

MINI-USINAS DE ÁLCOOL INTEGRADAS (MUAI) - AVALIAÇÃO EMERGÉTICA

Aldo Roberto Ometto; Pedro A.R. Ramos; Geraldo Lombardi; Felipe Luz Scanavini

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento,
Laboratório de Termodinâmica
CEP. 13566-590 - São Carlos, SP - Tel. (016) 273-8261 Fax. (016) 2739550

Enrique Ortega; Osmar Coelho Filho

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Laboratório de Engenharia Ecológica
Campinas, SP. Tel. (019) 3788-4035 Fax. (019) 3788-7592

RESUMO

A Mini-Usina de Álcool Integrada (MUAI) constitui-se em uma agroindústria que produz álcool, energia elétrica e alimentos para 18.000 habitantes. A cana-de-açúcar e sorgo sacarino são os insumos básicos para a produção de 40.000 litros/dia de álcool e 7,13 MW de energia elétrica, além de estender para 10 meses o tempo de operação da MUAI no ano. São colhidos 630 t/d de cana ou sorgo. Na área do sorgo desenvolve-se, nos oito meses de sua entressafra, atividades agropecuárias e hortifrutícolas. Há, ainda, a criação de gado em semiconfinamento para corte e leite e rotação de culturas. A área total da MUAI (agrícola, pecuária e industrial) é 4360 ha. O conceito básico da MUAI atende a máxima eficiência produtiva sob qualidade ambiental e social, não queimando o canavial ou o sorgal. A vinhaça, tratada anaerobicamente com os resíduos do gado, é transformada no biofertilizante ideal para a cana e sorgo. A fertirrigação é realizada por gotejamento, minimizando a contaminação do solo e do lençol freático. A MUAI pode se constituir em pólo de desenvolvimento econômico, fixando a população e atendendo as exigências ambientais do desenvolvimento sustentado.

ABSTRACT

The Integrated Mini Alcohol Industry (IMAI) is an agro-industry which products are alcohol, electricity and food for 18.000 habitants. The sugar cane and sweet sorghum are the primers inputs for the production of 40.000l/day of alcohol and 7,13 MW of electricity, besides the longer operation period of 10 months per year. The productivity is around 630 t of sugar cane or sweet sorghum per day. On the sweet sorghum area, at the eight months between the harvest and the plantation, there are crops and vegetables. There are, also, cattle for

milk and meat production. The total area of IMAI is 4.360 ha including the rural and industry area. The IMAI's concept is the maximum environmental and social efficiency, which includes not burn the plantations. The vinasse is treated in an anaerobic process, resulting in a good fertilizer mixed with the cattle's excrements. The IMAI project may be a way to economic development, fixing population with the environmental patterns of the sustainable development.

INTRODUÇÃO

O século passado caracterizou-se pelo grande crescimento industrial e dos transportes, fundamentado pelos recursos energéticos não renováveis, o petróleo e o carvão. Enquanto eles permitiam a multiplicação das atividades humanas, deterioravam o meio ambiente e a saúde pública. A perda da qualidade ambiental direta e indireta tem sido responsável pelo aparecimento de grandes males que afligem atualmente a humanidade, o efeito estufa, contaminação atmosférica por chumbo, hidrocarbonetos simples, clorados, etc., aldeídos, óxidos de nitrogênio, de enxofre e de carbono, este último principal responsável pelo EE.

Desde 1985, a produtividade mundial agrícola apresenta-se em declínio (GUIVANT, 1998; OMETTO, 2000) devido à degradação ambiental, desertificação, salinização e erosão dos solos, poluição do ar, chuvas ácidas e alterações da camada de ozônio. Dados da World Resources (WORLD RESOURCES, 2000) mostram que nos últimos 50 anos, aproximadamente, 66% do solo agrícola mundial já foi degradada.

Para transitar da atual Economia do Desperdício para uma Economia Ecológica é fundamental uma mudança estrutural nos consumos e nas tecnologias. A capacidade do ambiente de sustentar as atividades econômicas está sendo reduzida devido ao uso incorreto

dos seus recursos. A degradação ambiental relacionada ao uso indevido da terra para o plantio, exploração dos recursos renováveis e não-renováveis, além da poluição decorrente do despejo de resíduos industriais e urbanos sem tratamento, estão fazendo com que a estrutura e a própria função dos sistemas naturais mudem. Como consequência, há diminuição da biodiversidade, aumento no aparecimento de novas doenças e diminuição dos serviços dos ecossistemas que promovem o controle da qualidade do ar, da água, do solo e toda espécie de vida.

A sociedade humana, preocupada em aumentar a produção agrícola e industrial para conseguir atender a demanda mundial, consome cada vez mais os recursos naturais renováveis (água, nutrientes, solo) e os não-renováveis (petróleo e minerais).

No fim dos anos 60 e início dos 70, com a necessidade de tornar compatível o crescimento econômico e a preservação dos recursos naturais, os sistemas econômicos foram questionados. Até então, a intervenção da natureza em qualquer processo produtivo não era considerada. Exemplo significativo pode ser representado pelo modelo de produção sucroalcooleiro convencional adotado no Brasil, o qual baseia-se, primordialmente, no latifúndio monocultor, com utilização intensiva de agrotóxicos, de queimadas, recurso hídrico, entre outros, considerados os maiores responsáveis pela degradação do ecossistema (ELLIOT & COLE, 1989).

Na busca de um modelo de produção mais ecológico para o setor sucroalcooleiro, e dentro do contexto de Desenvolvimento Sustentado, este trabalho analisa as atividades agropecuárias e industriais do conceito inovativo de integração da MUAI, com o objetivo de avaliar os impactos socioambientais da produção da cana-de-açúcar e sorgo para conseguir uma produção diversificada de álcool combustível, energia elétrica, produtos agropecuários e frutícolas, utilizando-se da Metodologia Emergética (ODUM, 1996).

