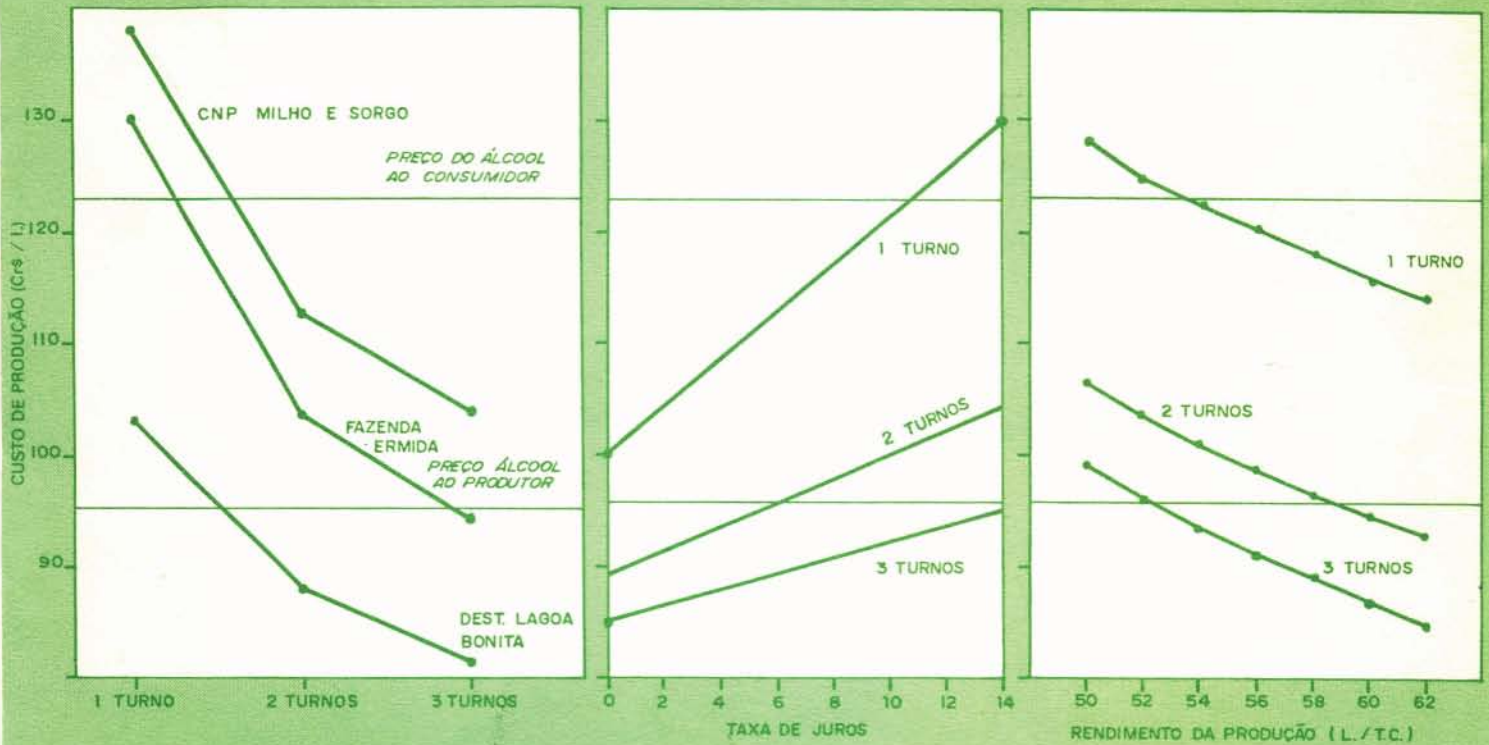


AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO FUNCIONAMENTO DE MICRODESTILARIAS





EMBRAPA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
VINCLADA AO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA
DO FUNCIONAMENTO DE MICRODESTILARIAS

JOSÉ MANUEL CABRAL DE SOUSA DIAS
FERNANDO VALADARES NOVAES
ELMAR RODRIGUES DA CRUZ
RICARDO PEREIRA SOARES

Brasília, DF
1983

Este trabalho integra o
Projeto Avaliação de Microdestilarias
coordenado pela Coordenação de Agroenergia, do
Ministério da Agricultura e
executado pela EMBRAPA e EMBRATER.
Contou, para sua realização, com uma
parcela financeira do Conselho Nacional de
Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

EMBRAPA – Diretoria Executiva
Documentos 2
Editoração: Raul C. Rosinha
Arte : Arthur H. Foerstnow

Solicitação de exemplares desta
publicação deve ser encaminhada a

EMBRAPA – Diretoria Executiva
Caixa Postal 04.0315
70.312 – Brasília, DF – Brasil

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,
Brasília, DF.

Avaliação técnica e econômica do funcionamento de microdestilarias, por José Manuel Cabral de Souza Dias e outros. Brasília, 1983.

39 p. (EMBRAPA. Diretoria Executiva. Documento, 2)

Colaboração de: Fernando Valadares Novaes, Elmar Rodrigues da Cruz e Ricardo Pereira Soares.

1. Microdestilaria – Avaliação. 2. Microdestilaria – Rendimento. 3. Microdestilaria – Desempenho. 4. Álcool – Produção. I. Dias, José Manuel Cabral de Souza, colab. II. Novaes, Fernando Valadares, colab. III. Cruz, Elmar Rodrigues da, colab. IV. Soares, Ricardo Pereira, colab. V. Título. VI. Série.

CDD: 333.79

SUMÁRIO

	Página
Apresentação	7
Introdução	9
Coleta de amostras e determinação efetuadas	11
Parâmetro para controle do processo	11
Métodos de análise utilizados	11
Fórmulas para o cálculo de rendimentos	11
Resultados obtidos e discussão	13
Comentários iniciais	13
CNP Milho e Sorgo – EMBRAPA	13
Fazenda Ermida	16
Destilaria Lagoa Bonita	17
Colégio Agrícola de Araquari	19
Discussão dos resultados	20
Avaliação econômica	25
Cálculo de custos e análise financeira	25
Discussão dos resultados da avaliação econômica	26
Conclusões	33
Agradecimentos	35
Anexo 1	37
Anexo 2	39

APRESENTAÇÃO

Desde meados de 1979 vem o Ministério da Agricultura trabalhando no desenvolvimento de microdestilarias que possam ser técnica e economicamente viáveis para produção de álcool em fazendas e cooperativas.

O esforço iniciou-se com a implantação, a partir de 1980, das unidades de pesquisa e desenvolvimento nos centros da EMBRAPA. Estas unidades têm sido utilizadas como laboratórios para experiências com matérias-primas, equipamentos e processos de produção, máquinas agrícolas movidas a etanol e sistemas integrados de alimentos e energia, sem contudo perder a característica básica de uma unidade produtiva que opera a safra inteira.

Intensificou-se o esforço quando a EMBRATER, em conjunto com o CNPq, instalou microdestilarias didáticas junto a algumas Universidades e Escolas de Agronomia, com a finalidade precípua de efetuar a formação de profissionais e o treinamento "em serviço" de operadores.

O trabalho ora apresentado integra o referido esforço na medida em que objetivou acompanhar o funciona-

mento, extrair e analisar os resultados das diferentes fases do processo tecnológico e avaliar a viabilidade econômica em condições normais de operação.

O cumprimento deste objetivo sofreu algumas limitações em função do curto período de observação do funcionamento das unidades selecionadas. Entretanto, estas restrições não invalidaram as informações obtidas, podendo-se concluir que, em determinadas situações de funcionamento, o investimento é viável economicamente e apresenta elevados benefícios do ponto de vista social.

Assim sendo, estas micro unidades, poderão exercer importante função complementar no contexto do Programa Nacional do Álcool/PROALCOOL, uma vez que serão fator de redução dos elevados custos de transportes do álcool para regiões distantes dos centros produtores.

Além disto, as microdestilarias têm a versatilidade de se constituir num investimento acessível aos pequenos e médios produtores rurais, em forma individual ou associada, gerando emprego e ampliando a renda do setor.

Angelo Amaury Stabile
Ministro de Agricultura

INTRODUÇÃO

Sob o aspecto conceitual, microdestilaria é uma unidade produtora de álcool etílico de capacidade máxima de 5.000 litros/dia. Do ponto de vista legal (Decreto nº 85.698, de 04.02.81), esse parâmetro é complementado pela obrigatoriedade do consumo na propriedade onde se encontra instalada, ou por associados ao empreendimento, acrescido da possibilidade da comercialização de eventuais excedentes de produção, desde que a qualidade do álcool atenda aos padrões especificados, e que o fornecimento da matéria-prima não interfira no funcionamento das grandes usinas de açúcar e destilarias de álcool.

No que se refere aos aspectos técnico e operacional, a microdestilaria é uma unidade simplificada em relação às destilarias convencionais, sem ser, entretanto, uma miniaturização das mesmas, uma vez que foram desenvolvidos equipamentos de concepção específica para o trabalho nas pequenas unidades.

Do ponto de vista econômico, a microdestilaria é um empreendimento que, se convenientemente administrado e conduzido dentro de padrões técnicos razoáveis, é, por si só, bastante atrativo, mesmo não se considerando a possibilidade do empreendimento ser financiado pelo PROALCOOL, nem o aproveitamento racional dos subprodutos.

Do ponto de vista de produção e distribuição de insumos energéticos, a microdestilaria tem a possibilidade real de diminuir os elevados gastos de combustíveis com o transporte do álcool carburante, bem como os custos a eles associados.

Como enfoque social, a microdestilaria apresenta inegável efeito de criação de empregos e de fixação do homem no interior. No primeiro caso, porque a produção de álcool em pequenas unidades cria 21 empregos diretos em cada destilaria de 5.000 litros/dia, apenas na parte industrial (uma destilaria de 150.000 litros/dia gera apenas 125 empregos). No segundo, porque a mão-de-obra utilizada na operação da microdestilaria é aquela com dificuldades de colocação nas épocas de entressafra de grãos e outras culturas anuais, mas que pode ser aproveitada na safra de cana-de-açúcar.

Do ponto de vista de aplicação de recursos financeiros, a microdestilaria necessita investimentos iniciais, por litro de álcool produzido, cerca de três vezes menores do que as grandes destilarias. Isto proporciona, mantido o nível global de investimento, um expressivo aumento da produção de álcool ou, no caso de manter a produção

nas metas pré-estabelecidas, a possibilidade de aplicação de recursos em outros programas.

Com relação ao aproveitamento dos subprodutos, dois pontos merecem atenção. O seu pequeno volume permite um manejo adequado, sem infra-estruturas complexas e caras. O seu aproveitamento racional possibilita aumentar a produção e a produtividade de alimentos (carne, leite, grãos) com a utilização de biomassas que, em outra escala de operação, seriam totalmente perdidas. Como já mencionado, a rentabilidade econômica do aproveitamento dos subprodutos não tem sido levada em consideração, embora em muitos casos a receita com a venda do álcool seja inferior à do aproveitamento dos subprodutos.

Finalmente, do ponto de vista estratégico, a produção de combustível a nível local ou regional diminuiria a vulnerabilidade do setor primário (reponsável pelo abastecimento interno e por cerca de metade das divisas de exportação), em relação aos insumos importados.

O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar o funcionamento de seis microdestilarias, com a coleta de informações que permitissem efetuar a análise técnica e econômica do empreendimento.

Como outros objetivos podem ser citados:

- adaptar e desenvolver rotinas e procedimentos simplificados para que os próprios operadores da microdestilaria possam avaliar o desempenho e os rendimentos da produção de álcool;
- efetuar análise comparativa das diversas etapas da produção de álcool, bem como dos equipamentos fornecidos pelos vários fabricantes;
- verificar a disponibilidade de subprodutos e estudar as possibilidades do seu aproveitamento no próprio sistema de produção da fazenda que possui a microdestilaria.

O trabalho ora apresentado refere-se a um período de coleta de informações que se estendeu do início de outubro a meados de dezembro, devido à dificuldades administrativas em iniciar o acompanhamento e ao término da safra.

Pretende-se, na safra que se inicia em maio de 1983, repetir o acompanhamento, por um período mais longo e em maior número de unidades. Para tanto, as deficiências observadas nesta primeira etapa, deverão ser sanadas e espera-se, ao final da safra de 1983, ter um levantamento muito completo das microdestilarias do país.

COLETA DE AMOSTRAS E DETERMINAÇÕES EFETUADAS

Parâmetros para controle do processo

No controle da produção de álcool a partir de cana-de-açúcar, há três grandezas determinantes da eficiência do processo e que devem ser conhecidas em várias etapas: a concentração de açúcares, a concentração de leveduras e a concentração de etanol. Além dessas, há outras informações que complementam a análise, como as determinações de acidez e do óleo fusel do álcool, o pH do caldo e do vinho fermentado.

Quando, além de efetuar o controle, se deseja estabelecer o balanço material e energético do processo como um todo e de suas várias fases, há necessidade de medir e avaliar as vazões de matéria-prima e insumos, das diversas correntes intermediárias (caldo, mosto, vinho), do produto (álcool) e dos subprodutos (bagaço, vinhaça, óleo fusel).

Neste trabalho de avaliação do funcionamento de microdestilarias foi montado um "kit" analítico com os equipamentos, vidrarias e reagentes necessários para efetuar as medidas das grandezas relacionadas. A constituição do kit analítico está no Anexo 1.

As vazões de fluidos foram estimadas através dos volumes de caldo, de mosto, de vinho e do álcool produzido.

Métodos de análise utilizados

Para medir ou estimar a concentração de açúcares foram usados neste trabalho dois métodos distintos: a medida de $^{\circ}\text{Brix}$ e a determinação da concentração de Açúcares Redutores Totais (ART).

