

SOLUÇÃO BRASILEIRA

Etanol, o melhor dos BIOCOMBUSTÍVEIS

Com o etanol de cana, o Brasil tem nas mãos um grande potencial de produção de um combustível limpo renovável, que combate o aquecimento global e promove o desenvolvimento

Por Rogério Cezar de Cerqueira Leite

Quando o “Programa Nacional do Alcool” (Pró-Alcool) foi lançado, em 1975, seu único objetivo era a redução da dependência nacional em relação ao petróleo importado. Naquela época não havia ainda a percepção da importância da emissão de CO₂ durante a queima de combustíveis fósseis para o bem-estar da humanidade. Embora cientistas já viessem alertando o público e governos quanto às consequências do aumento da densidade de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, nenhum país adotara até então qualquer medida restritiva.

Além disso, apesar dos aumentos sucessivos do preço internacional do petróleo, o etanol não era economicamente competitivo, exigindo subsídios para sua penetração no mercado nacional.

O cenário hoje é completamente diverso. O Brasil se tornou, embora talvez provisoriamente e com significativa contribuição do etanol, autônomo quanto aos combustíveis líquidos. Além do mais, devido, por um lado, à impressionante redução dos custos de produção do etanol (cerca de 70%), concomitantemente com o aumento do preço internacional do petróleo, esse biocombustível se tornou altamente competitivo em relação à gasolina, tanto no mercado interno quanto no externo. Bastaria esta condição para que se tornasse inevitável a expansão da produção do etanol. Aliás, foram esses dois fatores – redução dos custos de produção e aumento dos preços internacionais do petróleo – que mobilizaram sozinho os inúmeros novos empreendimentos nestes dois últimos anos. As cerca de 360 usinas existentes deverão, em breve, ser adicionadas outras 120, sendo metade de ampliações e o restante de novas destilarias.

No entanto, já está em gestação uma transformação nas motivações da demanda de combustíveis, cujo elemento decisivo será a sustentabilidade. E, sob esse aspecto, o fator preponderante será a emissão de gases de efeito estufa. Outra questão importante é a crescente convicção de que o pico da produção de petróleo deverá ocorrer dentro de 10 a 20 anos, e que a partir daí não será mais capaz de atender à demanda.

O que veremos, portanto, é a demanda futura e a produção ser mediada inicialmente por imposições relativas à sustentabilidade. No entanto em uma segunda etapa será determinada pelo início do declínio da produção de petróleo, e tais exigências serão neutralizadas, pelo menos parcialmente, pela necessidade de outras formas de energia. Esse período inicial de alerta ambiental está sendo gerado no exterior em uma certa medida por interesses protecionistas, mas também encerra legítimas preocupações com o porvir da humanidade, e deve ser aproveitado como uma oportunidade concreta para alcançar níveis adequados de qualidade de produção e de sustentabilidade.

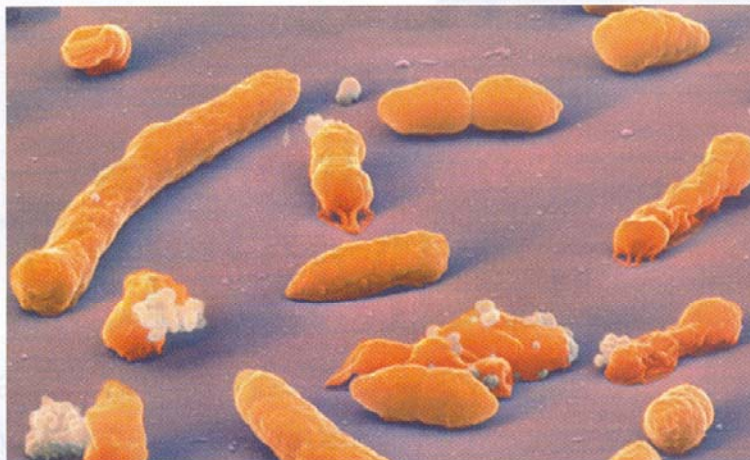
Modelos Retêm Gases

SE O COMBATE AO AQUECIMENTO global será a tônica dominante nos próximos anos, é fundamental a compreensão do potencial do etanol para este propósito.

