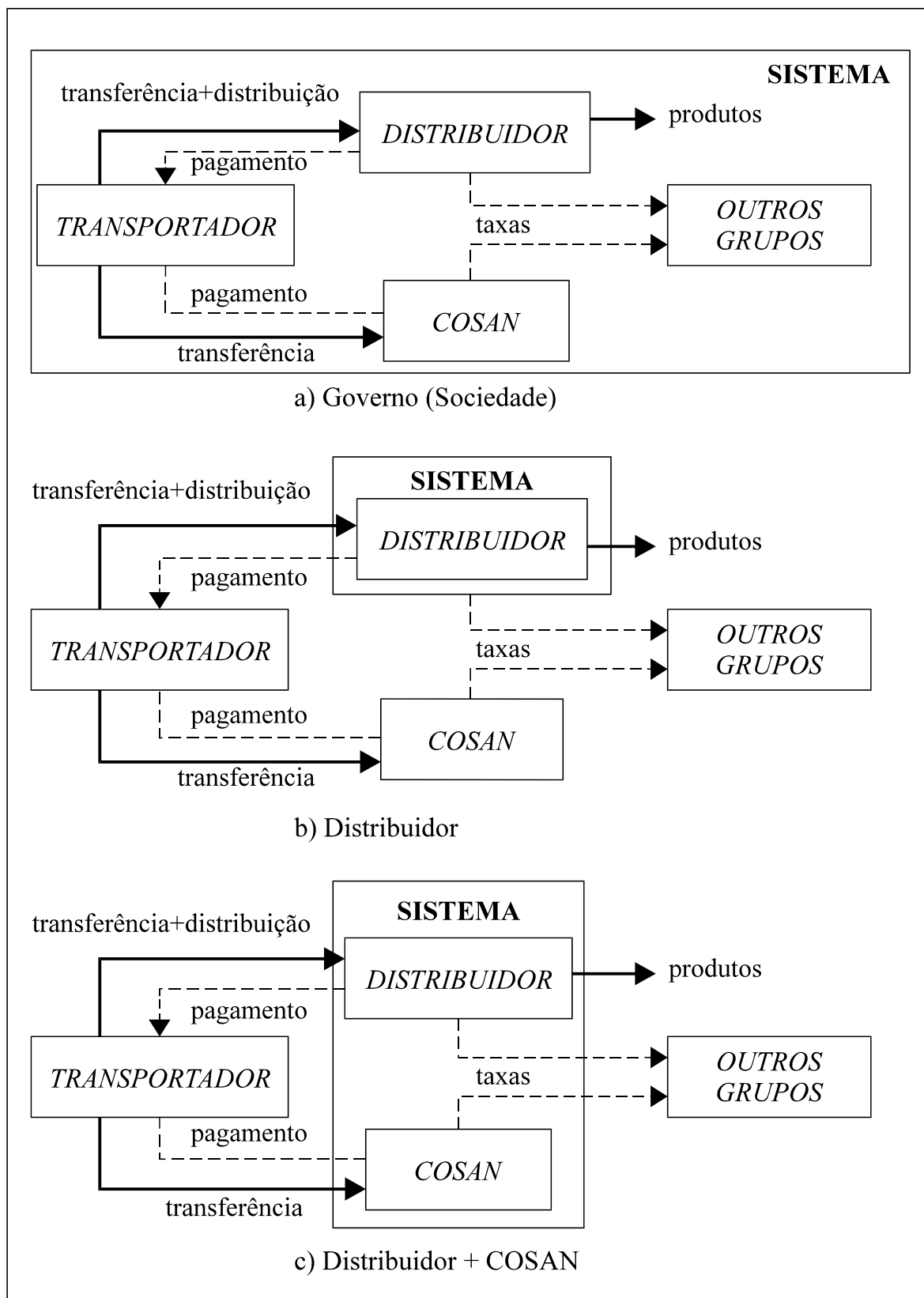


Figura 5 - Pontos de vista abordados no estudo

Observações:

- 1) Linha cheia representa os fluxos físicos da operação.
- 2) Linha tracejada representa os fluxos econômicos da operação.

- 3) O retângulo com a palavra “SISTEMA” indica a entidade (ou entidades) que tem (têm) interesse na economia do processo segundo cada ponto de vista.