A medida de $^{\circ}\text{Brix}$ é uma forma rápida de estimar a concentração de açúcares, pois é feita pela simples imersão de um densímetro convenientemente graduado no líquido que se deseja avaliar. Na verdade o $^{\circ}\text{Brix}$ mede o teor de sólidos solúveis aparentes (açúcares e não-açúcares) no fluido. No ponto de maturação da cana-de-açúcar não há muitas substâncias interferentes e o $^{\circ}\text{Brix}$ pode ser usado como um parâmetro operacional para controle de extração, diluição e, até mesmo, do final da fermentação.

A concentração de ART foi efetuada, neste trabalho, através do método de Eynon-Lane, um método químico baseado na redução de sulfato de cobre, que foi o escolhido dentre os vários disponíveis pela possibilidade de ser efetuada em campo, pois não exige equipamentos complexos e por ser largamente aplicado nas destilarias de álcool.

Para os cálculos das eficiências das etapas de extração e da fermentação utilizaram-se os valores iniciais e finais das concentrações de ART, (e nunca os valores de $^{\circ}\text{Brix}$) sendo este, então, um dos parâmetros que deve ser determinado com maior precisão e frequência.

A concentração de etanol no vinho fermentado, no

álcool destilado e na vinhaça é outro parâmetro importantíssimo para a avaliação do processo. Também neste caso foram usados dois métodos: a densimetria e a ebulioscopia.

A determinação do teor alcoólico através do densímetro é o método mais simples, mas só pode ser usado em misturas hidro-alcoólicas que não contenham sólidos em solução. Neste trabalho tal método foi utilizado apenas para a medida do teor alcoólico do produto que saía da coluna de destilação. É importante ressaltar que neste caso há necessidade de se efetuar a correção do valor medido para a temperatura de referência (15°C) e para tanto é necessário medir a temperatura do produto destilado. Devido à facilidade e rapidez na medida, a densimetria é utilizada como parâmetro de controle da coluna de destilação.

A determinação do teor de etanol através do ebuliômetro foi efetuada no vinho fermentado e em alguns casos, na vinhaça. É uma determinação também rápida mas de menor precisão. Era efetuada para avaliar o rendimento da fermentação e o rendimento da destilação.

A concentração de leveduras viáveis no início da fermentação alcoólica e no transcorrer da mesma é outro importante parâmetro para a avaliação e para o controle do processo. No presente trabalho não foi possível efetuar este tipo de determinação, que no seu método mais direto exige um microscópio e câmaras de contagem. Há necessidade de introduzir estes equipamentos numa segunda etapa de avaliação, pois com eles pode-se determinar a existência de bactérias contaminantes, que podem ser extremamente prejudiciais para o rendimento da fermentação e para a qualidade do álcool.

A qualidade do álcool produzido foi analisada (além do teor alcoólico) pela medida de acidez, determinada por uma titulação com hidróxido de sódio e expressa como acidez acética (mg de ácido acético por 100 ml de álcool). A determinação do teor de óleo fusel e de seus constituintes não foi efetuada, pois é feita por cromatografia em fase gasosa, o que não é possível sem aparelhagem e a infra-estrutura específicas.

A Figura 1 indica os pontos de amostragem e as análises efetivamente efetuadas no decorrer do presente trabalho.

Fórmulas para o cálculo de rendimentos

Com os resultados obtidos nas análises mencionadas na Figura 1 é possível efetuar o cálculo dos rendimentos das etapas de fermentação e de destilação. Os rendimentos de extração não foram determinados porque os métodos para isso são bastante complexos e exigem equipamentos (prensas, desfibradores, estufas) que não poderiam ser removidos, o que dificulta sua inclusão no kit analítico. Para efetuar a análise econômica houve necessidade de estimá-lo em cada caso, conforme descrito no anexo 2.

Fig. 1 — Diagrama de blocos da produção de álcool com os pontos de amostragem e as análises efetuadas.

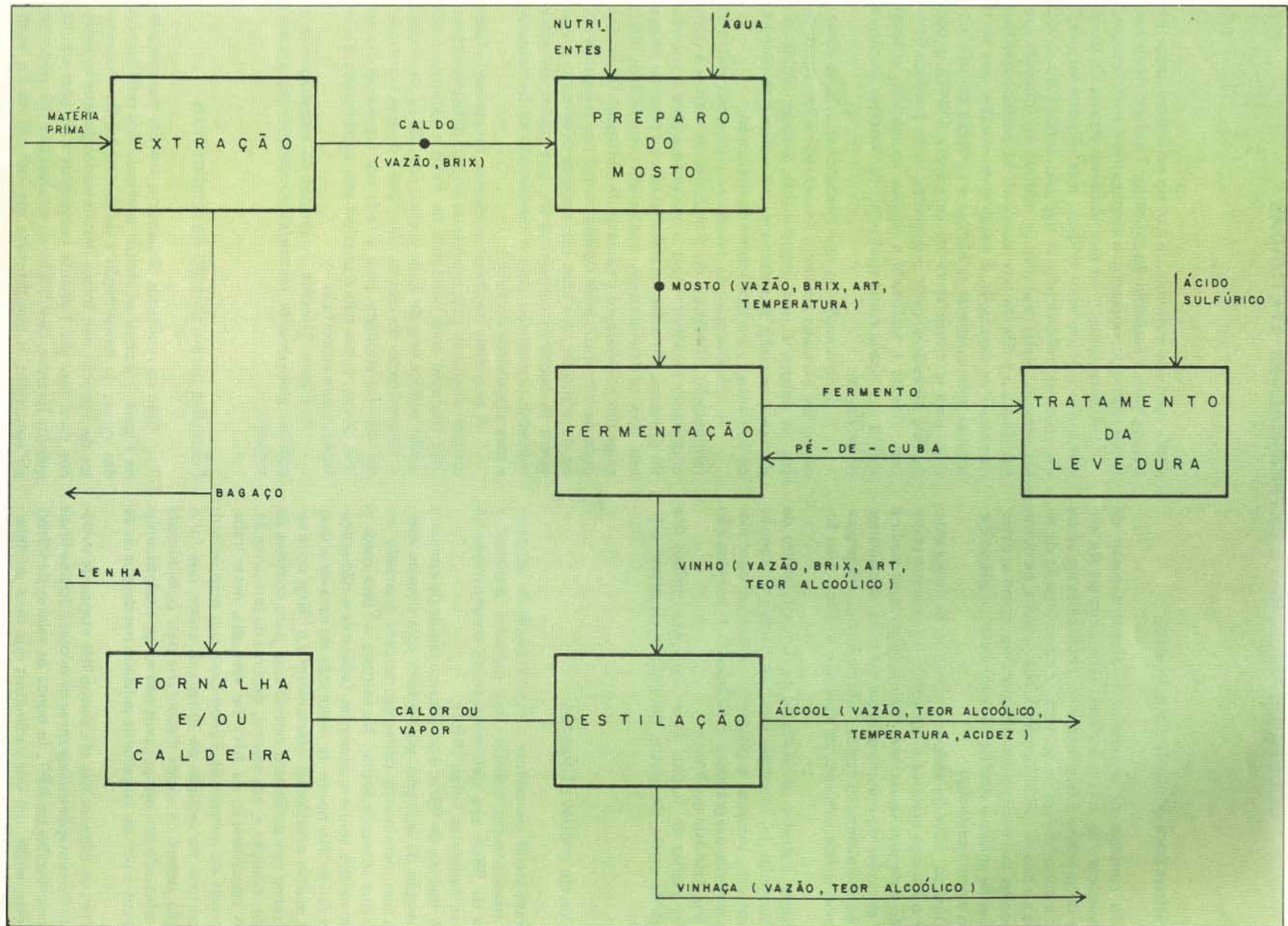


FIG. 1 — DIAGRAMA DE BLOCOS DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL COM OS PONTOS DE AMOSTRAGEM E AS ANÁLISES EFETUADAS.

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Comentários iniciais

A proposta inicial do trabalho era efetuar a avaliação em seis microdestilarias, sendo cinco na Região Centro-Sul e uma no Nordeste. O acompanhamento foi efetuado em quatro unidades da região Sul e na do Nordeste ainda está em andamento, uma vez que a safra não terminou. Os resultados que ora são apresentados foram coletados nas microdestilarias:

- Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo — EMBRAPA — Sete Lagoas, MG.
- Fazenda Ermida — Jundiá, SP.
- Lagoa Bonita — Lençóis Paulista, SP.
- Colégio Agrícola — Araquari, SC.

Deve-se destacar que as microdestilarias objeto deste trabalho possuem diferentes peculiaridades, quanto aos objetivos, nível tecnológico, e até mesmo quanto à utilização do álcool produzido.

A da EMBRAPA, por exemplo, pertence a uma instituição governamental de pesquisa, apresenta maiores recursos para o desenvolvimento do trabalho (pesquisadores, mão-de-obra mais qualificada, equipamentos agrícolas, melhor controle operacional, tanto a nível de lavoura como industrial), condições que não são encontradas nas outras unidades.

No que se refere à Fazenda Ermida, sua atividade é agropecuária com um grande número de empregados. Este fato faz com que um número de funcionários, além do necessário, tome parte nas atividades da microdestilaria. Não há preocupação quanto à jornada diária, podendo-se afirmar que, em média, o tempo de atividade foi de seis horas/dia. Quanto ao álcool produzido — média de 400 litros/dia — é empregado em veículos da propriedade.

A microdestilaria de Araquari situa-se junto ao tra-se vinculada a uma fábrica de vinagre, de modo que o álcool produzido é matéria-prima utilizada na fabricação daquele condimento. Seu acompanhamento foi o mais restrito de todos (alguns dias de operação), praticamente fora do período de safra — segunda quinzena de dezembro/82 e primeira quinzena de janeiro/83 — além de que,

na ocasião, os equipamentos haviam sido recém-instalados e se encontravam em fase de ajustes, o que provocou algumas interrupções no processo. Em regime normal de trabalho, seu funcionamento deverá ser de 24 horas/dia, já que ali se desenvolve uma atividade industrial.

A microdestilaria de Araquari situa-se junto ao Colégio Agrícola e poderá servir como uma unidade de treinamento de operadores. O acompanhamento da microdestilaria, entretanto, foi prejudicado por um fator adverso: o período de chuva que impediu o funcionamento normal da unidade, devido à dificuldades de transporte de matéria-prima.

Neste capítulo são apresentados os principais resultados obtidos no acompanhamento. Em cada item é efetuada breve descrição dos equipamentos da microdestilaria, esquema de instalação, a tabela de resultados e comentários quanto à parte agrônômica e à parte industrial.

É apresentado um resumo comparativo dos resultados encontrados, com a tentativa de explicar as diferenças mais marcantes.

CNP Milho e Sorgo — EMBRAPA (Sete Lagoas, MG)

Setor agrônômico

Nesta unidade são cultivados sorgo sacarino e cana-de-açúcar. Entretanto, como o seu acompanhamento foi efetuado no final da safra, apenas esta última matéria-prima foi observada, já que o sorgo sacarino tem seu emprego restrito ao início da mesma.

O preparo do solo, plantio, tratos culturais e aplicação de insumos obedecem aos critérios técnicos exigidos pela cultura da cana-de-açúcar, em um solo de fertilidade média. Quanto à avaliação da maturação, adota-se a leitura do Brix pelo refratômetro de campo, auxiliado pelo mapa das variedades cultivadas, época de plantio e aspecto geral do talhão a ser colhido.

A colheita e a despalha são realizadas manualmente, com desponete. A queima é efetuada após a cana cortada e empilhada, visando eliminar o excedente de palha.

TABELA 1— Cultivares de cana-de-açúcar — CNPMS. Área, épocas de plantio e colheita e produtividade.

Cultivares de cana	Área cultivada	Épocas de		Produtividade agrícola	Obs.
		plantio	colheita		
IAC 58/480	2 ha	mar/81	set/82	90 t/ha	—
CB 45-3	4 ha	fev/80	jun/82	90 t/ha	—
	10 ha	mar/82			
NA 56-79	15 ha	fev/mar/81	jun/82	90 t/ha	—
CB 47-355	1 ha	abril/80	set/82	90 t/ha	—
	12 ha	abril/82			
CP 51-22	6 ha	mar/80	ago/82	80 t/ha	—
	5 ha	mar/81	nov/82	80 t/ha	vendida a terceiros
CB — 79	2 ha	mar/80	set/82	80 t/ha	vendida a terceiros

O carregamento do veículo — carreta tracionada por trator — é manual, sendo a carga amarrada por correntes, presas a duas barras de ferro, transversalmente sob a carga, com capacidade média de duas toneladas.

São realizadas, em média, seis viagens por dia, sendo a distância média entre a lavoura e a destilaria de 2,5 km e, o tempo médio decorrido entre o corte a moagem da cana, de três dias.

Neste setor agrícola atuam dez operários encarregados das operações (preparo do solo, plantio, adubação, colheita e carregamento), além de um tratorista e um encarregado geral.

Setor industrial

A microdestilaria possui capacidade nominal de 70 litros/hora, álcool a 94,5°GL, e está situada próxima a um sistema gerador de energia a partir da biomassa-biodigestor, que utiliza seus efluentes. É servida por água de córrego e de cisterna, de boa qualidade, além de rede de energia elétrica das Centrais Elétricas de Minas Gerais — CEMIG, bem como por sistema gerador a partir do biogás. O lay-out da microdestilaria é apresentado na Figura 2, e seu período de funcionamento é de oito horas corridas, durante cinco dias por semana.

