

## 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE ALCOOLQUÍMICA

### ECONOMICIDADE DA UTILIZAÇÃO DE DIFUSORES PARA PRODUÇÃO DE ALCOOL EM MICRODESTILARIAS

José Manuel Cabral de Sousa Dias  
Coordenação do Programa Nacional  
de Pesquisa de Energia - EMBRAPA  
Brasília-DF

#### RESUMO

A implantação de microdestilarias para produção de álcool em cooperativas e propriedades rurais vem sendo encarada como forma de: minimizar o transporte do álcool, reduzir o custo do combustível e a vulnerabilidade da produção de alimentos, desconcentrar a renda, e levar novas perspectivas de desenvolvimento ao interior, pela maior disponibilidade do combustível.

As microdestilarias têm utilizado sistemas de moagem de 1 terno, 2 ternos e mais recentemente moendas de 4 rolos com embibição integral, com rendimentos de produção respectivamente de 50, 55 e 60 litros/TC.

A EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária vem efetuando o desenvolvimento de três modelos de difusores: vertical, horizontal e inclinado, que são descritos neste trabalho.

A partir de uma função "Custo de Produção de Alcool em Microdestilarias" são abordadas as seguintes questões: em relação ao sistema de moendas que investimento adicional é admissível para um certo aumento de eficiência obtida com os difusores? Como a modificação de parâmetros tipo produção total de álcool, custo da matéria-prima, e custos financeiros influencia a relação entre aumento de rendimento - aumento de investimento?

As respostas às perguntas indicam, antes de tudo, que a utilização de difusores deve ser acompanhada de um aumento de produção de álcool proporcional ao aumento da extração. Por outro lado quanto mais elevados forem os custos da matéria-prima, as produções anuais e os custos financeiros, tanto melhores as condições para instalação dos difusores em substituição ou complementação às moendas.

## 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE ALCOOLQUIMICA

### ECONOMICIDADE DA UTILIZAÇÃO DE DIFUSORES PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL EM MICRODESTILARIAS

José Manuel Cabral de Sousa Dias  
Coordenação do Programa Nacional  
de Pesquisa de Energia - EMBRAPA  
Brasília-DF.

#### 1. APRESENTAÇÃO

##### 1.1. A produção de álcool em microdestilarias

A EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária iniciou as pesquisas com produção de álcool a nível de propriedade rural em meados de 1979 como forma de conseguir para os seus próprios Centros de Pesquisa a independência em combustíveis líquidos e também para demonstração da viabilidade daquela produção de forma generalizada no setor rural.

O conceito evoluiu muito rapidamente a ponto de o Decreto nº 85.698 de 4 de fevereiro de 1981 tornar possível a implantação das microdestilarias para auto-suprimento local ou regional, entendendo-se como tal a unidade fabricante de etanol cuja capacidade de produção é de 5.000 litros diários, qualquer que seja a matéria-prima utilizada: cana-de-açúcar, sorgo sacarino, mandioca, beterraba açucareira, batata-doce, etc.

As vantagens decorrentes da implantação de tais unidades já são bastante conhecidas e podem ser reunidas nos seguintes tópicos: (SOUSA DIAS).

- . minimização do fator transporte da matéria-prima e do álcool produzido;
- . redução do custo do combustível produzido nas fazendas ou cooperativas;
- . redução da vulnerabilidade da produção de alimentos pela substituição dos combustíveis importados;
- . desconcentração de renda, geração de empregos, fixação do homem no interior;
- . novas perspectivas de desenvolvimento, pela disponibilidade do combustível produzido localmente.

Foi apoiada nessa lista de vantagens provenientes da produção de álcool em microdestilarias e interessada em demonstrar na prática a viabilidade do auto-suprimento de combustível a nível local ou regional, que a EMBRAPA iniciou a implantação de microdestilarias com capacidade para produção de até 2.400 litros de álcool/dia. (Tabela 1).

TABELA 1 - Localização e matérias-primas das microdestilarias da EMBRAPA (GORGATTI NETTO & SOUSA DIAS)

| Localização             | Matérias-primas                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| CNPH-Brasília (DF)      | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| CNPAF-Goiânia (GO)      | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| CNPGC-Campo Grande (MS) | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| CNPMS-Sete Lagoas (MG)  | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| CPATSA-Petrolina (PE)   | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| UEPAE-Pelotas (RS)      | sorgo sacarino, beterraba, amiláceos |
| UEPAE-Manaus (AM)       | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |
| UEPAE-Aracaju (SE)*     | cana-de-açúcar e sorgo sacarino      |

(\* ) Em construção.

Com as pesquisas e os estudos efetuados nas diversas unidades, a EMBRAPA recomenda atualmente o seguinte conjunto de equipamentos para instalação de microdestilarias: (SOUSA DIAS et alii. (b)).

- . moenda de 2 ternos, acionada por motores elétricos;
- . dornas de fermentação cilíndricas em aço-carbono ou fibra de vidro;
- . conjunto de destilação contínua, em aço inoxidável;
- . caldeira para produção de vapor em refratário pré-montado;
- . reservatório de álcool em aço carbono.

Com este conjunto de equipamentos, tem-se obtido 55 litros de álcool por tonelada de cana-de-açúcar e 40 litros de álcool por tonelada de sorgo sacarino, moído com folhas.

Está em avaliação também um novo sistema de moagem, composto por quatro rolos com embebição integral e que vem apre

sentando bons resultados de capacidade de processamento e de coeficientes de extração. (Universidade Federal de Santa Catarina, SOUSA DIAS et alii (a)), proporcionando a obtenção de rendimentos de produção da ordem de 60 litros de álcool/tonelada de cana.

As pesquisas com difusores para a produção de álcool objetivam exatamente aumentar o rendimento de extração de açúcares para incrementar o rendimento global da produção de álcool. Pretende-se, com a utilização dos difusores obter entre 65 e 73 litros/tonelada de cana.

Este trabalho procura especificamente avaliar a economicidade na utilização dos difusores, estabelecendo as condições de investimento inicial e aumento de rendimento em que eles se tornam competitivos (quando estiverem prontos e disponíveis) com os sistemas de moagem já em utilização.

## 1.2. Aspectos econômicos das microdestilarias

Um trabalho de avaliação econômica da produção de álcool em microdestilarias (GEMENTE et alii) fez um estudo das alternativas tecnológicas para a microdestilaria, no tocante a sistemas de moagem e de destilação e escalas de produção e analisa caso a caso os aspectos de rentabilidade do empreendimento do ponto de vista do investidor particular. As principais conclusões da avaliação citada são:

em nenhuma das alternativas consideradas há rentabilidade caso se considere que a matéria-prima seja adquirida de terceiros.

trabalhando com cana própria (custo de 65% do preço oficial) as alternativas que consideram a operação da unidade por 24 h são todas viáveis para venda do álcool aos preços fixados pelo IAA, quer utilizem moenda de 1 ou 2 ternos e colunas de destilação de enchimento ou de bandejas.

a alternativa que considera a operação da unidade por 12 horas/dia só apresenta viabilidade se o álcool for valorizado ao preço da bomba de abastecimento.

O aumento da eficiência industrial nas microdestilarias (moendas de 1 ou 2 ternos) não parece ser compensado por um melhor desempenho econômico nas condições específicas do estudo.

Outro estudo bem recente (SOUSA DIAS et alii (a)) foi conduzido no sentido de avaliar microdestilarias em regime normal de funcionamento.