No primeiro ponto de vista (figura 5.a - Governo), o objetivo é minimizar o custo total de distribuição (transferência, transbordo e entrega) para atender os postos de gasolina. Não importava quem estaria gastando os recursos, e sim o esforço total dispendido. Para o governo, é desejável que os consumidores de combustíveis possam tê-los com o menor esforço possível feito pelos agentes envolvidos na atividade (aumentando a produtividade). Portanto, os valores considerados nos cálculos econômicos representam estimativas de custos reais para a distribuição. Por exemplo, os custos de entrega para os postos foram estimados para os veículos-padrão utilizados pela distribuidora, e as distâncias para cada rota foram baseadas nos melhores mapas rodoviários disponíveis.

Para o próximo ponto de vista (figura 5.b - Distribuidor), o objetivo é minimizar os custos de distribuição (transferência, transbordo e entrega) devido às operações do distribuidor. A necessidade principal para o distribuidor é fazer com que os produtos cheguem aos postos com seu menor esforço (aumentar a produtividade de seus próprios recursos). Os valores empregados aqui representam os custos para o distribuidor, não sendo necessariamente os mesmos que no primeiro caso. Por exemplo, o frete de entrega (pago pelo distribuidor para as empresas transportadoras) era regulado pelo CNP e calculado com base em distâncias que, geralmente, não eram as mesmas empregadas no primeiro caso. Além disto, o CNP considerava o veículo-padrão como sendo uma média dos veículos utilizados pelas transportadoras (12m³) e não o utilizado no nosso caso específico.

No caso do último ponto de vista (figura 5.c - COSAN + distribuidor), era necessário levar em conta o fluxo de cada usina da

COSAN para a base do distribuidor em Barueri (a mais distante). Este custo de transferência era pago pela COSAN, sendo apenas parcialmente reembolsado, uma vez que a distância usada nos cálculos de frete pelo CNP era a da base mais próxima (Paulínia). Isto acontecia porque havia uma restrição de capacidade nos dutos que ligavam as bases de distribuição, e a COSAN queria garantir a condição de fornecedor principal para aquele distribuidor. Portanto, os valores empregados nos cálculos econômicos representavam os custos para o par de agentes COSAN e distribuidor, e não eram necessariamente os mesmos dos casos anteriores. Uma vez que o fluxo citado era uma variável de decisão do modelo de otimização, a economia total neste caso seria maior do que a obtida no segundo caso.

De fato, os dois últimos sistemas tinham custos mínimos como objetivos porque as receitas eram fixas se a hipótese de atendimento total fosse considerada. Naquele tempo, os preços dos combustíveis eram fixados pelo Governo, em âmbito nacional.

Os custos logísticos associados a cada alternativa eram dados críticos para a análise de investimento, o problema era encontrar os melhores fluxos de e para as bases de distribuição que minimizassem estes custos. Foi desenvolvido um modelo clássico de transbordo baseado em programação linear, uma vez que havia apenas um número discreto de locais alternativos (os terminais atuais do distribuidor e os novos, adjacentes às usinas da COSAN). A solução do modelo apresentou os fluxos entre as usinas e os terminais e entre estes e os postos de gasolina, definindo capacidades de transbordo necessárias e áreas de influência de cada terminal.

Foram feitas análises de sensibilidade para cada alternativa, variando-se os custos fixos (de investimento) e os variáveis (operacionais). A solução do modelo se

mostrou relativamente insensível às variações consideradas, incluindo-se os diferentes pontos de vista (nestes casos, obviamente, os custos totais mudaram).

4. O Modelo de Transbordo

Distribuidores atuam como atacadistas: eles concentram os combustíveis e depois os entregam aos postos (varejistas). Sua estrutura de distribuição permite economias de escala devido às compensações entre as operações de transferência (envolvendo meios de transporte mais baratos, como dutos e ferrovias, e transbordos) e as de entrega final (realizadas com custos unitários de transporte maiores, via de regra rodoviários). A alternativa estudada implicava considerar as usinas de álcool como nós de transbordo, i.e., instalar bases em cada usina (conforme a figura 4). Tais bases precisariam de pequenos investimentos, pois os tanques das usinas seriam utilizados e apenas seriam adquiridos mecanismos de transferência e tanques-pulmão. Portanto, as áreas de influência seriam redefinidas a fim de minimizar os custos logísticos.

