

## Introdução

O Brasil, desde o período colonial, produz álcool a partir da cana-de-açúcar. A utilização do álcool como fonte energética para automóveis, inicialmente, se deu no período da segunda guerra, quando tivemos problemas de abastecimento. Neste período utilizou-se, também, da mandioca como matéria prima para a produção de álcool.

Recentemente, como tentativa de contornar a crise do petróleo, tem-se incentivado a produção e utilização de álcool para fins carburante. Foram abertas, então, uma série de opções, principalmente no que diz respeito às fontes de matéria prima renováveis para a produção de álcool.

## Problema e Objetivo

Dentre as fontes de matérias primas hoje disponíveis para a produção de álcool combustível, as mais estudadas no Brasil são a cana-de-açúcar, a mandioca, o sorgo sacarino e a madeira.

Um problema que se depara quando se estuda diversas fontes alternativas, é como o balanço energético que estas culturas apresentam, isto é, qual o retorno líquido que se obtém, por área, com cada uma delas em termos energéti-

---

\*Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA - Sete Lagoas, MG.

cos.

Este trabalho procura estudar o balanço energético da produção, em micro-destilarias de álcool com fins carburante, a partir de matérias primas agrícolas de ciclo curto, com o objetivo de verificar as possibilidades de utilização do sorgo sacarino.

Este trabalho, faz parte de um estudo mais amplo que se processa no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) visando estudar a viabilidade da utilização do sorgo sacarino e cana-de-açúcar em uma única destilaria.

### Metodologia e Procedimento

Na primeira fase, baseando-se em coeficientes energéticos obtidos da literatura, serão calculados os gastos de energia para as culturas de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo sacarino, considerando um período de três anos.

Para a cana-de-açúcar serão considerados três cortes e para a mandioca dois ciclos completos de um ano e meio cada. Para o sorgo sacarino, como cultura anual, serão considerados três ciclos completos. Portanto, teremos o mesmo período de tempo para as três culturas.

Os coeficientes culturais para as três culturas estão nos Anexos 1, 2 e 3, e sempre que possível foi adotado um nível tecnológico semelhante. Estes coeficientes para cana-de-açúcar e mandioca, são valores médios obtidos do IEA (3), INDI (7), UFBA (11) e EMPASC/ACARESC (4). Para o sorgo sacarino foram utilizados valores obtidos de plantios no CNPMS com finalidade de produção de álcool.

A estimativa da produção de cana-de-açúcar é de 85; 55 e 46 t de colmos por hectare, respectivamente para primeiro, segundo e terceiro corte (3). Para mandioca será considerada uma produção 15,5 t/ha por ciclo, média de Minas

Gerais (5) e para sorgo sacarino uma produção de 35 t/ha de colmo por ciclo, médias de ensaio do CNPMS.

Considerou-se, neste trabalho, que uma tonelada de colmo de cana-de-açúcar ou de sorgo sacarino produz 250 kg de bagaço, utilizado na geração de calor. Com relação a mandioca estimou-se a produção em 8 t de rama seca por hectare, por ciclo de cultura.

Quanto aos coeficientes de energia embutida nos insumos utilizados, estes foram obtidos de diversas fontes (2, 6, 8, 9, 10 e 12) e são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Energia dispendida quando da utilização de insumos e produtos.

<u>Insumos</u> <u>Produtos</u>	Unidade	Energia (kcal)
Homem	Hora	544
N	kg	16.800
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg	3.040
K <sub>2</sub> O	kg	2.200
Formicida	kg	24.250
Herbicida	kg	24.250
Fungicida	kg	24.250
Calcário	kg	44
Muda de cana	kg	104
Muda de Mandioca	kg	334
Semente de Sorgo	kg	3.982
Óleo Diesel	l.	8.454
Maquinaria	Hora	42.534
Bagaço de Cana	kg	1.300
Bagaço de Sorgo	kg	1.300
Ramas de Mandioca	kg	1.300

Quanto ao gasto de energia na parte industrial, adotamos os valores en

contrados na literatura, (Tabela 2).