Algumas conclusões podem ser destacadas:

- . os rendimentos globais de produção de álcool que foram encontrados (de 55 a 59,5 litros/tc) podem ser considerados representativos da operação normal das microdestilarias e podem ser aumentados se for melhorada a capacidade dos operadores.
- . a análise econômica efetuada, baseada nos coeficientes reais de operação mostra que em muitas situações a microdestilaria é economicamente viável, do ponto de vista do investidor privado, mesmo quando não se considera a possibilidade da valorização dos subprodutos. Os casos em que a microdestilaria não se mostrou viável, foram:
  - . capacidade de 70 litros álcool/h com um ou dois turnos (de oito horas cada) de operação.
  - . capacidade de 100 litros álcool/h, com difusor horizontal, em um turno de operação.
  - . capacidade de 200 litros álcool/h, com moenda de quatro rolos, em um turno de operação.
- . a análise da influência dos rendimentos de produção em uma microdestilaria que usa moenda de dois ternos, mostra que o custo do álcool para o rendimento de 50 litros/tc era de Cr\$ 98,00/litro, enquanto para o rendimento de 62 litros/tc o mesmo se reduzia para Cr\$ 84,00/litro.
- . os custos financeiros (10% de juros reais a.a.), considerados nas análises econômicas das unidades avaliadas tiveram incidência de 6,1 até 20,2% no custo do litro de álcool.
- . se as microdestilarias analisadas fossem financiadas pelo PROALCOOL a incidência dos juros em apenas 20% do investimento industrial faria o custo do litro do álcool reduzir-se, dependendo das condições de operação entre 5 e 16% do custo nas unidades sem esse financiamento.

Tal redução faria com que o empreendimento apresentasse maior viabilidade econômica a ponto de o prazo de amortização, reduzir-se de 6,9 para 4,5 anos em uma das situações e de 2,0 para 1,7 anos em outra.

A conclusão apresentada por GEMENTE et alii de que o aumento da eficiência industrial nas microdestilarias não parece ser compensado por um melhor desempenho econômico contradiz a apresentada por SOUSA DIAS et alii (a) de que o custo do álcool diminui em cerca de 16,7% quando o rendimento industrial aumenta de 50 para 62 litros/tc. Embora os métodos de análise não tenham sido exatamente os mesmos, pois GEMENTE et alii estudaram sistemas distintos com rendimentos fixos por sistema e SOUSA DIAS et alii tenham estudado a variação do rendimento no mesmo equipamento, parece razoável supor que a maior eficiência na extração dos açúcares leve a um efetivo decréscimo dos custos de produção.

A utilização de difusores se enquadra exatamente nessa linha de raciocínio, desde que maior aproveitamento da matéria-prima na produção de álcool compense o (eventual) acréscimo de custos associados ao investimento inicial. De toda forma a operação com difusores permitirá derrubar um dos últimos argumentos contra a implantação das microdestilarias: o de que nestas unidades a matéria-prima é "mal aproveitada" ou "desperdiçada". E esta é uma importante motivação para terminar o desenvolvimento e a avaliação dos difusores para microdestilarias.

## 2. TIPOS DE DIFUSORES EM DESENVOLVIMENTO PELA EMBRAPA (SOUSA DIAS & TEIXEIRA)

### 2.1. A extração de açúcares através da difusão

A primeira etapa da produção de álcool a partir de cana-de-açúcar é extrair os açúcares contidos nas células dos vegetais. Há duas formas principais de conseguir essa extração: através da moagem ou através da difusão.

A moagem é um processo estritamente mecânico, onde as células que contêm os açúcares são abertas através de picadores e desfibradores e esmagadas para que a solução açucarada seja expulsa de seu interior.

Para aumentar a retirada dos açúcares, as células são embebidas com água quente ou caldo de baixa concentração e são submetidas a novas prensagens. Obtém-se coeficientes de extração superiores a 90%, ou seja, consegue-se extrair mais de 90% dos açúcares presentes na matéria-prima quando se utilizam quatro ou mais ternos de moendas, o que é inviável em microdestilarias.

A difusão é um processo que combina operações mecânicas com processos físico-químicos. Há também necessidade de efetuar a abertura das células, através de desfibradores, mas a saída das substâncias solúveis é promovida através de um banho de água quente ou caldo pouco concentrado: a diferença de concentração de açúcares entre a fase sólida (matéria-prima) e a fase líquida (caldo) faz com que os açúcares se difundam para a fase líquida, transformando-a em caldo concentrado. Os difusores são projetados e construídos para operar com coeficientes de extração superiores a 90%. Em muitos casos pode-se obter extração acima de 95%. (HUGOT).

As principais vantagens dos difusores quando comparados com as moendas são:

- . maiores coeficientes de extração com maior produtividade em litros de álcool por tonelada de cana-de-açúcar;
- . menor teor de açúcares no bagaço, diminuindo incrustações nas caldeiras;

tubulare e é bombeada para o topo do difusor. O caldo é retirado da base do difusor por um sistema de peneiras e conduzido para as dornas de fermentação, após resfriamento.

A EMBRAPA tem dois difusores verticais já instalados e em operação: na microdestilaria do Centro Nacional de Pesquisa em Hortaliças, em Brasília e na microdestilaria da Unidade de Execução de Pesquisas de Âmbito Estadual (UEPAE) de Pelotas, no Rio Grande do Sul.

Nesta última unidade foram efetuadas medidas dos coeficientes de extração de açúcares de sorgo sacarino e cana-de-açúcar em temperaturas que variaram desde a ambiente até  $90^{\circ}\text{C}$ , tendo-se os seguintes resultados: (BERNY et alii).

- . para cana-de-açúcar obteve-se extração média de açúcares de 93%, sendo a mínima de 89% e a máxima de 99%.
- . para sorgo sacarino (triturado com folhas) obteve-se extração média de 97%, sendo a mínima de 96% e a máxima de 99%.

Os resultados de pesquisa com o difusor vertical deverão continuar no sentido de estudar os equipamentos de trituração da matéria-prima, visando melhorar a abertura das células sem aumentar a potência elétrica instalada, e também no sentido de efetuar a automatização do sistema, de modo a permitir o fornecimento contínuo de caldo de concentração constante para a fermentação.

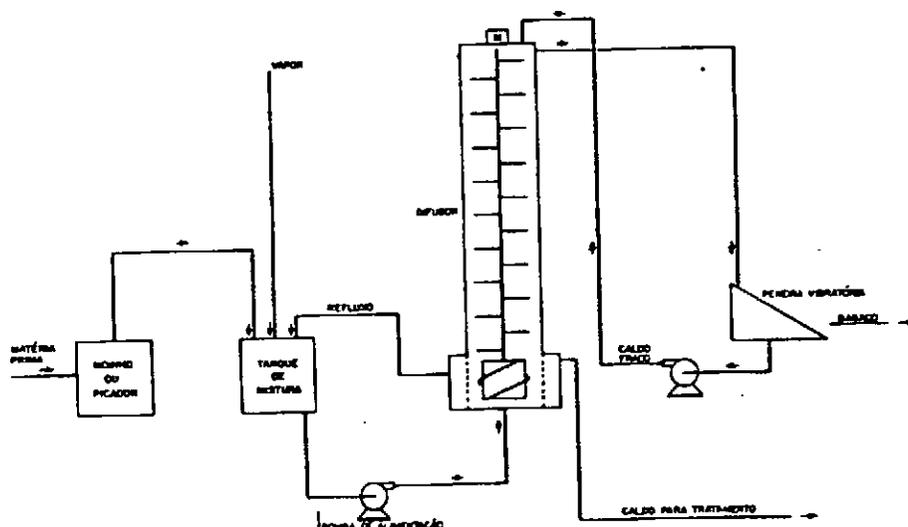


FIGURA 1 - ESQUEMA DO DIFUSOR VERTICAL

### 2.3. O difusor horizontal

Desde meados de 1980 a EMBRAPA vem colaborando no desenvolvimento de um modelo de difusor horizontal, instalado na micro destilaria da Fazenda Ermida, em Jundiá (SP). O equipamento foi construído em 1980 e começou de 1981 e entrou em operação na safra de 1981. Ao seu final, o difusor sofreu modificações e aperfeiçoamentos e operou mais de seis meses na safra de 1982.