INOVAÇÕES E BENEFÍCIOS SOCIOAMBIENTAIS DA MINUSINA DE ÁLCOOL INTEGRADA

O projeto conceitual da MUAI está todo fundamentado em pesquisas desenvolvidas na ESALQ, USP-EESC, EPUSP, IFUSP, IPT, IPAI. Seu conceito de integração agropecuário e industrial permite baixar os custos de produção, reduz riscos de monopólio, cartel ou truste, além de manter a atividade de pequena empresa de iniciativa privada, ou em pequena cooperativa, com responsabilidades sociais, econômicas, culturais e ambientais.

As inovações e benefícios socioambientais da MUAI residem no aproveitamento racional da terra, racionalização de métodos, nas alterações dos processos e procedimentos operacionais, na minimização do uso dos insumos e equipamentos, etc. em compromisso com

as tecnologias de fronteira já consagradas operacionalmente.

Seguem alguns detalhes da MUAI (CORSINI, 1992, RAMOS & LOMBARDI, 2001):

- a área agrícola ocupada é menor que as tradicionais para igual quantidade produzida;
- não promove queimada para a colheita, maximizando o aproveitamento da energia solar;
- usa a quantidade mínima de agroquímicos e faz o controle biológico. Contempla as legislações ambientais e sociais, assim como as técnicas e tecnologias de controle ambiental;
- tem áreas florestais, adequando-se ambientalmente de forma plena. A MUAI destina 20% da área agrícola para a reserva legal, compatível às Áreas de Reserva Legal, além das Áreas de Preservação Permanente (APP);
- os equipamentos da MUAI são todos acionados por motores elétricos;
- utiliza todo o bagaço e biogás para a produção eficiente de energia elétrica com uso de caldeiras de 60- 80 kgf/cm² e turbinas de vários estágios. A energia elétrica permite o abastecimento próprio das operações industriais e a venda do excedente;
- o ciclo de vida do sorgo dura apenas quatro meses no ano. Nos oito meses restantes, tem-se disponibilidade para outras culturas alimentares hortifrutícolas, em condições convenientes de preparação da terra;
- criação de gado semiconfinado, utilizando-se os ponteiros verdes da cana e do sorgo e suas sementes, como alimentação vegetal ensilada anaerobicamente. Os animais fornecem leite, carne e derivados;
- tratamento anaeróbico do vinhoto o qual permite transformar o efluente poluente em biofertilizante ideal para canavial e sorgal;
- o sistema automotivo de transporte da MUAI é acionado por motor com combustão de álcool vaporizado.

Possibilidades futuras:

- transformar em ração humana a levedura originada na fermentação anaeróbica do vinho, ainda utilizada como ração animal;
- potencial desenvolvimento da indústria alcoolquímica, visando a redução de importação de petróleo.

ANÁLISE EMERGÉTICA

Atualmente, o cálculo socioambiental constitui-se em uma extensão da contabilidade econômica tradicional.

Compreender as funcionalidades entre energias empregadas e ciclos produtivos dos materiais, pode possibilitar um melhor entendimento do complexo

relacionamento entre a biosfera e a sociedade. De fato, a sociedade usa energia proveniente do meio ambiente de forma direta ou indireta, tanto de fluxos de energia renovável quanto de estoques de materiais e energias resultantes da produção passada da biosfera, o que estabelece o relacionamento em questão.

A análise emergética tem como objetivo analisar os fluxos de energia e materiais nos sistemas dominados pelo homem, para mostrar a dependência dos sistemas produtivos humanos das fontes de energia naturais e fósseis e descobrir viabilidades de interação entre os sistemas da economia humana e os ecossistemas. Na análise emergética consideram-se todos os insumos, incluindo as contribuições da natureza (chuva, água de poços, nascentes, solo, sedimentos, biodiversidade) e os fornecimentos da economia (materiais, maquinaria, combustível, serviços, pagamentos em moeda, etc.) em termos de energia solar agregada (emergia).

A Metodologia Emergética estima valores das energias naturais incorporadas aos produtos, processos e serviços, geralmente não contabilizados na Economia Clássica. Por meio de indicadores, chamados Índices Emergéticos, esta abordagem desenvolve uma imagem dinâmica dos fluxos anuais dos recursos naturais e dos serviços ambientais, geração de riquezas e do impacto das atividades antrópicas nos ecossistemas. Por identificar e quantificar a contribuição dos recursos naturais, a Metodologia Emergética permite a compreensão dos limites de cada ecossistema, possibilitando o estabelecimento de metas para garantir a capacidade de suporte e, portanto, a sustentabilidade do processo produtivo analisado (COMAR, 1998).

ÍNDICES EMERGÉTICOS (ODUM, 1996; ORTEGA, 2001)

Emergia, Y:

É uma medida do trabalho envolvido na produção dos ecossistemas. É o valor da somatória das energias disponíveis todas empregadas na confecção de um bem, desde sua origem até seu estado final, expressado em Joules de Energia Solar Equivalente, [sej]. Energia Solar = 1 sej

É calculado como:

$$Y = (R + N) + (M + S)$$

(R + N) = Contribuição da natureza:

R = energia dos recursos renováveis, sej

N = energia dos recursos não renováveis, sej

(M + S) = Contribuição da Economia

M = energia dos recursos materiais, sej

S = energia dos serviços, sej

Transformidade, TR:

Ao analisar um sistema produtivo temos que relaciona-lo com os sistemas que produzem seus insumos os quais podem estar em outros tempos, em outras regiões. O vínculo com esses outros sistemas faz-se através do índice Transformidade. Quanto mais transformações de energia existem contribuindo em um

processo, maior é sua Transformidade, ou seja, maior trabalho da natureza ou do homem foi empregado na produção do bem. Por isso um valor menor significa menos desgaste do meio ambiente como um todo.

Podemos ser definida como quanto de energia solar é necessário incorporar para produzir uma unidade de seu produto, medida em energia (sej/J), massa (sej/kg) ou dinheiro (sej/dólar). É a razão entre a emergia necessária para produzir um produto e a energia que o produto contém.

$$TR = Y / Q_p$$

Y = emergia total dos insumos

Q_p = quantidade de energia interna total, mássica ou financeira do tipo contida no produto; Joule, kg, dólar.