10'' x 16'', capacidade média de 1.500 kg/hora, acionados por motores elétricos. Neste setor, na recepção e na caldeira atuam três homens.

O bagaço, retirado por esteira de borracha, é encaminhado ao pátio da destilaria, e deste, para o biodigestor.

Fermentação

Realizada em cinco dornas de aço carbono, 5.000 litros cada, abertas e resfriadas externamente em suas paredes, usando-se o fermento prensado.

O mosto possui, em média 16°Brix, sendo o processo de fermentação acompanhado pela atenuação do Brix e observação da temperatura. Os insumos empregados no processo são: superfosfato simples, sulfato de amônio, penicilina e ácido sulfúrico.

Destilação

Realizada em coluna de destilação/retificação, fabricação da Metalúrgica Barbosa Ltda., capacidade nominal de 70 litros/hora. Neste setor e na fermentação opera um funcionário.

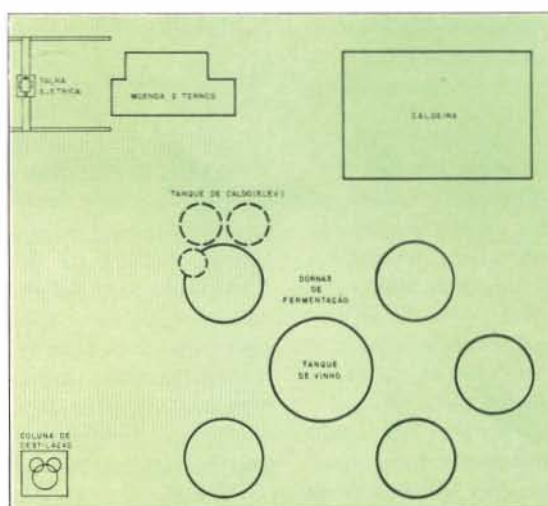


Fig. 2— Lay-out microdestilaria CNP — Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Recepção da matéria-prima

A recepção da matéria-prima oriunda do campo inicia-se pela pesagem e controle da variedade cortada. O descarregamento é feito com talha de três toneladas, acionada por motor elétrico.

Extração do caldo

O sistema consta de moenda de dois ternos, provido de embebição simples, alimentação manual, sem preparo prévio, sendo o caldo extraído encaminhado a uma peneira fixa, de aço inoxidável, e malha de 1 mm.

O primeiro terno possui mola reguladora de pressão no mancal superior e ambos os ternos são de dimensões de

Geração de vapor

Realizada em caldeira e lenha, tipo fogo-tubular, fabricada pela ATA, consumindo em média 1 m³ de lenha por período diário de trabalho.

Outros

Tanque de resfriamento e circulação de águas de resfriamento das dornas, do condensador e da resfriadeira do aparelho de destilação, situado ao nível do solo, de alvenaria, 75 m³ de capacidade.

Tanque de alvenaria para vinhaça, onde é recolhida e enviada ao biodigestor e ao campo, através de carreta-tanque tracionada por trator, que utiliza etanol como combustível.

Resultados do acompanhamento

O acompanhamento do funcionamento da microdestilaria do CNPMS foi efetuado entre meados de outubro e meados de dezembro de 1982. A Tabela 2 apresenta os principais resultados obtidos.

Para poder calcular o rendimento global da produção de álcool faz-se necessário estimar dois fatores: o rendimento de extração e o valor médio de ART da matéria-prima no período considerado.

O primeiro desses fatores tem sido regularmente determinado pelos pesquisadores do CNPMS, que dispõem do equipamento adequado para as análises. Segundo a informação dos pesquisadores, o coeficiente de extração da

moenda de dois ternos é da ordem de 75%, e este valor será utilizado na presente avaliação.

Para estimar o percentual de ART na matéria-prima, será levado em consideração a média de ART do mosto da Tabela 2. Sabendo-se que a matéria-prima tem um valor de ART um pouco inferior ao do caldo dele proveniente, no caso de se trabalhar sem embebição, estimar-se-á, sem cometer erros grosseiros que o teor médio inicial de ART na matéria-prima é de 14,5%.

Assim, com a sistemática de cálculo do Anexo 2, usando-se os valores estimados e os valores médios da Tabela 2, tem-se:

$$r = 6,846 \times 14,5 \times 0,75 \times 0,83 \times 0,894$$

$$r = 55,2 \text{ litros de etanol a } 96^\circ \text{ GL/t cana.}$$

TABELA 2 — Resultados da microdestilaria do CNP Milho e Sorgo — Sete Lagoas, MG.

Volume (ℓ)	Mosto °Brix	% ART	Vinho °GL	r _F	Volume (ℓ) Grau real	Álcool Volume (ℓ) anidro	r _d
4.000	17,0	16,06	8,6	83,2	702	660,0	95,9
4.200	17,0	16,06	8,2	79,4			
4.250	16,0	15,00	8,2	85,0	741	696,5	97,2
4.600	16,0	15,00	8,0	82,9			
4.600	16,5	15,50	7,9	79,2	662	622,3	95,5
3.600	16,5	15,50	8,0	80,2			
4.050	16,0	14,10	8,2	90,6	650	611,0	95,5
3.800	16,0	14,10	8,1	89,5			
4.600	16,5	14,10	8,4	92,8	732	688,1	91,1
4.500	15,6	14,10	8,2	90,6			
5.080	16,5	15,70	8,1	80,2	545	512,3	65,4
4.900	16,5	15,70	7,6	75,2			
4.850	16,5	15,3	8,1	82,3	770	723,8	91,4
4.700	16,5	15,3	8,5	86,3			
3.500	17,5	16,8	9,1	84,4	395	371,3	85,3
1.300	17,5	16,8	9,0	83,6			
4.100	17,5	16,7	8,1	75,4	325	305,5	92,0
4.900	16,5	14,6	7,8	83,6	723	679,6	87,9
4.950	16,5	14,6	7,9	84,1			
3.750	17,0	16,0	8,1	78,7	609	572,5	86,3
4.550	17,0	16,0	7,9	76,8			
Totais e médias							
88.780	16,6	15,38	8,2	83,05	—	6.442,9	89,4

Fazenda Ermida (Jundiaí, SP)

Setor agrônômico

Nesta unidade são cultivados o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar (Tabela 3), tendo somente esta última sido observada, em função da época do acompanhamento (final da safra).

média, 8 horas diárias, exceto aos domingos.

Recepção da matéria-prima

A pesagem inicial é feita em balança para 40 toneladas, sendo a seguir descarregada no patio da destilaria, a céu aberto, através cabo de aço que a envolve, o qual é tracionado lateralmente por trator.

TABELA 3 – Áreas cultivadas, épocas de plantio e colheita e produtividade de cana-de-açúcar e sorgo sacarino na Fazenda Ermida

Cultivares	Área cultivada	plantio	Época de colheita	Produtividade agrícola	Obs.
Cana-de-açúcar NA 56-79	10 ha	fev/81	maio/nov/82	82 t/ha	
Sorgo sacarino BR 501	10 ha	out/nov/81	mar/mai/82	20 t/ha	colmos grãos
XS 606				4 t/ha	

Segundo informações prestadas pelo administrador, os tratos culturais, plantio e insumos obedecem às recomendações normais para a cultura da cana-de-açúcar, adotando-se o refratômetro de campo na determinação da maturação. Colheita manual, com despalha prévia a fogo e desponte. Carregamento manual dos veículos – caminhão e carreta tracionada a trator – distando a lavoura, em média, 2 km da destilaria. Tempo médio decorrido entre colheita e esmagamento de 48 horas.

Setor industrial

A capacidade nominal instalada é de 100 litros/hora de álcool 94-95°GL, sendo a unidade servida por água própria (fonte) de boa qualidade e rede de energia elétrica da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL). O esquema da instalação encontra-se na Figura 3. Funciona em

Extração do caldo

Efetuada por meio de um conjunto moenda/difusor. Inicialmente, através alimentação manual, a cana sofre esmagamento em moenda convencional, 13" x 17", acionada por motor elétrico e redutor, onde cerca de 50% do caldo é extraído. A seguir o bagaço resultante passa em um picador de forragens, 2.800 rpm, acionado por motor elétrico, preparando-o para ser submetido ao difusor horizontal e finalmente, em outra moenda 13" x 17" destinada a eliminar o excesso de umidade.

Fermentação

Realizada em seis dornas de aço carbono, cilíndricas, capacidade individual de 8.500 litros, sendo utilizado

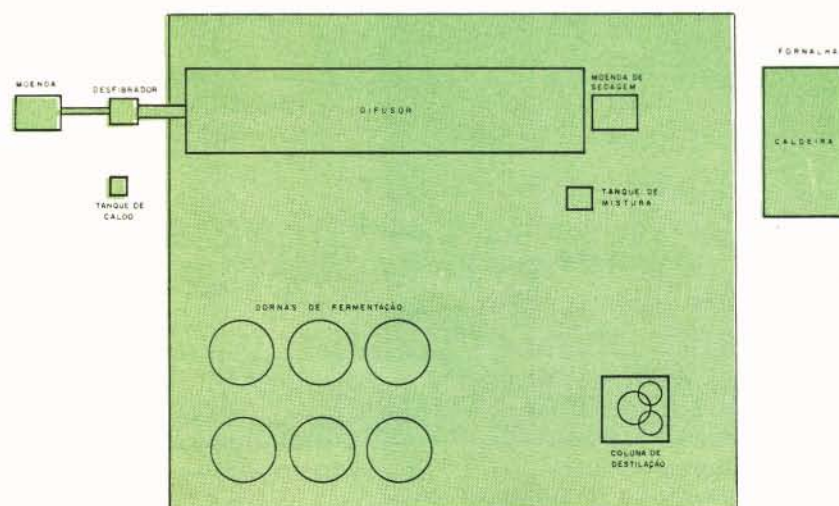


Fig. 3 – Lay-out da microdestilaria da Fazenda Ermida, Jundiaí, SP.

o fermento prensado de padaria, recuperado ao final do processo por decantação e submetido ao tratamento convencional com ácido sulfúrico.

Destilação

Realizada em coluna de destilação/retificação, fabricação da Metalúrgica Barbosa Ltda., capacidade nominal de 100 litros/hora de álcool hidratado.

Geração de vapor

Efetuada em caldeira, pela queima de bagaço, capacidade de 1.200 kg de vapor/hora, a qual atende às necessidades do difusor e do aparelho de destilação.

Outros

Não há recuperação das águas servidas, as quais são descartadas, juntamente com a vinhaça, e encaminhadas ao campo, para uma lagoa de decantação.

Resultados do acompanhamento

O acompanhamento da operação da microdestilaria da Fazenda Ermida foi efetuado no início de outubro a meados de novembro, quando se encerrou a safra. Os principais resultados coletados são apresentados na Tabela 4.

Deve-se observar que o resultado médio de ART de 13,5% foi obtido no mosto extraído no difusor, onde o caldo é obrigatoriamente submetido a uma diluição variável. Para efeito de avaliação econômica, será adotado o valor de 14,5% para o ART inicial na matéria-prima, o mesmo já estimado para a microdestilaria do CNPMS.

Quanto ao coeficiente de extração será utilizado o valor de 87,5% que foi determinado em várias amostra-

gens efetuadas pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos, ITAL, de Campinas.

Assim, o rendimento global para a produção de álcool a partir de cana-de-açúcar calculado é:

$$r = 6,846 \times 14,5 \times 0,875 \times 0,795 \times 0,926$$

$$r = 57,0 \text{ litros de etanol a } 96^{\circ}\text{GL/t. cana.}$$

Destilaria Lagoa Bonita (Lençóis Paulista, SP)

Setor agrônômico

Somente é cultivada cana-de-açúcar nessa unidade e, segundo informações obtidas, a lavoura é constituída por uma única variedade, a CB 4176, conforme Tabela 5.

O preparo do solo, plantio, adubação, tratos culturais e demais operações seguem as recomendações técnicas para a cultura da cana-de-açúcar, em solo de boa fertilidade.

A avaliação da maturação é efetuada através do refratômetro de campo. O sistema de despalha é a fogo, o corte é manual e o carregamento dos veículos é mecânico. O transporte da cana é efetuado através de caminhão movido a álcool, para 8 toneladas.

As distâncias médias das lavouras até a destilaria são:

12 ha	13 km
110 ha	35 km
20 ha	5 km
37 ha	2 km
63 ha	15 km

O corte da cana é realizado por dez operários contratados especificamente para o serviço, existindo ainda um responsável pelo controle da operação.

Setor industrial

Sua capacidade de produção é de 200 litros/hora de

TABELA 4 — Resultados da microdestilaria da Fazenda Ermida — Jundiá, SP

Volume (ℓ)	Mosto °Brix	% ART	Vinho °GL	r _F	Volume (ℓ) grau real	Álcool Volume (ℓ) anidro	r _d
3.640	13,0	11,41	7,2	98,1	262 a 91,3°GL	239,2	91,3
5.670	15,0	13,25	6,9	80,9	323 a 88,4°GL	285,0	72,9
4.528	15,0	13,40	6,3	73,1	267,2 a 88,7°GL	237,0	83,1
6.411	15,0	13,46	6,6	76,2	453,6 a 88,7°GL	402,3	95,1
5.886	13,0	11,36	6,5	88,9	377 a 88,2°GL	332,5	86,9
4.106	16,4	14,78	7,4	77,8	235 a 90,2°GL	212,0	69,8
4.160	16,3	14,46	7,6	81,7	265 a 89,2°GL	236,4	74,8
5.773	16,4	14,94	7,8	81,2	423 a 91°GL	385,0	85,5
6.068	18,2	16,76	8,0	74,2	497 a 91,1°GL	452,8	93,3
2.377	18,2	16,55	6,8	63,9	100 a 89°GL	89,0	55,1
5.719	12,6	10,92	6,0	85,5	355 a 89°GL	316,0	92,1
6.141	14,5	12,79	6,0	72,9	350 a 89°GL	311,5	84,5
6.424	13,8	11,83	6,0	78,8	385 a 89°GL	342,7	88,9
Totais e médias							
66.903	15,2	13,53	6,85	79,5	—	8.841,4	82,6

TABELA 5 – Área cultivada, épocas de plantio e colheita e produtividade da cultivar CB-4176 – Destilaria Lagoa Bonita.