O princípio de funcionamento do difusor horizontal consiste em fazer uma camada de bagaço ser atravessada por sucessivos fluxos de água e caldo quentes, de forma a ocorrer a extração de açúcares. O movimento do bagaço é efetuado por uma série de taliscas de arraste, enquanto o líquido circula em contra-corrente impulsionado por bombas centrífugas.

O equipamento tem a forma retangular, com a maior dimensão na direção do percurso do bagaço, conforme representado na Figura 2. A estrutura principal do difusor pode ser feita em alvenaria, em aço carbono ou em aço inoxidável. Quando em alvenaria há necessidade de revestimento interno para diminuir a corrosão.

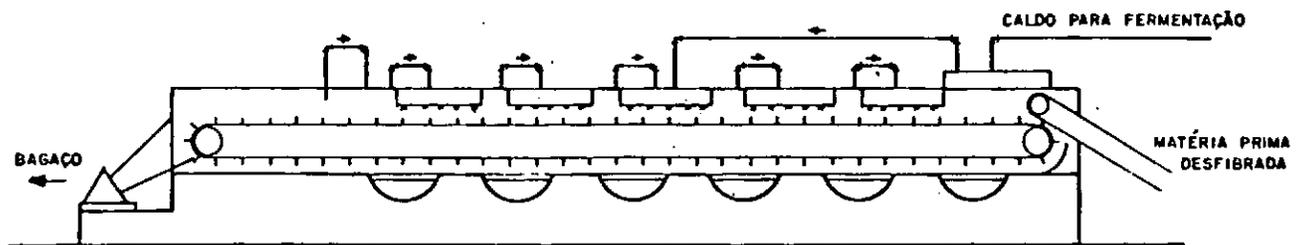


FIGURA 2 - ESQUEMA DO DIFUSOR HORIZONTAL

O difusor em operação é um difusor para bagaço, uma vez que a matéria-prima é passada logo de início por uma moenda onde é extraída grande parte do caldo e o bagaço resultante da moagem é submetido à difusão. Ele é desfibrado, lançado na esteira de carregamento do difusor, distribuído uniformemente na tela metálica e transportada através das taliscas de arraste. Durante o percurso o bagaço é continuamente embebido com caldo fraco aquecido, que faz a extração dos açúcares presentes no bagaço.

A circulação do caldo é feita através de seis bombas centrífugas que fazem o líquido caminhar em sentido contrário ao bagaço, pois a última bomba lança água aquecida sobre a camada de bagaço no final da tela metálica; a água atravessa o bagaço, se enriquece em açúcares, é recolhida na última caixa de coleta e bombeada para a última caixa de distribuição, de onde extravasa a camada de bagaço, enriquecendo-se um pouco mais em açúcares e é recolhida na penúltima caixa de coleta. Daí, outra bomba o envia para a penúltima caixa de distribuição e assim sucessivamente, até que da primeira caixa de recolhimento o caldo é bombeado para um tanque onde é misturado com o caldo extraído na moenda. (Figura 2).

Em cada caixa de distribuição há uma serpentina de vapor para manter o caldo aquecido entre 80 a 85°C. Os condensados destas serpentinas são conduzidos a um tanque onde se misturam com o caldo da moenda da secagem; esta mistura constitui-se do caldo fraco que é recirculado para o final da camada de bagaço.

O bagaço que sai do difusor com umidade superior a 70% passa por uma moenda de secagem, onde a umidade é reduzida para a faixa de 50 a 55%. Este bagaço pode ser imediatamente utilizado numa caldeira que tenha uma pré-câmara de secagem ou então ser deixado ao ar livre por um dia para que a umidade fique entre 45 a 58%.

Na safra de 1982, durante o período de operação com cana-de-açúcar foi determinado que o coeficiente de extração de açúcares era de 87,5% (SOUSA DIAS et alii (b)). Na safra de 1983 pretende-se aumentar o rendimento de extração, colocando-se o desfibrador antes da moenda, na entrada de matéria-prima no difusor.

#### 2.4. O difusor inclinado

O difusor inclinado está em construção e instalação na Fazenda Ermida, em Jundiá (SP), através de um projeto desenvolvido no CTAA (Centro de Tecnologia Agrícola e alimentar da EMBRAPA) com o apoio do ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos).

O difusor inclinado tem o mesmo princípio de funcionamento do vertical, notocante ao contacto entre as fases sólida e líquida: o bagaço é transportado de baixa para cima e recebe em contra-corrente um fluxo de água quente ou caldo de baixa concentração.

Em relação ao difusor vertical, espera-se que o inclinado apresente menor consumo de energia para o transporte do bagaço desfibrado e que tenha as operações de descarga e limpeza mais simples.

Em relação ao difusor horizontal, o inclinado possui menos partes móveis, menos bombas de recalque e melhores condições de conservar a temperatura interna, com menor consumo de vapor para aquecimento e mais fácil lavagem para desinfecção.

O equipamento representado na Figura 3, compõe-se de uma calha fixa com inclinação de cerca de  $15^{\circ}$  com um sistema de rosca transportadora e locais para injeção de água quente, caldo aquecido e vapor (quando necessário).

A matéria-prima é desfibrada e lançada num recipiente para alimentação. A rosca transportadora, impulsionada por um conjunto moto-redutor faz com que o material tenha um movimento ascendente contínuo. Na parte superior do difusor é adicionada água quente que percorre todo o leito de sólidos enriquecendo-se em açúcares e é retirado através de um sistema de peneiras na parte inferior. O caldo obtido é resfriado e enviado às dornas.

Está sendo prevista uma extração prévia em moenda, para retirar o caldo de mais fácil extração, antes do bagaço ser conduzido ao difusor. O caldo quente extraído no difusor, é misturado com o caldo extraído com a moenda antes de ser levado para as dornas de fermentação.

O bagaço que é retirado na parte superior do difusor é conduzido através de uma bica para uma moenda de secagem. O caldo extraído é bombeado para a região média do difusor, para se enriquecer em açúcares.

Há ainda duas entradas de vapor, onde é feito o controle de temperatura para que o material em difusão não esteja abaixo de  $80^{\circ}\text{C}$ .

Este difusor entrará em testes de funcionamento em março de 1983, esperando-se que até o final do primeiro semestre de etapas de ajustes mecânicos e pré-operação tenham sido cumpridas, para que possa ocorrer o funcionamento pleno com cana-de-açúcar no segundo semestre de 1983.

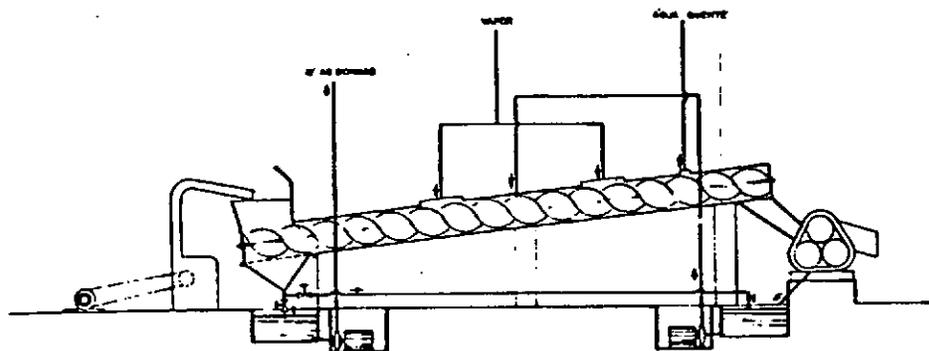


FIGURA 3 - ESQUEMA DO DIFUSOR INCLINADO

### 3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ECONOMICIDADE DA UTILIZAÇÃO DE DIFUSORES

#### 3.1. Objetivos

O objetivo do presente estudo é determinar as situações em que os difusores são mais econômicos do que as moendas para a produção de álcool em microdestilarias. Como consequência, pode-se esperar que os resultados apresentados possam contribuir para direcionar as pesquisas em andamento, indicando os modelos que apresentem melhores condições de adoção prática.

