

5

Uso de Resíduos Agrícolas para Fins Energéticos: o caso da palha de cana-de-açúcar

Luis A.B. Cortez¹
Sérgio V. Bajay²
Oscar Braunbeck¹

¹ Professor da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI - e Coordenador do Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - NIPE, UNICAMP

² Professor do Departamento de Energia da FEM e Coordenador do NIPE, UNICAMP

1. INTRODUÇÃO

Hoje, no Brasil, a produção de resíduos agrícolas e florestais é muito diversificada, dadas as dimensões do país e suas especificidades regionais. É praticamente impossível generalizar o uso energético dos resíduos produzidos, assim como suas características. Entende-se, aqui, como resíduos agrícolas e florestais aqueles oriundos da ação produtiva do homem, excluindo-se, portanto, os resíduos da exploração de florestas e outras vegetações nativas.

Uma outra consideração importante está ligada à escala de produção. Há culturas tradicionais e muito cultivadas no país, como o feijão, a mandioca e o milho, que embora gerem resíduos associados ao produto de interesse, não têm escala suficiente para justificar o aproveitamento econômico destes resíduos para finalidades energéticas. Justamente pelo seu caráter de policultura, eles têm, em geral, sua produção muito pulverizada em pequenas e médias propriedades, atendendo, na maior parte dos casos, a necessidades locais ou regionais.

As culturas comerciais mais importantes no país e com caráter de monocultura são: soja, cana-de-açúcar, arroz e eucalipto. A tabela 1 apresenta dados sobre a área plantada, a produção e a quantidade gerada de resíduos vegetais, por hectare e total, nas culturas de cana-de-açúcar, eucalipto, pinus e arroz, no Brasil.

Conforme se pode constatar

na tabela 1, a cultura que mais produz resíduos é a da cana-de-açúcar. Associado a este fato, tem-se que quase 70% da produção nacional está concentrada no interior do Estado de São Paulo, em uma região contida em um raio de aproximadamente 150 km e bem servida de rodovias e uma hidrovia, o que facilita e reduz os custos de transporte.

No entanto, boa parte desses resíduos já são, de uma maneira ou de outra, aproveitados, como energéticos ou como fertilizantes e reposição de matéria orgânica. No caso do bagaço de cana, já há, como se sabe, o seu aproveitamento como energético nas usinas de açúcar e álcool, sendo, assim, reduzido o seu excedente. Neste caso, especificamente, pode-se obter um substancial excedente energético via técnicas avançadas de cogeração, conforme discutido no artigo.

Neste trabalho se analisa as perspectivas de aproveitamento de um resíduo do setor sucro-alcooleiro, a palha da cana-de-açúcar, que ainda não possui um aproveitamento energético.

Tabela 1 - Principais Culturas Comerciais e seus Resíduos no Brasil

Cultura	Área plantada (ha)	Produtividade de média (unidade/ha.ano)	Produção anual	Tipo de resíduo	Quantidade de resíduos (t/ha.ano)	Quantidade total de resíduos (10 ⁶ t/ano)
Cana-de-açúcar	4,5-5 milhões (1)	60 t ¹	270-300 milhões t	Bagaço	20	90-100
				Palha	20	90-100
Eucalipto	3,0 milhões (2)	30 m ³ (2)	90 milhões m ³	Casca	14,7 (após 7 anos) ³	6,8
Pinus	1,7 milhão (2)	24 m ³ (2)	41 milhões m ³	Casca	18,4 (após 14 anos) ⁴	2,2
Arroz ⁵	n.d.	n.d.	9 milhões t	Casca	20%	1,8

1 Estimativas obtidas junto a técnicos do setor para a safra 1997/98 / 2 Sociedade Brasileira de Silvicultura / 3 Anônimo (1996) / 4 FIBGE (1992), baseado no Censo Agropecuario de 1985 / 5 VITAL (1996) / 6 Ramos (7,6%) e folhas (2,8%) são deixados no campo, não tendo uso recomendado para outros fins (POGGIANI, 1986)

2. A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E AS QUEIMADAS DOS CANAVIAIS

A cana-de-açúcar tem sido historicamente plantada no Brasil para a obtenção de açúcar e, mais recentemente, também de etanol. Em ambos os casos, o interesse está centrado em se maximizar a produção de sacarose, a matéria-prima para a produção de ambos. Uma certa quantidade de fibra no colmo,

que pode variar de 10 a 15% em peso, tem conseguido satisfazer as necessidades energéticas da usina, mesmo quando as instalações de conversão operam de uma forma pouco eficiente. Logo, a preocupação com o teor de fibras tem sido secundário.

Tradicionalmente, a cana é colhida ma-

malmente no país. Para facilitar o seu corte, costuma-se queimar o canavial algumas horas antes da colheita. Essa prática visa a "limpar" o campo do material que "atrapalha" a colheita. Este material consiste nas folhas (secas e verdes) que, até aquele momento, eram usadas para captar a energia solar e permitir a fotossíntese,

mas que, do momento da colheita para frente, já não tem uso.