TABELA 2. Gastos de energia no processamento industrial de Cana-de-Açúcar, Mandioca e Sorgo Sacarino.

Matéria prima	Unidade	Gasto de Energia Kcal/t
Cana-de-açúcar	t	200.259
Mandioca	t	612.621
Sorgo Sacarino (colmo)	t	237.600

Fonte: GOLDENBERG e MOREIRA (6)

A produção de álcool por tonelada de matéria prima varia muito. Neste trabalho foram utilizados os rendimentos médios mostrados na Tabela 3. A produção de energia por litro de álcool será considerada em 5.260 kcal.

TABELA 3. Variação de produção de álcool por tonelada de matéria prima e rendimento médio.

Matéria prima	Unidade	Rendimento	
		Variação	Médio
Cana-de-açúcar	l/t	65 a 90	75
Sorgo Sacarino (colmo)	l/t	55 a 85	70
Mandioca	l/t	150 a 180	165

Para os fertilizantes os dados encontrados foram para os elementos em separado, não sendo considerada a energia consumida para a sua mistura. No caso da maquinaria foi utilizada a estimativa do total de energia consumida em sua fabricação (10). No gasto de energia para as culturas separou-se a energia do óleo consumido (combustível) e a energia do tratorista foi adicionada na de mão-de-o

bra.

No gasto do combustível, foram considerados dois tipos de trator, um pesado que consome 5 litros de óleo por hora e outro médio que consome 3,5 litros por hora, sendo também considerada a troca de óleo do carter a cada 100 horas. As operações de aração e gradagem nas três culturas, sulcação na cana e mandioca, plantio e adubação no sorgo sacarino e subsolagem na cana foram consideradas como efetuadas com o trator pesado, sendo que as outras operações com o trator médio.

Quanto ao transporte, temos o de insumos, no qual foi considerado uma viagem a um centro distribuidor, e outros transportes dentro da propriedade. O transporte de pessoal que, em grandes plantações é importante, não foi considerado neste estudo, por se tratar basicamente de micro-usinas.

### Resultados e Conclusões

O consumo de energia na fase agrícola, das culturas de cana-de-açúcar, sorgo sacarino e mandioca são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

TABELA 4. Energia consumida em um hectare de Cana-de-Açúcar, em kcal.

	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Total
Mão de Obra	174.297,6	92.622,4	83.177,6	351.097,6
N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	1.388.520,0	1.146.080,0	991.800,0	3.526.400,0
Calcário	88.000,0	-	-	88.000,0
Mudas	852.800,0	-	-	852.800,0
Defensivos	84.875,0	84.875,0	84.875,0	254.625,0
Maquinaria	2.934.846,0	1.395.115,2	1.267.513,2	5.597.474,4
Combustível	2.361.202,0	1.061.822,4	975.253,4	4.398.277,8
<b>TOTAL</b>	<b>7.884.540,6</b>	<b>3.781.515,0</b>	<b>3.402.619,2</b>	<b>15.068.674,8</b>

TABELA 5. Energia consumida em um hectare de Sorgo Sacrino, em kcal.

	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Total
Mão de Obra	264.166,4	263.296,0	263.296,0	790.758,4
N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	407.552,0	407.552,0	407.552,0	1.222.656,0
N Cobertura	672.000,0	672.000,0	672.000,0	2.016.000,0
Calcário	88.000,0	-	-	88.000,0
Sementes	35.838,0	35.838,0	35.838,0	107.514,0
Defensivos	358.900,0	358.900,0	358.900,0	1.076.700,0
Maquinaria	944.254,8	018.734,4	918.734,4	2.781.723,6
Combustível	842.145,2	823.377,3	823.377,3	2.488.899,8
<b>TOTAL</b>	<b>3.612.856,4</b>	<b>3.479.697,7</b>	<b>3.479.697,7</b>	<b>10.572.251,8</b>

TABELA 6. Energia consumida em um hectare de Mandioca, em Kcal.

