

**ALGUMAS SUGESTÕES PARA
O APROVEITAMENTO DE ENERGIA
RENOVÁVEL NA PROPRIEDADE AGRÍCOLA**

*Jorge Seixas
Delmar Marchetti*



EMBRAPA
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados — CPAC
Planaltina, DF.

SUMÁRIO

1. Formas de energia renovável	5
1.1. Lenha	5
1.2. Carvão vegetal	6
1.3. Coletor solar	8
1.4. Roda de água	12
1.5. Moinho de vento	13
1.6. Biogás	16
1.7. Gasogênios	18
1.8. Alcool	20
2. Aproveitamento a nível de propriedade	20
2.1. Lenha e carvão	20
2.2. Coletor solar	20
2.3. Rodas de água	21
2.4. Moinho de vento	24
2.5. Biodigestor	25
2.6. Gasogênios	27
2.7. Alcool	27
Referências bibliográficas	29

ALGUMAS SUGESTÕES PARA O APROVEITAMENTO DE ENERGIA RENOVÁVEL NA PROPRIEDADE AGRÍCOLA

Jorge Seixas*

Delmar Marchetti**

1. FORMAS DE ENERGIA RENOVÁVEL

Em qualquer exploração agrícola aproveitam-se as fontes de energia tradicionais (lenha e carvão), mas raramente são utilizadas outras formas de energia, apesar de, por vezes, custarem menos trabalho e estarem ao alcance técnico e econômico dos agricultores.

Todas as fontes renováveis dependem da energia solar. Por ordem de complexidade crescente, podem ser enumeradas:

- a) lenha,
- b) carvão vegetal,
- c) coletor solar,
- d) biogás,
- e) roda de água,
- f) moinho de vento,
- g) gasogênio,
- h) álcool.

Cada uma dessas fontes tem suas peculiaridades e aplicações mais rentáveis.

A lenha, o carvão vegetal, o coletor solar, o biogás e a roda de água podem ser aproveitadas sem ajuda externa à exploração agrícola.

1.1. Lenha

Sem dúvida, foi o primeiro combustível de que o homem se serviu. No começo deste século, a lenha, como combustível, representava cerca de 30% do consumo energético mundial. Hoje representa ainda cerca de 6%, consumindo-se 1,4 bilhão de m³, equivalente a 300 milhões de toneladas de petróleo. Queima-se cerca da metade da produção mundial de madeira (8). No Brasil (dados de 1978), a lenha e o carvão vegetal representavam ainda 24% do consumo nacional de energia, equivalentes a 27,7 milhões de toneladas de petróleo. Queima-se um total de 92 milhões de toneladas de lenha e produtos vegetais combustíveis (1).

* Engenheiro Mecânico, Pesquisador do Convênio EMBRAPA-CPAC/IICA.

** Engenheiro Agrônomo, Chefe Adjunto de Apoio do CPAC-EMBRAPA.

TABELA 1. Consumo mundial de lenha, como percentagem do consumo total – 1972 (3).

Ásia (Sudeste e Oceania)	62%
Ásia (Sul)	54%
China e resto da Ásia	9%
Próximo Oriente e Norte da África	20%
África (Oeste e Centro)	75%
África (Leste e Sul)	75%
América Central	9%
América do Sul	29%
Brasil	33,5%
Média	28%
Países desenvolvidos	1%
Média Mundial	6%

Os maiores inconvenientes do emprego da lenha como combustível parecem ser:

- 1) valor cada vez maior, como madeira e seus subprodutos (conglomerados, compostos, etc.);
- 2) necessidade de um peso apreciável, equivalente a 3,3 vezes o do óleo diesel (1);
- 3) distâncias cada vez maiores dos centros de consumo.

Os dois últimos inconvenientes diminuem em parte, quando é transformada em carvão.

1.2. Carvão vegetal

A tecnologia para produção de carvão está ao alcance de todos, mas, com relação ao rendimento energético, não parece ser interessante a sua utilização. Para a produção de uma tonelada de carvão são necessárias de 3 a 6 toneladas de madeira, dependendo do tipo e da umidade. Pode-se dizer a grosso modo que o potencial calórico da lenha é reduzido à metade, quando transformada em carvão. No entanto, o peso e o volume são menores que os da lenha. Com relação ao óleo diesel, necessita-se 1,6 vezes mais o peso deste para se obter o mesmo calor.

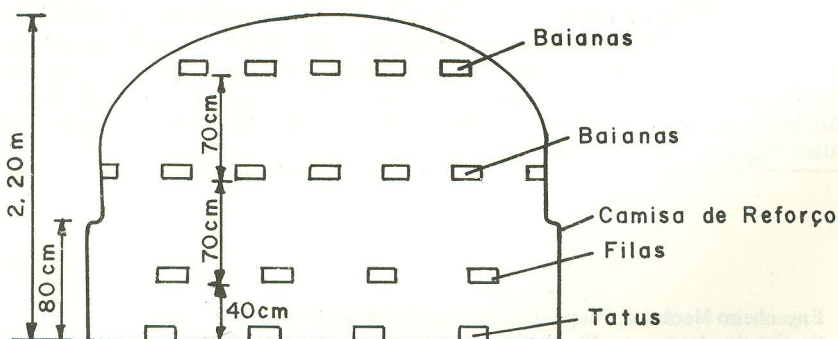


FIG. 1. Estrutura de uma carvoeira tradicional.

É possível melhorar sensivelmente o desempenho das carvoeiras tradicionais que dão, em geral, 1 m³ de carvão por cada 3 m³ de lenha, num período de 7 dias:

carga e descarga	—	1 a 2 dias;
carbonização	—	2 a 3 dias;
arrefecimento	—	3 dias.

Com fornos melhorados é possível obter 1 m³ de carvão a partir de 1,8 m³ de lenha, num período muito mais curto:

carga e descarga	—	2 horas
carbonização	—	9 horas
arrefecimento	—	16 horas
		<u>27 horas</u>

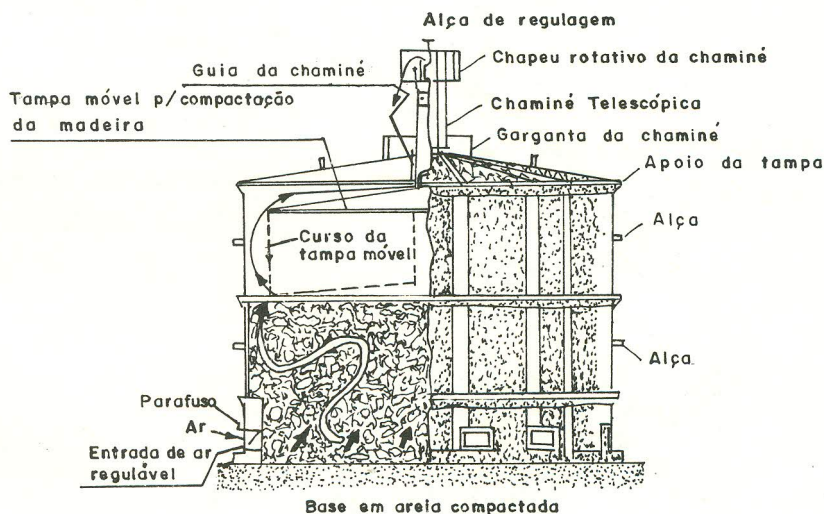


FIG. 2. Forno metálico. Com rendimento superior e qualidade do carvão uniforme. É de fácil construção. Um destes fornos pode substituir sete fornos tradicionais de igual capacidade.

Por exemplo:

Forno metálico móvel de 5 m³

Produção: 2,5 m³ de carvão (550 kg) a partir de 5 m³ de lenha, num período de 30 horas.

Produção mensal: 24 x 550 = 13.200 kg

Forno tradicional de 5 m³

Produção: 2 m³ de carvão (450 kg) a partir de 5 m³ de lenha, num período de 7 dias.

Produção mensal: 30/7 x 450 = 1.900 kg.