O modelo de transbordo foi particularmente apropriado porque: a) havia restrições

de produção nas usinas, de balanço de fluxo nas bases e de atendimento de demanda nos postos; b) o objetivo era minimizar custos, uma vez que as receitas estavam determinadas em função da restrição de atendimento dos postos (a capacidade total de produção era menor do que a demanda total) e dos preços regulados; c) estas funções poderiam ser modeladas como lineares; d) já havia métodos de solução eficientes para estes modelos de redes (baixo risco tecnológico) e e) possibilidade de obter resultados rapidamente.

O tamanho do problema foi definido pelo número de nós associados: 2 centros de produção (usinas), 4 nós de transbordo (bases de distribuição) e 88 cidades consumidoras (agrupando-se 230 postos de gasolina). O modelo decidia fluxos de combustível para um mês de operação.

O modelo de transbordo usado para o problema do álcool hidratado está descrito a seguir:

Índices:

i = usina de álcool / base de distribuição.

j = base de distribuição.

k = grupo de postos (municípios).

Dados:

c_{ij} = custo unitário total de transferência de álcool da usina/base i para base j (US\$/m³); inclui carregamento em i , transporte entre i e j e transbordo em j .

c_{jk} = custo unitário de entrega de álcool da base j para o município (grupo) k (US\$/m³).

P_i = volume de produção nas usinas/bases i ; há um produtor fictício para igualar produção e demanda.

D_k = demanda do grupo k .

Variáveis de decisão:

x_{ij} = fluxo de álcool da usina/base i para base j .

x_{jk} = fluxo de álcool da base j para grupo k .

Modelo:

$$\text{minimizar } f(x) = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k c_{jk} x_{jk},$$

sujeito a:

$$\sum_j x_{ij} = P_i, \quad i \quad (1)$$

$$\sum_i x_{ij} - \sum_k x_{jk} = 0, \quad j \quad (2)$$

$$\sum_j x_{jk} = D_k, \quad k \quad (3)$$

$$x_{ij}, x_{jk} \geq 0, \quad i, j, k$$

A função-objetivo minimiza o custo logístico total para distribuir álcool a partir das usinas e/ou das bases. As restrições do tipo (1) asseguram que todo o álcool produzido pela COSAN será distribuído. As do tipo (2) garantem que as bases funcionarão apenas como nós de transbordo (não havendo consumo). As do tipo (3) garantem que toda a demanda será atendida.

Entretanto, a distribuição de um único produto significava que, em alguns casos, seria necessário o roteamento entre cidades (a entrega de vários produtos implicava fretes de carga cheia para os caminhões-tanque). Isto era necessário porque as viagens de entrega de álcool para grupos com demanda pequena (menos do que 2 compartimentos, ou 8 m³, por semana) implicava o roteamento de caminhões com três compartimentos cada. Este problema foi solucionado com um cuidadoso agrupamento das cidades com demanda menor do que um caminhão cheio, o que permitiu o roteamento de até 3 postos dentro do grupo, e adicionando um custo extra para os coeficientes de custo. Este custo adicional foi estimado usando-se uma visão probabilística do problema do caixeiro viajante (NOVAES, 1989; LARSON & ODONI, 1981).

Isto foi feito com a adição de custos de transporte devido à distância adicional de roteamento, d_k (Km), para o grupo k , obtida a partir da fórmula abaixo:

$$d_k = 2,80063 \sqrt{\frac{A_k}{D_k}}$$

na qual:

A_k = área total dos municípios que formam o grupo (Km²).

A distância adicional considera a probabilidade de cada posto do grupo receber um pedido de um compartimento, com uma distribuição de Poisson (LARSON & ODONI, 1981). Como os pequenos postos são responsáveis por apenas uma pequena fração do mercado total, e estas distâncias adicionais são pequenas frente às distâncias percorridas para entregar esses pedidos, sua influência no resultado final foi pequena.

Pode-se notar que, para esses pequenos postos, não havia necessidade de rotar os demais combustíveis, pois seria possível entregar caminhões cheios; com isto, a simplificação contida no modelo continuaria válida.

O método utilizado para a resolução do problema de localização das bases e de definição de áreas de influência das mesmas está esquematizado na figura 6.