Cultivar	Área cultivada	Época de plantio	Época de colheita	Produtividade agrícola	Obs.
CB 41-76	48 ha	fev/79	out/dez/82	62 t/ha	3º corte
CB 41-76	40 ha	fev/83	—	—	—
CB 41-76	170 ha	out/82	—	—	área de arrendamento

álcool a 95-96°GL, contando com água de qualidade aceitável e energia elétrica da Companhia Energética São Paulo (CESP). O lay-out da instalação encontra-se na Figura 4.

Seu período de funcionamento é de 24 horas/dia, dividido em dois turnos de doze horas cada, sendo duas horas para o almoço, oito horas normais de trabalho e duas horas extras, durante seis dias/semana.

Recepção da matéria-prima

É iniciada pela pesagem em balança de 40 toneladas, com descarregamento manual em mesa de alimentação fixa.

Extração do caldo

O sistema consta de um conjunto de moenda de quatro rolos tipo DHC, além de um rolo auxiliar de alimentação, precedido por um picador-desintegrador de cana. Os rolos possuem dimensões de 12'' x 16'', com sistema de embebição forçada e capacidade nominal de 3 t/hora.

O caldo extraído passa por sistema de peneira fixa e é encaminhado para as dornas de fermentação, sendo o bagaço destinado à queima na fornalha.

Fermentação

Realizada em oito dornas de chapas de aço carbono de 15.000 litros cada uma, abertas, com resfriamento externo das paredes. O mosto possui, em média, 16°Brix, sendo empregado o fermento tipo prensado e o sistema de condução da fermentação por decantação.

Nutrientes à base de fósforo e de nitrogênio são empregados no processo, além do ácido sulfúrico.

Destilação

Realizada em uma coluna de destilação de bandejas (pratos) perfuradas e em uma coluna de retificação com elementos de enchimento de polipropileno (anéis de Pall), fabricação da Deon Hulett, capacidade de 200 litros/hora.

Outros

Torre de resfriamento das águas do condensador, da resfriadeira e do resfriamento das dornas. Fornalha de parede dupla com tijolos refratários onde é assentado o aquecedor-recirculador (re-boiler).

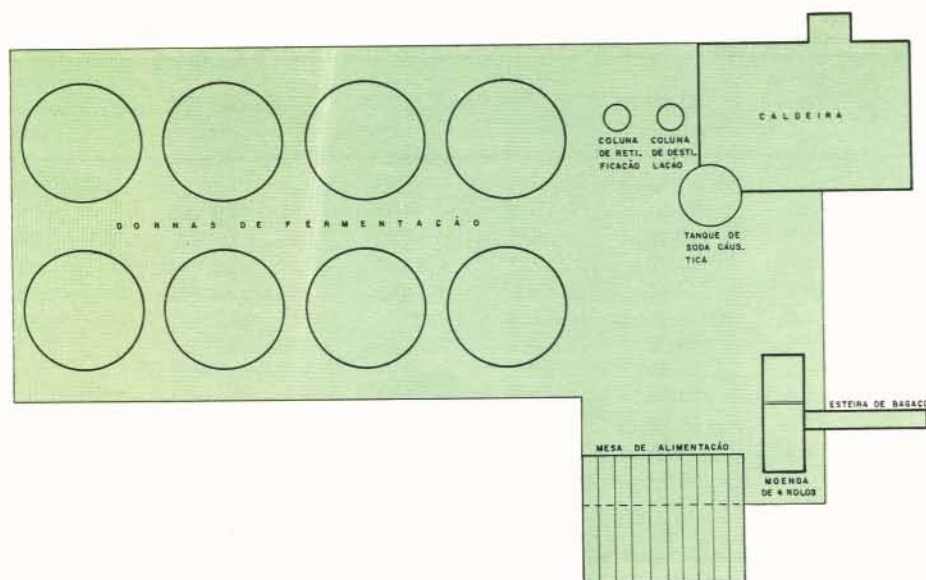


Fig. 4 – Lay-out da destilaria Lagoa Bonita, Lençóis Paulista, SP.

Resultados do acompanhamento

Conforme já mencionado a microdestilaria Lagoa Bonita teve o seu desempenho acompanhado no período da segunda quinzena de dezembro e primeira quinzena de janeiro.

A Tabela 6 apresenta os principais resultados obtidos durante esse período de operação.

TABELA 6 – Resultados da microdestilaria Lagoa Bonita – Lençóis Paulista, SP

Volume (ℓ)	Mosto °Brix	% ART	Vinho °GL	r _F	Volume (ℓ) grau real	Álcool Volume (ℓ) anidro	r _d
5.390	15,2	14,66	8,3	88,0	440	396,0	88,5
16.170	16,3	14,53	8,4	89,9	1.320	1.204,8	88,7
17.073	16,25	15,74	7,6	75,05	1.258	1.170,4	90,2
Totais e médias							
38.663	15,92	14,98	8,1	84,32	—	2.771,2	89,3

Apesar do período de acompanhamento ser restrito e situar-se no final da safra, pôde-se sentir que os proprietários da microdestilaria pretendem encará-la como uma unidade industrial, mesmo por que o álcool produzido tem aplicação direta na fabricação de vinagre.

Assim, os resultados obtidos podem ser encarados como bastante conservadores, na medida em que, no período de safra, a cana-de-açúcar terá maior porcentual de açúcares, a unidade funcionará 24 horas por dia e os operadores estarão melhor treinados para manter e melhorar os rendimentos do processo.

Para efetuar a avaliação do rendimento global do processo, estimou-se que a cana-de-açúcar tinha, naquele período considerado teor médio de 13,5% de ART.

A extração da moenda de quatro rolos foi medida no laboratório da Usina da Barra S/A Açúcar e Álcool. Em duas amostras efetuadas com uma semana de intervalo obtiveram-se valores de 88,4 e 82,7% para o coeficiente de extração.

Aplicando-se o valor médio do coeficiente de extração (85,5%) e os demais rendimentos, obtém-se:

$$r = 6,846 \times 13,5 \times 0,855 \times 0,843 \times 0,893$$

$$r = 59,5 \text{ litros de etanol a } 96^\circ\text{GL/t. de cana.}$$

Microdestilaria do Colégio Agrícola de Araquari (SC)

Setor agrônômico

A cana-de-açúcar processada nessa unidade é adquirida ao preço oficial fixado pelo IAA, da Fazenda Barra Velha, município de Medeiros, situado a 45 km de distância. A área cultivada é de dois alqueires (Tabela 7), sendo a variedade de cana desconhecida, embora chamada na

região de cana “vermelha”. Esporadicamente, processa-se cana do próprio Colégio a qual, entretanto, é isenta de controle em termos de quantidade.

Não há informações quanto ao preparo do solo e demais tratamentos culturais. A cana-de-açúcar é cultivada em solo arenoso e no morro. À época do acompanhamento a cana apresentava 19,8°Brix, em estado de florescimento.

O sistema de despalha e de corte é manual, por meio

de três homens sendo a cana cortada, enfeixada e pesada.

O pagamento da matéria-prima é efetuado através do álcool produzido.

Setor industrial

A capacidade nominal da destilaria é de 100 litros/hora de álcool a 94°GL, embora sua produção efetiva tenha ficado bem aquém desse valor, assim como o teor alcoólico. A água existente no local é muito cálcica (salobra). O funcionamento é bastante irregular, ficando na dependência de fatores, como existência de matéria-prima, chuvas constantes, entupimentos de canalizações, bombas e aparelho de destilação, além de falta de mão-de-obra (os alunos do Colégio são responsáveis pela operação de toda a unidade). Em termos médios, contudo, pode-se afirmar que a unidade de trabalho 6 horas/dia, além de 1 hora destinada à limpeza dos equipamentos.

TABELA 7 – Área cultivada, épocas de plantio e colheita e produtividade de uma variedade de cana – Araquari (SC)

Cultivar	Área cultivada	Época de plantio	Época de colheita	Produtividade agrícola	Obs.
Vermelha	5 ha	1980	jul-dez/82	82 t/ha	2º corte

Recepção da matéria-prima

A cana, transportada em caminhão com motor convertido a álcool (7 toneladas, em média, de carga útil), é

descarregada manualmente por cinco alunos. Não raro, ela é processada 8 a 10 dias após o corte, visto as intensas chuvas e estradas de má qualidade, uma constante na região.

Extração do caldo

O sistema possui um conjunto de moenda de quatro rolos DHC, acionada por motor elétrico. Sua capacidade nominal é de 2 t/hora, porém moe em média 1,3 t/hora, devido à alimentação manual e inexperiência do pessoal. Os rolos possuem dimensões de 12" x 16", com sistema de embebição forçada.

O caldo misto extraído é coado em peneira fina, onde é encaminhado às dornas de fermentação, e o bagaço é levado à queima na fornalha, após secagem ao ar, por via manual.

Na operação de extração atuam três pessoas, sendo dois na alimentação da moenda e um na retirada do ba-

gero, projeto Deon Hulett, capacidade nominal de 100 litros/hora.

Essa operação é realizada duas vezes por semana (terça-feira e quinta-feira), sendo que o vinho de dorna carregada na sexta-feira só é destilado na terça-feira.

Outros

Torre de resfriamento das águas servidas dos condensadores e da fresfriadeira.

Resultados do acompanhamento

No período de 1 de outubro a 9 de dezembro de 1982 (70 dias) houve apenas 28 dias efetivos de trabalho, devido entre outros, aos seguintes problemas: falta de matéria-prima, falta de bagaço seco, fermentação demorada e falta de vinho.

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 8.

TABELA 8 – Resultados da microdestilaria de Araquari, SC

Volume (ℓ)	Mosto °Brix	% ART	Vinho °GL	r _F	Volume (ℓ) grau real	Álcool Volume (ℓ) anidro	r _d
4.200	9,0	8,0	3,9	74,8	114	102,3	62,5
6.500	11,0	9,4	5,0	82,7	272	251,9	77,5
5.250	10,5	8,8	4,4	77,7	208	188,2	81,5
4.800	13,0	11,4	5,3	72,2	252	230,1	90,4
3.100	10,0	9,0	4,8	80,3	115	104,8	70,4
3.800	13,0	10,5	5,1	75,5	117	106,8	55,1
5.800	11,0	10,3	6,1	92,0	242	217,8	61,6
Totais e médias							
33.450	11,1	9,6	4,9	79,3	1.320	1.201,9	71,3

gaço, em balaios de palha.

Fermentação

Efetuada em dornas de fermentação de capacidade nominal de 7.500 litros mas, de capacidade efetiva de 6.000 litros, a fim de evitar transbordamento, devido à formação de espumas. A unidade trabalha, normalmente, com apenas três das cinco dornas que possui, por semana, enchendo uma dorna na segunda-feira, outra na quarta-feira e outra na sexta-feira.

O mosto possui concentração variável entre 10° e 13°Brix, devido ao sistema de embebição.

Os tratamentos do pé-de-cuba com ácido sulfúrico não são feitos, sendo que a suplementação mineral é esporádica.

Destilação

O sistema possui duas colunas de aço inoxidável com recheio de polipropileno (anéis de Pall), aquecimento direto pela queima do bagaço na fornalha, tipo "re-boil-

Neste caso da microdestilaria de Araquari, torna-se muito difícil fazer uma estimativa confiável do rendimento global da produção de álcool, por dois motivos. Primeiro, não há indicação segura do percentual de ART na cana-de-açúcar, uma vez que a região onde a unidade está instalada não é tradicional produtora dessa matéria-prima. Não se sabe que variedade estava sendo processada, e o regime de excessiva precipitação pluviométrica dificulta qualquer comparação com outras regiões. Segundo, o coeficiente de extração da moenda de quatro rolos não foi determinado, mas sabendo-se que há significativas mudanças quanto ao local e à forma de embebição, entre o equipamento que está na microdestilaria Lagoa Bonita e o de mesma fabricação que está em Araquari, não se poder fazer nenhuma transposição de resultados.

Assim, não é possível apresentar nesta primeira fase da avaliação, a análise econômica da microdestilaria de Araquari.

Discussão dos resultados

Métodos analíticos utilizados

Os métodos analíticos que foram utilizados foram

bem escolhidos, pois não houve problemas maiores em sua aplicação a nível de campo.

Para o método de determinação da concentração de ART em caldos e vinho fermentado (método de Eynon-Lane), há necessidade de um treinamento cuidadoso do operador. É um ponto para figurar nas recomendações para a próxima etapa do trabalho.

Também deve figurar como recomendação, a inclusão de metodologias que permitam avaliar o coeficiente de extração de açúcares da moenda ou do difusor e a concentração de leveduras viáveis e de bactérias contaminantes.

Rendimentos

A Tabela 9 reúne os valores dos rendimentos das etapas da produção de álcool e as concentrações de ART na matéria-prima, valores estes que foram utilizados para determinar o rendimento global do processo.