Além da maior produção, os fornos melhorados evitam o grande problema da falta de uniformidade no carvão.

a) Aquecimento de água

O dispositivo mais fácil, que pode ser feito em qualquer propriedade agrícola, consiste numa caixa de madeira forrada internamente com plástico negro, provida de um tubo de entrada de água e outro de saída, e um vidro como tampa. A única dimensão importante é da altura de água: quanto menor, melhor. Um coletor com 1,5 x 1,5 x 0,1 m aquecerá 225 litros de água a cerca de 45°C, depois de 3 a 4 horas de exposição ao sol.

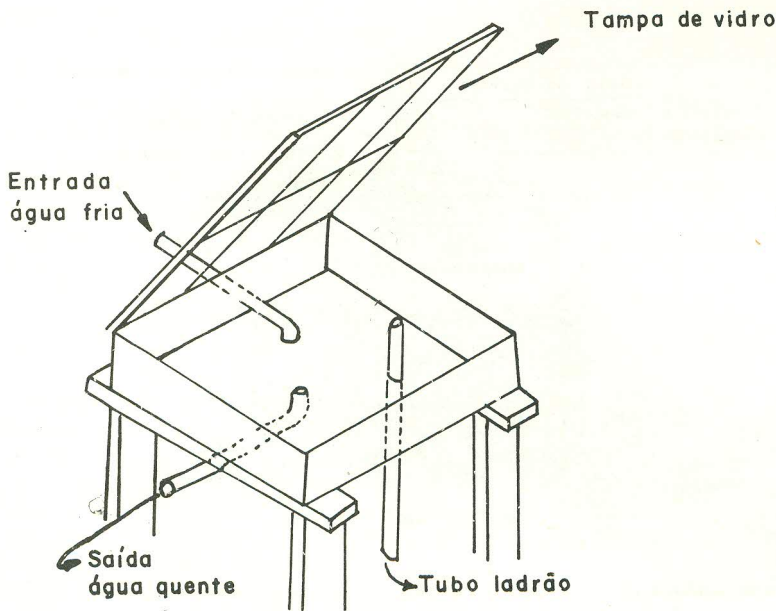


FIG. 3. Aquecedor solar de madeira. Revestido internamente com plástico negro e fechado com tampa de vidro. Atinge temperaturas de até 50°C, ao fim de 3 a 4 horas de sol. Uma bóia mantém o nível de água mais ou menos constante.

Outro dispositivo simples, que também pode ser feito em qualquer propriedade agrícola, consiste num coletor solar, cujo elemento principal é um "sanduiche" de água, contido entre duas superfícies de placas de zinco, com um tubo para entrada e outro para saída de água. De acordo com os dados obtidos, cada metro quadrado de área exposta no coletor aquece 200 litros a 45-50°C por dia. A circulação de água se faz por termossifão, provocado pela diferença de temperatura, sem necessidade de quaisquer peças móveis.

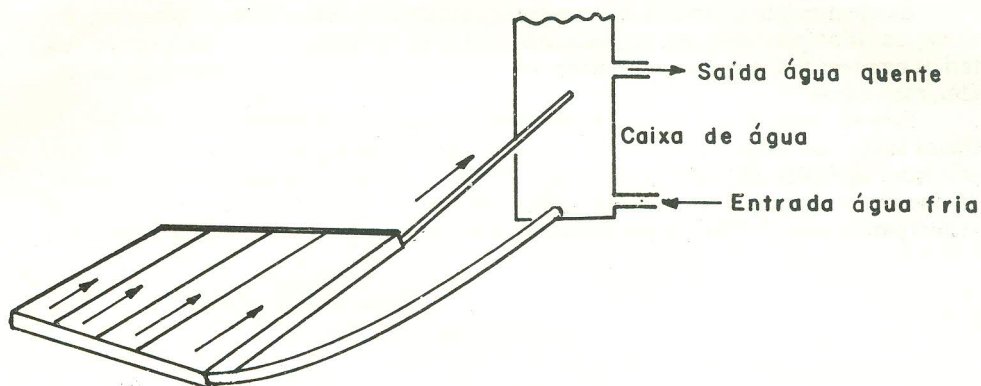


FIG. 4. Bateria de coletores.

b) Destilação de água

Pode-se aproveitar o aquecimento solar para destilar água. A figura 5 ilustra o dispositivo, utilizado também na captação de água de chuva.

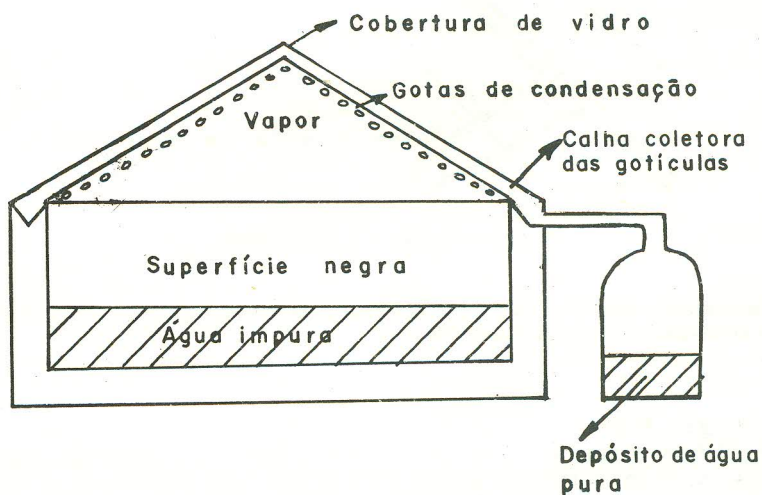


FIG. 5. Destilador solar.

Existem coletores solares no comércio, certamente mais eficientes que estes. Todavia, os princípios que regem uns e outros são os mesmos. O que varia são os materiais empregados, que, nos coletores à venda no comércio, são mais convenientes, porém, mais caros.

Para se obter água a temperaturas mais elevadas, é possível montar um concentrador solar, que exige materiais e técnicas mais sofisticadas que as disponíveis em propriedades agrícolas. Os custos envolvidos são, por enquanto, antieconômicos, mas podem-se obter temperaturas até 250°C , por meio de concentradores de lentes ou de espelhos parabólicos. O foco da parábola ou das lentes é o ponto mais quente do sistema.

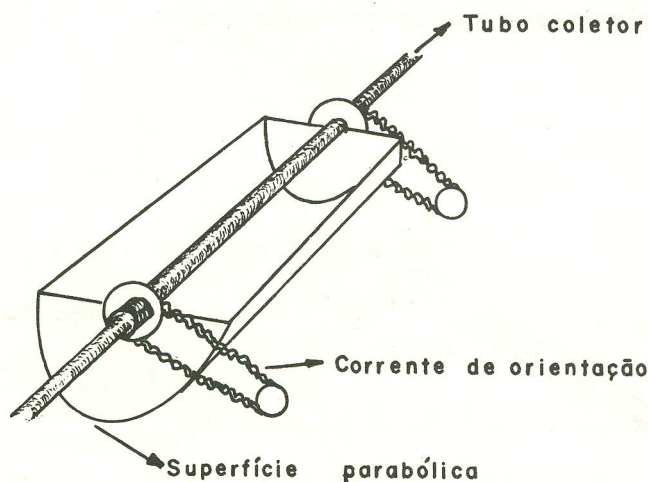


FIG. 6. Concentrador solar parabólico. Os raios solares são refletidos pela superfície parabólica e concentrados no tubo que passa pelo foco.

c) Secagem de grãos

Os coletores solares são também usados com êxito na secagem de grãos. O teor de umidade nos grãos colhidos é muitas vezes de 20 a 30%, o que exige, antes da estocagem, uma redução para 12 a 13%.

Os dispositivos secadores mais simples são mostrados nas Figuras 6 e 7.