Há três formas básicas de combate ao efeito estufa. A primeira é o sequestro e contenção de dióxido de carbono (CO₂), e de outros GEEs. Há dois roteiros tecnológicos distintos possíveis. O primeiro consiste na captação dos GEEs, principalmente CO₂, na atmosfera e subsequente armazenamento ou fixação como matéria

densa – o que não parece economicamente viável até agora. O segundo esquema, com a captação do CO₂ no local de sua emissão, tem algum potencial, pelo menos para aplicação em usinas que apresentam emissões com grande densidade. Vários esquemas de contenção estão sendo testados, tais como armazenamento em poços extintos de petróleo, em grutas e outras anomalias geológicas, dissolução em aquíferos salinos etc. Para todos esses esquemas, entretanto, existem custos energéticos e financeiros imprevisíveis, pois dependerão da distância entre a usina e os locais de contenção e dos meios possíveis de transporte do gás. Certamente algumas configurações se tornarão economicamente viáveis em médio e longo prazos. No entanto, a menos que ocorra alguma descoberta científica revolucionária, a captação de CO₂ em veículos não parece ser facilmente praticável, mesmo em longo prazo, e este é o setor responsável pela maior parte do consumo de petróleo.

Nossa segunda proposta, a conservação, é certamente uma opção altamente conveniente. Melhor que captar CO₂ e outros gases de efeito estufa seria não emitilos. Essa solução não é viável em grande escala dentro das condições dinâmicas da sociedade atual. Mas é possível, certamente em medida parcial. Consideremos os meios de transporte disponíveis para o cidadão, a bicicleta, o coletivo (metrô, ônibus, trem etc.), o carro pessoal, o veículo de tração nas quatro rodas etc. Essas opções estão em ordem do dispêndio de energia. Assim, se o cidadão deixa o carro em casa e toma o metrô para ir ao trabalho, ou melhor ainda, a bicicleta, estará contribuindo decisivamente para o combate ao efeito estufa. E lembremos que são quase 1 bilhão



BACTÉRIA *KLEBSIELLA OXYTOCA*, utilizada para fermentar o açúcar da cana na produção do etanol, vista sob microscópio eletrônico de varredura SEM

de carros de passeio em todo o mundo. Se, por outro lado, o cidadão prefere um carro pessoal, estará contribuindo culposamente para o aquecimento global. Há uma infinidade de esquemas simples e complexos, baratos e caros para economizar energia que, embora financeiramente atraentes, não são adotados em medida satisfatória. E a razão é de ordem cultural. Ainda não estamos convencidos de que “tostão a tostão, se faz um milhão”.

A terceira proposta é a substituição por combustível alternativo renovável. Em princípio, qualquer forma de energia pode ser convertida em outra. No entanto, haverá perdas energéticas e custos financeiros apreciáveis, por vezes impeditivos. Consideremos, por exemplo, a recente proposta de Mark Z. Jacobson, da prestigiada Stanford University, nos Estados Unidos:

para evitar o que acreditam ser um nível de poluição excessivo devido à formação de ozônio (derivado terciário da combustão do etanol em motores do ciclo Otto), propõem substituir os derivados de petróleo por eletricidade de origem eólica nos EUA. De fato, do ponto de vista puramente conservacionista, seria uma solução ideal. No entanto, devido ao baixo valor do fator de utilização (~0,2), em consequência da inconstância de direção e de intensidade do vento, seria necessário um acréscimo de 2,5 bilhões de RW instalados, o que exigiria investimentos de aproximadamente 5 trilhões de dólares americanos, além dos elevados gastos com infra-estrutura, meios de produção e reformulação da frota, o que consumiria toda a capacidade de investimentos dos Estados Unidos até 2020, data considerada na proposta em causa.

Enquanto isso, para superar a questão da produção de ozônio formado durante a combustão do etanol, bastaria a inclusão de catalisadores adequados, como já se faz com a gasolina com a mesma finalidade e com custos pouco significativos. Além do mais, o potencial eólico dos Estados Unidos seria certamente insuficiente. Para a opção núcleo-elétrica a transição seria um pouco menos dispendiosa, mas outros fatores desfavoráveis interviriam, principalmente a disposição do lixo nuclear.