#### 3.2. A função: Custo de produção de álcool

Para alcançar os objetivos propostos serão desenvolvidos alguns "gráficos de decisão" baseados numa função "Custo de Produção de Álcool, desenvolvida no trabalho de SOUSA DIAS et alii (a) e que é indicada por:

$$C_A = \frac{C_T}{R} + \frac{C_S + \alpha \cdot INV}{P_A} + \beta \cdot P + C_{EN} + C_{INS} \quad (\text{equação 1})$$

onde:

- $C_A$  - custo de produção de álcool (Cr\$/l)
- $C_T$  - custo da cana-de-açúcar no campo (Cr\$/t)
- R - Rendimento global de produção (l/t)
- $C_S$  - Custo anual de salários e encargos sociais (Cr\$)
- INV - Investimento inicial (Cr\$)
- $P_A$  - Produção anual de álcool (l)
- P - Preço de venda do álcool, ao preço do IAA (Cr\$/l)
- $C_{EN}$  - Custo de energia elétrica (Cr\$/l)
- $C_{INS}$  - Custo de insumos (Cr\$/l)
- $\alpha$  - Coeficiente associado à depreciação, manutenção, juros e seguro
- $\beta$  - Coeficiente associado a taxas e impostos.

Algumas observações devem ser feitas quanto aos coeficientes da equação 1:

#### Custo da matéria-prima

Considera-se que o proprietário da microdestilaria produza sua própria matéria-prima, que tem um custo de oportunidade de 72 a 73% do preço oficial do IAA. O diferencial de preço cobre, nos fornecedores de cana-de-açúcar, as despesas com transporte e impostos.

### Custos de salários e encargos sociais

Para a operação de uma microdestilaria de 100 litros de álcool/h são necessários quatro operários e um encarregado, por turno. Para a de 200 litros/h além do encarregado são necessários 6 operários, por turno. Os salários devem ser pagos durante 7 meses, embora o período útil de operação de microdestilaria seja estimado em 180 dias. Os operários recebem um salário mínimo, enquanto o encarregado recebe três SM e a esses valores devem ser acrescidos 56,3% a título de encargos sociais.

### Custo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica em uma microdestilaria que usa moenda de dois ternos é de cerca de 0,3 kwh/litro de álcool. No caso dos difusores, há uma variação de consumo em relação a esse valor. Para os modelos horizontais e inclinado a potência instalada é um pouco superior à da moenda de dois ternos, devido às bombas de circulação (no horizontal) e ao motor da rosca transportadora (no inclinado). Embora as potências instaladas sejam maiores, não há, ainda certeza de que a energia consumida também o seja, pois ainda não foram efetuadas medidas sistemáticas da energia utilizada. No caso do difusor vertical, a potência instalada é um pouco inferior à da moenda de dois ternos, embora essa diferença provenha de não se utilizar moenda de secagem na calha de saída do bagaço.

### Custo de insumos

Os custos de produtos químicos, fermento, antibiótico, graxos e lubrificantes dependem do nível de produção, mas podem ser quantificados por litro de álcool produzido. Levantamento efetuados em abril de 1983 (SOUSA DIAS et alii (a)) indicaram um custo de Cr\$ 1,60/litro de álcool.

### Coefficiente associado ao investimento inicial (α)

O coeficiente engloba quatro parcelas: manutenção, depreciação, seguro sobre o ativo immobilizado e juros sobre o capital próprio.

A manutenção tem sido estimada em 2,5% a.a. sobre o capital inicial.

A depreciação pode ser tomada de forma global como 7,5% a.a. sobre o investimento, o que implica em estimar uma vida útil global de 15 anos para construções e equipamentos e valor residual nulo.

O seguro sobre o ativo imobilizado pode ser estimado em 0,5% do investimento inicial.

Quanto aos juros sobre o capital próprio, optou-se por não se considerar a possibilidade de o empreendimento vir a ser financiado pelo PROALCOOL. Assim a taxa anual de juros aceitável para o tipo de operação é de 10% de juros reais (acima da inflação).

Vê-se então que a somatória dos quatro itens importa em um custo anual que é da ordem de 20,5% do investimento inicial.

Tendo em vista que este é um item bastante pesado do custo de produção, serão efetuadas algumas considerações quanto às possibilidades de diminuí-lo, especialmente pelo possível enquadramento das microdestilarias no PROALCOOL.

#### Custos de taxas e impostos ( $\beta$ )

Admitindo-se a venda do produto aos preços fixados pelo IAA, utiliza-se o percentual determinado por aquele Instituto para as grandes destilarias ou seja 2% sobre o faturamento previsto e assim  $\beta = 0,02$ .

### 3.3. Comparação da economicidade da utilização de moendas e difusores

A partir da equação 1 pode-se analisar as situações em que a utilização de difusores é mais vantajosa do que a das moendas. Para tanto basta estudar as condições em que a receita anual líquida do empreendimento que utiliza difusor é superior à daquele que usa moenda.

A receita anual líquida ( $R_L$ ) é dada pela diferença entre a receita bruta conseguida com a venda do álcool e os custos totais, e pode ser expressa por:

$$R_L = P_A \cdot P - P_A \cdot C_A \quad (\text{equação 2})$$

ou 
$$R_L = P_A (P - C_A)$$

impondo-se a condição de que a receita líquida com difusores seja maior do que com moendas (os índices 1 referem-se a difusores e os índices 2 a moendas):

$$P_{A1} (P - C_{A1}) > P_{A2} (P - C_{A2}) \quad (\text{inequação 1})$$

Para estudar esta condição há necessidade de considerar dois casos distintos: o primeiro em que a produção anual é a mesma para as microdestilarias com difusores ou moendas, o que corresponde à mesma produção diária de álcool e é uma situação em que a maior eficiência do difusor não é aproveitada. Seria o caso, por exemplo de uma instalação em que o aparelho de destilação estivesse trabalhando na capacidade máxima e não pudesse absorver o possível aumento de produção proporcionada pela maior extração de açúcares no difusor; e o segundo em que a produção anual de álcool aumenta na proporção direta do aumento de extração de açúcares.