Rendimento Emergético, EYR:

É um indicador da emergia líquida que o sistema gera. Fornece uma medida da habilidade do processo para explorar recursos energéticos locais provenientes da natureza, sejam renováveis ou não. O valor mínimo é a unidade, que ocorre quando a contribuição da natureza é nula (R + N = 0). A diferença do valor unitário mede a contribuição do Ecossistema para a Economia.

$$EYR = Y / F$$

F = emergia associada ao investimento econômico empregado. É a contribuição da Economia, (materiais e serviços, retroalimentados pelo sistema econômico externo), sej

Taxa de investimento de emergia, EIR:

Este índice mede o investimento da sociedade para produzir certo bem em relação à contribuição da natureza. Avalia se o processo usa adequadamente os recursos alocados. Um índice baixo indica que o ambiente provê mais recursos para o processo que a economia (materiais e serviços) e por isso, os custos de produção são menores.

É a razão entre a contribuição da economia ou emergia total dos recursos econômicos, que geralmente requer dinheiro pela contribuição dos Recursos Naturais, quase sempre gratuitos.

$$EIR = F / I$$

I = emergia do ambiente ou contribuição dos Recursos Naturais, sej

Carga ambiental, ELR:

Mede a proporção de recursos não renováveis em relação aos renováveis para um dado processo produtivo. É um indicador da pressão que a atividade produtiva impõe ao ecossistema ou do impacto ambiental do sistema. É calculado dividindo a soma das emergias dos recursos não renováveis (livre e comprado) pela emergia dos recursos renováveis.

$$ELR = (N + F) / R$$

Taxa de intercâmbio emergético, EER:

Mede o benefício emergético recebido pelo comprador. Compara a emergia associada ao produto com a emergia paga pelo comprador.

Relação da energia cedida e a energia recebida nos produtos.

$$EER = Y / [\$ * (SEJ / \$)]$$

$(\$ * SEJ / \$)$ = energia correspondente ao volume de dinheiro recebido na venda do bem no mercado, sej.

Renovabilidade, %R:

Indica a porcentagem de energia que é derivada de fontes renováveis. Os sistemas com alto valor percentual deste índice são mais sustentáveis. Avalia quantitativamente a adequação dos ecossistemas no Desenvolvimento Sustentável.

É a razão de energia renovável usada em relação à energia total consumida do sistema.

$$\%R = R / Y * 100\%$$

Sustentabilidade, S:

Indica a característica emergética que manifesta a continuidade em longo prazo do ecossistema, devido a que seu desenho permite ser renovado naturalmente o por processos auxiliados pelo homem. É a relação entre Rendimento Emergético e Carga ambiental, que é definida pela sustentabilidade do sistema.

$$S = EYR/ELR$$

A seguir está ilustrado o Diagrama Emergético representativo sobre os fluxos de energia e materiais que cruzam a fronteira do sistema da MUAI, (Fig.1).

Os resultados da análise emergética se encontram na Tabela 1. Os dados utilizados (fluxos de entrada) foram obtidos a partir do estudo da viabilidade econômica e do projeto conceitual para execução do projeto dimensional da MUAI (RAMOS & LOMBARDI, 2001) e de diversas fontes bibliográficas (LANZOTTI, 2001; MILLER, 2001; DÖBEREINER, 1999; UNICAMP, 2001; BAYER, 2001) utilizando-se de dados nacionais atualizados com visitas a campo.

DISCUSSÃO

A discussão aborda a própria utilização dos recursos calculados na Tabela 1, podendo-se observar que:

- Os Recursos Naturais empregados constituem 37,02%, do total dos recursos utilizados, formados pela soma dos recursos renováveis, 29,58%, e os não renováveis, 7,44%. Observe-se, porém que 80,00% dos recursos naturais úteis no contexto produtivo são renováveis o que bem expressa a nobreza ecológica do sistema.

- Os Recursos Econômicos constituem-se em 62,98 % do total dos recursos utilizados dos quais 6,56 % nos materiais e 56,42% nos serviços. Reincide aqui, a nobreza social da MUAI.

Com relação aos índices emergéticos, a tabela 2 compara a análise realizada na MUAI com uma usina sucroalcooleira tradicional (LANZOTTI, 2001) para se verificar com mais clareza os benefícios da MUAI.

Transformidade: A Transformidade da MUAI é $2,08.10^4$ sej/J, o que mostra um valor relativamente baixo (bom) devido à grande eficiência da cana-de-açúcar e sorgo em capturar energia solar. Adicionalmente, os procedimentos ecológicos adotados, de não queimar a cana ou o sorgo, de manutenção de biodiversidade, biodigestão do vinhoto e fertirrigação por gotejamento, preparação do solo com minimização do uso de herbicidas e outros aspectos técnicos de processamento, indicam que mini usina não é um grande consumidor de energia para elaborar seus produtos, levando ao baixo valor relativo da transformidade.

Rendimento Emergético: Um Rendimento de 1,59 mostra que a produção de etanol de cana-de-açúcar ou sorgo e outros produtos da MUAI fixam energia solar, podendo ser considerado como um bom retentor de energia. O valor 1.59 deste índice mostra que a utilização dos recursos naturais em relação aos recursos econômicos (materiais e serviços) apresenta um valor intermediário (valores comuns de produtos agrícolas: 1.0 - 4.0 e menores: 1,0- 2,0, quando incorporam os valores industriais). Assim, a MUAI é capaz de retroalimentar parte da produção já que a maioria dos insumos é renovável. Este índice mostra o benefício ao meio ambiente na medida em que acontece o processo de reciclagem.

Taxa de investimento de energia: O valor obtido de 1,70 é bom resultado. A MUAI apresenta um valor que expressa que utiliza pouco recurso econômico (insumos comprados) quando comparado aos recursos naturais ("gratuitos"). Além disso, deve-se ter em conta que os valores deste índice para a agricultura ocorre entre (3.0 - 7.0) ou mais baixo quando incorporam valores industriais. Com este índice é possível ter uma visão clara sobre o sistema de produção no que diz respeito à taxa de investimento externo.

Carga ambiental: Este índice apresenta valor de 2,38 o qual acha-se vinculado ao índice **Sustentabilidade**, cujo valor obtido, 67 % mostra ótimo resultado. Estes valores não são comuns no setor sucroalcooleiro. A MUAI utiliza uma quantidade de energia de recursos não renováveis muito menor que a quantidade proveniente dos recursos naturais renováveis. Isto reduz a carga sobre o ecossistema e o impacto ambiental. Este fato vem confirmar impacto ambiental é reduzido.