A queimada controlada visa, portanto, a limpar o canavial e permitir que a colheita seja feita a um custo mínimo, maximizando a quantidade colhida por cortador. É ainda este o método mais empregado no país, que responde por cerca de 80% da cana cultivada.

3. A MUDANÇA GRADATIVA PARA A COLHEITA MECANIZADA DA CANA

Nos últimos 30 anos, com as mudanças ocorridas nas relações de trabalho no campo, a remuneração ao cortador de cana passou a representar uma proporção maior na composição dos custos de produção da cana-de-açúcar. A atividade tecnologicamente mais atrasada deste cultivo é a colheita, embora alguns progressos tenham sido alcançados através do desenvolvimento de um processo de colheita "semi-mecanizado", que permite uma racionalização do uso da mão-de-obra nessas operações. Alguns elementos de mecanização foram incorporados, como a carregadora e o "alimentador" de cana enleirada.

De 25 anos para cá, as regiões onde se concentra a maior parte da produção - Sorocaba, Pradópolis e Ribeirão Preto - vêm paulatinamente incorporando a mecanização como uma alternativa mais econômica para a colheita. Esta, no entanto, continua a ser feita precedida de queimadas, qua-

se sempre noturnas. O processo de mecanização exige uma adaptação por parte da usina recebedora da cana, dado que a tecnologia de colheita mecanizada que tem sido utilizada permite somente a colheita de cana picada e, no caso da colheita manual, a cana é colhida inteira. Isso provoca a necessidade de alguns ajustes na operação de recebimento e limpeza de cana na usina e acarreta, também, perdas adicionais de matéria-prima.

A mecanização na colheita da cana continua crescendo rapidamente no Estado de São Paulo, apesar das críticas pelo desemprego ocasionado. A necessidade de redução de custos para tornar o açúcar mais competitivo no mercado internacional e o etanol menos dependente de subsídios tem sido o "motor" do processo de mecanização. Projeções indicam que, nos próximos 8 anos, já se alcançará a marca de 50% da cana colhida mecanicamente, ainda que com queimadas.

4. A LEGISLAÇÃO CONTRA AS QUEIMADAS

As queimadas para a limpeza da cana-de-açúcar concentram-se nos meses da colheita. Na região Sudeste do país isto se dá entre os meses de maio e outubro. Normalmente, a partir de junho - julho, as chuvas praticamente cessam, o que torna o ar muito seco, aumentando muito os riscos de queimadas, provocadas e acidentais.

As queimadas, em geral, são responsáveis por muitos acidentes nas estradas e linhas de transmissão de eletricidade. Apesar de as queimadas provocadas em campos de cana-de-açúcar serem muito mais disciplinadas e controladas, elas acabam sendo também

muito criticadas. Essa crítica é acentuada pela mídia, principalmente pela televisão, o que sensibiliza a opinião pública.

É também problemática a questão do efeito das queimadas no fechamento de aeroportos, sobretudo nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do país. Também existe uma preocupação grande com os níveis de poluição do ar nas regiões produtoras de cana. Há estudos, desenvolvidos por médicos da região de Ribeirão Preto, associando problemas respiratórios da população da região com os níveis de poluição do ar, e esta com as queimadas.

Assim, a sociedade foi, cada vez mais, se conscientizando em relação aos efeitos nocivos das queimadas. Por sua vez, o poder público foi paulatinamente legislando contra as queimadas. O texto que compõe o Anexo é o último decreto do Governador do Estado de São Paulo sobre o assunto. Ele altera a redação do artigo 5º do Decreto nº. 41.719, de 16 de abril de 1997, que regula-

mentou a Lei nº. 6.171, de 4 de dezembro de 1988, alterada pela Lei nº. 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola.

Esse decreto obriga a eliminação gradual das queimadas de canaviais nos próximos 8 anos, em áreas propícias à colheita mecanizada, e em 15 anos nas demais áreas.

5. AS PERSPECTIVAS DA COLHEITA DE CANA CRUA

A tecnologia de colheita de cana crua atualmente disponível apresenta viabilidade técnica e econômica para sua utilização em no mínimo 50 % das áreas plantadas no País (FURLANI, 1994). Os princípios básicos envolvidos nessa tecnologia permaneceram inalterados desde sua introdução na década de 60; no entanto, são passíveis ganhos de desempenho, com recursos clássicos da engenharia.

Para se maximizar o aproveitamento energético da palha da cana-de-açúcar, tão importante quanto a legislação que promove a eliminação gradual das queimadas é o desenvolvimento tecnológico das colhedoras, no sentido de se melhorar a qualidade da cana colhida e se reduzir as perdas e o custo do investimento necessário para a implantação da colheita mecanizada.