A seguir são estudados os dois casos:

1º CASO - Produção Anual Igual ( $P_{A1} = P_{A2} = P_A$ )

A inequação 1 fica reduzida a:

$$P - C_{A1} > P - C_{A2} \quad (\text{ineq. 2})$$

$$\text{ou } C_{A2} > C_{A1} \quad (\text{ineq. 3})$$

Substituindo-se cada termo pela função Custo de Produção, vem:

$$\frac{C_T}{R_2} + \frac{C_S}{P_{A2}} + \frac{\alpha \cdot \text{INV}_2}{P_{A2}} + \beta P + C_{EN2} + C_{INS2} >$$

$$\frac{C_T}{R_1} + \frac{C_S}{P_{A1}} + \frac{\alpha \cdot \text{INV}_1}{P_{A1}} + \beta P + C_{EN1} + C_{INS1} \quad (\text{ineq. 4})$$

Simplificando e considerando, em primeira aproximação, que os custos de energia elétrica e insumos são iguais nos dois sistemas:

$$\frac{C_T}{R_2} + \frac{\alpha \cdot INV_2}{P_{A2}} > \frac{C_T}{R_1} + \frac{\alpha \cdot INV_1}{P_{A1}} \quad (\text{ineq. 5})$$

ou

$$(INV_1 - INV_2) < \frac{C_T \cdot P_A}{\alpha} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (\text{ineq. 6})$$

## 2º CASO - Produção Anual Diferente

Neste caso, partindo-se da mesma quantidade de matéria-prima, haverá maior produção no sistema que apresentar maior extração. A relação entre as produções será dada por:

$$P_{A1} = P_{A2} \cdot \frac{R_1}{R_2} \quad (\text{equação 4})$$

Retomando a inequação 1, obtem-se:

$$P_{A2} \cdot \frac{R_1}{R_2} (P - C_{A1}) > P_{A2} (P - C_{A2}) \quad (\text{inequação 7})$$

Substituindo a equação 1 e simplificando obtem-se:

$$\frac{P \cdot R_1}{R_2} - \frac{\alpha \cdot INV_1}{P_{A2}} - \frac{R_1}{R_2} (\beta P + C_{EN1} + C_{INS1}) > P - \frac{\alpha \cdot INV_2}{P_{A2}} - (\beta P + C_{EN2} + C_{INS2}) \quad (\text{ineq. 8})$$

Admitindo-se que os custos de energia e de insumos por litro de álcool nos dois sistemas sejam bastante próximos, tem-se:

$$\frac{\alpha}{P_{A2}} (INV_1 - INV_2) < \left( \frac{R_1}{R_2} - 1 \right) \cdot (P(1-\beta) - C_{EN} - C_{INS}) \quad (\text{ineq. 9})$$

Chamando-se, por facilidade,  $P(1-\beta) - C_{EN} - C_{INS}$  de K vem:

$$(INV_1 - INV_2) < \frac{P_{A2} \cdot K}{\alpha} \left( \frac{R_1}{R_2} - 1 \right) \quad (\text{ineq. 10})$$

Deve-se observar que a produção de álcool em microdestilaria com moenda,  $P_{A2}$ , é considerada constante e o aumento de produção motivado pelo difusor é dado exatamente por:  $P_{A1} = P_{A2} \left( \frac{R_1}{R_2} - 1 \right)$

#### 4. AVALIAÇÃO DA ECONOMICIDADE DA UTILIZAÇÃO DE DIFUSORES EM COMPARAÇÃO COM MOENDAS

##### 4.1. O gráfico de decisão

As inequações (6) e (10) permitem estudar em que condições a utilização dos difusores é economicamente mais vantajosa do que a das moendas.

O estágio de desenvolvimento dos difusores (cf. item 2) não permite, ainda, estabelecer concretamente os coeficientes de extração que serão obtidos, nem os investimentos adicionais na instalação desses equipamentos. Assim, parece que as inequações desenvolvidas devem ser utilizadas para responder a duas questões básicas:

- em relação a um dado sistema de moendas, que investimento adicional é admissível para um certo rendimento esperado de produção de álcool em difusores?
- como a modificação dos parâmetros das inequações (6) e (10) ( $P_A$ ,  $C_T$ ,  $\alpha$ ,  $K$ ) influencia a relação entre aumento de rendimento - aumento de investimento?

Para efetuar esse tipo de estudo devem-se traçar as fronteiras para comparação. Por exemplo, no tocante aos rendimentos de produção obtidos com moendas, pode-se admitir os seguintes valores:

- 50 litros/TC para moenda de 1 terno (GEMENTE et alii)
- 55 litros/TC para moendas de 2 ternos (SOUSA DIAS et alii (a))
- 60 litros/TC para moendas de quatro rolos com embebição integral (SOUSA DIAS et alii (a)).

No caso dos difusores em que se esperam coeficientes de extração de açúcares entre 90 e 97% (HUGOT, BERNY et alii, SOUSA DIAS & TEIXEIRA), o rendimento de produção, para cana-de-açúcar com 14,5% de ART deverá estar entre 68 e 73 litros/TC. Deve-se mencionar que tanto para microdestilarias com moendas ou difusores admittiram-se rendimentos de fermentação de 85% e de destilação de 90% (GEMENTE et alii, SOUSA DIAS et alii).

A resposta à primeira pergunta ( $\Delta I V_s R_1$ ) pode ser dada através da utilização de um "gráfico de decisão" como o esquematizado na Figura 4, considerando-se os dois casos já abordados de igualdade de produção (1º caso) ou aumento de produção proporcional ao aumento de rendimentos (2º caso).

Na Figura 4 qualquer ponto pertencente à região hachureada A indica que o investimento adicional no difusor para passar de um rendimento  $R_2$  para  $R_1$  é vantajoso, mesmo se não houver aumento da produção total. Da mesma forma qualquer ponto da região hachureada B indica que é vantajoso o investimento adicional, que neste caso deve ser entendido como o necessário para habilitar a microdestilaria a aproveitar ao máximo o aumento da eficiência de extração. Ou, em outras palavras, o incremento de investimento no segundo caso deve cobrir a instalação do difusor e possíveis modificações para que a unidade possa aumentar a produção proporcionalmente ao aumento do rendimento de extração.

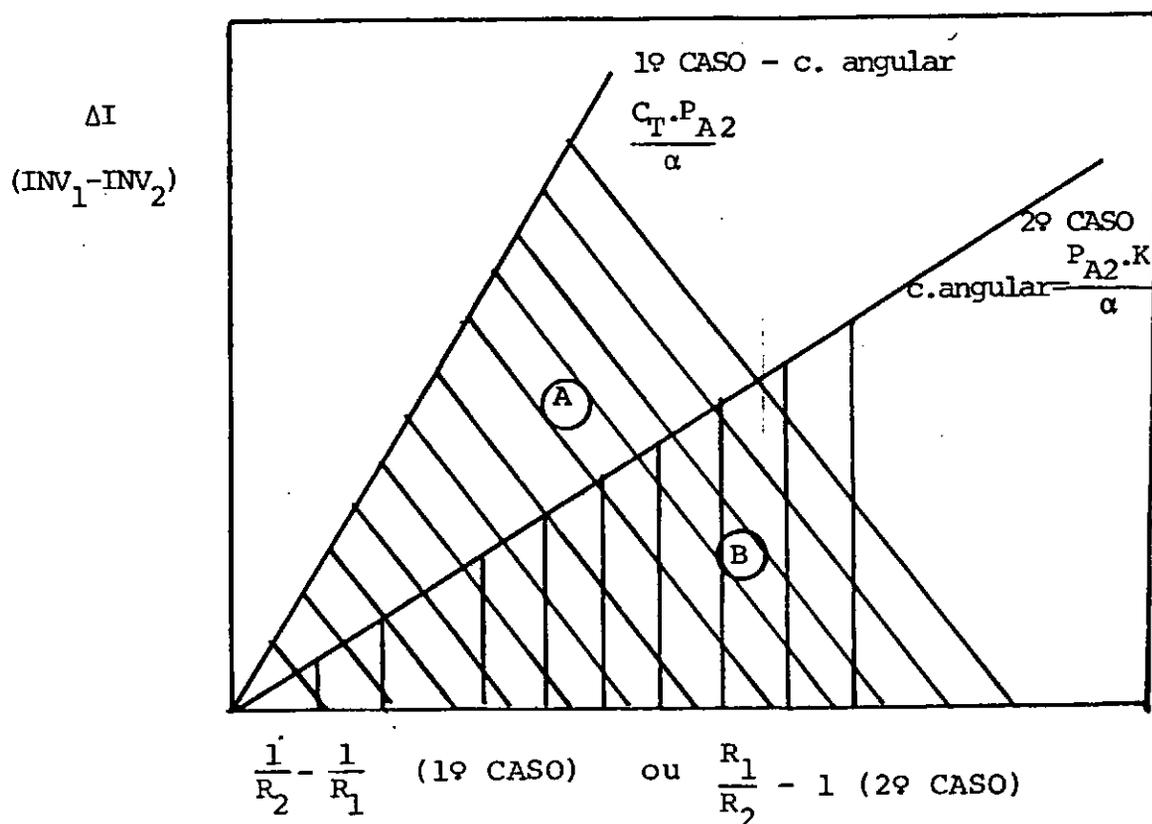


FIGURA 4: Gráfico de decisão - As Regiões hachureadas indicam ser vantajoso o investimento adicional para passar de um rendimento  $R_2$  para  $R_1$ .