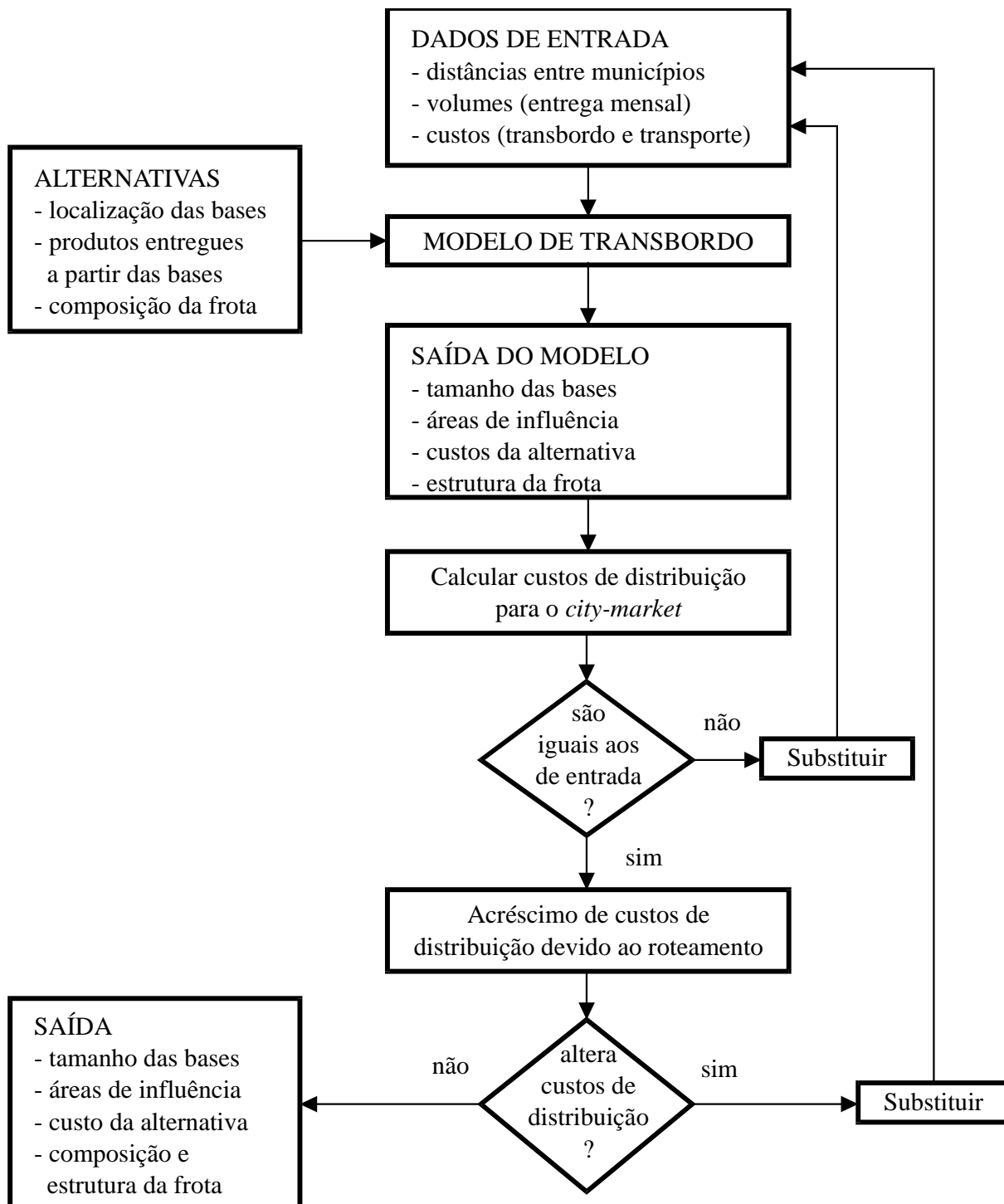


Figura 6 - Método de resolução do problema

O processo tem início com a execução do modelo de transbordo apresentado no item anterior, a partir dos dados de entrada (dis-

tâncias entre municípios, volumes entregues e custos de transferência, transbordo e distribuição) e das alternativas adotadas

(localização das bases, produtos entregues pelas mesmas e composição da frota. Por composição da frota deve-se entender os tipos de caminhões que fazem parte da mesma, com relação ao número de compartimentos e respectivos volumes).