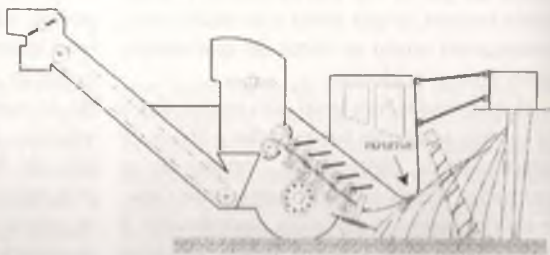
A mecanização da colheita da cana-de-açúcar tem apenas se insinuado no Brasil no decorrer das últimas três décadas. A frota atual é da ordem de 700 máquinas, sendo que o potencial do setor canavieiro é de aproximadamente 3000 colhedoras. Uma demanda reduzida e instável justifica, em parte, a falta de evolução tecnológica com relação a limitações básicas das colhedoras nas condições encontradas no país, relacionadas com a baixa qualidade da colheita e as elevadas perdas ocasionadas.

As colhedoras existentes (figura 1) são de origem australiana e alemã. Trata-se de equipamentos autopropelidos de elevada capacidade, da ordem de 220 kW, peso total na faixa de 10 a 15 t e preço

de venda entre R\$ 250.000 e R\$ 300.000, do que resulta um custo de aproximadamente R\$ 2,00 por tonelada colhida. Esse custo supera em 30% o da colheita de cana queimada, em função do menor rendimento da colhedora na presença da palha. Isto tem induzido as usinas à queima dos canaviais, no intuito de reduzir custos, e sugere a necessidade de evolução tecnológica no sentido de tornar o equipamento menos sensível à presença de palha.

As colhedoras cortam o ponteiro da cana, ainda em pé, para, posteriormente, cortar o colmo na base e alimentá-lo para o interior da máquina. Os sistemas de corte de base e alimentação atualmente em uso (figura 2) apresentam restrições relacionadas à manutenção das facas, capacidade de corte no fundo do sulco, alimentação de terra junto com a cana, cortes múltiplos no mesmo pé de cana e tombamento da soqueira antes do corte. Os discos com facas periféricas operam em contato contínuo com o solo e em alta velocidade (22 m/s), o que não permite manter suas facas adequadamente afiadas para con-

Figura 1 - Colhedora de cana-de-açúcar picada e sem queimar



seguir um corte localizado, com perdas mínimas; essas perdas se apresentam na forma de tocos, estilhaços e cortes múltiplos. Mas o principal problema do referido sistema é ocasionado pela grande quantidade de terra que os discos alimentam junto com a cana para o interior da colhedora. O assunto é motivo de estudo tanto na Austrália quanto no Brasil e atinge indistintamente os sistemas de cana inteira e picada. Os dois discos de diâmetro grande não conseguem efetuar o corte rente ao solo quando existem sulcos, a menos que o solo seja cortado, como ilustra a figura 2.



Figura 2 – Atual cortador de base

Após o corte de base, os colmos passam por uma cascata de rolos que separam grande parte do solo que acompanha as canas. Logo após o separador de terra, um picador fragmenta os colmos em toletes ou rebolos de aproximadamente 250 mm de comprimento; a picagem visa a viabilizar o manuseio da cana a granel, com uma densidade de carga de 4.000 a 5.000 N/m³, nos veículos de transporte. No sistema de cana picada os rebolos são descarregados, em queda livre, diretamente em um caminhão que acompanha a trajetória da colhedora. Com isto se visa à redução de custos pela eliminação da operação de carregamento, existente no sistema que opera com a cana inteira.

Nas condições das usinas brasileiras verifica-se um efeito negativo desse sistema pela dificuldade de se assegurar a disponibilidade simultânea dos sistemas de colheita e de transporte (HAHN, 1992); qualquer interrupção da colheita ou do transporte implica na parada de ambos (GAGO, 1986). Rendimentos de colheita de 400 t/colhedora-dia têm sido comuns, sendo que, eliminando-se as referidas interrupções, esse rendimento poderia ser incrementado em 60 a 70 %, com a consequente redução de custo. Este problema tende a se agravar com a utilização de processos de transbordo, atualmente em fase de avaliação e implantação em algumas usinas; trata-se de um subsistema constituído por tratores agrícolas com reboques que recebem a cana das colhedoras e a transferem para os caminhões, evitando o tráfego destes no canal. Como o transbordo opera de forma simultânea com a colheita e o transporte, sua indisponibilidade

interrompe a operação do conjunto. O transbordo surgiu como uma solução para a compactação do solo provocada pelo duplo tráfego da colhedora e do caminhão nos campos.