#### 4.2. Competitividade dos difusores com sistemas de moagem já existentes

Os gráficos de decisão apresentados na Figura 4 permitem avaliar qualquer situação, desde que sejam conhecidos ou estimados os coeficientes  $R_1$  e  $R_2$ . Quando se deseja estabelecer a comparação dos difusores com um certo tipo de equipamento de moagem que já apresenta valor bem conhecido para  $R_2$ , a análise se simplifica. Reordenando-se as inequações (6) e (10), obtém-se:

$$1^{\text{º}} \text{ CASO: } \Delta I < \frac{C_T \cdot P_A}{\alpha} \cdot \frac{1}{R_2} - \left( \frac{C_T \cdot P_A}{\alpha} \right) \cdot \frac{1}{R_1} \quad (\text{ineq. 11})$$

$$2^{\text{º}} \text{ CASO: } \Delta I < \frac{P_{A2} \cdot K}{\alpha R_2} \cdot R_1 - \frac{P_{A2} \cdot K}{\alpha} \quad (\text{ineq. 12})$$

A Figura 5 apresenta os gráficos (em função de  $R_1$ ) para os valores reais citados por SOUSA DIAS et alii (a) para os diversos coeficientes e parâmetros:

$$C_T = \text{Cr\$ } 3.522,33/\text{TC}$$

$$P_{A2} = 450.000 \text{ litros (2.500 litros x 180 dias)}$$

$$\alpha = 20,5\% \text{ (10\% de juros reais + 7,5\% de depreciação + 2,5\% de manutenção + 0,5\% de seguros)}$$

$$P = \text{Cr\$ } 95,74/\text{litro}$$

$$\beta = 2\% \text{ (impostos e taxas)}$$

$$C_{EN} = \text{Cr\$ } 3,00/\text{litro}$$

$$C_{INS} = \text{Cr\$ } 1,60/\text{litro}$$

Observa-se que nas três situações há possibilidade de maiores investimentos adicionais quando a microdestilaria estiver aparelhada para aumentar a produção diária em função do aumento da eficiência de extração (2º caso) e como seria de esperar os maiores investimentos na adoção do difusor podem ser feitos quando o seu desempenho é comparado ao da moenda de 1 terno.

É interessante verificar que nas condições estudadas, um difusor que proporcione um rendimento de 65 litros/TC é competitivo mesmo se custar mais Cr\$ 35.000.000,00 (sem aumento de produção) ou mais Cr\$ 57.000.000,00 (com aumento de produção) do que a moenda de 1 terno.

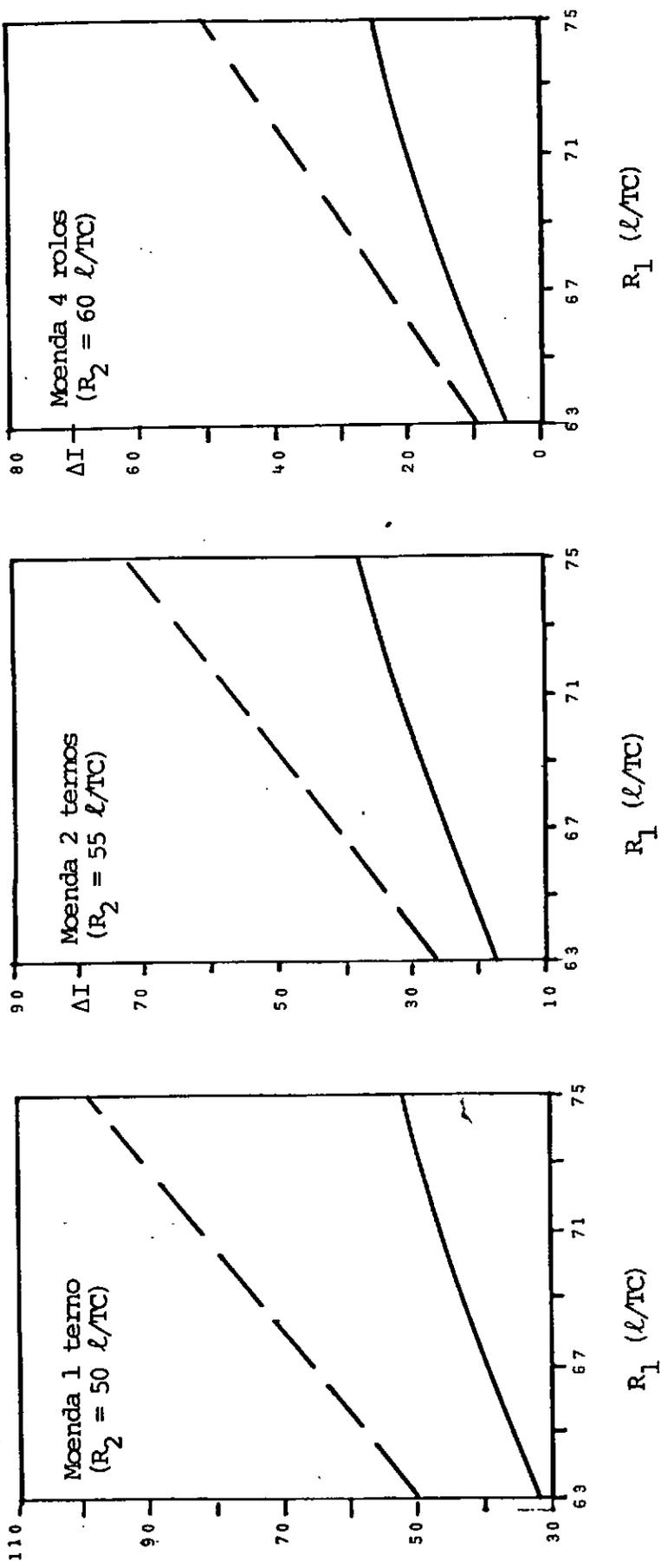


FIGURA 5 - Máximo acréscimo de investimento para utilização de difusores em função dos rendimentos esperados, em comparação com três sistemas de moagem, para duas situações diversas:

- Sem aumento da produção total
- Com aumento da produção total

Por outro lado, quando o padrão para comparação for a moenda de 4 rolos, que já apresenta um rendimento aceitável (tratando-se de microdestilarias) de 60 litros/TC o investimento adicional máximo para difusor com 65 litros/TC é de Cr\$ 10.000.000,00 (sem aumento de produção) e Cr\$ 16.500.000,00 (com aumento de produção). E vale também observar que a diferença de investimento admissível entre os casos com aumento de produção e sem aumento de produção cresce bastante com o aumento do rendimento industrial, indicando que o sistema é bastante sensível à conveniente utilização da maior eficiência do difusor.