Os sonhadores que insistem em carros movidos a energia solar fotovoltaica

Resumo/*Cana Superprodutiva*

- O etanol se tornou altamente competitivo em relação à gasolina, graças à impressionante redução dos custos de sua produção e ao aumento do preço internacional do petróleo. No futuro, sua demanda será guiada pela sua sustentabilidade e pela insuficiência da produção de petróleo.
- O etanol de cana-de-açúcar é muito mais vantajoso porque a quantidade de biomassa e biocombustível produzida por unidade de área é superior à de qualquer outro vegetal, assim como seu balanço energético.
- No futuro será possível converter também a fibra da cana em etanol, por meio de hidrólise, aumentando a produção do combustível e aproveitando o bagaço e a palha.

A demanda por ALTERNATIVAS energéticas menos agressivas será determinada pelo declínio da PRODUÇÃO DO PETRÓLEO

deverão continuar sonhando, pois a densidade da radiação é insuficiente. Basta um pequeno cálculo: para acumular energia equivalente àquela contida em 1 litro de álcool, um painel de 1 m² de fotocélulas de silício precisaria ficar exposto ao sol por um mês, e isto se não houvesse muita chuva ou nuvens. Ou seja, para um carro de dimensões médias reais, o cidadão só poderia ir ao trabalho uma vez por mês, e isto se o seu emprego não fosse muito longe; a 5 km, talvez 10 km de distância.

Portanto, os únicos energéticos limpos capazes de substituir adequadamente os derivados de petróleo são os obtidos a partir de biomassa. E isso acontece porque a biomassa seca contém aproximadamente metade da quantidade de energia contida na mesma massa de petróleo.

A Biomassa

A FOTOSÍNTESE é o processo pelo qual plantas e microorganismos acumulam energia a partir da radiação solar. A vida, pelo menos da maneira que a conhecemos, depende essencialmente da fotossíntese. Os seres vivos capazes de aproveitar a luz para acumular massa o fazem por um processo físico e químico complexo que fixa o carbono roubando-o do seu óxido, seqüestrando-o da atmosfera e, assim, contribuindo para a redução do efeito estufa. Quando a planta morre, ou quando a queimamos ou utilizamos como combustível, o dióxido de carbono é restituído para a atmosfera, mantendo assim o equilíbrio. Florestas permanentes são estoques de energia e também potenciais de aumento do efeito estufa. A contribuição para o aquecimento global que ocorreria com a queima de toda a floresta amazônica seria equivalente àquela devida a todo o petróleo já usado, somado àquele que se estima como remanescente hoje.

Há vários combustíveis possíveis derivados de biomassa. Desse ponto de vista estrito temos três categorias fundamentais. A primeira compreende as plantas lignocelulósicas, que podem

PROPOSTAS PARA UMA PRODUÇÃO BEM-SUCEDIDA DE ETANOL

Na sessão de abertura do XV Congresso Europeu de Biomassa, realizado na segunda semana de maio de 2007, S. Singer, diretor e porta-voz da Worldwatch Foundation (WWF), a maior e mais prestigiosa organização do mundo dedicada à conservação do meio ambiente, expôs uma análise dos programas atuais relativos à produção de energia a partir de biomassa. Seu veredicto foi claro: "O único programa amigavelmente sustentável do mundo é o do etanol brasileiro".

Infelizmente este fato não é consequência de uma verdadeira consciência ecológica no Brasil, mas advém das propriedades especiais que caracterizam a cana-de-açúcar. Em primeiro lugar a altíssima produtividade, tanto aquela referente à fitomassa bruta quanto a de energia contida no biocombustível produzido. Não menos importante é a utilização do bagaço para produção de vapor de processo e de eletricidade. Outro fator positivo é o hoje universalmente adotado aproveitamento do vinhoto (resíduo líquido do processo de produção de açúcar e do álcool) como fertilizante, o que reduz gastos energéticos com a produção desse insumo.

Há pouco mais de dois anos, iniciou-se no Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da Unicamp um estudo visando a expansão da produção do álcool no Brasil de maneira a substituir 10% da gasolina no mundo em 2025, ou seja, uma produção anual de 200 bilhões de litros.