Tanto no cortador de base quanto na cascata de rolos e no picador acontecem perdas importantes, da ordem de 3 a 5 %, dependendo das condições de manutenção da colhedora e das características da cana colhida. Na saída do picador os rebolos atravessam, em queda livre, uma câmara de limpeza com fluxo de ar em contracorrente, onde a velocidade do ar (20 m/s) se aproxima da velocidade terminal dos toletes. Dessa condição resultam perdas na forma de rebolos arrastados pelo fluxo de ar e desintegrados pela hélice do extrator; esse material é descarregado junto com as impurezas.

O defletor do sistema de alimentação das colhedoras empurra o pé de cana no sentido do movimento da máquina, forçando o colmo e a sequeira; essa condição provoca trincas quando a faca, em alta velocidade, atinge a cana. Os colmos trincados liberam estilhaços ao passarem pelo picador, os quais são arrastados pelo ar do extrator, gerando perdas que podem superar 2%. As trincas que se propagam para a soqueira também podem aumentar as perdas, pelo ataque de microorganismos e redução do *stand*. Este problema está sendo abordado através da separação das funções de corte de base e alimentação; fixa-se baixas velocidades nas peças em contato com o solo, responsáveis pela alimentação dos colmos deitados, e altas velocidades nas facas responsáveis pelo corte rente ao

solo, com uma movimentação mínima de solo (figura 3).

Resumindo as considerações anteriores, pode-se dizer que as colhedoras atuais de cana picada apresentam quatro pontos principais onde ocorrem perdas de cana, que são: cortador de base, rolos alimentadores, picador e extratores. Uma das vantagens importantes do sistema de cana inteira surge do fato de não existirem as perdas no picador e extratores, as quais podem superar 2% da cana processada.

Considerando que o sistema de cana inteira ainda é utilizado em mais de 80% dos canaviais e que grande parte das perdas descritas nesta seção podem ser minimizadas através desse sistema, a Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI da UNICAMP - desenvolve atualmente quatro projetos de pesquisa, envolvendo: limpeza da cana inteira crua, redução de perdas, melhoramento da qualidade da matéria-prima e simplificação do equipamento. Do ponto de vista do aproveitamento energético da palha, o principal fator limitante da colheita mecânica de cana inteira e crua é a falta de uma tecnologia adequada de limpeza.

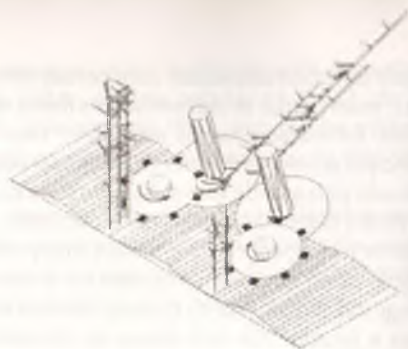
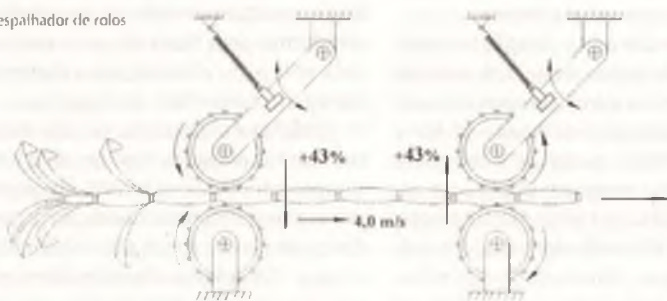


Figura 3 - Cortador de base com corte flutuante e alimentação independente

O sistema de alimentação das colhedoras australianas de cana picada ordena e alinha os colmos previamente à sua picagem. Esta disposição também foi adotada no projeto da FEAGRI/UNICAMP, com uma velocidade de alimentação maior, para permitir dispor os colmos em camadas finas a serem atingidas pelos rolos raspadores, conforme ilustrado na figura 4. Esse princípio mostrou bons resultados ao conseguir uma extração de folhas de 60 % na variedade de cana SP70-1143, operando com apenas dois pares de rolos. O sistema apresenta a vantagem de poder ser aplicado nas colhedoras existentes sem necessidade de alterações importantes nestas.

Figura 4 - Despathador de rolos



6. RECUPERAÇÃO, ENFARDAMENTO E TRANSPORTE DA PALHA

Após a colheita de cana sem queimar, a palha é deixada secando sobre o solo por alguns dias. Quando a palha já está suficientemente seca, com cerca de 30% de umidade, a mesma pode ser recuperada. A palha, se deixada no campo sobre a soqueira, representa um risco de incêndio para o canavial e pode atrasar o desenvolvimento da rebrota da cana. Assim, é recomendável a recupera-

ção de, pelo menos, parte da palha. Não há, contudo, consenso sobre a proporção que deve ser recuperada. Propõe-se que 50 a 90% da palha seja recuperada. Deixar um pouco de palha no campo pode trazer benefícios agrônômicos, além do que, uma recuperação total da palha implica em se aproveitar uma palha mais "suja", com mais terra, o que não é recomendado tecnicamente.