Taxa intercâmbio emergético: O valor 0,43 (energia contida no produto/energia paga) mostra que o sistema MUAI entrega aos consumidores menos energia que recebe deles em termos de valor financeiro. Com isso, a natureza é beneficiada porque não está sendo simplesmente explorada. Existe um retorno (monetário) a ser reciclado no processo.

Renovabilidade: A MUAI, como qualquer outra atividade agroindustrial, depende de fontes externas e internas de energia, as quais podem ser renováveis ou não. Apenas 7,44% dos recursos naturais utilizados são provenientes de fontes não renováveis, o que confere a esse sistema um adequado valor de sustentabilidade. O valor 29,58 % obtido, faz-se necessário melhor planejamento agropecuário industrial.

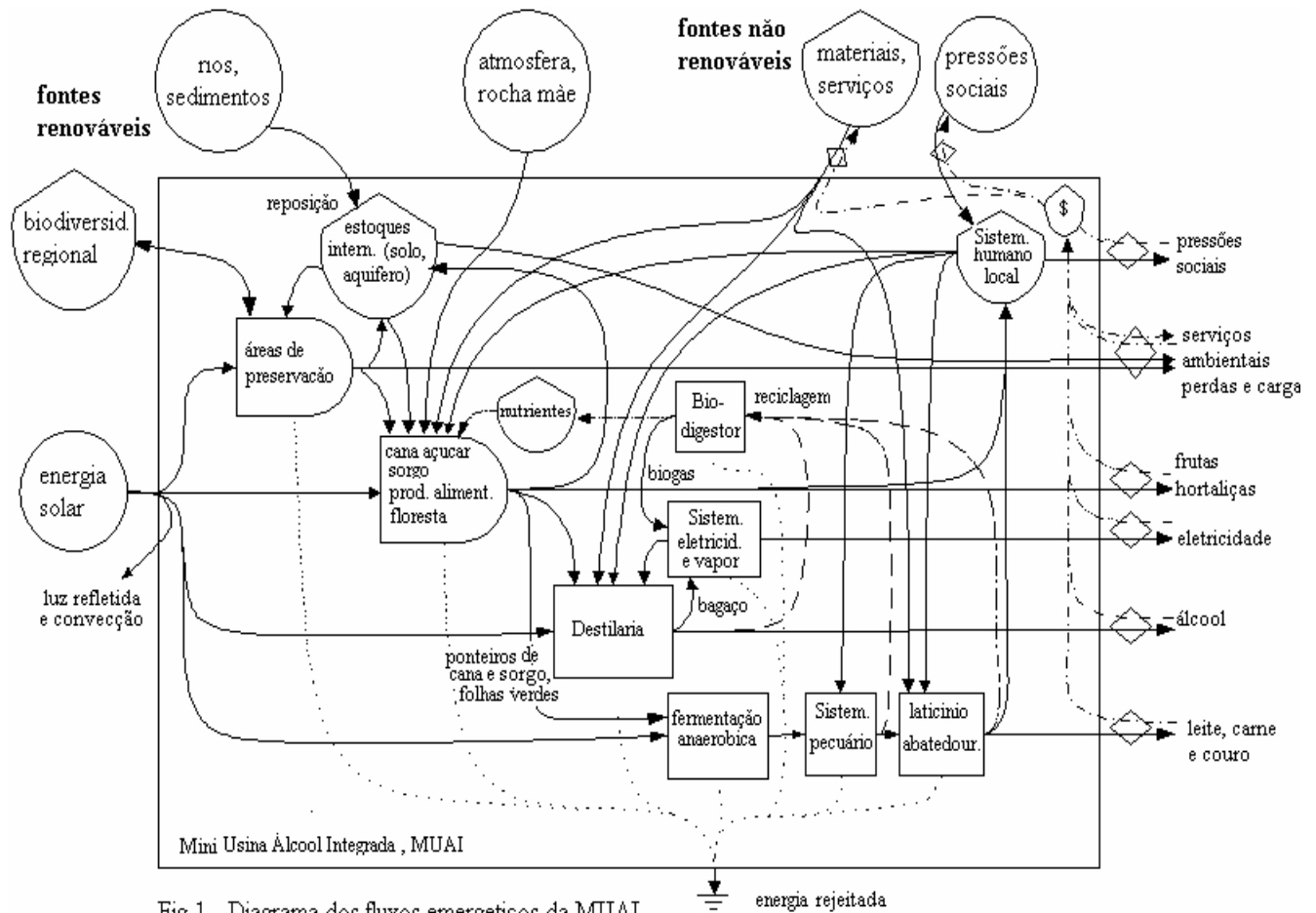


Fig. 1.- Diagrama dos fluxos emergéticos da MUAI

Tabela 1. Planilha Emergética

| | FLUXO DE ENTRADA (Dados) | FLUXO DE: ENERGIA J/ha-a MASSA kg/ha-a DINHEIRO\$/ha-a (Unidade)- u | TRANSFORMIDADE (por tabela) sej / (J, kg, \$) | FLUXO DE EMERGIA sej/ha-a | % |
|------------------------------------|---------------------------------|--|---|----------------------------------|--------------|
| I RECURSOS NATURAIS | | | | 1.58E+15 | 37,02 |
| R Renováveis | | | | 1.26E+15 | 29,58 |
| R-1 agua de chuva* | 1.20E+00 m3/m2-a | 5.94E+10 J/ha-a | 1.82E+04 sej/J | 1.08E+15 | 25,33 |
| R-2 nutrientes (rocha mae)* | 1.80E+01 kg/ha-a | 1.80E+01 kg/ha-a | 3.00E+12 sej/kg | 5.40E+13 | 1,27 |
| R-3 nitrogenio (atmosfera)* | 7.00E+00 kg/ha-a | 7.00E+00 kg/ha-a | 4.61E+12 sej/kg | 3.23E+13 | 0,76 |
| R-4 controle biologico - floresta* | 6.80E-01 t/ha-a | 3.84E+09 J/ha-a | 2.46E+04 sej/J | 9.45E+13 | 2,22 |
| R-5 agua aquífero, irrigação* | 5.00E-01 m3/ha-a | 2.47E+06 J/ha-a | 1.10E+05 sej/J | 2.72E+11 | 0,01 |
| N Não Renováveis | | | | 3.32E+14 | 7,44 |
| NR-1 perda do solo* | 1.82E+02 J/ha/y | 4.11E+09 J/ha-a | 7.38E+04 sej/J | 3.03E+14 | 7,11 |
| NR-3 perda pessoas* | 8.71E-03 trab./ha | 1.40 E+07 J/ha-a | 1.00E+06 sej/\$ | 1.40E+13 | 0,33 |
| F RECURSOS ECONOMICOS | | | | 5.77E+15 | 62,98 |
| Setor Agrícola | | | | 1.41E+15 | 4,98 |
| M Materiais | | | | 8.29E+13 | 1,71 |
| MA-1 sementes (S, F & H) / mudas* | 4.24E+01 kg /ha-a | 4.24E+01 kg/ha-a | 1.47E+12 sej/kg | 6.23E+13 | 1,46 |
| MA-2 defensivos agrícolas* | 3.00E+00 l/ha-a | 1.91E+00 kg/ha-a | 1.48E+12 sej/kg | 2.95E+12 | 0,07 |
| MA-3 equipamentos* | 4.65E+00 kg/ha-a | 4.65E+00 kg/ha-a | 1.80E+12 sej/kg | 8.38E+12 | 0,20 |
| S Serviços | | | | 1.33E+15 | 3,25 |
| SA-1 mão de obra simples* | 4.12E-03 p/ha-a | 1.74E+07 J/ha-a | 7.66E+05 sej/J | 1.33E+13 | 0,31 |
| SA-2 mão de obra qualificada* | 6.88E-04 p/ha-a | 2.30E+06 J/ha-a | 7.66E+06 sej/J | 1.33E+13 | 0,41 |
| SA-3 operações agrícolas* | | 7.40E+00 \$/ha-a | 3.70E12 sej/\$ | 2.73E+13 | 0,64 |
| SA-4 manutenção* | 6.47E+00 \$/ha-a | 6.47E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 2.39E+13 | 0,56 |
| SA-5 impostos e taxas (INSS)* | 2.14E+00 \$/ha-a | 2.14E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 7.93E+12 | 1,33 |
| Setor Pecuário | | | | 6.20E+14 | 7,74 |
| M Materiais | | | | 5.87E+13 | 0,65 |