A saída do modelo define os tamanhos das bases, suas áreas de influência, os custos da alternativa e a estrutura da frota (por estrutura da frota deve-se entender a relação entre a frota própria da distribuidora e a frota contratada pela mesma, que fazem a distribuição). Os problemas definidos em função do modelo de transbordo foram resolvidos com a utilização de um *software* de programação linear (*BLP88*), executado em um microcomputador XT, consumindo, aproximadamente, 15 minutos para cada problema.

Como o *city-market* de cada base (cidades atendidas pela frota própria da distribuidora) poderia ser diferente do adotado como

dado de entrada, poderia haver alteração dos custos de distribuição nos mesmos (pois estes foram assumidos como sendo proporcionais à distância média ponderada — pelos volumes distribuídos — dos municípios pertencentes ao *city-market* de cada base). Nos casos em que isto ocorreu, os dados de entrada foram modificados e o modelo de transbordo novamente executado, até que a saída coincidissem com a entrada.

Posteriormente, foi calculado o acréscimo de custo de distribuição devido ao roteamento, conforme a fórmula anteriormente apresentada. Caso os custos de distribuição tivessem alterações significativas, os dados de entrada do modelo de transbordo seriam alterados, e o modelo novamente executado. Como as alterações foram muito pequenas, este segundo *loop* não foi utilizado.

Este procedimento foi realizado para cada alternativa de localização das bases e para cada ponto de vista de avaliação dos resultados.

6. Resultados e Conclusões

Todos os resultados apresentaram a vantagem dos novos terminais de distribuição próximos às usinas. As

economias de custos estimadas estão na tabela abaixo.

Ponto de vista	Economia (US\$/ano)
Governo	608.000
Distribuidor	460.000
Distribuidor + COSAN	770.000

Incluindo o investimento marginal de implementar terminais de distribuição junto às usinas e considerando uma vida útil de 15 anos para as instalações, foram estimadas taxas internas de retorno (TIR), apresentadas na tabela abaixo. A taxa mínima atrativa, para o cálculo do tempo de retorno,

foi de 10% ao ano. O tempo de retorno do investimento inclui o período de 1 ano, durante o qual ocorreria a implantação das novas bases (apenas a partir do segundo ano o sistema entraria em operação, gerando as economias mencionadas).

Ponto de vista	Investimento incremental (US\$)	TIR (%/ano)	Tempo de retorno (anos)
----------------	---------------------------------	-------------	-------------------------

Governo	460.000	84	2,0
Distribuidor	311.000	60	2,5
Distribuidor + COSAN	410.000	71	2,2

Estas estimativas quantitativas mostraram a vantagem potencial de distribuir uma parcela do álcool hidratado a partir de bases colocadas junto às usinas. Além disso, os resultados parciais, apresentados no relatório final do projeto, mostraram os detalhes de custos de distribuição e áreas de influência associadas a cada uma das bases e, conseqüentemente, os custos operacionais para os distribuidores destes mercados.

O estudo motivou a COSAN a estruturar um esforço para convencer o governo a alterar sua política de distribuição de combustíveis. Após quatro anos de esforços conjuntos com os de outros produtores e organizações representativas, o Ministério de Minas e Energia aprovou o decreto permitindo que um distribuidor pudesse trabalhar com apenas um combustível, abrindo caminho para que as usinas e destilarias passassem a atuar nesse mercado.

Referências Bibliográficas:

FUNDAÇÃO VANZOLINI.: *Aplicação de Pesquisa Operacional na Distribuição de Álcool em São Paulo: Relatório Final.* São Paulo, Fundação Vanzolini, 1989.

LARSON, R & ODoni, A.: *Urban Operations Research.* Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall, Inc, 1981.

NOVAES, A. G. N.: *Sistemas Logísticos.* São Paulo, SP. Editora Edgar Blücher, 1989.

REDEFINING THE LOGISTICS OF ETHANOL-FUEL DISTRIBUTION

Abstract

This study affirms the economic advantage of decentralized distribution of ethanol fuel, directly from the producing mills, as compared to the federally mandated practice of centralized, multi-product (ethanol plus fossil fuels) distribution. The investment analysis employed logistics costs evaluated with a transshipment (LP) model. The quantitative results from the study influenced the client organization to begin lobbying efforts to change associated federal regulations, which was approved by CNP in July 1993.

Key words: logistics - fuel distribution, location analysis.