A recuperação da palha exige uma série de operações, que se iniciam pelo seu enleiramento. Esta operação, realizada por uma enleiradora, permite agregar a palha em uma fileira contínua. Em seguida, a palha deve ser adensada para permitir um transporte econômico até o local de consumo. Um adensamento muito elevado permite altas densidades mas é antieconômico. O adensamento obtido com as enfardadoras comerciais situa-se entre 150 e 200 kg/m³.

Existem no mercado dois tipos de enfardadoras, classificadas de acordo com a geometria dos fardos que produzem: cilíndricas e retangulares. Um exemplo de enfardadora cilíndrica é o fabricado pela Empresa AGROFORN. O *pick-up* desta enfardadora recolhe o produto conduzindo-o diretamente para a câmara do equipamento. A rotação contínua de rolos comprime o produto com um movimento rotatório. O material é prensado de uma maneira crescente, mais na parte externa do que no núcleo do fardo. Ao se

completar o enchimento da câmara está formado um fardo, com uma camada externa fortemente prensada e muito resistente a variações climáticas. Feita a amarração, a tampa traseira abre hidráulicamente e o fardo é empurrado para fora. As enfardadoras retangulares, como a fornecida pela empresa CLASS, produz um fardo de densidade entre 150 e 200 kg/m³. Normalmente as enfardadoras retangulares produzem um fardo com densidade ligeiramente superior ao das enfardadoras cilíndricas.

Os custos das operações de recuperação, enfardamento e transporte podem ser determinantes para viabilizar a recuperação e o uso econômico da palha de cana. Os custos reportados por Molina et al. (1995) variam de US\$ 7 a US\$ 25,00/t, dependendo da topografia local, infra-estrutura e tecnologia disponível. Estima-se que, para viabilizar o uso energético da palha, esta deva chegar ao local de consumo com um custo final comparável ao do bagaço da cana.

7. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA PALHA DA CANA

Do ponto de vista energético, as características mais importantes de um combustível são sua composição e poder calorífico.

Em uma análise elaborada no Laborató-

rio de Combustíveis Alternativos da UNICAMP obteve-se os dados da tabela 2 para eucalipto, bagaço e palha da cana-de-açúcar.

Tabela 2 - Composição e Poder Calorífico do Eucalipto, Palha e Bagaço de Cana-de-Açúcar

Amostra	Umidade (%)	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)	C (%)	H (%)	P.C.S. (kJ/kg)
Eucalipto	11,9	80,2	19,8	0,0	49,6	6,0	18.494
Palha de Cana	10,5	74,7	15,0	10,3	43,2	5,6	15.203
Bagaço de Cana	9,9	75,4	13,7	10,8	43,6	6,2	17.876

8. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DIRETO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS VIA COMBUSTÃO

A lenha é a forma de biomassa que historicamente tem sido utilizada para fins energéticos, via combustão direta. A relativa disponibilidade desse produto incentivou o homem a consumi-lo como combustível para cocção, fabricação de tijolos, processamento de alimentos e outros usos. Com o consumo crescente de combustíveis fósseis (carvão mi-

neral, petróleo e derivados e gás natural), entretanto, o uso da biomassa para fins energéticos decresceu proporcionalmente, principalmente nos países desenvolvidos. Mesmo no Brasil, o uso da lenha tem se reduzido, em comparação aos outros insumos da matriz energética nacional (MME, 1998).

No entanto, ao redor das cidades brasilei-

ras ainda se usa muita lenha na fabricação de tijolos e telhas e em algumas indústrias de alimentos, entre outras. Nestas regiões, a lenha está ficando escassa e seu preço tem aumentado com o crescimento dos custos de transporte a partir de regiões supridoradas cada vez mais distantes.

Existe, portanto, um potencial para os subprodutos da cana serem usados em substituição à lenha, para fins energéticos. Nesse sentido, pode-se dizer que não somente ainda não existe "uma cultura" de uso generalizado de bagaço, como também que o mercado simplesmente desconhece por completo o potencial energético representado pela palha da cana-de-açúcar.

O uso do bagaço de cana fora do setor sucro-alcooleiro se dá de forma mais importante junto à indústria de suco de laranja, onde existem caldeiras a bagaço, e, em menor escala, em plantas que produzem óleos vegetais. O bagaço da cana é vendido a pre-

ços entre R\$ 6 e 14/ton a estas plantas industriais, que utilizam essencialmente a mesma tecnologia empregada no setor sucro-alcooleiro para a combustão do bagaço.