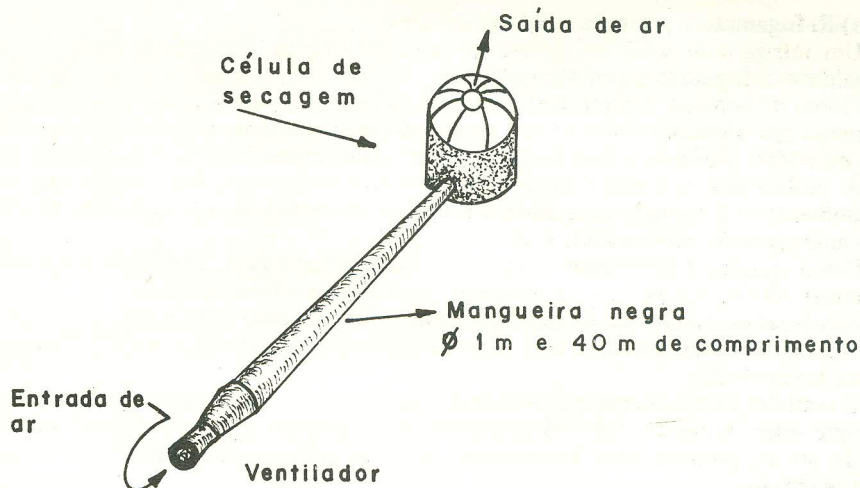


FIG. 7. Secador de grãos. O ar é forçado por um ventilador para a parte interna do tubo, onde é aquecido. É possível obter-se o equivalente em calor a 100 Kwh por dia. Adapta-se à secagem de soja e milho. Substituindo-se o tubo de um metro de diâmetro por uma série de tubos de diâmetros relativamente pequenos (usados em irrigação), as temperaturas obtidas serão evidentemente mais elevadas e o tempo de secagem mais curto, desde que o volume de ar seja o mesmo.

d) Bomba termodinâmica solar (4)

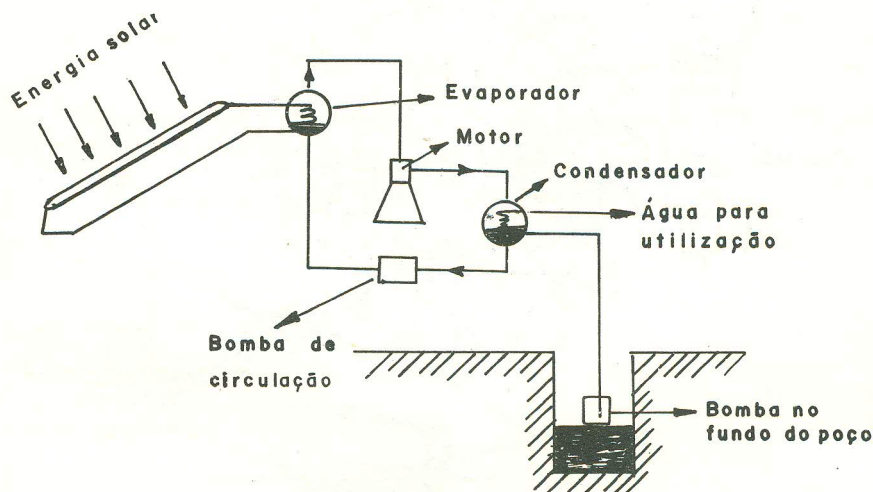


FIG. 8. Esquema de bomba termodinâmica solar. A água aquecida no coletor solar troca calor com o fluido do circuito secundário, acionando o motor que, por sua vez, aciona a bomba de elevação de água. Um conjunto com 1 Kw possibilita a elevação de 30 m^3 de água a 20 metros, por dia. Para se obter 1 Kw precisa-se de 70 m^2 de coletor e um motor de 2 cilindros e 1.000 cm^3 .

e) Refrigeração a partir de coletores solares

Um refrigerador solar compõe-se de uma unidade de captação de energia e de uma unidade refrigeradora por absorção. Nas regiões onde não exista energia elétrica para acionar as bombas, é preferível o sistema refrigerador por absorção descontínua. Os sistemas por absorção utilizam, em geral, misturas água-amoníaco e amoníaco-tiocinato de sódio. Durante a fase de refrigeração (descontínua) deixa-se o absorsor esfriar. À medida que a pressão diminui, o amoníaco evapora-se, absorvendo calor do meio ambiente, e é captado pela mistura pobre de amoníaco. O ciclo continua até que todo o amoníaco do condensador se evapora.

Parece que a máquina mais adaptável seria a de fazer gelo. Uma máquina capaz de produzir 100 kg de gelo por dia precisaria de coletores solares de 20 m².

Nas áreas de baixo teor de umidade no ar, como é o caso dos Cerrados durante a época seca, parece fácil provocar uma rápida evaporação, aproveitando a queda de temperatura assim obtida.

É também tecnicamente possível fazer funcionar condicionadores de ar a partir da energia solar. A desidratação do ar, seguida de evaporação que restitui uma parte da umidade ao ar, permite uma importante queda de temperatura, mesmo em climas quentes e úmidos.

1.4. Roda de água

As rodas de água são utilizadas desde os tempos bíblicos e continuam sendo largamente usadas. São mais rentáveis quando a energia necessária não ultrapassa cerca de 10 Kw.

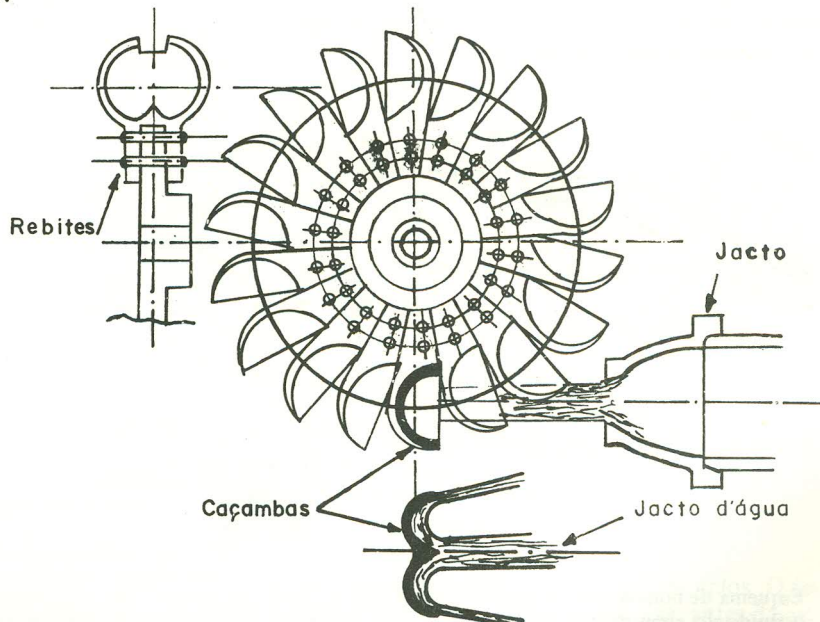


FIG. 9. Turbina de impulso (Pelton). Adaptada para pequenos volumes de água e elevadas pressões, tem a vantagem de ser fácil de montar e de possuir volume e peso pequenos. É empregada normalmente para se obter até cerca de 400 Kw.

Têm a vantagem de poder admitir grandes variações na vazão de água. Na Tabela 2 indicam-se suas características, bem como das turbinas, que em geral se usam para potências mais elevadas.

A potência teórica fornecida por uma corrente de água pode ser calculada, aplicando-se a fórmula:

$$P = 9,8 \times Q \times H$$

P = potência em Kw

Q = vazão em m³/s

H = altura da queda em metros.

As rodas de água podem ser montadas para utilização de energia mecânica ou em acoplamento com gerador elétrico.

1.5. Moinho de vento

A energia captada por um moinho de vento depende da superfície deste e da velocidade do vento. Dobrando-se a área do moinho, dobra-se a potência gerada. Mas, se o vento passar de 2 a 4, a energia gerada é multiplicada por 8.

A potência teórica é dada por:

$$W = 0,01319 \times A \times V^3$$

W = potência em Watts

A = área em m²

V = velocidade do vento em km/h.

Infelizmente não é possível aproveitar-se a maior parte da energia teórica, devido ao rendimento dos dispositivos.

TABELA 2. Rendimento aproximado dos vários moinhos (8).

Hélice rápida	45%
Rotor Darrieus	32%
Turbina multipás	30%
Rotor Savonnius	16%

Estas percentagens são ainda afetadas pelos sistemas de transmissão e pelos geradores. O rendimento total situa-se entre 10 e 30% da energia teórica.