	1º Ciclo	2º Ciclo	Total
Mão de Obra	191.488,0	188.985,6	380.473,6
N + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	417.000,0	417.000,0	834.000,0
N Cobertura	336.000,0	336.000,0	672.000,0
Calcário	88.000,0	-	88.000,0
Manivas	300.600,0	300.600,0	601.200,0
Defensivos	84.875,0	84.875,0	169.750,0
Maquinaria	1.301.540,4	1.148.418,0	2.449.958,4
Combustível	1.115.674,4	965.024,1	2.080.698,5
<b>TOTAL</b>	<b>3.835.177,8</b>	<b>3.440.902,7</b>	<b>7.276.080,5</b>

Os maiores gastos em energia no período de três anos são, em ordem de crescentes, com a cana-de-açúcar, mandioca e no final com o sorgo sacarino.

Para a cana-de-açúcar e mandioca os maiores gastos de energia são: em primeiro lugar, a energia existente nas máquinas utilizadas; em segundo, o gasto de combustível; e em terceiro, na adubação. Para o sorgo, o maior gasto se dá na adubação, vindo após a maquinaria, e em terceiro o combustível. Enquanto o gasto em combustível corresponde a 29,2% da energia total gasta na cultura da cana, na mandioca representa 28,6% e no sorgo 23,5%.

O gasto em energia com mão de obra nas três culturas é relativamente baixo em relação ao total, sendo empregada basicamente na colheita, no sorgo sa carino onde representa 7,5%, na mandioca 5,2% e na cana 2,3%.

Outro gasto de energia que se destaca no sorgo é com a adubação em co bertura que é maior que o gasto na adubação de plantio e representa 19,1% do

gasto total.

Com os dados das Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 foi possível a montagem da Tabela 7 em que se tem o balanço energético para as três culturas nas fases agrícolas e industrial.

Por esta Tabela tem-se que o sorgo sacarino ocupa o segundo lugar no balanço energético, logo após a cana. O retorno, em energia, da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino são mais de 100% do consumo. Portanto se for utilizada em outro plantio, ainda existe excelente líquido para ser utilizado.

O sorgo sacarino apresenta a relação Energia Produzida/Energia Consumida inferior a da cana. Esta relação para o sorgo pode ser aumentada com a utilização da rebrota no mesmo ano agrícola, aonde exista precipitação para o seu desenvolvimento.

Com a utilização de sorgo sacarino como matéria prima em micro-destilarias, estudos de irrigação da cultura devem ser ampliados, para se verificar o aumento da produção no primeiro corte e na rebrota, já que neste caso a água não seria o fator limitante.

A utilização do sorgo sacarino em micro-destilarias, quando a colheita é manual, possibilita a utilização dos grãos, que possuem alto potencial para produção de álcool. Portanto são necessários estudos em micro-destilarias que possam processar tanto o colmo como o grão. Caso seja instalada para processar o grão, teríamos o caso de uma usina capaz de utilizar as três matérias primas: cana, sorgo e mandioca, já que o processamento da mandioca é semelhante ao de grão de sorgo.

Uma usina que trabalhe com as três matérias primas, possibilitaria maior mobilidade de processamento e um maior período de funcionamento anual, já que a mandioca pode ser armazenada no campo, sem prejuízo.

Quanto ao processamento da cana e sorgo, estudos devem ser efetuados

TABELA 7. Balanço energético nas fases agrícola e industrial da cana-de-açúcar, sorgo sacarino e mandioca.

CULTURA	Produção		Energia em 3 anos (mil kcal)						Saldo
	Agrícola	Álcool	Produzida			Consumida			
			Álcool	Resíduo	Total	Agrícola	Industrial	Total	
t/ha/3 anos	l/ha/3 anos								
Cana-de-açúcar	186	13.950	73.377	60.450	133.827	15.069	37.248	52.317	81.510
Sorgo sacarino	105	5.115	38.661	34.125	72.786	10.572	24.948	35.520	37.266
Mandioca	31	7.350	26.905	20.800	47.705	7.276	18.991	26.267	21.438

com outros processos de extração do caldo, por exemplo com difusores, o que poderia aumentar a eficiência das micro-destilarias. Isto seria possível, já que a matéria prima a ser processada, colhida manualmente, não apresentaria impurezas que são comuns nas grandes usinas.