Como se observa das Tabelas 2, 4, 6 e 8, os coeficientes diários (ou periódicos) apresentam grandes flutuações em torno do valor médio. Apenas para objetivar o comentário, vê-se que, por exemplo, na coluna de rendimento de destilação da Tabela 2 (CNPMS) há valores que variam de 65,4 a 97,2% indicando claramente problemas operacionais. Assim, também no rendimento de fermentação da Tabela 8 (Araquari) há valores compreendidos entre 72,2 e 92,0%, numa amplitude indesejável para o processo bioquímico em questão. Os exemplos apontados não são isolados, pois em todas as destilarias (à exceção da Lagoa Bonita, que tem apenas três resultados) a dispersão em torno do valor médio esteve acima do desejável. É evidente que esta situação reflete a dificuldade de manter o processo de produção de álcool num regime permanente. Isto ocorre, de um lado, por causa do suprimento de matéria-prima e, por outro, devido aos problemas internos na microdestilaria, que vão desde a dificuldade na manutenção de equipamentos, falta de treina-

mento e qualificação dos operadores até à quebra de seqüência, motivada pelo trabalho em um único diário com interrupção no fim de semana.

Deve-se salientar, mais uma vez, que os estagiários que coletaram os dados junto às microdestilarias procuraram não interferir, ou fazê-lo no mínimo possível, com as rotinas de operação já estabelecidas. Assim, os resultados apresentados refletem a seqüência "normal" do trabalho nas unidades. Se, de um lado, evidenciam que algumas operações devem ser melhoradas, por outro lado, são bastante representativos da realidade. Quando utilizados na avaliação econômica, permitirão obter conclusões muito bem fundamentadas e, possivelmente, conservadoras, no sentido de que o funcionamento das microdestilarias poderá e deverá melhorar com o correr do tempo.

Quanto aos valores médios da Tabela 9, algumas ponderações podem ser feitas.

Matéria-prima

As concentrações de açúcares da matéria-prima, que foram estimadas com base nas concentrações de ART dos mostos, não devem diferir muito dos valores reais. Refletindo em termos da influência das chuvas sobre o teor de açúcares da matéria-prima, nota-se que à época do acompanhamento das destilarias do CNPMS e da Fazenda Ermida, houve um grande período de estiagem e que nessas condições as concentrações de ART em cana-de-açúcar de boa qualidade, situam-se entre 14 e 15%, podendo chegar até mesmo a 16% ou mais. Por outro lado, o acompanhamento da destilaria Lagoa Bonita já foi feito no período de chuva, que faz com que a concentração de ART diminua para intervalos de 12 a 14%. Em qualquer hipótese, deve-se usar os valores da Tabela 9 como estimativas, até que se possam efetuar determinações dos valores reais.

TABELA 9 — Concentrações médias de açúcares na matéria-prima e rendimentos de extração (R_e), fermentação (r_f), de destilação (r_d) e global (R) para a produção de álcool em quatro microdestilarias.

Parâmetro / Unidade	Açúcares na mat. prima (%)	Rend. de extração R_e (%)	Rendim. de fermentação R_f (%)	Rend. de destilação R_d (%)	Rend. global $R(R/TC)$
CNPMS	14,5 ⁽¹⁾	75,0 ⁽²⁾	83,0	89,4	55,2
F. Ermida	14,5 ⁽¹⁾	87,5 ⁽³⁾	79,5	82,6	57,0
L. Bonita	13,5 ⁽¹⁾	85,5 ⁽⁴⁾	84,3	89,3	59,5
Araquari	—	—	79,3	71,3	—

(1) — Estimativa

(2) — Determinado pelo CNPMS

(3) — Determinado pelo ITAL

(4) — Determinado pela Usina da Barra

Extração do caldo

Os rendimentos apresentados para a extração nos vários equipamentos, estão, em geral, dentro do esperado.

No caso de moenda de dois ternos, o coeficiente determinado pelo CNPMS, de 75%, é perfeitamente confiável. A esse respeito, pode-se comparar com a estimativa apresentada no trabalho "Microdestilaria — Viabilidade técnico-econômica" do PLANALSUCAR que utiliza o valor estimado de 80% de extração para moenda de dois ternos.

O coeficiente de extração para o difusor (87,5%) está um pouco abaixo do valor para o qual ele foi projetado (92 a 95%). Tal decréscimo parece ser devido ao sistema de preparo da matéria-prima, que estava sendo adotado, com a cana-de-açúcar passando em um terno de moenda e posteriormente em um picador. Para a safra de 1983 será invertida a posição dos dois equipamentos e espera-se que, melhorando o porcentual de "open-cell" das matérias-primas, haja um aumento do coeficiente de extração para, pelo menos 90%.

A moenda de quatro rolos, instalada na destilaria Lagoa Bonita, apresentou resultado de extração (85,2%) condizente com os de outros experimentos. Resultados obtidos em maio de 1982 no Departamento de Tecnologia Rural da ESALQ (Piracicaba, SP) indicavam 85,8% para a extração a seco e 88,8% para a extração com embebição. Apesar de alguns problemas durante a operação na destilaria Lagoa Bonita, o desempenho deste equipamento pode ser considerado muito bom.

Fermentação

Os rendimentos médios das fermentações demonstram que este setor é o que necessita maior investimento em treinamento de operadores. Considerando-se aceitável o rendimento de fermentação em torno de 85%, vê-se que todas as destilarias avaliadas não conseguiram operar com tal índice de eficiência. Há dois fatores fundamentais para tanto: o tratamento do pé-de-cuba e a falta de continuidade no trabalho. Para solucionar o primeiro problema (sem poder contar com centrífugas separadoras) é necessário treinar adequadamente os operadores. Já a solução do segundo exige uma reformulação no gerenciamento da destilaria, com a conscientização de que um processo fermentativo não pode ser interrompido no período noturno e, muito menos, nos fins-de-semana. Aliás, este deve ser um dos pontos principais a enfatizar em cursos para treinamento de operadores de microdestilarias.

Destilação

Os rendimentos da destilação merecem ser analisados sob dois prismas: o dos equipamentos (que será feito a seguir) e o da operação. Este último pode ser comentado a partir dos resultados obtidos nas unidades do CNPMS e da Fazenda Ermida, que possuem o mesmo equipamento (coluna da Metalúrgica Barbosa para 100 litros/hora). Apesar disso vê-se que os rendimentos médios das destilações são respectivamente de 89,4 e de 82,6%, com uma diferença percentual relativa de 6,8%.

Esta diferença não pode ser, provavelmente, creditada ao modo de operação do equipamento em si, mas, aos teores alcoólicos do vinho com que eles são alimentados. Com efeito, na Tabela 2 vê-se que o teor alcoólico médio do vinho na microdestilaria do CNPMS foi de 8,2°GL, enquanto da Tabela 4 observa-se que o valor correspondente na Fazenda Ermida foi de 6,85°GL. Essa diferença, por si só, justifica a dificuldade na manutenção da estabilidade da coluna e no próprio grau alcoólico do produto destilado, que como pode ser visto na própria Tabela 4, dificilmente ultrapassou 90°GL. Pode-se também notar (Tabela 4) uma estreita correlação entre os teores alcoólicos do vinho e os do produto destilado. O coeficiente de correlação calculado para os 13 valores apresentados foi $r = 0,843$, que é significativo a um nível de probabilidade superior a 99%. Este é um efeito direto da baixa eficiência de fermentação, o que reforça a afirmação de ser esta operação a que está a exigir maior investimento em capacitação de mão-de-obra.

Os rendimentos globais dos processos (entre 55,0 e 59,5 litros/t cana) são aceitáveis dentro das limitações tecnológicas e de pessoal encontradas nas unidades.

Embora haja nos cálculos dos valores globais um parâmetro que foi estimado, acredita-se que os rendimentos apresentados sejam bastante representativos das situações reais e, como tal, não comprometam a confiabilidade da avaliação econômica apresentada adiante.

Cumprе ressaltar que no trabalho já mencionado, apresentado pelo PLANALSUCAR, os rendimentos globais nas várias alternativas consideradas foram de 44,5 a 59,3 litros álcool/t. cana, estimativas que a presente avaliação vem confirmar.

Equipamentos das microdestilarias avaliadas

Desde o desenvolvimento do primeiro projeto de microdestilaria — 1978/79 — até aqueles implantados ultimamente, verificou-se grande dinamismo no que diz respeito aos equipamentos componentes, graças à constante preocupação de seus idealizadores, no sentido de oferecer ao mercado consumidor simplicidade aliada à eficiência.

Ao contrário das destilarias convencionais de grande porte, cujos diferentes fabricantes oferecem aos usuários equipamentos bastante semelhantes entre si, as microdestilarias caracterizam-se por apresentarem diferenças bastante acentuadas entre os diversos projetos postos à disposição dos interessados.

Extração do caldo

Na parte referente à extração do caldo, foram desenvolvidas moendas de um e dois ternos, com e sem preparo prévio da matéria-prima e um único conjunto de moendas, porém, constituído de quatro rolos esmagadores e embebição forçada. Também foram modificados os difusores, inicialmente desenvolvidos sob a forma vertical e, posteriormente, horizontal.

Os resultados permitem uma comparação entre três desses equipamentos, uma vez que foram avaliados um conjunto de moenda de dois ternos, um difusor hori-

zontal e uma moenda de quatro rolos (Tabela 9).

Apesar de os coeficientes de extração encontrarem-se dentro dos limites esperados, pode-se dizer que nenhum dos três equipamentos teve o seu processo de desenvolvimento tecnológico concluído.

A moenda de dois ternos do CNPMS foi desenvolvida pelos engenheiros daquele Centro, e o processo não foi até ao fim por falta de recursos financeiros e materiais. A moenda em questão é, pois, um protótipo, que não entrou em linha de produção; se houvesse interesse de fabricantes este projeto poderia ser aperfeiçoado e, possivelmente, proporcionar maiores coeficientes de extração.

O difusor horizontal também está em fase de desenvolvimento. Já foi mencionado que a seqüência entre o desfibrador e a moenda será alterada e que outras modificações ainda deverão ser introduzidas. O coeficiente de extração está em torno de 87,5% e espera-se poder obter valores superiores a 92%.

Finalmente, a moenda de quatro rolos firmou-se no decorrer de 1982 como uma alternativa à moenda de dois rolos, por apresentar maiores coeficientes de extração com a mesma potência instalada e investimento inicial ligeiramente superior. É também uma alternativa ao difusor, por apresentar coeficientes de extração apenas um pouco inferiores, com potência instalada e investimento inicial bem inferiores e com maior simplicidade operacional. Entretanto, a moenda de quatro rolos, embora venha apresentando bons resultados de extração, também não está completamente desenvolvida. A este respeito, pode-se citar o ocorrido na própria destilaria Lagoa Bonita, onde os resultados foram coletados sem embebição forçada, pois o acionamento da mesma fez piorar o desempenho do equipamento, indicando que os bicos injetores, a pressão, a relação água-fibra ainda deverão ser melhor ajustados. Como a embebição é, conceitualmente, muito importante para a moenda de quatro rolos, pode-se prever que, com o acerto daqueles fatores, o equipamento possa apresentar coeficientes de extração superiores a 85%.

Fermentação

Quanto à fermentação, não ocorrem diferenças entre os diversos projetos desenvolvidos, sendo a mesma conduzida através da recuperação do fermento por decantação. Como já mencionado, as diferenças dos rendimentos obtidos nas quatro destilarias deveram-se a problemas operacionais, motivados, em parte, pela deficiência de suprimento de matéria-prima e em parte pela insuficiente capacitação dos responsáveis pela microdestilaria.

Destilação

Como na extração, também na destilação as dife-

renças são acentuadas entre os projetos existentes. Assim é que são encontrados aparelhos (colunas) de construção e funcionamento semelhantes aos convencionais, porém, extremamente simplificados, como também colunas de destilação e de retificação com recheio de peças de poli-propileno (anéis de Pall) é, mais recentemente, surgiram as colunas de destilação com pratos perfurados.

No que se refere ao aquecimento, são utilizadas caldeiras produtoras de vapor de água, pela queima do bagaço ou de lenha, na maioria dos projetos. Em outros, dispensa-se a presença da caldeira pelo uso do sistema de aquecimento direto, tipo "re-boiler".

As microdestilarias avaliadas contam com três tipos de equipamentos: a do CNPMS e da Fazenda Ermida com coluna da Metalúrgica Barbosa, de pratos e calotas, a de Araquari, com as colunas de Dean Hulett de recheio e a de Lagoa Bonita com colunas de pratos perfurados (na destilação) e de enchimento (na retificação) de fabricação da Dean Hulett.

Observando-se os rendimentos de destilação da Tabela 9, pode-se tirar rapidamente algumas conclusões, além daquela já apontada, de que o desempenho da coluna de destilação da Fazenda Ermida foi dificultada pelos baixos teores alcoólicos do vinho.

Os rendimentos de destilação do CNPMS (média de 89,4%), e da destilaria Lagoa Bonita (média de 89,3%) permitem concluir que os dois equipamentos têm desempenho bastante semelhantes, independente de ser coluna de bandejas ou colunas de pratos perfurados e recheio.

Os menores rendimentos da destilação na microdestilaria de Araquari necessitam de uma análise mais acurada. Dois aspectos distintos parecem ter levado os resultados obtidos: o equipamento e si e a operação. O conjunto de destilação instalado em Araquari é da "primeira geração" dos equipamentos fabricados pela Dean Hullett, pois ainda apresenta coluna de destilação com enchimento. Este tipo de equipamento realmente não funcionava bem para a destilação, devido às incrustações, provocadas pela impureza do vinho. A "segunda geração" utiliza coluna de destilação de pratos perfurados e pelos resultados obtidos na Destilaria Lagoa Bonita, houve uma sensível melhora no desempenho.