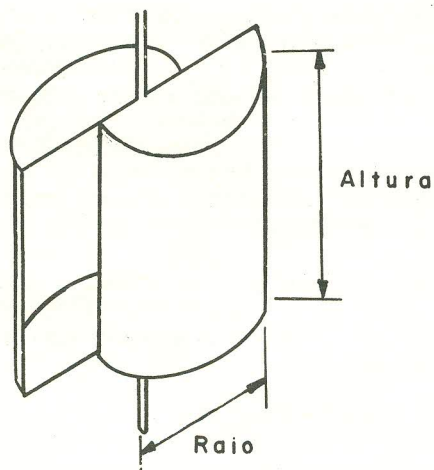


FIG. 10. Rotor Savonnius. A superfície útil é igual ao produto do raio pela altura. Adapta-se ao bombeamento da água. É de baixa velocidade e bom par binário. Não se presta a acoplamentos a geradores.

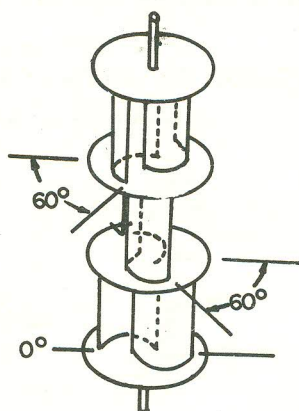


FIG. 11. Rotor Savonnius modificado. Três conjuntos montados no mesmo eixo. Resulta em maior par binário (torque) com capacidade aumentada de acionamento de bombas.

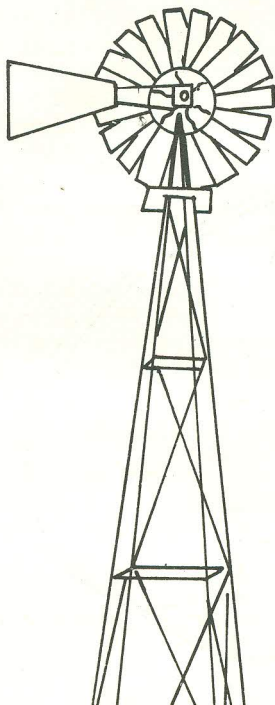


FIG. 12. Moinho de vento tradicional. Adaptado ao bombeamento de água. Rendimento máximo: 30%.

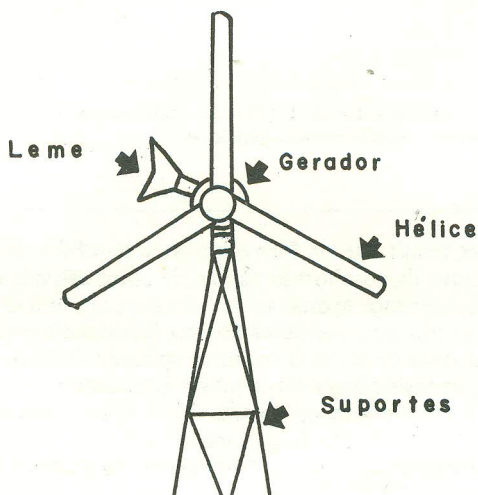


FIG. 13. Moinho de hélice rápida. Adaptado a geradores. Rendimento máximo: 45%.

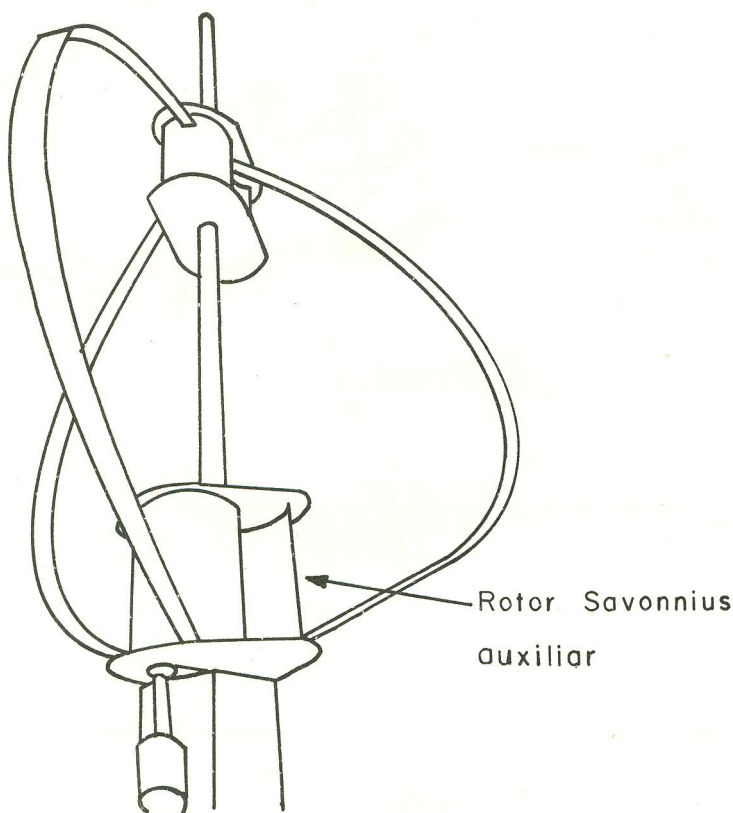


FIG. 14. Rotor Darrieus. De arranque difícil. Precisa de motor de partida (rotor Savonnius). Tem boa rotação e presta-se a acoplamento a geradores.

1.6. Biogás

Tanto o gás metano, resultante da fermentação anaeróbica de matéria orgânica, como o gás pobre, resultante da combustão parcial de combustíveis sólidos, são biogases. No entanto, aqui nos referimos apenas ao gás obtido por meio de digestores. Além do gás combustível, a fermentação anaeróbica produz fertilizante orgânico, com vantagem sobre a mesma quantidade de matéria orgânica aplicada diretamente como adubo, já que, sob forma líquida, os restos digeridos contêm nitrogênio.

A digestão anaeróbica desenvolve-se em três fases: 1) hidrólise enzimática, 2) formação de ácidos orgânicos, 3) produção de metano.

Devem, portanto, coexistir as bactérias formadoras de ácidos e as metanogênicas. Sem esta simbiose o processo pára.

Os dois fatores críticos no processo, que ainda não é completamente conhecido, são o teor de nutrientes das bactérias e a temperatura.

Quase todos os restos orgânicos podem ser utilizados, desde que a relação carbono-nitrogênio se mantenha dentro de limites aceitáveis. Um quociente de 30 parece ser o ponto ótimo. Quando se utilizam palhas, é necessário repor a relação, acrescentando esterco, urina ou restos já digeridos de outro digestor.

A temperatura constitui outro fator importante. Existem duas séries de bactérias metanogênicas: uma mesófila, cuja temperatura ótima é de cerca de 35°C, e outra termófila com temperatura acima de 55°C. Sob o ponto de vista técnico é mais simples utilizar a temperatura de 35°C. Empiricamente sabe-se que a produção de metano baixa de 50% cada vez que a temperatura cai de 11°C. Abaixo de 15°C cessa a produção rentável de gás.

Outros fatores que podem afetar a geração de gás são o pH e, evidentemente, o teor de matérias digeríveis. Um pH de 6,7 a 7,6 é o mais satisfatório.

O gás produzido tem uma composição mais ou menos constante, embora, no início da fermentação, a percentagem de CO₂ seja mais alta do que quando em pleno funcionamento.

TABELA 3. Composição média do biogás (8).

Metano (CH ₄)	55-65%
Gás carbônico (CO ₂)	35-45%
Nitrogênio (N ₂)	0-3%
Hidrogênio	0-1%
Oxigênio (O ₂)	0-1%
Sulfato de hidrogênio (H ₂ S)	Traços

Pode-se esperar uma produção variável entre 200 a 600 litros de gás por quilo de matéria seca, com um valor calórico de 5.500 Kcal/m³. Este valor pode ser facilmente elevado até cerca de 9.000 Kcal/m³, quando se elimina uma parte de CO₂, por borbulhamento em água de cal. Como termo de comparação, o diesel tem 10.900 Kcal/litro. Assim é que 1 m³ de biogás equivale a 0,5 litros de diesel. Se for purificado, eliminando-se uma parte de CO₂, pode equivaler a 0,82 litros de diesel.