O crescente mercado do etanol

Normas e legislações da grande maioria dos países já prevêem uma substituição em tomo de 10% para datas anteriores a 2025. A convicção crescente de que anomalias climáticas deverão aumentar em intensidade e em frequência exercerá pressões incontornáveis para substituir fósseis por renováveis. E, enfim, o fato inquestionável de que a produção de petróleo e de gás natural vai, a primeira em uma década e a segunda em duas, ultrapassar seu momento de apogeu, isto é, vai declinar.

Terras para os canaviais

Excluindo todas as áreas, protegidas ou não, cobertas por mata, ou que fossem consideradas ecologicamente frágeis, excluindo ainda todas as áreas com declive inadequado para agricultura mecanizada e também aquelas que estão sendo utilizadas para agricultura, seja ela para a produção de alimento ou não, foi avaliado todo o território nacional quanto ao potencial de produtividade da cana-de-açúcar. Levando-se em consideração qualidade de solo, pluviosidade, declividade, foram identificados quanto à produtividade (alta, boa, média), sem irrigação e com irrigação, aproximadamente 300 milhões de hectares, principalmente nas regiões do Centro-Oeste (60%) e do Nordeste (40%). Para a expansão proposta, dentro dos limites da atual tecnologia, seriam necessários menos de 10% da área disponível.

Produtores juntos e sustentáveis

Custos de escoamento da produção podem se tornar proibitivos. Analisadas todas as possibilidades, foram selecionadas duas opções que aumentam a competitividade do etanol brasileiro expressivamente: a concentração da produção em "clusters" e o transporte por alcooldutos. O cluster (15 usinas em média) permite a otimização da logística. Estas agregações de usinas são, por sua vez, combinadas em áreas. O cluster congrega uma população de 200 mil habitantes, o que torna viável uma série de aparelhos de interesse social, tais como hospitais, escolas, centros de lazer etc.

Todas as opções do programa visavam a sustentabilidade. As tecnologias de cogeração, de aproveitamento integral do bagaço e da vinhaça, e escoamento da produção por alcooldutos são todas conservadoras de energia.

As consequências econômicas da expansão proposta foram estudadas com auxílio de uma técnica matemática, matriz insumo-produto, e foram avaliadas as consequências para 40 setores da economia nacional para cada região afetada.

Em uma segunda fase foi analisada a inserção progressiva em destilarias existentes do etanol de 2ª geração, ou seja, o etanol produzido a partir de materiais lignocelulósicos, no caso o bagaço e a palha.

Esse projeto é complementado por outro estudo, sob a mesma coordenação, que versa sobre a tecnologia de hidrólise enzimática, o mais promissor dos processos de produção do etanol de segunda geração. Conta com 120 pesquisadores em 15 universidades brasileiras, quatro institutos de pesquisa e com o apoio de empresas brasileiras de grande porte e de várias universidades no exterior.

Rogério Cezar de Cerqueira Leite

O BALANÇO ENERGÉTICO da cana é superior ao de qualquer outro VEGETAL

fornecer etanol, metanol e outros álcoois ou alternativamente, por um processo térmico, um gás – considerado pobre, pois tem poder calorífico intermediário. Na segunda estão as oleaginosas, plantas que, além de produzir materiais lignocelulósicos, também processam óleos. A terceira inclui as plantas que armazenam grandes quantidades de açúcar ou amido – facilmente transformados em etanol ou outro combustível por ação de microorganismos chamados fermentos. A fermentação é um processo natural que ocorre espontaneamente. Atualmente, em processos comerciais, o etanol é produzido de cana-de-açúcar, do milho, da beterraba e do sorgo, e experimentalmente de muitas outras frutas, tubérculos, cernes etc. Após a fermentação, o álcool é obtido com uma concentração de 10% a 14%, sendo necessária uma destilação fracionada.