| MP-1 compra gado* | 1.48E+00 kg/ha-a | 1.09E+07 J/ha-a | 1.73E+06 sej/J | 1.90E+13 | 0,44 |
| MP-2 ordenha e laticinio* | 1.10E+00 \$/ha-a | 1.10E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 4.07E+12 | 0,10 |
| MP-3 currais* | 0.67E+00 \$/ha-a | 0.67E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 2.48E+12 | 0,06 |
| MP-4 frigorifico com abatedouro* | 2.60E-01 \$/ha-a | 2.60E-01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 9.62E+11 | 0,02 |
| MP-5 valas de fermentação ração* | 3.06E-01 \$/ha-a | 3.06E-01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 1.13E+12 | 0,03 |
| MP-6 curtome * | 1.50E-02 \$/ha-a | 1.50E-02 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 5.60E+10 | 0,00 |
| S Serviços | | | | 5.61E+14 | 7,10 |

| | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| SP-1 | mão de obra simples* | 3.00E-03 p/ha-a | 1.74E+07 J/ha-a | 7.66E+05 sej/J | 1.16E+13 | 0.31 |
| SP-2 | mão de obra qualificada* | 1.00E-03 p/ha-a | 2.27E+06 J/ha-a | 7.66E+06 sej/J | 4.54E+12 | 0.41 |
| SP-3 | trato do gado* | 5.37E+01 \$/ha-a | 5.37E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 1.99E+14 | 4,66 |
| SP-4 | manutenção * | 4.53E+00 \$/ha-a | 4.53E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 1.58E+13 | 0.39 |
| SP-5 | impostos e taxas (INSS)* | 1.53E+01 \$/ha-a | 1.53E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 6.99E+13 | 1,33 |
| Setor Industrial | | | | | 2.98E+15 | 41,86 |
| M Materiais | | | | | 1.82E+14 | 4,19 |
| MI-1 | insumos* | 4.09E+01 l/ha/ano | 3.27E+01 kg/ha-a | 3.80E+12 sej/kg | 1.24E+14 | 2,91 |
| MI-2 | equipamentos / infraestrutura* | 7.16E+00 kg/ha-a | 7.16E+00 kg/ha-a | 6.70E+12 sej/kg | 4.80E+13 | 1,12 |
| MI-3 | instalações civis e industriais* | 1.75E+00 \$/ha-a | 1.75E+00 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 6.48E+12 | 0.15 |
| S Serviços | | | | | 2.80E+15 | 37,67 |
| SI-1 | mão de obra simples* | 1.60E-02 p/ha-a | 6.58E+07 J/ha-a | 7.66E+05 sej/J | 6.58E+13 | 1,18 |
| SI-2 | mão de obra técnica* | 2.00E-03 p/ha-a | 9.83E+06 J/ha-a | 7.66E+06 sej/J | 1.97E+13 | 1.76 |
| SI-3 | mão de obra administração* | 2.00E-03 p/ha-a | 6.05E+06 J/ha-a | 5.00E+06 sej/J | 3.02E+13 | 0.71 |
| SI-4 | mão de obra laboratório* | 1.00E-03 p/ha-a | 4.54E+06 J/ha-a | 5.00E+07 sej/J | 2.27E+14 | 5.32 |
| SI-5 | controle biologico - laboratório* | 6.80E-01 t/ha-a | 4.49E+09 J/ha-a | 2.46E+04 sej/J | 1.10E+14 | 2,59 |
| SI-6 | manufatura* | 2.17E+02 \$/ha-a | 2.17E+02 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 8.06E+14 | 18,82 |
| SI-7 | manutenção * | 5.18E+01 \$/ha-a | 5.18E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 1.92E+14 | 4.49 |
| SI-8 | impostos e taxas (INSS)* | 3.22E+01 \$/ha-a | 3.22E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 1.19E+14 | 2,79 |
| S Serviços Adicionais | | | | | 7.59E+14 | 8,40 |
| SA-1 | tratamento e reciclagem* | 8.20E+01 \$/ha-a | 8.20E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 3.03E+14 | 7,11 |
| SA-2 | equip. e infraestrutura * | 1.49E+01 \$/ha-a | 1.49E+01 \$/ha-a | 3.70E+12 sej/\$ | 5.53E+13 | 1.29 |
| Y Emergia Total | | | | | 4,27E+15 | 100,00 |