Principais características do biogás:

- densidade: 1,032 kg/m³ (densidade do ar 1,293 kg/m³);
- combustão: completa na proporção de 5 a 12% com ar (volume);
- velocidade de propagação da chama: 33 m/seg;
- valor calórico: 5.500 Kcal/m³;
- chama: azul (como de álcool), sem fuligem;
- gás utilizado para:
 - cozinha — 240 litros/dia/pessoa;
 - iluminar — 150 litros/hora/lâmpada (equivalente a 100W);
 - motores — 450 litros/HP/hora.

A fermentação anaeróbica é ligeiramente exotérmica, ao contrário da fermentação aeróbica que é fortemente exotérmica, chegando neste último caso a se registrarem temperaturas de 70°C. Quando se utilizam palhas, que necessitam de uma fermentação prévia aeróbica, o calor desenvolvido pode ser utilizado para aquecer o digestor, em

que se estará processando a fermentação anaeróbica.

Outra maneira de aquecer o digestor é empregar um coletor solar. Não existe dificuldade especial em manter o digestor a 35°C, desde que seja utilizado o isolamento natural do solo (digestor enterrado), com aquecimento por meio de água que, por sua vez, se aquece com um coletor ou por meio da fermentação aeróbica.

A construção e funcionamento de digestores é objeto da Circular Técnica nº 4, na qual o assunto é desenvolvido em detalhes.

1.7. Gasogênios

Apareceram durante a II Guerra Mundial, utilizados em motores móveis e fixos.

Estima-se que naquela época cerca de 700.000 automóveis circulavam movidos a gás pobre. Chama-se gás pobre por causa do seu fraco valor calórico (de 1.000 a 1.200 Kcal/m³). A sua composição é apresentada na Tabela 4.

TABELA 4. Composição típica do gás produzido por gasogênio a madeira (8).

	% em volume
Gás carbônico (CO ₂)	9,5-9,7
Hidrocarbonos	0-0,3
Oxigênio	0,6-1,4
Monóxido de carbono (CO).	20,5-22,2
Hidrogênio	12,3-15,0
Metano	2,4-3,4
Nitrogênio	50-53,8

O gás produzido pelos gasogênios deve ser resfriado e purificado, quando se destina a abastecer motores de combustão interna, devido às altas temperaturas e cinzas. Tanto os motores a gasolina como a diesel podem funcionar a gás pobre, mantendo-se nestes últimos, a injeção reduzida a cerca de 10% do seu normal. Os gasogênios utilizados durante a Guerra tinham uma configuração como é mostrada na Figura 15.

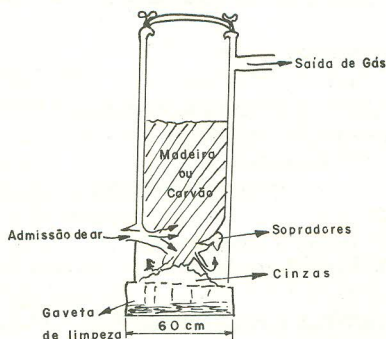


FIG. 15. Esquema de gasogênio para automóveis – 2,5 kg de lenha rendem o equivalente a 1 litro de petróleo.

O mais aperfeiçoado desenvolvimento feito até o momento, a partir do dispositivo básico, permite a produção de gás e carvão vegetal.

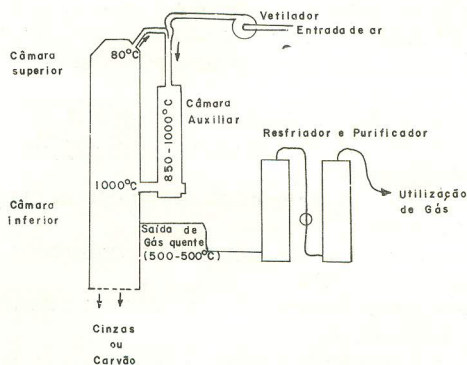


FIG. 16. Esquema do gasogênio Delacotte. As duas fases do processo são bem separadas: a pirólise se processa na câmara superior e a gasificação, na câmara inferior. Transformando a matéria-prima seca em gás frio e purificado, o sistema tem um rendimento de 65 a 75%. Utilizando-se o gás em um motor, cujo rendimento é da ordem de 35%, obtém-se um rendimento global de 25%. A matéria-prima teria um rendimento de 30 a 35%, se utilizada diretamente em caldeira para produção de eletricidade.

Outro desenvolvimento significativo é mostrado na Figura 17. Permite a formação de carvão a partir de palhas, cascas, ou outros materiais leves. O carvão é em seguida prensado, a fim de se obterem briquetes.

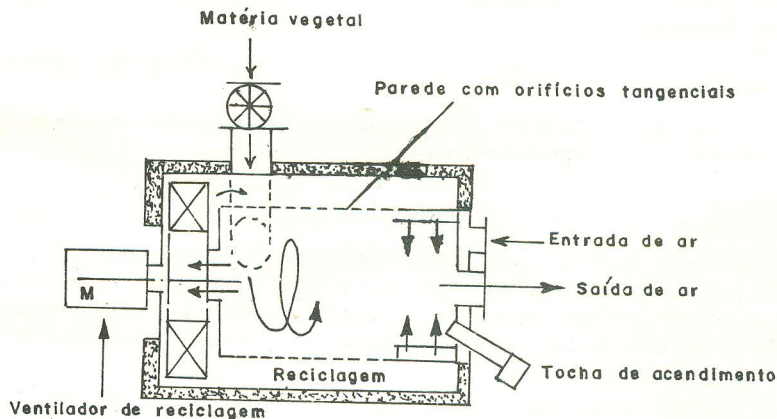


FIG. 17. Esquema do gasogênio "em suspensão".

Durante o processo de formação de carvão desprendem-se gases combustíveis (gás pobre) em quantidade suficiente para acionar motores que, por sua vez, fornecem a energia mais que suficiente para o processo de briquetagem. Existem já disponíveis os dispositivos que permitem este aproveitamento.

Os açúcares, presentes em algumas plantas cultivadas, podem ser transformados em álcool por fermentação, processo esse largamente empregado na indústria alimentícia e de refrigerantes. Por outro lado, a parte amilácea das plantas pode também ser transformada em álcool etílico, por meio de uma ação enzimática intermediária que produz os açúcares.

Os resíduos orgânicos contêm, em geral, pouco açúcar ou amido. Para transformar moléculas de linhite ou celulose em açúcar, é preciso realizar a hidrólise, o que pode ser conseguido por dois processos:

- a) a hidrólise ácida, com ou sem aquecimento (obtem-se em glicose cerca de metade do peso em celulose),
- b) a transformação enzimática, que tem melhor rendimento, pois transforma em glicose a totalidade de celulose.

O processo continua com a fermentação do açúcar e a destilação do álcool, deixando um resíduo, principalmente de linhite.

Recentemente foram feitos ensaios com a hidrólise ácida de palhas, com rendimento de 24%, o que deixa campo para melhoramentos consideráveis.

A obtenção de álcool a partir de plantas ricas em açúcar ou em amido é a mais usada. O processo é conhecido e sem dificuldades teóricas, embora, na prática, as instalações pioneiras em desenvolvimento (micro-usina) encontrem algumas dificuldades.

De qualquer maneira, o investimento necessário não está ao alcance do agricultor médio, a não ser através de financiamentos especiais.

Para pequenas quantidades de álcool, o velho processo do alambique pode resolver o problema, embora energeticamente não seja rentável, a não ser que se utilize a energia disponível (eólica, hídrica, solar e biogás), que de outra maneira seria perdida.

2. APROVEITAMENTO A NÍVEL DE PROPRIEDADE

O aproveitamento do potencial energético existente a nível de exploração agrícola pode ser resumido da seguinte maneira:

2.1. Lenha e carvão

A tendência mundial é para a diminuição e quase desaparecimento do emprego de madeira como fonte direta de energia, uma vez que o seu valor torna-se mais interessante para outros fins, que não a queima. Também no Brasil a tendência é para uma diminuição progressiva, embora se preveja que o total absoluto ainda aumentará durante alguns anos (Figuras 1 e 2).

2.2. Coletor solar

O aproveitamento direto da energia solar como fonte de calor é das mais promissoras, principalmente nas regiões tropicais. A sua captação é simples e barata, perfeitamente ao alcance do agricultor médio.