Entretanto, não se pode atribuir apenas ao equipamento os maus resultados obtidos, uma vez que os baixos teores alcoólicos do vinho na alimentação da coluna de destilação (inferiores a 6^oGL) dificultam muito a recuperação do etanol. Assim, observa-se que, mais uma vez, a fermentação pode ser responsabilizada pelo mau desempenho do equipamento de destilação.

De forma geral, entretanto, pode-se afirmar que os rendimentos de destilação, de ordem de 90%, são aceitáveis e demonstram que os equipamentos atualmente comercializados são compatíveis com o nível tecnológico das microdestilarias.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A análise econômica da atividade de produção de álcool, efetuada a preços constantes de abril de 1983, foi feita sob ótica conservadora. Em particular, partiu-se da premissa de investimento com capital próprio, o que leva à não inclusão de benefícios em termos de juros subsidiados (abaixo da inflação) do PROÁLCOOL. O impacto desta alternativa será avaliada adiante.

Por outro lado, também não foi levada em consideração a possibilidade de aproveitamento e/ou comercialização de subprodutos. Numa microdestilaria, dado o porte relativamente pequeno, o manuseio dos subprodutos é facilitado e pode tornar-se importante fonte de receita, à medida que surgir mercado definido e regular. Não foram valorizados, na presente análise, a ponta de cana (que po-

- Microdestilaria da Fazenda Ermida (100 litros álcool/h) Cr\$ 38.000.000,00
- Destilaria Lagoa Bonita (200 litros álcool/h) Cr\$ 45.000.000,00

Matéria-prima

Considera-se, nesta análise, que o proprietário da microdestilaria produza também a sua matéria-prima. Neste caso adotar-se-á o preço fixado pelo IAA, no Ato 5/83, de 1º de março de 1983, para a cana-de-açúcar no campo, valor que remunera a atividade produtiva e que corresponde de 73 a 74% do preço da matéria-prima “na esteira” (Tabela 10).

TABELA 10 – Composição do preço da tonelada de cana-de-açúcar Ato IAA Nº 5/83 – 1º de março de 1983

Região	Preço no campo	Preço do transporte Cr\$/t	PIS	Finsocial 0,5%	ICM	Preço na esteira Cr\$/t
Minas Gerais	3.708,44	394,55	37,19	24,79	793,33	4.958,30
São Paulo	3.522,33	394,55	35,50	23,67	759,34	4.733,39

de ser usada na alimentação animal), o bagaço excedente (utilizável como adubo orgânico ou como combustível industrial) e a vinhaça.

Não considerar o aproveitamento desses subprodutos equivale a encarar a microdestilaria como uma unidade isolada de produção de álcool e esta não parece ser a maneira mais adequada de implantar o projeto. Ao contrário, a microdestilaria deve ser entendida como um polo de produção de insumos energéticos e de alimentos, na medida em que a sua integração com os sistemas de produção existentes em propriedades de médio e grande portes ou em cooperativas permite aproveitar de forma muito racional as matérias-primas e a energia nelas contida. Entretanto para se manter no contexto do presente trabalho, a análise econômica cingiu-se à produção de álcool, com a ressalva de que com a integração na propriedade o desempenho econômico da microdestilaria deverá ser substancialmente melhorado.

Cálculo de custos e análise financeira

São relacionados a seguir os custos e a receita para a análise financeira dos empreendimentos.

Investimentos

Para as microdestilarias analisadas foi efetuado um levantamento dos investimentos para implantação, tendo-se obtido:

- Microdestilaria do CNP Milho e Sorgo (70 litros álcool/h) Cr\$ 25.000.000,00

Mão-de-obra

A necessidade de mão-de-obra para operar uma microdestilaria vai depender do nível do treinamento do pessoal empregado. Para fins deste cálculo pressupõe-se que haja necessidade de cinco operários por turno nas unidades de 70 e de 100 litros/h e de sete na de 200 litros/ha. Incluindo-se o 13º salário e encargos trabalhistas o salário estipulado (que é o salário mínimo de Cr\$ 23.568,00) deverá ser acrescido de 56,3%.

Seguro sobre o ativo imobilizado

Para que sejam cobertos riscos de instalações, admite-se um seguro estimado em 0,5% sobre o investimento industrial.

Manutenção e conservação

Estima-se que para este item deverão ser gastos 2,5% a.a. sobre o investimento inicial, embora estes custos dependam dos cuidados dispensados aos equipamentos.

Impostos e taxas

Admitindo-se a venda do produto aos preços do IAA, utiliza-se o mesmo percentual fixado por aquele Instituto, ou seja, 2% sobre o faturamento previsto.

Energia elétrica

As medidas efetuadas indicam um consumo de 0,3 kwh por litro de álcool produzido, ao custo de Cr\$10,01 o kwh.

Lenha

Na unidade de Sete Lagoas, utiliza-se lenha para a geração de vapor, à razão de 1 m³ por 640 litros de álcool. A lenha na região tem preço de Cr\$1.400,00/m³.

Depreciação

A vida útil efetiva das microdestilarias ainda é uma incógnita, uma vez que as primeiras instaladas estão ainda no terceiro ano de funcionamento. Optou-se por considerar uma estimativa de vida útil de quinze anos para o equipamento, o que implica pelo método de depreciação linear em um percentual de 7,5% ao ano sobre o valor do investimento.

Produtos químicos e fermento

Os coeficientes de utilização de produtos químicos e fermento não foram determinados no presente trabalho de avaliação. Serão utilizados os valores já determinados pela EMBRAPA, e que importam em Cr\$1,65/litro de álcool.

Juros sobre o capital próprio

Embora este item não entre no fluxo de caixa para efeito do cálculo da taxa interna de retorno, assim como a depreciação, ele deverá entrar no cálculo do custo da produção de álcool.

Tomou-se a taxa de 10% a.a. de juros reais sobre o capital investido, não se considerando na Tabela 12, a possibilidade de que o investimento venha a ser financiado pelo PROALCOOL, quando estes juros reais incidiriam apenas sobre 20% do capital investido.

Receita da venda do álcool

Para efeito da análise financeira, supôs-se que o álcool produzido seja vendido aos preços oficiais fixados pelo IAA (Tabela 11).

Discussão dos resultados da avaliação econômica

Os resultados econômicos apresentados incorporam algumas incertezas decorrentes dos coeficientes técnicos utilizados, como explicado. Entretanto, há convicção de que as hipóteses e estimativas efetuadas são bastante realistas e não comprometem a confiabilidade da análise econômica.

Deve-se, mais uma vez, levar em consideração que o trabalho ora apresentado é a primeira tentativa de obtenção ordenada de coeficientes e parâmetros do funcionamento de microdestilarias. Assim, a despeito de alguns pontos que precisem ser melhor equacionados na continuidade do trabalho, os resultados da avaliação econômica indicam as alternativas em que se deve investir, bem como mostram a sensibilidade dos custos, à variação de alguns parâmetros.

Os resultados da avaliação econômica serão analisados segundo três aspectos: quanto ao número de turnos de operação, quanto aos coeficientes de produção e quanto ao impacto dos custos financeiros.

Influência do número de turnos de funcionamento

Não se pode deixar de mencionar que os investimentos iniciais considerados, referem-se à instalação de unidade para funcionamento por três turnos. Poder-se-ia ter feito a avaliação, caso a caso, das reduções de investimentos para funcionar apenas um ou dois turnos diários. Isto implicaria em diminuir o custo de algumas dornas de fermentação, sem quaisquer alterações mais profundas nos setores de recepção da matéria-prima, extração, destilação, armazenamento do álcool e disposição dos subprodutos.

Diante da redução em questão ser relativamente pequena e não corresponder à prática corrente, optou-se por não considerá-la, permitindo assim um acréscimo no cálculo do custo do litro de álcool.

A Figura 5 apresenta os resultados do custo de produção de álcool da Tabela 13. Vê-se que o funcionamento das destilarias por apenas um turno acarreta prejuízos operacionais em todas as unidades, na hipótese da venda do produto aos preços fixados pelo IAA. No caso de auto-acionamento, a destilaria da Lagoa Bonita não apresentaria prejuízo operacional, pois nesse caso o álcool seria valorizado ao preço da bomba de abastecimento.

TABELA 11 – Composição do preço do litro do álcool hidratado pago ao usineiro Ato IAA nº 5/83 – 1º de março de 1983 (Cr\$/litro)

Região	Preço base para cálculo	PIS	Finsocial	ICM (Cr\$/litro)	Preço de paridade (Cr\$/litro)
Minas Gerais	95,74	0,52	0,34	10,92	107,52
São Paulo	95,74	0,49	0,32	10,43	106,98

TABELA 12 – Custos e receita para a produção de álcool em microdestilaria

Itens	CNPMS ¹			FAZENDA ERMIDA ²			LAGOA BONITA ³		
	Um turno	Dois turnos	Três turnos	Um turno	Dois turnos	Três turnos	Um turno	Dois turnos	Três turnos
Capacidade diária (ℓ)	560	1.120	1.700	800	1.600	2.500	1.600	3.200	5.000
Dias de operação	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Produção anual de álcool (m ³)	100,8	201,6	306,0	144	288	432	288	576	900
Rendimento industrial (ℓ/t)	55,2	55,2	55,2	57,0	57,0	57,0	59,5	59,5	59,5
Consumo diário de cana (t)	10,1	20,3	30,8	14,0	28,0	43,9	26,9	53,8	84,0
Consumo anual de cana (t)	1.826	3.652	5.544	2.526	5.040	7.579	4.840	9.684	15.120
Investimento industrial (Cr\$ 1.000,00)	25.000	25.000	25.000	38.000	38.000	38.000	45.000	45.000	45.000
Custos anuais (Cr\$ 1.000,00)	<u>13.908</u>	<u>22.690</u>	<u>31.751</u>	<u>18.769</u>	<u>29.707</u>	<u>40.733</u>	<u>29.770</u>	<u>50.328</u>	<u>73.219</u>
Matéria-prima	6.772	13.543	20.560	8.897	17.753	26.695	17.047	34.107	53.252
Impostos anuais e taxas	217	433	658	308	616	924	616	1.232	1.925
Mão-de-obra e encargos	1.105	2.210	3.315	1.105	2.210	3.315	1.544	3.088	4.632
Produtos químicos	166	333	505	237	474	713	474	948	1.485
Energia elétrica	303	605	919	432	864	1.296	864	1.728	2.700
Lenha	220	441	669	0	0	0	0	0	0
Depreciação e manutenção	2.500	2.500	2.500	3.800	3.800	3.800	4.500	4.500	4.500
Juros sobre o capital próprio	2.500	2.500	2.500	3.800	3.800	3.800	4.500	4.500	4.500
Seguro sobre o ativo imobilizado	125	125	125	190	190	190	225	225	225
Receita bruta anual, (Cr\$ 1.000,00)									
(x ℓ álcool. preço)	<u>9.650</u>	<u>19.301</u>	<u>29.296</u>	<u>13.786</u>	<u>27.573</u>	<u>41.360</u>	<u>27.573</u>	<u>55.146</u>	<u>86.166</u>
Receita líquida anual (Cr\$ 1.000,00)	-4.258	-2.455	-2.455	-2.983	-2.134	627	2.197	4.818	12.947

¹ Capacidade: 70 litros de álcool/h

² Capacidade: 100 litros de álcool/h

³ Capacidade: 200 litros de álcool/h

TABELA 13 – Custo do litro de álcool em três microdestilarias e resultados da análise financeira segundo três regimes de operação. Abril de 1983

Parâmetro	Rendim. global ℓ/t	Custo do álcool (Cr\$/ℓ)	Rec. liq. Invest. (%)	Rec. total Invest. (%)	Tempo amortz. (anos)	Ponto de nivelamento (%)	Taxa interna de retorno* (%)
Unidade							
CNP Milho e Sorgo							
Um turno	55,2	137,98	—	38,6	—	—	—
Dois turnos	55,2	112,55	—	77,2	—	—	—
Três turnos	55,2	103,76	—	117,2	—	—	1,8
Fazenda Ermida							
Um turno	57,0	130,34	—	36,3	—	—	—
Dois turnos	57,0	103,15	—	72,6	—	—	8,3
Três turnos	57,0	94,29	1,7	108,8	5,8	98,5	17,4
Dest. Lagoa Bonita							
Um turno	59,5	103,37	—	61,3	—	—	9,3
Dois turnos	59,5	87,38	10,7	122,5	9,3	91,3	27,5
Três turnos	59,5	81,35	28,8	191,5	3,5	85,0	46,1

Obs.: Preço do álcool pago ao produtor: Minas Gerais — Cr\$ 95,74/ℓ
 São Paulo — Cr\$ 95,74/ℓ
 Preço do álcool na bomba de abastecimento — Cr\$ 123,00/ℓ

* — Ver item "Influência dos custos financeiros".

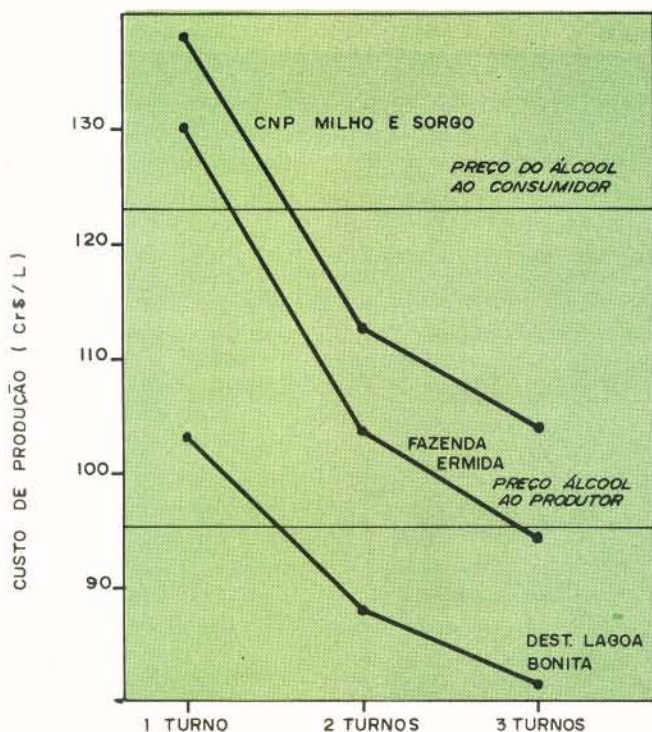


Fig. 5 – Custos de produção de álcool em três microdestilarias, segundo três regimes de operação. Dados da Tabela 13, (Abril de 1983).