Tabela 2. Índices emergéticos da Miniúsina e Usina Tradicional

| | Unidade | Miniúsina | Usina Tradicional (LANZOTTI, 2001,reviewed) |
|-------------------------------------|---------|----------------------|---|
| Transformidade, TR | sej/J | 2,08.10 ⁴ | 4,57.10 ⁴ |
| Taxa de rendimento Emergético, EYR | - | 1,59 | 1,19 |
| Taxa de investimento, EIR | - | 1,70 | 5,24 |
| Taxa de carga ambiental, ELR | - | 2,38 | 9,03 |
| Sustentabilidade | % | 67 | 13,0 |
| Taxa de renovabilidade %R | % | 29,58 | 9,97 |
| Taxa de intercâmbio emergético, EER | - | 0,43 | 0,26 |

A análise emergética da produção (pecuária, agrícola e industrial) da MUAI (outubro/2001), apresenta índices melhores em comparação, com a produção (agro-industrial) da uma Usina Padrão de 7500000 L/d de álcool e 2870000 sacas de açúcar (LANZOTTI, 2001) como mostra a tabela 2.

CÁLCULOS :

1) Recursos naturais:

1.1 Renovável (R):

R1) Chuva:

Dados:

Chuva: 1 200 mm/m²/a.

A energia livre de Gibbs para água: 4 949 J/kg. Portanto: 1.2m³ / m²/a * 10 000 m²/ha * 1 000kg / m³ * 4 940 J/kg = 5.93 E+10 J/ha/a

R2) Nutrientes do solo:

A solubilização dos nutrientes provenientes da terra proverá 18 kg/ha de P (Fósforo) para a nutrição. A necessidade da planta em minerais essenciais é de 425 t/ha/a, distribuídos da seguinte forma: 119 de N (nitrogênio), 51 de P (fósforo) e 276 de K (potássio).

Parte dos nutrientes será restabelecida por irrigação de bio-fertilizante, produzida por digestão de efluentes industriais e corresponde a 50 kg N/ha/a, 33 kg P/ha/a e 281 kg K/ha/a, mais os resíduos de gado que corresponde a 62 kg/ha/a de N. (IPT / CEFER , 1980)

R3) Nitrogênio (atmosfera):

Microorganismos inoculados proverão até 7 kg/ha/a por fixação biológica de nitrogênio de ar. (Dobereiner, 1999)

R4) Controle Biológico - Floresta

De acordo com Punhalada (2001), sem controle biológico há uma perda de 0.68 t de açúcar/ha/a. O controle biológico é provido pela floresta e laboratório. A floresta contribui assim com 25%, da seguinte forma: 0.68 t/ha/a * 0.25 = 0.17 t/ha/a. O potencial calorífico de açúcar é: 5400 kcal/kg * 4186 J/Kcal = 22.6 E+06 J/kg.

0.17 t/ha/a * 0.25 * 1 000 kg/t * 22.6 E+06 J/kg = 3.8 E+09 J/ha/a.

R5) Água do aquífero - Irrigação

A água de irrigação provem do aquífero em quantidade média de 500 l/ha/a.

0.5 m³/ha/a * 1 000 kg/m³ * 4 940 J/kg = 2.47 E+06 J/ha/a

1.2 Não Renovável (NR):

NR-1 perda de terra

A perda de matéria orgânica do solo, coberta com palha é 182 kg/ha/a (STAB, 2001):

182 kg/ha/a * 4 186 J/kcal * 5 400 kcal/kg = 4.11 E+09 J/ha/a.

NR2) Perda de Pessoas

A colheita mecânica será adotada nas áreas agrícolas de cana de açúcar, reduzindo a quantidade local de trabalhos. Uma máquina colhe 300 t/d enquanto um trabalhador manual colhe uma média de 7.5 t/d. Haverá a absorção de dois operadores para as máquinas agrícolas.

(300/7.5 - 2) / 4360 trab./ha/a = 8.71 E-03

Portanto, a perda é de 0,00871 trab./ha. Desta forma:

0.00871 trabalhadores /ha * 3200 kcal /d (gasto metabólico) * 4 186 J/kcal * 120 d/a (trabalho temporário) = 1.4 E+07 J/ha/a .

2) Recursos Econômicos (F)

Os cálculos foram divididos de acordo com as atividades realizadas na MUAI: agricultura, pecuária e indústria.

2.1) agricultura (cana de açúcar, sorgo, grãos e legumes)

2.1.1 Materiais para Agricultura (MA)

MA1) Muda

144 kg de muda de cana durante 5 anos, 10 kg de sementes de sorgo e 1.54 kg de sementes de grãos e a utilização de legumes a cada ano com rotação de 5%: ((144/5 + 10 + 1.54) kg) * 1.05 = 4.24E+1kg/ha/a.

MA2) Proteção de colheita

Uso comum de herbicidas: 3.0 L/ha/a. densidade do Herbicida: 0.8 kg/L. área Agrícola: 3473 ha; área total: 4360 ha.

3.0 L/ha/y * (3473 ha / 4360 ha * 0.8 kg/L = 1.91 kg/ha/a.

MA3) Equipamento

Custos de total de equipamento agrícola para produção, colheita e transporte: 2 349226 EUA \$. Depreciação em 30 anos. Preço comum de aço em equipamento agrícola: 3.86 US\$/kg.