Aproveitando-se, por exemplo, telhas de fibro-cimento como caixa quente, o investimento total em materiais é da ordem de Cr\$ 6.000,00 por metro quadrado

(US\$ 46) de coletor, com capacidade para aquecer 200 litros de água a 45°C, depois de 3 a 4 horas de sol (temperatura ao sol, aproximadamente, 36°C; temperatura à sombra, 28°C).

Mais simples ainda e um pouco mais barato é o sistema da caixa de madeira forrada de plástico negro, que pode aquecer uma caixa de água doméstica, desde que esta esteja colocada em nível inferior (Figura 3).

Nestes dois sistemas não é interessante fazer unidades maiores do que 1,5 m², devido à necessidade de se usar vidro de cobertura muito mais espesso e caro, se as dimensões ultrapassarem cerca de 1,2 m de vão.

Os coletores podem ser usados para aquecer outros dispositivos, como, por exemplo, biodigestores, secadores (Figura 7), pré-aquecimento de alambique, etc. Para dar idéia da escala de grandeza, um biodigestor de 30 m³ pode ser aquecido e mantido a cerca de 35°C por um coletor de 7 m², custando cerca de Cr\$ 42.000,00 (US\$ 320) e sem gastos operacionais.

A temperatura obtida pode ser mais elevada do que os mencionados 45°C. Em experiências feitas no CPAC, têm sido obtidas regularmente temperaturas de 65°C. Para isso basta diminuir a quantidade de água.

Se for necessário obter temperaturas mais elevadas, a solução é o concentrador solar, mais caro e mais complicado (Figura 6).

A montagem de um coletor solar de baixo custo é objeto do Comunicado Técnico nº 14 do CPAC, maio/1981.

2.3. Rodas de água

São dispositivos fáceis em si mesmos, que precisam apenas de uma quantidade regular de água. Para se obter uma vazão mais ou menos constante, há necessidade de se fazer pequena barragem ou açude, o que constitui o custo mais importante de um pequeno aproveitamento hídrico.

Qualquer pequeno córrego tem mais de 100 litros/segundo de vazão, mesmo durante a época seca. Para dar uma idéia da potência aproveitável em tais condições, supondo-se um desnível de 5 m:

$$P = 9,8 \times Q \times H$$

$$P = 9,8 \times 0,1 \times 5$$

$$P = 4,90 \text{ KW} = 6,4 \text{ HP}$$

Com a eficiência média de 0,6:

$$4,9 \times 0,6 = 2,94 \text{ KW (com 5 metros de desnível)}.$$

Como regra prática e para cálculos imediatos, uma vazão de 1 m³/s, com desnível de 1 m, dá uma potência de cerca de 6 Kw.

Parece conveniente lembrar que, nas rodas de água, é mais importante o peso da água que a sua velocidade. Se, em determinado aproveitamento, se dispõe de um desnível de, por exemplo, 10 metros entre a sãda da barragem e o ponto de descarga, o rendimento é máximo se o diâmetro da roda de água for tão próximo quanto possível dos mesmos 10 metros, descontada a diferença de nível indispensável para fazer escorrer a água no canal disponível.

Tanto nas rodas de água de entrada superior como inferior, a parte de baixo da roda deve ficar o quanto possível fora da água, sem o que a eficiência baixará consideravelmente. Esta eficiência é aproximadamente a mesma para os dois tipos (Tabela 5).

A instalação é mais fácil para uma roda de entrada superior, devido às pequenas tolerâncias necessárias entre o canal e a roda de entrada inferior, sem as quais a água escapa sem efeito.

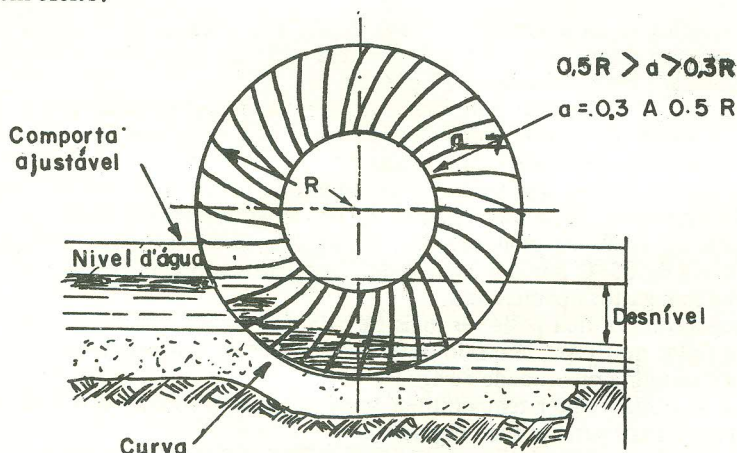


FIG. 18. Roda de água inferior. O desnível mínimo é igual a $1/4$ do diâmetro da roda, mas, se for maior, aumenta a eficiência. As caçambas devem ir até 0,3 a 0,5 do raio. O intervalo entre a periferia da roda e a curva de concreto deve ser a menor possível.

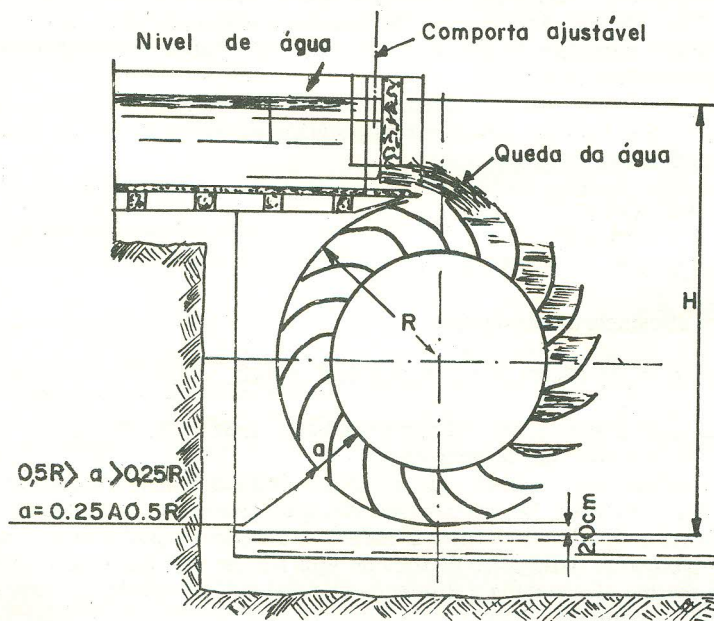


FIG. 19. Roda de água superior. As caçambas podem ir até metade do raio da roda, mas, quanto menos fundas forem, melhor (para a mesma quantidade de água e o mesmo raio). O nível de descarga da água deve ficar pelo menos a 20 cm abaixo da roda.

Exemplos de açudes

Entende-se aqui por açude uma estrutura destinada a elevar o nível de água no máximo a 2 metros, e que, depois de instalada, fica normalmente submersa. Com esta estrutura não se pretende armazenar um volume apreciável de água, mas apenas garantir um nível mínimo na corrente de água. Este mínimo é o nível da entrada do canal que levará a água à roda ou turbina.

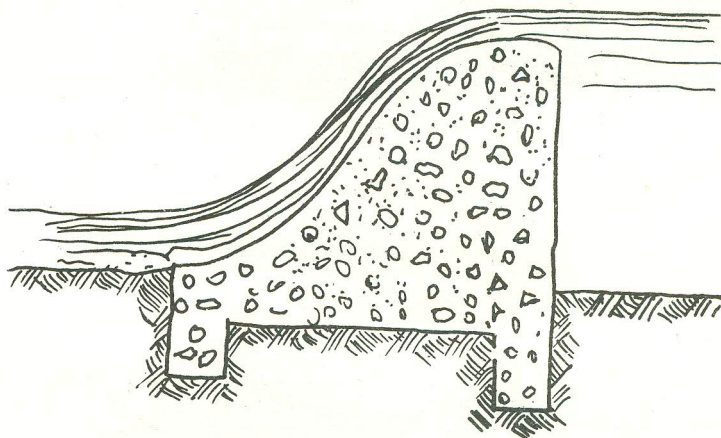


FIG. 20. Açude de Concreto. Para alturas superiores a 2 metros é conveniente consultar um especialista. A largura da base deve ser 1,5 vezes a altura, bem ancorada em terreno compactável, o que evita infiltrações e deslocamentos.