Quando se considera a operação em dois turnos, vê-se que todas as unidades apresentaram lucros operacionais no caso de auto-abastecimento, enquanto apenas a Destilaria Lagoa Bonita (que tem capacidade de 200 l/ha e funcionou com coeficiente de 59,5 l álcool/t cana) não teria prejuízos no caso da venda do álcool. Por outro lado, no caso da operação em três turnos, apenas a microdestilaria do CNPMS (capacidade de 70 l/h e coeficiente de produção de 55,2 l/hora) apresentaria prejuízo no caso da venda do álcool.

Nos casos em que se obteve receita positiva, os tempos de amortização dos investimentos variaram de 58 a 3,5 anos, sendo que este último resultado apresenta taxa interna de retorno de 46,1%, o que pode ser considerado excelente na atual situação econômica (Tabela 13).

Influência dos rendimentos de produção

As destilarias consideradas na presente avaliação operaram com rendimento de produção de 55,2 (CNPMS), 57,0 (Fazenda Ermida) e 59,5 (Destilaria Lagoa Bonita) litros de álcool hidratado por tonelada de cana. Tal diferença se reflete, diretamente, no custo do produto.

Nos casos analisados (Tabela 13) a incidência do custo da matéria-prima no litro do álcool variou de um mínimo de 48,7% (um turno no CNPMS) ao máximo de 72,7% (três turnos na Destilaria Lagoa Bonita). Tal incidência (que em valores absolutos representa respectivamente Cr\$ 67,19/litro e Cr\$ 59,14/litro, não é o principal fator a onerar e diferenciar os custos de produção nas várias alternativas. Na verdade, os custos de produção

apresentam-se bastante distintos porque as unidades estudadas têm diferentes capacidades de produção (70, 100 e 200 litros/h); diferentes pesos dos investimentos iniciais (Cr\$ 81,70, Cr\$ 97,00, Cr\$ 50,00 por litro de álcool, na operação em três turnos em Sete Lagoas, Jundiá e Lençóis Paulista), diferentes incidências dos custos de mão-de-obra, além de outros fatores.

Para poder avaliar o efeito isolado dos rendimentos de produção nos custos do litro do álcool decidiu-se estabelecer a função Custo de Produção (C_A) para uma unidade padronizada que congregasse algumas características das unidades reais estudadas. Assim a unidade padronizada situar-se-ia em São Paulo (para fixar os custos de matéria-prima e preço de álcool), teria capacidade de produzir 100 litros de álcool/h, com investimento inicial de Cr\$ 30.000.000,00, teria possibilidade de operar em um, dois ou três turnos diários e ocuparia cinco operários por turno.

Com base nos coeficientes que foram descritos anteriormente, é possível montar a função $CA = CA(R)$ pela somatória dos diversos custos.

sendo:

- CA – Custo de produção de álcool (Cr\$/litro)
- PA – Produção anual de álcool (litro)
- C_T – Custo da tonelada de cana (Cr\$)
- N_t – Nº de turnos de operação
- S – Salário pago aos cinco operários do turno por seis meses, com encargos sociais (Cr\$)
- P – Preço do álcool pago ao produtor (Cr\$/litro)
- R – Rendimento de produção (litro/t)
- Inv – Investimento inicial (Cr\$)

tem-se:

- C_c = Custo da cana-de-açúcar: $C_c = PA \cdot C_T / R$
- C_m = Custo da mão-de-obra: $C_m = S \cdot N_t$
- C_{imp} = Custo de impostos: $C_{imp} = 0,02 \cdot P \cdot PA$
- C_{en} = Custos de energia elétrica: $C_{en} = 3,0 \cdot PA$
- C_{ins} = Custos de insumos: $C_{ins} = 1,65 \cdot PA$
- C_{man} = Custos de manutenção: $C_{man} = 0,025 \cdot Inv$
- C_{dep} = Custos de depreciação: $C_{dep} = 0,075 \cdot Inv$
- C_{seg} = Custos de seguro: $C_{seg} = 0,005 \cdot Inv$
- C_{fin} = Custos financeiros: $C_{fin} = 0,10 \cdot Inv$

E a função Custo de Produção de álcool seria dada pela somatória desses itens, obtendo-se

$$CA = \frac{PA \cdot C_T / R + S \cdot N_t + 0,02 \cdot P \cdot PA + PA(4,65) + 0,205 \cdot Inv}{PA}$$

e simplificando-se:

$$CA = \frac{C_T + S \cdot N_t + 0,205 \cdot Inv + 0,02 \cdot P + 4,65}{R}$$

Aplicando-se os valores para o exemplo "padronizado" segundo os turnos de operação, obtêm-se as expressões de CA (em Cr\$/litro).

$$\text{Para um turno: } CA_1 = \frac{3.522}{R} + 57,17$$

$$\text{dois turnos: } CA_2 = \frac{3.522}{R} + 35,82$$

$$\text{três turnos: } CA_3 = \frac{3.522}{R} + 27,82$$

Na Figura 6 foram traçadas as curvas obtidas das equações de um, dois e três turnos, com rendimentos de produção variando de 50 a 62 litros/t cana. Deve-se notar que esta variação no valor de R cobre praticamente toda a faixa de operação de microdestilarias. Dificilmente as unidades operarão com coeficientes fora desta faixa, ainda mais se for lembrado que se admitiu que nesta destilaria "padronizada" se utilizaria moenda de dois ternos.

Quando se observa a influência do rendimento de produção no custo unitário do litro do álcool, vê-se que a função $CA = CA(R)$ é bastante "suave". Para os três casos, pode-se verificar que a diferença absoluta entre trabalhar com rendimento de 50 ou de 62 litros de álcool/t cana é de aproximadamente Cr\$ 14,00/litro, que representa 15% sobre o preço oficial pago ao produtor, que é de Cr\$ 95,74/litro.

Entretanto, ao se considerar as possibilidades para melhorar o desempenho econômico da microdestilaria, nota-se que nem sempre aumentar o rendimento de produção reverte em significativas diminuições dos custos de produção. Por exemplo, considerando que a destilaria padronizada estivesse operando em um turno com rendimento de produção de 54 litros por tonelada de cana, o custo unitário seria de Cr\$ 123,39/litro. Se fosse realizado um esforço para melhorar a produção para 56 litros/t cana (3,7% de aumento de rendimento), o custo de

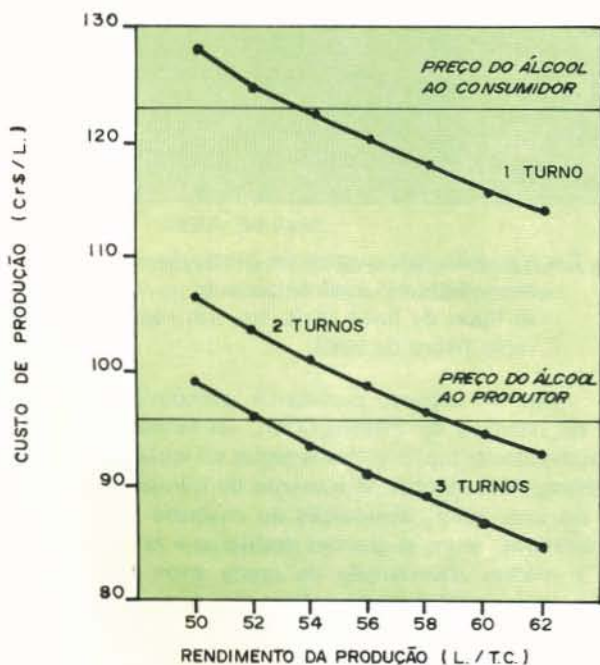


Fig. 6 — Variação do custo de produção de álcool em uma microdestilaria "padronizada" segundo três regimes de operação. (Abril de 1983).

produção cairia para Cr\$ 120,06, o que representa um decréscimo porcentual de apenas 1,9%. Entretanto, quando se considera que com o mesmo coeficiente de produção (54 litros/t cana) o custo de produção pode baixar para Cr\$ 101,04 (com um decréscimo de 17,4%) quando a unidade passar para dois turnos de operação ou para Cr\$ 93,04/litro (decrécimo de 24%) em três turnos vê-se que há muito mais sensibilidade em relação ao regime de operação do que em relação ao coeficiente de produção.

Na Figura 6 pode-se avaliar, de forma bastante objetiva, a influência do número de turnos de trabalho. Observa-se, por exemplo, que na unidade padronizada haveria sempre prejuízo operacional na operação com um turno, mesmo que a unidade apresentasse rendimentos de produção de 62 litros/t cana. Pode-se calcular que o custo de produção seria de Cr\$ 95,74/litro (preço pago ao produtor) quando o rendimento fosse de 91,3 litros de álcool/t cana, valor que é francamente inatingível em microdestilaria, trabalhando em um turno. Em outras palavras, a unidade padronizada teria sempre prejuízo operacional trabalhando em um turno de operação.

Já em dois turnos a situação é diferente, pois trabalhando com os coeficientes acima de 58 litros/t cana a destilaria não apresentaria prejuízo operacional.

Por outro lado, quando se examina a rentabilidade da operação em três turnos, encontra-se que o tempo de amortização do empreendimento (dado pela relação entre o investimento inicial e a receita líquida anual) varia de 12,3 anos quando a unidade operar com coeficiente de 54 litros/t cana a 3,0 anos quando $R = 62$ litros/t cana. Como se observa, o tempo de amortização do capital mesmo trabalhando-se com baixos rendimentos de produção é inferior à vida útil estimada para os equipamentos (15 anos), demonstrando que o empreendimento é bastante atrativo do ponto de vista do investidor particular.

Deve-se mencionar que *a priori* era esperado esse tipo de resultado, onde o fator de utilização do equipamento fosse decisivo para o empreendimento. Uma unidade agroindustrial, como é o caso da microdestilaria em que os custos financeiros de depreciação e de manutenção chegam a 20% a.a. sobre o capital investido não pode funcionar com capacidade ociosa acima da inevitavelmente ditada pelo período de safra.

Embora seja difícil de supor que todos os proprietários de microdestilarias estejam dispostos a fazê-las funcionarem em regime de turno completo, deve-se insistir num período mínimo de operação de 16 horas diárias, sem paralisação nos fins de semana.

Influência dos custos financeiros

Os custos financeiros representados por uma taxa de juros reais (acima da inflação) de 10% ao ano sob o investimento inicial têm grande influência no custo do litro do álcool, principalmente nas alternativas em que a capacidade instalada não é completamente utilizada. Por exemplo, considerando-se um turno de operação, os juros têm incidência de 18,0, 20,2 e 15,1% respectivamente nas destilarias de Sete Lagoas, Fazenda Ermida e Lagoa Bonita.

É interessante ressaltar que os custos financeiros e de depreciação levam a uma aparente contradição na Tabela 13: os tempos de amortização bastante elevados e taxas internas de retorno também elevadas. O que ocorre é que, como anteriormente salientado, os juros e os custos de depreciação **não entram** no cálculo da taxa interna de retorno, mas são considerados para a composição dos custos do álcool. Como os juros, em conjunto com a depreciação, somam 17,5% do capital inicial, há uma diferença bastante significativa entre os dois indicadores, a ponto de numa das alternativas constar um prazo de amortização de 58 anos (que por si só desaconselha qualquer investimento) e uma taxa interna de retorno de 17,4% (que, pelos critérios usuais, indica que o empreendimento é atrativo).

Para verificar a influência da taxa de juros (i) sobre o custo de produção de álcool, foram deduzidas funções $CA = CA(i)$ para três regimes de operação usando a metodologia já exposta para uma microdestilaria padronizada, que trabalhasse com coeficiente de produção de 55 litros/t cana. As equações obtidas foram:

$$\begin{aligned} \text{Um turno: } CA_1 &= 100,36 + 208,3.i \\ \text{Dois turnos: } CA_2 &= 89,43 + 104,1.i \\ \text{Três turnos: } CA_3 &= 85,48 + 66,6.i \end{aligned}$$

A Figura 7 apresenta as três retas e pode-se observar que a incidência dos custos financeiros é decisiva para inviabilizar o regime de um turno de operação, na microdestilaria padronizada.

No caso de dois e três turnos de operação a incidência dos custos financeiros é bem mais diluída, mas para a taxa de 10% a.a. estes custos ainda representam 10,4 e 7,3% (para dois e três turnos) do custo total do álcool.

Ao se discutir os custos financeiros da produção de álcool em microdestilarias, não se pode deixar de abordar uma questão essencial: por que os cálculos de viabilidade econômica das microdestilarias tem que ser feitos utilizando-se os juros de mercado, quando há um grande programa em execução no país, o PROALCOOL, que oferece vantagens creditícias para a atividade de produção de álcool? É necessário enfatizar que a análise econômica até aqui apresentada demonstrou que, em muitas situações, o empreendimento de implantação das microdestilarias é extremamente vantajoso, mesmo sem o financiamento do PROALCOOL. Evidentemente, se esta atividade viesse a ser enquadrada no PROALCOOL a diminuição dos custos financeiros levaria à diminuição dos custos de produção.