(2 349 226 \$/ 3.86 \$/kg) / (4360 ha * 30 a) = 4.65 kg/ha/a

2.1.2) Serviços na Agricultura(SA)

SA-1 Trabalho Simples

Um trabalhador inábil gasta 3200 kcal/d. 1 ano = 315 dias de trabalho:

(18 p/d / 4360 ha) * 3 200 kcal/p * 4186 J/kcal * 315 d/a = 1.74 E+07 J/ha/a.

SA-2 Trabalho Qualificado

Três trabalhadores qualificados em de 4360 ha.

Um trabalhador qualificado gasta 2 500 kcal/d.

$(3 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 2\,500 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 2.26 \text{ E}+06 \text{ J/ha/a}$

SA-3 Operações Agrícolas

Se dividirmos o custo anual total (US\$ 32273,3) das operações agrícolas pela área total da MUAI (4360 há) obtemos o seguinte valor : $7.40\text{E}+00 \text{ \$/há/a}$.

SA-4 Manutenção

A manutenção das máquinas agrícolas é 10.6% de 266033,73 US\$/a.

$(266033,73 \text{ \$/a} * 0.106) / 4360 \text{ ha} = 6.468 \text{ \$/ha/a}$.

SA-5 Impostos e Taxas

Os impostos da área agrícola são calculados adotando 22% das vendas agrícolas que são 76.72 US\$/ha/a.

$76.72 \text{ \$/ha/a} * 0.02 = 1.53 \text{ \$/ha/a}$.

2.2) Pecuária

2.2.1) Materiais (MP)

MP-1 Compra de Gado

O número de vacas é 3 438; um bezerro pesa 75 kg e, para reprodução, é precisada de uma substituição anual de 25%; a energia de calor equivalente de gado é 7 438 596 J/kg, a área é 4360 ha; o período de depreciação é 30 anos.

$(3\,438 * 75 \text{ kg}) / (4360 \text{ ha} * 30 \text{ y}) * 0.75 * 7\,438\,596.49 \text{ J/kg} = 1.09\text{E}+07 \text{ J/ha/a}$.

MP-2 Laticínio

O custo total do sistema é 145 000 EUA \$. $(145\,000 \text{ \$/} / 4360 \text{ ha} * 30 \text{ a}) = 1,109 \text{ \$/ha/a}$.

MP-3 Currais

O custo total para currais é 87 587 EUA \$. $87\,587 \text{ \$/} / (4360 \text{ ha} * 30 \text{ a}) = 0.670 \text{ \$/ha/a}$.

MP-4 Abatedouro

O custo para matadouro é 34 000 EUA \$. $34\,000 \text{ \$/} / (4360 \text{ ha} * 30 \text{ a}) = 0.260 \text{ \$/ha/a}$.

MP-5 Valas de fermentação

Os poços de fermentação são destinados à produção de alimento animal. O custo total é 40 000 EUA \$.

$40\,000 \text{ \$/} / (4360 \text{ ha} * 30 \text{ y}) = 0.306 \text{ \$/ha/a}$.

MP-6 Curtume

O custo total é 1 978 EUA \$. $1\,978 \text{ \$/} / (4360 \text{ ha} * 30 \text{ y}) = 0.015 \text{ \$/ha/a}$.

2.2.2) Serviços na Pecuária (SP)

SP-1 Trabalho manual

Use o mesmo cálculo como para trabalho simples, SA-1. Sete trabalhadores.

$(12 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 3\,200 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 1.74 \text{ E}+07 \text{ J/ha/a}$.

SP-2 Trabalho qualificado

Use o mesmo cálculo como para trabalho qualificado, SA-2. Dois trabalhadores qualificados.

$(3 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 2\,500 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 2.27 \text{ E}+06 \text{ J/ha/a}$

SP-3 Trato do gado

As despesas totais para tratar o gado saudável são 234 180.52 US\$/y; a área total é 4360 ha.

$234\,180.52 \text{ \$/y} / 4360 \text{ ha} = 53.72 \text{ \$/ha/a}$.

SP-4 Manutenção

As despesas anuais para manutenção são 9% de 219 469.48 EUA \$.

$219\,469.48 \text{ \$/y} * 0,09 / 2\,060 \text{ ha} = 9.59 \text{ \$/ha/a}$.

SP-5 Impostos e Taxas

São calculados os impostos para gado como 2% das vendas anuais de seus produtos que são 944.31 US\$/ha/a.

$944,31 \text{ \$/ha/a} * 0,02 = 18.89 \text{ \$/ha/a}$

2.3) Indústria

2.3.1) Materiais para Indústria (MI)

MI-1 Insumos

A quantidade de insumos necessários para a produção de álcool e eletricidade é 40.86 L/ha neste caso para a área inteira. A densidade é 0.80 kg/l. $40.86 \text{ L/ha} * 0.80 \text{ kg/L} = 32,7 \text{ kg/ha/a}$.

MI-2 Equipamentos e Infra-estrutura

A quantidade total de aço em equipamento industrial e infra-estrutura (com 30 anos de depreciação) é 7.16 kg/ha/a.

MI-3 Construção civil e industrial

As despesas totais para a construção civil e industrial são 229 100 EUA \$, a área total é 4360 ha; o período de depreciação é 30 anos: $166\,500 \text{ \$/} / (30 \text{ a} * 4360 \text{ ha}) = 1.752 \text{ \$/ha/a}$.

2.3.2) Serviços na Indústria (SI)

SI-1 Trabalho Simples

Use o mesmo cálculo como para trabalho simples, SA-1. Sessenta e oitohomens que trabalham ao complexo industrial.

$(68 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 3\,200 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 6.58 \text{ E}+07 \text{ J/ha/a}$.

SI-2 Trabalho qualificado

Use o mesmo cálculo como para trabalho qualificado, SA-2. Onze trabalhadores qualificados.

$(13 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 2\,500 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 9.83 \text{ E}+06 \text{ J/ha/a}$.

SI-3 Trabalho de administração

Use o mesmo cálculo como para trabalho qualificado, SA-2. Treze trabalhadores administrativos.

$(13 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 2\,500 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 9.83 \text{ E}+06 \text{ J/ha/a}$.