Há no mercado nacional alguns fabricantes de equipamentos para a queima direta de resíduos vegetais: Andrade & Andrade Ltda., de Leme, SP, fabricante do queimador de biomassa "Fire 100" (figura 5); Máquinas Walter Siegel Ltda., de Agrolândia, SC, fabricante do equipamento Biochamm, e Irmãos Lippel Ltda., também de Agrolândia, SC. Estes equipamentos são de concepção simples e baixo custo, cerca de R\$ 1.600,00. Segundo informações prestadas por um desses fabricantes, ele possui cerca de 2.000 queimadores instalados no país, principalmente em plantas que produzem cerâmica vermelha. Esses equipamentos operam com as formas de biomassa disponíveis em cada região, como, por exemplo, serragem de madeira, casca de arroz, maravalha, borra de café.

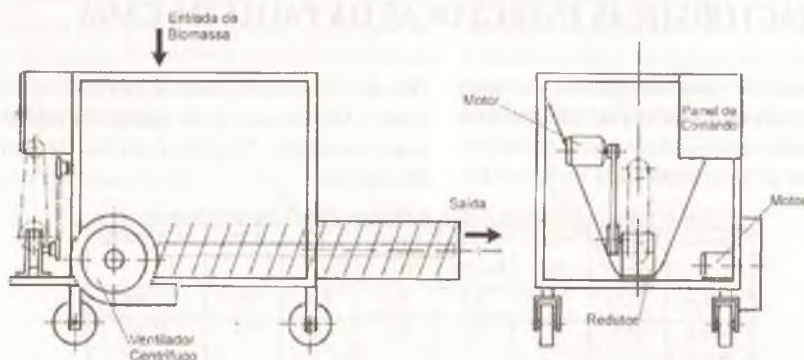


Figura 5 - Queimador de Biomassa da Andrade & Andrade Ltda.

9. A PRODUÇÃO DE PELLETS E BRIQUETES DE PALHA DA CANA

Não existe hoje tecnologia para peletização e briquetagem da palha da cana-de-açúcar. Há, no entanto, tecnologia desenvolvida para a peletização do bagaço da cana (BEZZON, 1994; CORTEZ & SILVA, 1997). Apesar de a palha e de o bagaço serem fibras da cana, suas características físicas e químicas são diferentes.

As partículas do bagaço são bem pequenas, dado que ele é moído no processo de extração do caldo da cana. Isso confere ao

bagaço uma granulometria fina, se comparado à palha "in natura". A fim de dar à palha o mesmo tratamento conferido ao bagaço, deve-se reduzir o tamanho das folhas através de picadores.

A briquetagem é uma operação de compactação a pressões elevadas, para obtenção de tarugos de alta densidade. No Brasil existem empresas como a BIOMAX Indústria de Máquinas Ltda., que produz briquetadoras comerciais. Estes equipamentos operam com

vários resíduos vegetais, como serragem de madeira, casca de arroz e outros.

O elevado teor de umidade do bagaço, 50% b.u., é um fator negativo para a briquetagem. Bezzon (1994) conduziu experimentos aquecendo o bagaço até cerca de 300°C antes de briquetá-lo em tarugos pequenos (diâmetro de 1 cm e comprimento de 2 cm). Foram aplicadas pressões entre 20 e 25 MPa, obtendo-se briquetes com uma

densidade entre 1.000 e 1.240 kg/m³. Os resultados obtidos foram animadores, mas não foram conduzidos testes com briquetes de tamanho comercial - de 4 a 10 cm de diâmetro e 10 a 40 cm de comprimento.

Para facilitar a briquetagem é necessário um produto ligante. O aquecimento do bagaço pode substituir esse aditivo, dado que, a cerca de 200 - 300°C, a lignina pode adquirir propriedades de ligante da fibra.

10. GASEIFICAÇÃO EM PEQUENA ESCALA E PRODUÇÃO DE CARVÃO A PARTIR DA PALHA DA CANA

A gaseificação da biomassa é definida como a sua conversão em um gás combustível através da sua oxidação parcial a temperaturas elevadas. Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de gaseificadores, dependendo do tipo e das características da biomassa. Dado o caráter polidisperso da palha quando triturada, recomenda-se seu uso em gaseificadores de leito fluidizado, tais como o descrito a seguir, que já foi testado para o bagaço da cana.

O gás produzido em equipamentos de pequena escala - de 100 kW até 1 MW - pode ter múltiplas aplicações práticas, destacando-se a alimentação de motores que acionam geradores elétricos em localidades remotas e a produção direta de calor.

A FEAGRI/UNICAMP desenvolveu o projeto de um protótipo de reator de leito fluidizado de 280 kW de potência térmica, visando à gaseificação dos subprodutos da agroindústria sucroalcooleira, o bagaço e a palha da cana-de-açúcar.

A construção e montagem da instalação e da estrutura de suporte foi realizada pela TERMOQUIP Energia Alternativa Ltda., de Campinas, SP. Os primeiros testes a frio e em condições de gaseificação permitiram comprovar as dificuldades e limitações impostas pelo sistema de alimentação - do tipo de rosca-sem-fim -, devido às quais foi praticamente impossível desenvolver os experimentos

quando trabalhando com bagaço *in natura* e palha de cana.