#### 4.3. Influência da produção nominal total de álcool ( $P_{A2}$ )

Os valores até aqui considerados referem-se à escala de produção nominal de 2.500 litros de álcool/dia.

A produção total é um dos mais importantes parâmetros nas inequações que levam aos gráficos de decisão. Tanto no caso em que há aumento de produção diária pela adoção de difusor, quanto naquele em que as produções são idênticas, o parâmetro  $P_{A2}$  aparece no numerador do coeficiente angular da reta que se para as regiões na Figura 4.

Assim caso se conheça um valor de  $\Delta I$  admissível para aumentar o rendimento de  $R_2$  para  $R_1$  numa dada produção nominal  $P_{A2}$ , o valor de  $\Delta I$  numa outra produção  $P'_{A2}$  será dado simplesmente por:

$$\Delta I' = \Delta I \cdot \frac{P_{A2}'}{P_{A2}} \quad (\text{equação 5})$$

#### 4.4. Influência do custo da matéria-prima ( $C_T$ )

O custo da matéria-prima na análise de competitividade de influi apenas no 1º caso (de produções totais iguais). E influi da mesma forma que a produção total ( $P_{A2}$ ), pois também aparece no numerador do coeficiente angular da reta que separa as regiões na Figura 4. Assim, se houver um aumento de 10% no custo da cana-de-açúcar para o produtor de álcool, a diferença máxima admissível de investimentos entre o sistema que possui difusor e o que não o possui aumenta também em 10%.

Esta consideração também se aplica à análise da utilização de cana-de-açúcar comprada de fornecedores. O custo apontado anteriormente (Cr\$ 3.522,33) é o custo oficial da matéria-prima sem transporte nem impostos e é o custo de oportunidade para o produtor de matéria-prima que seja também o proprietário da microdestilaria. No caso do proprietário adquirir a matéria-prima de terceiros, ele vai pagar Cr\$ 4.733,39 (em São Paulo, abril de 1983) por tonelada, com uma diferença de cerca de 34,3%.

Deve ser lembrado, entretanto, na análise da utilização de matéria-prima própria que GEMENTE et alii apontaram que a produção de álcool nesta situação não é economicamente viável, para venda do produto ao preço fixado pelo IAA.

Também no caso do presente estudo a utilização de cana-de-açúcar conduz, (pela aplicação da equação 1), a custos de produção mais altos do que o preço pago ao produtor, como está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos de produção de álcool em microdestilarias de 2.500 litros/dia em três sistemas de moagem, utilizando apenas cana comprada. (Valores de abril de 1983).

| Sistemas de moagem | Rendimento Industrial (l/TC) | Investimento Sist. Moagem (Cr\$ 1.000,00) | Investimento Total Microd. (Cr\$ 1.000,00) | Custo de Produção (Cr\$/l) |
|--------------------|------------------------------|---|--|----------------------------|
| Moenda 1 terno     | 50                           | 7.000                                     | 23.000                                     | 123,73                     |
| Moenda 2 ternos    | 55                           | 14.000                                    | 30.000                                     | 118,31                     |
| Moenda 4 rolos     | 50                           | 16.000                                    | 32.000                                     | 111,59                     |

Preço do álcool pago ao produtor em S. Paulo: Cr\$ 95,74/litro

A partir da própria equação 1 podem-se obter as informações referentes à possibilidade de produzir álcool em microdestilarias com difusor utilizando cana-de-açúcar adquirida de terceiros.

Para se efetuar a análise basta impor na equação 1 que o custo de produção seja 90% do preço de venda do álcool (o que assegura uma margem mínima para o produtor) e estudar qual deve ser o investimento inicial na microdestilaria, em função do rendimento industrial.

É necessário, mais uma vez, considerar as possibilidades de que haja ou não aumento da produção total associada à utilização do difusor, o que dá margem a duas situações distintas, como se observa na Tabela 3. Para a obtenção do investimento com aumento de produção utilizou-se como base de cálculo, a quantidade de matéria-prima que seria necessária para produzir 2.500 litros álcool/dia em uma unidade com moenda de 4 rolos.

Tabela 3 - Investimentos máximos admissíveis para assegurar rentabilidade ao produtor que utiliza cana-de-açúcar adquirida de terceiros, em duas situações distintas, segundo os rendimentos de produção. (Valores de abril de 1983).

| Rendimento industrial (l/TC) | Investimento admissível sem aumento da produção total (Cr\$ 1.000,00) | Investimento admissível com aumento da produção total (Cr\$ 1.000,00) |
|------------------------------|---|---|
| 63                           | - 16.594  | - 16.276  |
| 73                           | - 6.749   | - 4.484   |
| 71                           | 1.690   | 7.308   |
| 75                           | 9.791   | 19.100  |

Os resultados demonstram que nem com a utilização de difusores seria possível ao proprietário da microdestilaria adquirir toda a matéria-prima para processamento, pois os investimentos admissíveis são incompatíveis com os valores reais.

Uma outra situação bastante representativa do procedimento usual, é o proprietário adquirir uma parcela da matéria-prima. Tal situação pode ser analisada usando a mesma metodologia: basta considerar como custo da matéria-prima a média ponderada dos custos, com os pesos equivalentes aos percentuais de utilização da cana-de-açúcar própria e de terceiros.

#### 4.5. Influência dos custos financeiros

A influência dos custos financeiros está considerada no coeficiente  $\alpha$ , que engloba também depreciação, manutenção e seguros. Os valores numéricos até aqui apresentados consideraram  $\alpha=20,5\%$  com juros anuais reais (acima da inflação) de 10% ao ano. Para avaliar a sensibilidade de  $\Delta I$  à variação desse importante parâmetro, foram traçadas as curvas da Figura 5, para a variação de  $\Delta I$  em função da taxa de juros, para a comparação de um difusor que produzisse 65 litros álcool/TC com a moenda de 4 rolos ( $R_2 = 60\ell/TC$ ), em uma unidade de 2.500 litros/dia. Deve-se observar que o valor de  $i = 2\%$  corresponde, aproximadamente, ao enquadramento da micro destilaria no PROALCOOL: esse valor de juros seria o correspondente à aplicação de uma taxa de juros reais (10% a.a.) sobre os 20% do capital próprio do investidor. Não corresponde exatamente ao financiamento PROALCOOL pois não leva em consideração que a correção monetária é de apenas 65% da variação das ORTN, nem que há 3 a 4 anos de prazo de carência, com juros capitalizados no período. Ou seja, considerar  $i = 2\%$  super-estima os custos financeiros do financiamento PROALCOOL. Assim mesmo, quando se observa os valores da Figura 6 nota-se que em relação aos juros de mercado (10 a 12% a.a.) o "financiamento" PROALCOOL tornaria ainda mais atrativa a utilização de difusão em lugar da moagem. NO 1º CASO (sem aumento de produção) haveria um incremento no  $\Delta I$  da ordem de Cr\$ 5.500.000,00 se em lugar de usar juros de mercado ( $i = 10\%$ ) fossem utilizadas as condições PROALCOOL ( $i = 2\%$ ), enquanto para o 2º CASO esse incremento seria da ordem de Cr\$ 6.500.000,00.