SI-4 Trabalho de Lab

Use o mesmo cálculo como para trabalho qualificado, SA-2. Seis trabalhadores técnicos em labs.

$(6 \text{ p/d} / 4360 \text{ ha}) * 2\,500 \text{ kcal/p} * 4\,186 \text{ J/kcal} * 315 \text{ d/a} = 6.45 \text{ E}+06 \text{ J/ha/a}$.

SI-5 controle biológico - laboratório

Use o mesmo cálculo como para controle biológico por floresta, R-4. Taxa associada para labs é 75% do controle biológico total: $0.68 \text{ t/ha/a} * 0.75 * 100\,000 \text{ kg/t} * 8\,807\,344 \text{ J/kg} = 4.49 \text{ E}+09 \text{ J/ha/a}$.

SI-6 Manufatura

Despesas anuais de manufatura é 950 013.34 EUA \$, a área total é 4360 ha.

$950\,013.34 \text{ \$/a} / 43600 \text{ ha} = 2.17 \text{ E}+02 \text{ \$/ha/a}$.

SI-7 Manutenção

Despesas anuais para manutenção são 85% de 266367 EUA \$, a área total é 4360 ha.

$(166367 \text{ \$/} / 4360 \text{ ha}) * 0.85 = 51.87 \text{ \$/ha/a}$.

SI-8 Impostos e Taxas

Os impostos industriais são 2% das vendas totais dos produtos industriais que são 1 610.56 US\$/ha/a.

$1\ 610.56\ \$/ha/a * 0.02 = 32.21\ \$/ha/a.$

2.4 Serviços Adicionais (SA)

SA-1 Tratamento e reciclagem

Custo operacional anual é 357 538 EUA \$e a área total é 4360 ha.

$357\ 538\ \$/a / 4360\ ha = 82.001\ \$/ha/a.$

SA-2 Equipamento e Infra-estrutura

O custo de instalação é 1 955 690 EUA \$; a área total é 2 060 ha; o período de depreciação é 30 anos.

$1\ 955\ 690\ \$/ (4360\ ha * 30\ a) = 14.952\ \$/ha/a$

CONCLUSÕES

Considerando os resultados dos índices emergéticos obtidos para uma MUAI, para produzir 40000 L de álcool por dia, as conclusões seguintes podem ser tiradas:

- a opção MUAI é energeticamente viável, por possui baixa transformidade e alta renovabilidade e sustentabilidade;
- apresenta Rentabilidade Ecosistêmica maior que Rentabilidade Econômica;
- a carga ou impacto ambiental é pequena;
- a MUAI com produção diversificada: álcool combustível, energia elétrica, frutas, hortaliças, leite e carne, entre outros, oferece bom desempenho emergético. Têm potencial de contribuição à economia nacional, sendo que pouca energia é gasta nos processos de produção;
- não é um ecossistema intensivo no uso de insumos de alta concentração energética;
- pode ser um meio de desenvolvimento rural regional com garantias sociais e ambientais e
- a MUAI mostra a superioridade da conceituação de integração desses complexos na forma de agroindústrias, dentro da qual é explorada toda tecnologia de ponta via processos e procedimentos otimizados, regenerativos e eficientes viabilizando a produção de bens dentro de um contexto de Desenvolvimento Sustentado de excelência.

PALAVRAS-CHAVES

cana-de-açúcar; energia; mini usinas; qualidade ambiental; sustentabilidade; qualidade social

AGRADECIMENTOS

Ao professor Pedro Ramos, do Instituto Politécnico de Havana, Cuba, pela participação no trabalho

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1.] GUIVANT, J.S. - **A agricultura sustentável na perspectiva das ciências sociais.** In: VIOLA, E.

- J.; LEIS, H.R.; SCHERER-WARREN, I.; GUIAVANT, J.S.; VIEIRA, P.F.; KRISCKE, P.J. Meio Ambiente, Desenvolvimento e Cidadania: desafios para as Ciências Sociais 2.ed. São Paulo, Cortez. Cap. 3, p.99-133. 1998WORLD RESOURCES.
- [2.] OMETTO, A. R. - **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental.** São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000
- [3.] WORLD RESOURCES. **People and Ecosystems: The fraying Web of Life Hardbound.** United Nations Environment Programme, World Bank World Resource Institute.
<http://www.elsevier.com/homepage/sag/worldresources/agro.html> (29/08/2000).
- [4.] ELLIOT, E.T. & COLE, C.V.- **A perspective on agroecosystem science.** *Ecology*, 70(6), p.1597-1602, 1989
- [5.] ODUM, H. T.- **Environmental Accounting, Energy and Decision Making.** John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.. 370 p, 1996
- [6.] CORSINI R. - **Mini Usinas Integradas. Exposição Comparativa.** Brasil. Monografia pp. 22, 1992.
- [7.] RAMOS, P.A.R. & LOMBARDI G. - **Viabilidade econômica do projeto conceitual para execução do projeto dimensional.** Relatório de pesquisa FAPESP. Escola Engenharia São Carlos, São Paulo, Brasil, 2001.
- [8.] COMAR V. **Avaliação emergética de projetos agrícolas.** Tese (Doutorado).FEA. UNICAMP. 1998.
- [9.] ORTEGA E. **Manual Mínimo de Cálculos Emergéticos.**
<http://www.unicamp.br/fea/ortega/engenhariaecologica/> (20/09/2001)
- [10.] LANZOTTI, C.- **Balço emergético da produção agrícola e industrial.** Dissertação de Mestrado. FEA. Unicamp. 2001.
- [11.] MILLER M. - **Análise ecossistêmica e emergética da produção transgênica, convencional e orgânica de soja.** Relatório para o Programa PIBIC/CNPq. Unicamp, 2001.
- [12.] DÖBEREINER, J.- **A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável** .
<http://geocities.com/TheTropics/Cabana/4792/fixacaonitrogenio.htm>, jul/1999.
- [13.] UNICAMP. FEA. LEA. Média da pluviosidade do Estado de São Paulo.
<http://www.unicamp.br/fea/ortega/engenhariaecologica/> (20/09/2001)
- [14.] BAYER Sencor Cana. **Proteção de plantas.** Boletim Informativo 2001.