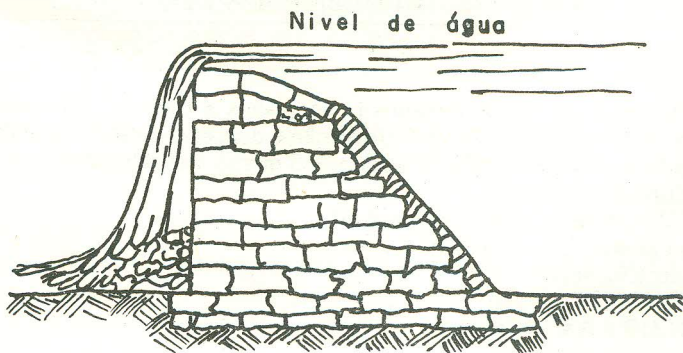


FIG. 21. Açude de Pedra. Alvenaria de pedra grosseira e cimento nos intervalos. A largura da base deve ter a mesma medida da altura.

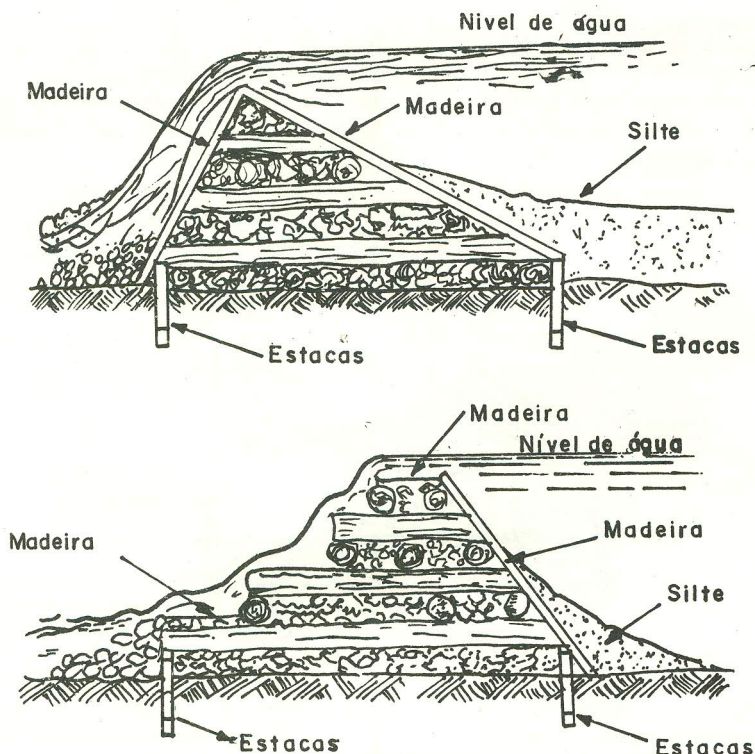


FIG. 22. Açude de madeira com forro e sem forro a jusante. Usar madeira que não apodreça com a imersão em água. As estacas devem ser cravadas em toda a largura do curso de água, à maior profundidade possível, de modo a servir como parede de retenção de água. Devem ser utilizadas pranchas de, pelo menos, 5 cm x 15 cm. Os intervalos entre os troncos devem ser cheios com argila compactada ou outro material impermeável.

2.4. Moinho de vento

Existem no mercado vários modelos já acoplados a bombas. Foi mencionada aqui a importância da velocidade do vento, mas não é demais insistir neste ponto. Quase sempre, quando a velocidade média é inferior a 5 m/seg, a instalação se torna menos econômica. A título de exemplos:

- velocidade média do vento 5 m/s e 8 m/s,
- área do moinho 7,07 m² (diâmetro 3 m),
- aplicando a fórmula:

$$W = 0,01319 \times A \times V^3$$

- a) $V = 5 \text{ m/s} = 18 \text{ km/h}$
 $W = 543,9 \text{ Watts};$
- b) $V = 8 \text{ m/s} = 28,8 \text{ km/h}$
 $W = 2.227,6 \text{ Watts}.$

As potências acima calculadas são teóricas e devem ser ajustadas aos rendimentos dos vários tipos de moinhos:

$$\begin{array}{ll} \text{a) } V = 5 \text{ m/s} & \text{b) } V = 8 \text{ m/s} \\ W = 543,9 \text{ Watts} & W = 2.227,6 \text{ Watts} \end{array}$$

Hélice rápida	45%	244,8 Watts	1.002,4 Watts
Rotor Darrieus	32%	174,0 Watts	712,8 Watts
Rotor Multipás	30%	163,2 Watts	668,3 Watts
Rotor Savonnius	16%	87,0 Watts	356,4 Watts

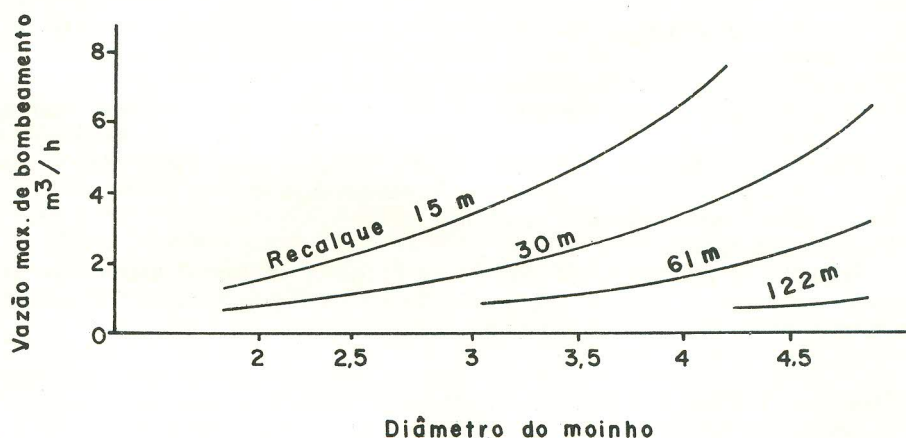


FIG. 23. Vazões - tipo de bombeamento para moinhos com um rendimento total de 10%, a uma velocidade do vento de 24 kh/h - 6,7 m/s.

É conveniente ter presente que qualquer moinho precisa de uma velocidade mínima de vento de 10 km/h (2,8 m/seg) para poder funcionar (8).

2.5. Biodigestor

Para as condições geralmente encontradas no Brasil, o biodigestor parece ser uma das alternativas mais válidas e factíveis, já que existe abundância de matéria orgânica (palhas, pasto verde, esterco, etc.) e temperaturas médias favoráveis ao processo metanogénico.

Mesmo aceitando rendimentos inferiores aos que são facilmente atingíveis, a utilização de pastos verdes ou plantas aquáticas, as que fornecem maior volume de massa por hectare, pode resolver o problema de combustível numa exploração agrícola de tamanho médio (Tabela 6).

TABELA 6. Rendimento por hectare (quilos de matéria seca) ao ano (6 e 7):

andropógon	30.000 kg
jaraguá	30.000 kg
braquiária	15.000 kg
colonião	30.000 kg
baronesa (aquática)	200.000 kg

Aceitando-se o rendimento de 300 litros de biogás por quilo de matéria seca (podem-se obter, sem maiores dificuldades, 500 l/kg), o biogás produzido por hectare/ano seria:

- andropógon, jaraguá, colonião $30.000 \times 0,3 = 9.000 \text{ m}^3$;
- baronesa $200.000 \times 0,3 = 60.000 \text{ m}^3$.

Convertendo o equivalente calórico em gasolina:

- andropógon, jaraguá, colonião $9.000 \times 0,6 = 5.400 \text{ l/ano/ha}$;
- baronesa $60.000 \times 0,6 = 36.000 \text{ l/ano/ha}$.

Para poder se conseguir a digestão das quantidades de matéria seca acima indicadas, seria necessário instalar biodigestores das seguintes capacidades:

- para andropógon, jaraguá, colonião 40 m^3 ;
- para baronesa 267 m^3 .