Como resultado dos testes realizados utilizando *pellets* de bagaço de cana verificou-se um desempenho aceitável do reator para a faixa de fator de ar empregada, de 0,17 até 0,22. O poder calorífico inferior médio do gás obtido foi de 4 MJ/Nm³, valor este considerado bom na gaseificação com ar. Os valores mais elevados da eficiência a frio e a quente do gaseificador - 29,23% e 33,42%, respectivamente - foram obtidos para um fator de ar igual a 0,22. O reator não foi projetado para operar com fatores de ar superiores a este valor.

Na busca de um "adensamento energético" da palha da cana há a pirólise e o carvoejamento da palha da cana.

A maior parte da produção de carvão vegetal no país ainda tem sido feita de modo artesanal, utilizando fornos de alvenaria ou barro, sem a recuperação do material volátil. Esses fornos transformam a madeira oriunda de florestas e são operados em regime de batelada. Esse método, apesar de rústico, é responsável por boa parte do suprimento de carvão vegetal à indústria siderúrgica nacional. Hoje, no entanto, não existe ainda uma tecnologia de produção contínua de carvão que possa ser imediatamente utilizada para a conversão da palha da cana e do bagaço excedente.

11. TECNOLOGIAS AVANÇADAS QUE PODEM AUMENTAR A AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA

O potencial de utilização, no país, de cogeração de energia elétrica e vapor de processo em segmentos industriais energo-intensivos fortemente dependentes da biomassa como matéria-prima e insumo energético, como os setores de papel e celulose e sucroalcooleiro, é muito maior do que a capacidade hoje instalada.

As maiores expectativas de aumento da geração de energia elétrica em plantas termelétricas ou de cogeração com base em combustíveis oriundos da biomassa repousam na gaseificação destes combustíveis e queima do "gás pobre"¹ resultante nos combustores de turbinas a gás integrantes dos eficientes² ciclos combinados: vapor - gás. Estes sistemas integrados, gaseificador - turbina a gás, são conhecidos pela sigla BIG/GT. Eles podem dobrar a relação potência elétrica / potência térmica, em relação aos sistemas hoje empregados (MALINEN & HELYNEN, 1994). Espera-se que esta rota tecnológica esteja disponível comercialmente no início do próximo século. Inúmeros projetos de demonstração visando este tipo de conversão de combustíveis provenientes da biomassa - principalmente lenha, seus resíduos florestais e industriais, palha e bagaço de cana - em eletricidade estão em curso (STALH & LUNDQVIST, 1994; MARRISON & LARSON, 1995; RENSFELD, 1991; WILLIAMS & LARSON, 1993; BRIDGWATER, 1995; CONSONNI & LARSON, 1994a; CONSONNI & LARSON, 1994b).

A gaseificação de combustíveis oriundos da biomassa em equipamentos de pequeno ou médio porte é praticada há muito tempo e as tecnologias disponíveis são consideradas maduras. Esta gaseificação em larga escala esbarra, no entanto, nos requisitos, bastante rígidos, de limpeza dos gases, já que tanto os motores de combustão interna, como, principalmente, as turbinas a gás requerem, para uma queima eficiente e uma longa vida dos equipamentos, gases com baixíssimos teores de impurezas³. Esta limpeza, que pode ser

feita "a quente", através de filtros de cerâmica ou de metal sinterizado, ou "a frio", através da lavagem dos gases, ainda não está demonstrada em equipamentos de grande porte, no grau de pureza necessário. A eficiência da operação de turbinas a gás com gases pobres também ainda carece ainda de determinação mais precisa, com base em registros históricos mais longos. Finalmente, talvez a maior incerteza esteja na operação otimizada do acoplamento gaseificador/unidade geradora, para a qual se dispõe de muito pouca experiência prática.

A operação de gaseificação pode ser decomposta em três etapas: a preparação do combustível, a sua gaseificação e a limpeza dos gases. A gaseificação propriamente dita, no gaseificador, é precedida pela secagem e pela pirólise do combustível sólido. O calor necessário à gaseificação pode ser suprido diretamente pelo insumo oriundo da biomassa, através de sua oxidação parcial, ou, então, indiretamente, através de um mecanismo de transferência de calor. No primeiro caso, a alta reatividade química dos produtos da biomassa permite a utilização de ar como agente oxidante, ao invés do caro oxigênio. A principal vantagem do segundo caso é a possibilidade de se diminuir substancialmente a concentração de nitrogênio no gás pobre resultante, devido à não utilização do ar como elemento oxidante no gaseificador; como resultado, pode-se obter gases com poder calorífico da ordem de 10 MJ/Nm³, contra 5 a 6 MJ/Nm³ dos gases oriundos de gaseificadores com aquecimento direto⁴ (CONSONNI & LARSON, 1994a).