O Etanol de Cana-de-açúcar

HÁ DUAS RAZÕES principais por que o álcool de cana-de-açúcar é muito superior a qualquer outro biocombustível. A primeira é a produtividade, ou seja: no caso da cana, a quantidade de biomassa produzida por unidade de área é significativamente

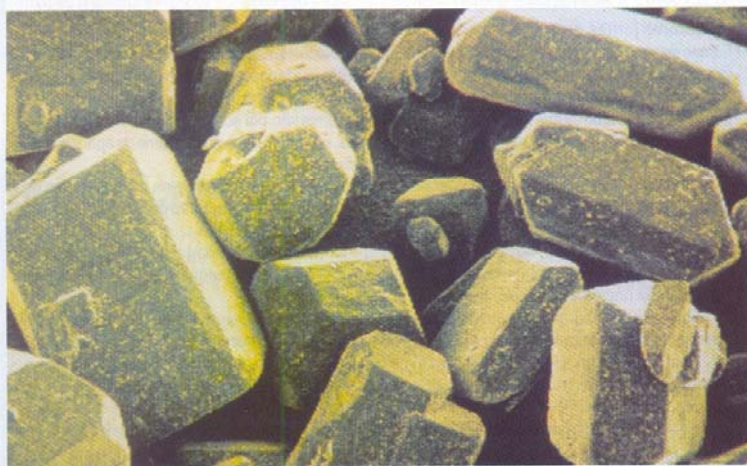
superior à de qualquer outro vegetal, seja ele ou não cultivado como biomassa energética. A quantidade de biocombustível produzida por unidade de área, dentro dos limites das tecnologias atuais, também é bastante superior à de qualquer outra cultura. Uma das conseqüências importantes dessa característica é a contribuição para o menor custo de produção, devido à menor extensão de terra necessária.

A segunda razão é o ciclo de vida (ou balanço energético): a razão entre a energia produzida e a energia total utilizada para produzi-la é muito maior para o álcool de cana do que para qualquer outro biocombustível. Embora ainda muito citado na literatura não-especializada, o valor de 3,1 a 3,9 é absurdo. Resultou de um trabalho que, dentre outros erros, adotou gastos de combustível fóssil (diesel) pelo menos dez vezes superiores ao real. O valor internacionalmente reconhecido hoje está entre 8,2 e 10,5. Em contraste está o álcool de milho, produzido nos Estados Unidos e responsável por mais de um terço do consumo mundial, que tem como ciclo de vida algo entre 1,0 e 1,4, de acordo com diferentes avaliações. A mais recente e possivelmente mais con-

fiável (de acordo com American Institute of Biological Sciences) é 1,1. Ou seja: obtêm-se apenas 10% a mais de energia na forma de álcool do que aquela que se consome como energia fóssil. Portanto, essa alternativa é praticamente insignificante para o combate ao efeito estufa. (Ver “Vale pensar no etanol a longo prazo?”, por Matthew L. Wald, SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL nº 61, junho de 2007). Sua utilidade é válida apenas no que diz respeito à poluição em centros urbanos densos, uma vez que o etanol será queimado nas grandes cidades, e não o fóssil. Também sob este aspecto, o álcool é muito menos poluente que os combustíveis fósseis.

Dessa maneira, a beterraba, utilizada na Europa, também é pouco recomendável, pois seu ciclo de vida é de aproximadamente 2. Com a exceção do óleo de palma, que tem para esse parâmetro um valor próximo a 5, as demais opções, tanto para a produção de biodiesel como para a de etanol, não superam a marca de 3 para o ciclo de vida, dentro dos limites das tecnologias atualmente em uso. Essa é uma das razões por que seus respectivos custos de produção ainda estão muito acima daqueles do etanol de cana.

No entanto, o desenvolvimento genético e os processos de produção de muitas das opções para o biodiesel ainda não passaram por um “aprendizado” – período em que tecnologias são ajustadas de maneira a reduzir os custos de produção, como já ocorreu com o etanol, tanto de cana, como de milho e de beterr-



CRISTAIS DE AÇÚCAR DE CANA (sucrose), vistos sob microscópio eletrônico de varredura SEM

O AUTOR

ROGÉRIO CEZAR DE CERQUEIRA LEITE, doutor em física, é professor emérito da Unicamp. Faz parte do grupo de trabalho sobre energia da União Internacional de Física Pura e Aplicada (Iupap) e é também presidente do Conselho de Administração da Associação Brasileira de Tecnologia de Luz Síncrotron (ABTLuS). É coordenador do Projeto Etanol do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (Nipe) da Unicamp.

raba. Também é o caso do biodiesel de soja, que já teve sua curva de aprendizagem percorrida e muito provavelmente não mais reduzirá satisfatoriamente seus custos de produção, devido principalmente aos valores de produtividade e ciclo de vida, extremamente baixos.