Seguindo os sistemas tradicionais de biodigestores (indiano e chinês), com um custo de cerca de Cr\$ 8.000,00 por metro cúbico (US\$ 70), os investimentos necessários seriam:

$$40 \times 8.000,00 = \text{Cr\$ } 320.000,00$$

$$267 \times 8.000,00 = \text{Cr\$ } 2.136.000,00$$

Considerando as necessidades de gás para a casa familiar média rural, composta por seis pessoas, podem-se indicar os seguintes números:

- cozinhar $240 \times 6 = 1.440 \text{ l/dia}$;
- iluminar $120 \times 3 \times 3 = 1.080 \text{ l/dia}$;
- água p/ banho 1.000 l/dia ;
- Total 3.520 l/dia .

Esta quantidade de gás por dia pode, em princípio, ser obtida com um digestor de cerca de 4 m^3 , alimentado diariamente com cerca de 130 kg de mistura (17 kg de matéria seca e 113 litros de água). Na hipótese de a alimentação do digestor ser feita com esterco fresco, deveriam ser introduzidos 60 kg de esterco e 70 litros de água.

Para instalações familiares, o sistema chinês tem o inconveniente sério da sua pequena disponibilidade de gás, pois sai apenas a quantidade que estiver provocando pressão acima da atmosférica, e da variação de pressão. Um pequeno biodigestor desse tipo, com uma capacidade de 3 m^3 no gasômetro, só poderá fornecer, em geral, 150 litros de gás de cada vez e, assim mesmo, com variações de pressão, que tornam muito difícil a sua utilização em queimadores, lampiões, etc.

Um biodigestor com capacidade de fornecer 3 m³ de gás de maneira contínua (sistema indiano) exigiria um investimento inicial de:

$$4 \times 8.000,00 + 20.000,00 = \text{Cr\$ } 52.000,00.$$

Com esse investimento inicial seria possível construir um biodigestor tipo chinês com capacidade para 7,7 m³, que forneceria um máximo de 250 litros de gás de maneira contínua.

2.6. Gasogênios

Existem no mercado vários fabricantes de gasogênios com modelos adaptados, principalmente, a motores fixos de regime constante. O inconveniente desses dispositivos, quando montados em veículos, é a sua incapacidade de variação no volume de gás produzido. Adaptando-se um gasogênio tipo DELACOTTE (Figura 16) a um veículo, este inconveniente é parcialmente solucionado, permitindo uma certa margem de variação no volume de gás produzido, embora a reação não seja tão rápida como seria desejável.

Os maiores inconvenientes do uso dos gasogênios são a qualidade do gás (mais de 50% de azoto), a presença de cinzas e alcatrões e a temperatura muito elevada à saída do gerador. A utilização direta de lenha como matéria-prima é inconveniente, devido à produção de alcatrão, que danifica seriamente os motores. Usando-se carvão vegetal, os inconvenientes são menores. Melhor ainda é usar briquetes como matéria-prima, embora não solucione todos os problemas.

A pesquisa sobre gasogênios tenta resolver o problema da alta percentagem de azoto (com o que o gás ganhará maior poder calórico) e a eliminação dos alcatrões e das altas temperaturas, sem sobrecarregar o sistema com filtros e radiadores.

Em explorações agrícolas, onde exista disponibilidade de carvão (melhor ainda briquetes), o custo desembolsado em combustível — gasogênio versus gasolina — é favorável ao gasogênio na relação de 8 a 10 para 1, dependendo do motor (2). Qualquer motor de combustão interna pode usar gás pobre como combustível. A taxa de compressão indicada para o motor a gás pobre é de cerca de 12:1.

2.7 Alcool

As mini e micro-usinas de álcool estão disponíveis no mercado. Ao mesmo tempo, o uso de álcool de produção própria foi liberado para frotas de veículos empregadas nas propriedades agrícolas. As últimas análises de custos indicam que, em frotas de propriedades agrícolas, o emprego de produção própria de álcool é economicamente viável.

As mini-usinas atualmente em experiência mostram resultados favoráveis, embora a escala ainda seja demasiado grande para o agricultor normal. No entanto, quando o investimento e a produção são divididas entre vários produtores interessados, o emprego do álcool de produção própria se torna mais interessante. As menores usinas dão uma produção horária de 50 litros de álcool a partir de uma tonelada de sorgo sacarino ou de 730 kg de cana-de-açúcar.

TABELA 5. Características das rodas de água e de alguns tipos de turbinas hidráulicas (1).

		Desnível de descarga	Rpm	Rendimento	Potência Kw	Cap. de adaptação a mudanças de Vazão Pressão		Nível técnico da instalação
Rodas de água								
Alimentação superior	30-1.000	3-10	2-12	50-80	1-10	boa	—	baixo
Alimentação inferior	300-3.000	0,5-3	2-12	40-75	1-10	boa	—	baixo
Turbinas hidráulicas (só para pequenas cen- trais)								
Pelton	30-500	50-1.000	500-1.000	82-85	40-400	boa	boa	médio
Mitchell (Banki)	100-3.000	3-50	100-400	80-84	30-700	boa	boa	médio
Francis	50-5.000	10-200	250-1.000	82-90	100-1.000	média	med/ocre	alto
Kaplan	1.000-15.000	2-20	200-500	80-90	20-1.000	média	média	alto

TABELA 7. Potência fornecida por animais de tração em trabalho de aração e preparo de solo (trabalho prolongado) (8).

	Peso	Tração média kg	Velocidade km/h	Potência HP Kw
Cavalo	400-700	75/100	3,6	1 - 0,75
Vaca	400-600	50	2,5	0,45 - 0,34
Búfalo	400-900	70	3,0	0,75 - 0,56
Mula	350-500	55	3,5	0,70 - 0,52
Burro	200-300	40	2,5	0,35 - 0,26
Par zebu	1.300	160	1,8	1,07 - 0,80

**TABELA 8. Energia necessária para a fabricação e funcionamento das máquinas agrícolas – 1972 a 1985 (estimado).
Equivalente em diesel – Milhões de m³ (3).**

	Fabricação		Funcionamento		Total		Porcentagem	
	1972	1985	1972	1985	1972	1985	1972	1985
Países desenvolvidos	25,839	29,214	51,138	61,371	76,977	90,585	73,4	52,4
América do Norte	11,580	12,770	23,490	25,758	35,073	38,529	33,4	26,4
Europa Ocidental	12,366	14,013	23,733	30,699	36,099	44,712	34,4	30,8
Oceania	945	1,134	1,755	2,133	2,700	3,267	2,6	2,2
Outros	945	1,296	2,160	2,781	3,105	4,077	3,0	2,8
Países em desenvolvimento	2,673	6,858	4,266	11,232	6,939	18,090	6,6	12,5
África	297	729	513	1,242	810	1,971	0,8	1,4
América Latina	1,512	3,456	2,484	5,967	3,996	9,423	3,8	6,5
Próximo Oriente	567	1,836	783	2,673	1,350	4,509	1,3	3,1
Extremo Oriente	297	837	486	1,350	783	2,187	0,7	1,5
Países de Economia Centralizada	6,696	11,907	14,310	24,516	21,006	36,423	20,0	25,1
Ásia	405	1,107	675	1,809	1,080	2,916	1,0	2,0
Europa Oriental e Rússia	6,291	10,800	13,635	22,707	19,926	33,507	19,0	23,1
Total mundial	35,208	47,979	69,714	97,119	104,922	145,098	160	100

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. National energy balance. Brasília, 1978. 103p.
2. BRASIL. Ministério dos Transportes. **Frota nacional de tratores no período de 1955-79** (no prelo).
3. FAO. Roma. **La situation mondiale de l'alimentation e de l'agriculture 1977**. Roma, 1978.
4. GIRARDIER, J.P. Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage d'eau en zones arides. Melbourne, Austrália, s.ed, s d.
5. MEINEL, A.B. & MEINEL, M.P. Applied solar energy: on introduction Reading, Mass., ADDISON-WESLEY, 1976. 651p.
6. OTERO, J.R. **Informação sobre plantas forrageiras**. Brasília, Ministério da Agricultura, 1961. (Brasil, Ministério da Agricultura. Série didática, 11).
7. SILVA, P.C.M. et alii. **Projeto baronesa**. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa Marinha, 1978. 6p.
8. STÓUT, B.A. **Énergie et agriculture**. Roma, FAO, 1980. (FAO. Agriculture, 7) p. 23.