Apesar do balanço energético incluir a utilização total do bagaço ou das ramas, esta energia não é gasta totalmente no processo industrial. Quanto ao bagaço da cana e do sorgo, o CNPMS fará estudos na sua utilização, juntamente com o restilo, como matéria prima para biodigestores, com produção de gás e adubo a serem utilizados nas lavouras, o que também evitaria poluição.

Quanto à rama de mandioca, pode-se estudar sua utilização no arrojamento animal, já que as folhas e caule apresentam um alto teor de proteína, o que pode ser mais econômico que sua queima.

#### Literatura Citada

1. BRANDINI, A; FINCH, E.O. & NETTO, P.S. Termo de Referência para um Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Agrícola. DTC/EMBRAPA, 1979. 1v.
2. BOERING III, O.D. An Energy Based Analysis of Alternative Production Methods and Cropping Systems in the Corn Belt. W. Lafayette, Purdue University. 1977. 44 p. (Energy in Agricultural Series, NSF/RA. 770 125).
3. DULLEY, R.D. et alii. Insumos Aplicados e Estimativas de Custo Operacional das Principais Atividades Agrícolas, Estado de São Paulo, 1977/78. Informações Econômicas, IEA, 8 (7)º 1-92, jul. 1978.
4. EMPASC/ACARESC. Sistemas de Produção para Mandioca (Revisão). Florianópolis, 1979. 50 p. (Sistemas de Produção - Boletim, 161).

5. FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário Estatístico do Brasil. 1978. v. 39.
6. GOLDEMBERG, J. & MOREIRA, J.R. Alcohol from plant products: A Brazilian alternative to the energy shortage. São Paulo, Instituto de Física/USP. 1977. 16 p.
7. INDI, Custo de Produção de Cana, Mandioca, Sorgo e Desbravamento do Cerrado. Belo Horizonte, MG, 1977. 12 p.
8. LIMA, U. de A. & MALAVOLTA, E. Produção de Álcool a Partir da Cana de Açúcar. IN: WATANABE, S., ed. Energia no Brasil. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976. p. 95-9.
9. LORENZI, J.O. Produção de Álcool de Mandioca. IN: WATANABE, S., ed. Energia no Brasil. São Paulo, Academia de Ciência do Estado de São Paulo, 1976. p. 101-8.
10. PIMENTEL, D. et alii. Food Production and the Energy. Science, 182 (4111): 443-9. 1973.
11. UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Escola de Agronomia, Cruz das Almas. Projeto Mandioca. Série Extensão, 1 (1), 1975.
12. VITOSH, M.L. Fertilizer Management to Save Energy. Michingan State University, Cooperative Extension Service. 1977. 3 p. (Energy Fact Sheet, 8).

ANEXO 1. Quantidade de insumos utilizados e coeficientes das operações para 3 ciclos de cultura de cana-de-açúcar.

	Tipo	Unidade	Coeficientes		
			1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
INSUMO					
Mudas	Colmo	t	8,20	-	-
Calcário		t	2,00	-	-
Adubo (10-10-10)		kg	630	520	450
Formicida		l	1,50	1,50	1,50
Fungicida		kg	2,00	2,00	2,00
Transporte insumo	Trator	h/t	3,00	3,00	3,00
OPERAÇÃO					
Aração (2x)	Trator	h/t	6,00	-	-
	Trator	h/t	0,60	-	-
Calagem	Homem	h/h	1,00	-	-
	Trator	h/t	5,00	-	-
Sulcação e adubação	Trator	h/t	5,00	-	-
	Homem	h/h	4,50	-	-
Adubação em cobertura	Trator	h/t	-	4,60	4,30
	Homem	h/h	-	4,00	3,50
Corte e Seleção mudas	Homem	h/h	27,00	-	-
Transporte de mudas	Trator	h/t	2,70	-	-
	Homem	h/h	4,00	-	-
Plantio	Trator	h/t	5,50	-	-
	Homem	h/h	13,00	-	-
Corte de Toletes	Homem	h/h	11,50	-	-
Cobertura com terra	Trator	h/t	1,00	-	-
Cultivo (2x)	Trator	h/t	4,60	4,40	4,00
Cultivo (2x)	Homem	h/h	54,00	-	-
Cultivo (1x)	Homem	h/h	-	36,80	36,40
Combate a Formiga	Homem	h/h	2,40	2,40	2,40
Aceira/o e queima	Homem	h/h	4,00	3,70	3,50
Corte	Homem	h/h	143,00	92,40	77,30
Carregamento	Trator	h/t	13,60	8,80	7,40
Transporte da produção	Trator	h/t	9,00	6,00	5,00
Enleiramento	Trator	h/t	-	3,00	2,70
Quebra meio e subsolagem	Trator	h/t	-	3,00	3,40