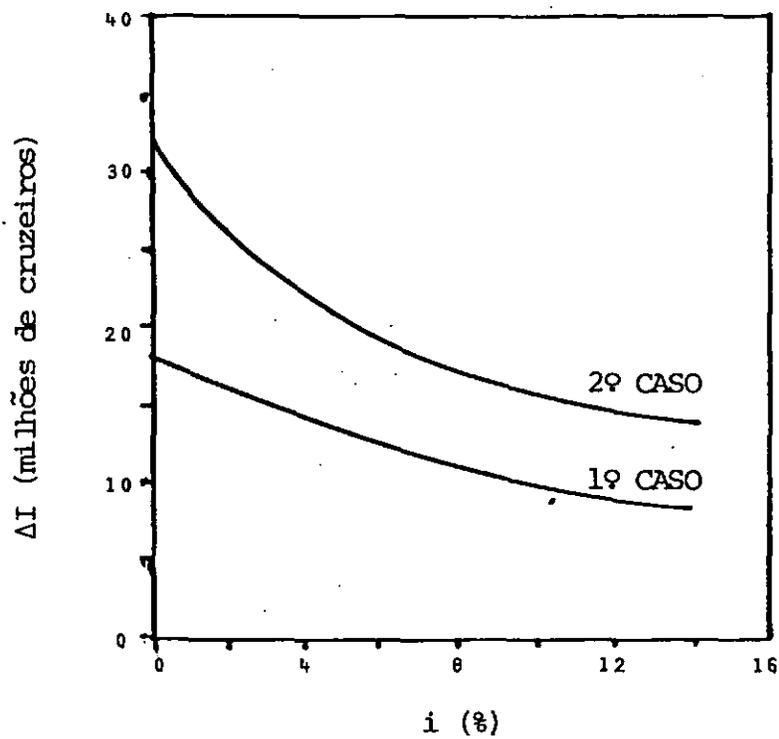


FIGURA 6 - Variação do  $\Delta I$  admissível na comparação de difusor ( $R_1=65 \text{ l /TC}$ ) com moenda de 4 rolos ( $R_2=60 \text{ l /TC}$ ), em função da taxa de juros reais a.a. ( $i$ )

## 5. CONCLUSÕES

Como comentário preliminar deve-se salientar que os valores de  $I$  encontrados foram os máximos que atendem à condição de que a receita anual líquida com o uso de difusores seja superior àquela obtida com uso de moendas (inequação 1). Evidentemente, se o desenvolvimento dos difusores levar a sistemas que importem em investimentos adicionais inferiores aos calculados para  $\Delta I$ , haverá diminuição dos custos de produção de álcool, como pode ser visualizado da equação 1.

As análises efetuadas quanto às condições para utilização de difusores permitem concluir que:

- é possível estabelecer um "gráfico de decisão" que tendo como parâmetros os custos de matéria-prima, a produção nominal de álcool, os custos de insumos, impostos e energia elétrica e os coeficientes associados ao investimento inicial, permite avaliar rapidamente a viabilidade econômica de se realizar um certo investimento adicional para se passar do rendimento  $R_2$  para  $R_1$ .
- na microdestilaria em que se instalar difusor em substituição ou complemento a moendas, deve haver capacidade de processamento para permitir o aumento de produção diária proporcional ao aumento da eficiência de extração. Nos casos em que os equipamentos de fermentação e destilação não aproveitarem a maior eficiência de extração, os valores de investimentos adicionais ( $\Delta I$ ) para instalação do difusor será de  $(39,5/R_1)$  daqueles em que se utiliza adequadamente a capacidade instalada ( $R_1$  é o rendimento industrial em  $l/TC$ ).
- quando se compara a utilização de difusores que proporcionem rendimentos de 65 litros/TC, usando-se cana-de-açúcar própria para produção nominal de 2.500 litros álcool/dia e considerando juros comerciais (10% a.a.), com sistemas de moagem já avaliados e admitindo-se apenas o caso de aumento de produção proporcional ao aumento de eficiência, os investimentos adicionais para a instalação de difusores poderão ser de até:
  - .. Cr\$ 57.000.000,00 no caso de moenda de 1 terno (50  $l/TC$ )
  - .. Cr\$ 32.000.000,00 no caso de moenda de 2 ternos (55  $l/TC$ )
  - .. Cr\$ 13.000.000,00 no caso de moenda de 4 rolos (60  $l/TC$ ).

- quanto maior for a escala de produção de álcool em microdestilarias, tanto mais vantajosa é a utilização de difusores em substituição ou complementação aos sistemas de moagem.
- nem a utilização de difusores em unidades que aproveitem a máxima capacidade instalada torna economicamente viável adquirir toda a cana-de-açúcar para produzir álcool em microdestilarias. Deve-se estudar caso a caso a rentabilidade quando ocorre a aquisição de uma parcela da matéria-prima.
- os custos financeiros que incorrem sobre o investimento inicial estimulam a que se dê a máxima utilização à unidade industrial, com aumento de produção proporcional ao aumento de eficiência de extração.
- o enquadramento das microdestilarias no PROALCOOL tornaria ainda mais atrativa a utilização de difusores, pois aumentaria, em alguns casos, em até 60% o investimento adicional admissível para a sua instalação.

#### OBSERVAÇÃO FINAL

Diante dos valores encontrados nas diversas situações para o investimento adicional admissível e dos custos de implantação dos difusores reais parece perfeitamente possível que os mesmos venham a substituir ou complementar os sistemas de moagem.

Apenas para fixar algum número, pode-se usar como exemplo o difusor inclinado da Fazenda Ermida, que foi instalado para complementar um sistema de dois ternos de moenda.

Atualmente, ainda em fase de ajustes, o coeficiente de extração tem sido da ordem de 90% o que possibilita produzir cerca de 65 litros/TC. Uma das conclusões anteriores estabelecia que nessas condições o difusor poderia custar até Cr\$32.000.000,00. E as informações disponíveis dão conta de que o protótipo não chegou a custar Cr\$ 10.000.000,00 (TEIXEIRA).

Desta forma, parece haver indicações bem seguras de que os difusores deverão tornar-se equipamentos-padrão nas microdestilarias para produção de álcool etílico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNY, P.B. et alii. Extração de açúcares por Difusão. Pesquisa em Andamento. UEPAE Pelotas nº 09, Dez. 1982, 5p.
- GEMENTE, A.C.; LOPES, C.H.; RUAS, D.G.G.; GERMEK, H.A. & OLIVEIRA, E.R. Microdestilarias: Viabilidade Técnico-Econômica. Brasil Açucareiro, abril/82 (Separata);25-72.
- GORGATTI NETTO, A. & SOUSA DIAS, J.M.C. de. Sistemas de Produção Alcool em Microdestilarias. EMBRAPA, Brasília-DF, 1983, 38p.
- HUGOT, E. Manual de Engenharia Açucareira. V.A. Ed. Mestre Jov.
- SOUSA DIAS, J.M.C. de. Implantação de microdestilarias para energização rural. Saccharum, S. Paulo 3(11):19-29, Dez. 1980.
- SOUSA DIAS, J.M.C. & TEIXEIRA, C.G. Pesquisas com Difusores para Produção de Alcool em Microdestilarias. EMBRAPA, Brasília,DF, 1983, 22p.
- SOUSA DIAS, J.M.C. de; NOVAES, F.V.; CRUZ, E.R. da & SOARES, R.P. (a). Avaliação Técnico econômica do Funcionamento de microdestilarias. EMBRAPA, Brasília, agosto, 1983.(no prelo).
- SOUSA DIAS, J.M.C.; LAMAS FILHO, P.A.; ENCARNAÇÃO, R.O. & ANDRADE, V.F. (b). Aspectos Construtivos, Equipamentos e Projetos Básicos para Microdestilarias. EMBRAPA, Brasília, Abril 1983, 14p. (com 8 plantas).
- TEIXEIRA, C.G. Comunicação pessoal. Abril de 1983.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Relatório técnico de operação da microdestilaria de álcool carburante. Araquari (SC), 1982.

AGRADECIMENTO: O desenvolvimento do projeto de difusores vem sendo financiado, em parte, com recursos do PME - Programa de Mobilização Energética.