As condições definidas pelo Conselho Monetário Nacional em dezembro de 1980 para este Programa, com vigência a partir de 1º de julho de 1981, se resumem a:

- encargos financeiros de 65% da variação anual das ORTN (cerca de metade da inflação apenas é corrigida)
- juros de 5% ao ano

- financiamento de até 80% do investimento industrial
- prazo de carência de quatro anos
- encargos financeiros capitalizados durante o período de carência.

Se for considerada na análise efetuada na Tabela 12, a hipótese de que apenas 20% do investimento inicial seja financiado aos juros de 10% ao ano, haverá uma substancial redução nos custos do litro de álcool, conforme apresentação na Tabela 14.

Na última coluna da Tabela 14 nota-se que, utilizando apenas a hipótese de redução dos juros (sem contar os outros benefícios), há uma diminuição dos custos do litro de álcool, que varia de 4,9 a 16,2%. Evidentemente, a redução dos custos de produção aumenta ainda mais a viabilidade econômica do empreendimento.

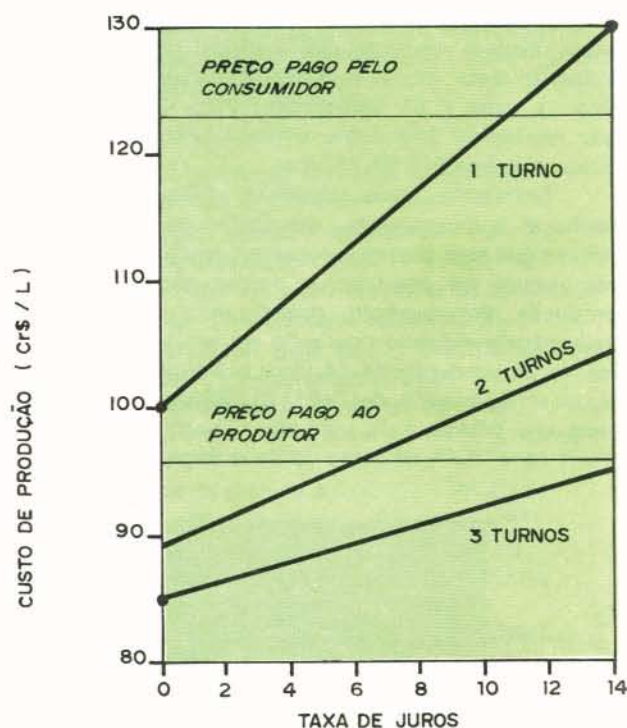


Fig. 7 – Variação dos custos de produção de álcool na microdestilaria padronizada ($r = 55L/t$) com as taxas de juros reais, em três regimes de operação (Abril de 1983).

Além do aspecto puramente econômico, a aplicação de recursos do PROALCOOL no financiamento de microdestilarias proporcionaria impactos sociais altamente positivos, nos aspectos de aumento do número de empregos no setor rural, diminuição do chamado "passeio do combustível" entre as grandes destilarias e as distribuidoras, e melhor distribuição de renda entre pequenos e médios proprietários rurais.

TABELA 14 – Avaliação da viabilidade econômica das microdestilarias sob a hipótese de financiamento PROALCOOL.

Unidades	Sem financiamento PROALCOOL		Com financiamento PROALCOOL		Relação de custos (B/A) (%)
	Custo (Cr\$/ℓ) (A)	Tempo de amort. (anos)	Custo (Cr\$/ℓ) (B)	Tempo de amort. (anos)	
CNP Milho e Sorgo					
Um turno	137,98	—	118,14	—	85,6
Dois turnos	112,55	—	102,63	25,3	91,2
Três turnos	103,76	22,0	97,23	7,9	93,7
Fazenda Ermida					
Um turno	130,34	—	109,23	—	83,8
Dois turnos	103,15	34,5	92,59	9,2	83,8
Três turnos	94,29	6,9	87,25	4,5	92,5
Dest. Lagoa Bonita					
Um turno	103,57	43,0	90,87	9,7	87,7
Dois turnos	87,38	4,0	81,12	3,0	92,8
Três turnos	81,35	2,0	77,35	1,7	95,1

Obs.: Preço do álcool pago ao produtor: Minas Gerais e São Paulo: Cr\$ 95,74/ℓ
 Preço do álcool na bomba de abastecimento: Cr\$ 123,00/ℓ

CONCLUSÕES

O acompanhamento efetuado nas quatro microdestilarias e as avaliações realizadas permitem concluir que:

- os métodos analíticos utilizados para a determinação dos teores de açúcares e de alcoóis e de graduação alcoólicas mostram-se adequados aos objetivos propostos; há necessidade, entretanto, de desenvolver e aplicar métodos para medidas do coeficiente de extração e da concentração de levedura na fermentação alcoólica.
- os equipamentos de extração de açúcares e de destilação atualmente disponíveis no mercado são compatíveis com o nível tecnológico das microdestilarias e de seus prováveis operadores.
- a operação de fermentação é a que requer maiores investimentos em capacitação de profissionais e treinamento de operadores.
- os rendimentos globais de produção de álcool calculados (de 55 a 59,5 litros de álcool/t cana), podem ser considerados representativos da operação normal das microdestilarias e podem ser aumentados conforme for melhorada a capacitação dos operadores.
- a análise técnica indica a necessidade da microdestilaria manter suas atividades no período noturno e no fim de semana para não prejudicar a fermentação. A análise econômica mostra que a rentabilidade das unidades depende de maneira direta do número de turnos de operação.
- 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 de valorização de subprodutos. Os casos em que a microdestilaria **não se mostrou** viável foram:
 - . capacidade de 70 litros de álcool/h, com um, dois ou três turnos de operação (CNPMS).
 - . capacidade de 100 litros de álcool/h, com difusor, em um ou dois turnos de operação (FAZENDA ERMIDA).
 - . capacidade de 200 litros de álcool/h, em um turno de operação (DEST. LAGOA BONITA).
- a função do Custo de Produção de Álcool para uma microdestilaria, "padronizada" com capacidade de 100 litros/h, mostra que a operação em três turnos de operação torna economicamente viável a microdestilaria, para coeficientes de produção variando de 54 a 62 litros de álcool/t cana.
- os custos financeiros (10% de juros reais a.a.) considerados nas análises econômicas das unidades avaliadas tiveram incidência de 6,1 até 20% no custo do litro do 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 financiamento. Tal redução faria com que o empreendimento apresentasse maior viabilidade econômica, a ponto de o prazo de amortização para operação com três turnos diminuir para 7,9; 4,5 e 1,7 anos nas unidades de Sete Lagoas, Jundiaí e Lençóis Paulista.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração das seguintes pessoas e instituições, que colaboraram nas diversas fases do trabalho:

Análise e Ajustamento da Metodologia

Colaboração Especial do Subgrupo Microdestilaria do Grupo de Trabalho Interministerial de Agroenergia MA/MIC*.

- Antônio Carlos Pereira Coelho – STI/MIC;
- Arnaldo Ignácio Veras – IICA;
- Hermes Amaral Germek – PLANALSULCAR/IAA/MIC;
- João Vicente Feijão Neto – EMBRATER/MA;
- José Carlos Teixeira da Silva – STI/MIC;
- José Fabiano Alves Rodrigues – STI/MIC;
- Pedro Luciano Alves Rodrigues – CENAL/MIC;
- Sérgio Ennes – CNPq.

Coleta de Dados nas Microdestilarias

- Francisco Antônio Moreno;
- Francisco Carlos Dias;
- Paula Correa Diniz Peixoto;
- Paulo Sérgio Dionísio.

Análise dos Dados e Revisão do Texto

- Antonio René Iturra – CAERG-MA
- Arnaldo Ignácio Veras – IICA
- João Suassuna – CNPq
- Ronaldo Garcia – IPEA
- Sérgio Ennes – CNPq
- Paula Correa Diniz Peixoto – CAERG-MA

E também ao Dr. Ágide Gorgatti Netto, coordenador do Grupo de Trabalho Interministerial sobre Microdestilarias pelo apoio constante.

*Portaria Interministerial 099 de 17.08.82.

Anexo 2

Cálculo do rendimento da fermentação

A transformação de açúcares em etanol e gás carbônico obedece a uma relação estequiométrica chamada de coeficiente Gay-Lussac, de que 100 kg de ART devem produzir 64,35 litros de etanol absoluto a 15°C.

Conhecendo-se:

S_o – teor de ART no mosto a fermentar (%)
 S – teor de ART no vinho fermentado (%)
 E – teor de etanol no vinho fermentado (°GL)
o rendimento da fermentação é dado por:

$$r'_F = \frac{E}{0,6435 (S_o - S)} \times 100\%$$

Deve-se notar que r'_F indica o rendimento da ação dos microrganismos na transformação de açúcar em álcool. Para o processo de produção de álcool, entretanto, o que interessa é o rendimento da **operação de fermentação**. Como o açúcar residual (S) não pode ser recuperado e é perdido na vinhaça, o rendimento do processo de fermentação é dado por:

$$r_F = \frac{E}{0,6435 (S_o)} \times 100$$

Evidentemente, o valor de r_F será sempre inferior ao de r'_F , e o rendimento do processo de fermentação (r_F) será tanto menor quanto maior for o teor de açúcares residuais, o que evidencia a necessidade de ter um bom acompanhamento do processo.

Nos cálculos de rendimentos será sempre usado o valor de r_F .

Cálculo do rendimento da destilação

O rendimento da destilação é calculado com base na recuperação do álcool contido no vinho.

Conhecendo-se o volume do vinho (V), que se supõe ser igual ao volume de mosto no início do processo, o teor de álcool no vinho (E) e o volume de álcool anidro produzido na destilação (calculado a partir do volume real obtido), pode-se calcular o rendimento da destilação (r_d) por:

$$r_d = \frac{V_d}{V.E} \times 100\%$$

Cálculo do rendimento global do processo de produção de álcool

Para efetuar a análise econômica da produção de álcool em microdestilaria há necessidade de conhecer o rendimento global do processo.

Partindo-se de matéria-prima com teor de açúcares redutores iniciais (ART)_i e sendo:

r_e – rendimento de extração
 r_F – rendimento da fermentação
 r_d – rendimento de destilação,

o valor do rendimento do processo (também chamado em alguns casos de produtividade) é dado por:

$$r_{100} = 6,435 (ART)_i \times r_e \times r_F \times r_a$$

O valor assim obtido é o de álcool anidro. Como na análise econômica de microdestilarias considera-se álcool hidratado a 94° INPM (que corresponde a 96°GL), deve-se multiplicar o valor de r_{100} por 1/,094, obtendo-se:

$$r = 6,846 \times (ART)_i \times r_e \times r_F \times r_d$$

e neste caso o resultado será: litro de álcool a 96°GL/tonelada de cana.

Anexo 1

Kit analítico para microdestilarias

Para efetuar as análises relacionadas, foi desenvolvido um conjunto de equipamentos, vidrarias e reagentes a seguir mencionados:

Equipamentos:

- Refratômetro de campo
- Areômetro de Brix, escala de 0° a 30°, subdividida em 0,2°, com termômetro interno.
- Potenciômetro portátil (opcional)
- Ebulioscópio (ebuliômetro) de Malligand ou de du-jardin-Salleron.
- Alcoômetro centesimal de Gay-Lussac 0° a 100° GL, a 15°C.
- Termômetro, coluna de mercúrio, de 0° a 100°C

Vidrarias e Acessórios

- 1 proveta lisa, sem bico, de 500 ml
- 1 bureta de Mohr, de 25 ml
- 1 tela centro de amianto, 20 x 20 cm
- 1 tripé de ferro
- 1 suporte de bureta com haste e pinça, abertura 35 mm sem mufa (pontas vinilizadas).
- 1 pinça de Mohr
- 1 bico de gás
- 2 frascos de Erlenmeyer, 250 ml
- 1 frasco de Erlenmeyer, 125 ml
- 2 pipetas volumétricas de 10 ml
- 2 pipetas volumétricas de 25 ml
- 1 balão volumétrico de 200 ml, boca esmerilhada e tampa
- 1 bureta de 10 ml, subdivisões de 0,1 ml
- 2 frascos, cor âmbar, de 200 ml cada

- 2 frascos incolores, de 200 ml cada
- 2 frascos de 100 ml
- 1 pipeta plástica de 250 ml

Soluções

- Soluções A e B, de Fehling
- Solução de azul de metileno a 1%
- Solução de HCl, $d = 1,1029$
- Solução de NaOH a 20%.
- Solução de fenolftaleína a 1%
- Papel indicador de tornasol

Tabelas

- Tabela de correção de Brix, em função da temperatura a 20°C
- Tabela de correção de grau alcoólico GL, em função da temperatura a 15°C
- Tabela de correspondência °GL – °INPM
- Tabela de correspondência Brix-Densidade.

Reagentes

- Ácido clorídrico p.a. (2 litros)
- Ácido sulfúrico p.a. (2 kg)
- Sulfato de cobre cristalizado, pentahidratado (1 kg)
- Tartarato duplo de potássio e sódio p.a. (1 kg)
- Hidróxido de sódio em lentilhas p.a. (500 g)
- Glicose anidra p.a. (250 g)
- Fenolftaleína p.a. (5 g)
- Azul de metileno p.a. (5 g)
- Papel indicador de pH, faixa de 0,5 a 9,0
- Uma caixa de papel de filtro diâmetro 15 cm.