ANEXO 2. Quantidade de insumos utilizados e coeficientes das operações para 3 ciclos de cultura de sorgo sacarino.

	Tipo	Unidade	Coeficientes		
			1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
INSUMOS					
Sementes	-	kg	9	9	9
Calcário	-	t	2	2	2
Adubo (4-14-8)	-	kg	320	320	320
Sulfato de Amônio	-	kg	200	200	200
Formicida	-	l	1,50	1,50	1,50
Herbicida	-	kg	2,50	2,50	2,50
Inseticida	-	kg	10,80	10,80	10,80
Transporte de insumo	Trator	h/t	3,00	3,00	3,00
OPERAÇÃO					
Aração (2x)	Trator	h/t	6,00	6,00	6,00
Calagem	Trator	h/t	0,60	-	-
	Homem	h/t	1,00	-	-
Gradagem (2x)	Trator	h/t	5,00	5,00	5,00
Plantio e Adubação	Trator	h/t	0,65	0,65	0,65
Aplicação Herbicida	Trator	h/t	0,45	0,45	0,45
Cultivo	Trator	h/t	1,50	1,50	1,50
Repassé	Homem	h/h	20,00	20,00	20,00
Adubação em cobertura	Trator	h/t	1,00	1,00	1,00
Combate à formiga	Homem	h/h	2,40	2,40	2,40
Colheita	Homem	h/h	360,00	360,00	360,00
Carregamento	Homem	h/h	80,00	80,00	80,00
Transporte de produção	Trator	h/t	4,00	4,00	4,00

ANEXO 3. Quantidade de insumos utilizados e coeficientes das operações para 2 ciclos de cultura de mandioca.

	Tipo	Unidade	Coeficientes	
			1º Ciclo	2º Ciclo
INSUMOS				
Manivas	-	m <sup>3</sup>	6	6
Calcário	-	t	2,00	-
Adubo (5-20-10)	-	kg	250	250
Sulfato de Amônio	-	kg	100	100
Formicida	-	l	1,50	1,50
Fungicida	-	kg	2,00	2,00
Transporte	Trator	h/t	3,00	3,00
OPERAÇÃO				
Aração	Trator	h/t	6,00	3,00
Calagem	Trator	h/t	0,60	-
	Homem	h/h	1,00	-
Gradagem (2x)	Trator	h/t	5,00	5,00
Sulcamento	Trator	h/t	1,50	1,50
Preparo de maniva	Homem	h/h	24,00	24,00
	Trator	h/t	3,00	3,00
Plantio e Adubação	Homem	h/h	4,00	4,00
	Trator	h/t	4,00	4,00
Repasse (2x)	Homem	h/h	40,00	40,00
Cultivo Manual (2x)	Homem	h/h	80,00	80,00
Adubação em Cobertura	Trator	h/t	1,50	1,50
Combate a formiga	Homem	h/h	2,40	2,40
Colheita	Homem	h/h	160,00	160,00
Carregamento	Homem	h/h	10,00	10,00
Transporte da produção	Trator	h/t	2,00	2,00
Carregamento de rama	Trator	h/t	2,00	2,00
Transporte de rama	Trator	h/t	2,00	2,00