A Eficiência da Fotossíntese

É INTERESSANTE COMO especialistas em biomassa se contradizem ao avaliar a eficiência da fotossíntese. Alguns a dizem elevada e outros, muito baixa. É preciso levar em consideração o problema incontornável que a Natureza teve de enfrentar. Para captar, ou melhor, fixar um átomo de carbono é preciso uma quantidade de energia igual a 5,2 eV (eV é uma medida de energia igual a $1,60 \times 10^{-19}$ joules), enquanto uma ligação química entre dois átomos de carbono se rompe com 3,6 eV. Para crescer e acumular energia é necessário, portanto, contornar esse valor, pois o tecido de seres vivos só existe devido a ligações carbono-carbono. Além do mais, o espectro solar praticamente não dispõe de energias assim elevadas. À planta não resta alternativa senão usar vários fótons (partículas de luz): 8 ou 10 fótons são necessários para que ocorra a fotossíntese. Essa e outras razões fazem com que cientistas esperem uma eficiência fotoquímica muito menor que aquela realmente observada. Felizmente, Deus, o Deus de Teilhard de Chardin, não sabia física, pois tudo indica que esse parâmetro já alcança praticamente seu valor máximo possível, e que os processos quânticos intermediários são incrivelmente otimizados. A cana-de-açúcar é uma dádiva da Natureza para o homem.

Etanol de Segunda Geração

A FERMENTAÇÃO É O PROCESSO pelo qual microorganismos (fermentos) convertem açúcar ou amido em etanol. Parte considerável de um vegetal, entretanto, não é nem açúcar, nem amido, mas fibras, que não podem ser digeridas pelos fermentos tradicionais. Para a cana 2/3 de sua massa é fibra, biomassa não fermentável, e muitas plantas quase não detêm açúcar ou amido. Ou seja, 2/3 da biomassa no



COLHEITADEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR na região de Ribeirão Preto (SP). O Brasil dispõe de uma área adequada para essa cultura que não é ocupada por floresta, outros tipos de plantação ou qualquer hábitat protegido 100 vezes maior que a utilizada atualmente na produção de álcool

caso da cana não são aproveitados na conversão para etanol.

Entretanto, nas últimas duas ou três décadas, os especialistas vêm tentando desenvolver uma série de tecnologias denominadas “hidrólise”, que permitam converter a fibra (materiais lignocelulósicos) em etanol. Essas tecnologias possibilitariam um aumento, em princípio, de 200% na produção de etanol de cana, com a mesma área plantada, por meio do aproveitamento do bagaço e da palha. Também em princípio seria possível aproveitar qualquer cultura ou rejeito vegetal. Os Estados Unidos têm um projeto que pretende substituir 30% do seu consumo de gasolina por etanol derivado da hidrólise de refugo vegetal, atualmente considerado lixo.

No entanto, essas novas tecnologias muito provavelmente não estarão dis-

poníveis para uso comercial antes de dez anos. E embora possam aumentar a competitividade de outras culturas, certamente não serão suficientes para alcançar o rendimento da cana que também se beneficiará dessas inovações.

Além disso, o Brasil dispõe de uma área adequada para o cultivo de cana que não é ocupada por floresta, cultura agrícola ou qualquer hábitat protegido 100 vezes (300 milhões de hectares) maior que a usada atualmente para a produção de álcool (3 milhões de ha). Uma parcela foi ou é ocupada por pastagens extensivas. Portanto, o país pode prover a humanidade com um combustível limpo renovável para substituir combustíveis fósseis, contribuindo assim para o combate ao aquecimento global de maneira decisiva e tendo como benefício colateral o próprio desenvolvimento econômico. ■

PARA CONHECER MAIS

Pró-Álcool: A Única Alternativa para o Futuro. Rogério Cezar de Cerqueira Leite. Editora da Unicamp, 3ª Edição, 1990. Também disponível para download em www.inovacao.unicamp.br / www.inovacao.unicamp.br

Energia para o Brasil – Um Modelo de Sobrevivência. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, colaboração de Cylon Gonçalves da Silva. Editora Expressão e Cultura, 2002.

Poder dos Trópicos. J. W. Bautista Vidal e Gilberto Vasconcellos. Editora Casa Amarela, 1998.