Os gaseificadores podem ser de leito fixo ou de leito fluidizado. Os primeiros podem ser de fluxo ascendente, descendente ou misto. Os gaseificadores de leito fluidizado podem ser do tipo borbulhante, recirculante ou de duas câmaras⁵; podendo operar sob pressões próximas à atmosférica ou, então, sob elevadas pressões, próximas às da entrada na turbina a gás. Na limpeza dos gases, os alca-

rões podem ser "craqueados" termicamente e/ou cataliticamente; neste último caso, por exemplo, com o emprego de dolomita. Os materiais particulados⁶, os metais alcalinos⁷, a amônia e, em menor escala, o enxofre também são poluentes cuja concentração precisa ser diminuída nesta limpeza.

Os gaseificadores de leito fixo e fluxo descendente são eficientes e produzem um gás com teor relativamente baixo de alcatrão, mas não são economicamente viáveis para aplicação em larga escala⁸, e são muito exigentes em termos de homogeneidade e qualidade do combustível que os alimenta. Gaseificadores de leito fixo e fluxo ascendente têm sido empregados em conexão com caldeiras nos E.U.A., Finlândia e Suécia, mas os gases produzidos têm apresentado uma qualidade muito variável e um elevado teor de alcatrão (RENSFELD, 1991).

As temperaturas relativamente baixas - 500 a 600°C - encontradas na saída dos gaseificadores de leito fixo, a maioria dos metais alcalinos se condensa nos materiais particulados e pode, por conseguinte, ser removida junto com estes últimos, através, por exemplo, de ciclones. Nesta faixa de temperaturas os alcatrões se encontram na fase de vapor e, desde que haja um acoplamento próximo com a turbina a gás ou com o motor de combustão interna, estes alcatrões podem ser queimados no combustor destes equipamentos, sem problemas de condensação. Na realidade, os alcatrões aumentam o poder calorífico do gás oriundo da biomassa (WILLIAMS & LARSON, 1993).

Pode-se atingir capacidades muito mais elevadas com os gaseificadores de leito fluidizado do que com os de leito fixo. Os primeiros podem, ainda, processar uma ampla variedade de combustíveis com um mínimo de pré-tratamento. Por outro lado, o seu controle da qualidade do gás é bem mais complexo, já que nas temperaturas mais altas de saída do gás do gaseificador - 800 a 900°C - os metais alcalinos encontram-se na fase gasosa e a formação de material particulado é muito mais intensa. Os gaseificadores de leito fluidizado recirculante permitem uma melhor conversão de carbono e uma produtivi-

dade mais elevada do que os gaseificadores de leito fluidizado borbulhante (WILLIAMS & LARSON, 1993; BRIDGWATER, 1995).

A operação com pressões elevadas permite obter-se gaseificadores mais compactos e que permitem elevados rendimentos de conversão em energia elétrica em plantas de ciclo combinado⁹. O seu sistema de alimentação de combustível sólido, no entanto, é complexo e caro e a limpeza dos gases tem que ser a quente. Prevê-se que este tipo de gaseificador venha a apresentar vantagens econômicas, em comparação com os gaseificadores que operam sob pressões próximas à atmosférica, para escalas de produção elevadas. Hoje, seus custos unitários, em unidades em construção ou projeto, ainda são bem superiores aos dos gaseificadores que operam sob pressões próximas à atmosférica (BRIDGWATER, 1995).

Os "motores" das unidades geradoras podem ser motores Diesel turboalimentados ou turbinas a gás associadas a ciclos termodinâmicos combinados ou esquemas de injeção de vapor, ambos em plantas termelétricas ou de cogeração¹⁰. Os motores Diesel são mais competitivos em plantas de menor porte, enquanto que as turbinas a gás requerem plantas de porte mais elevado para se tornarem factíveis economicamente. As turbinas podem ser industriais ou aeroderivativas; as primeiras são mais robustas e são projetadas para uma vida mais longa, enquanto as aeroderivativas são mais compactas e eficientes, devido ao fato de se beneficiarem continuamente dos elevados investimentos em P & D da indústria aeronáutica, sobretudo seu componente militar. Há, ainda, a possibilidade de se consumir a biomassa gaseificada em unidades modulares de qualquer porte compostas por células de combustível, obtendo-se, como produto, diretamente energia elétrica; os requerimentos de pureza dos gases, no entanto, são tão severos quanto para a queima em motores de combustão interna ou turbinas a gás, e o custo desta alternativa é ainda proibitivamente elevado.

As turbinas industriais da Brown Boveri e da Mitsubishi têm operado com sucesso, há

muito tempo, com gases de baixo poder calorífico, como os provenientes de alto-fornos, em plantas siderúrgicas. Testes feitos pela GE em alguns de seus modelos de turbinas aeroderivativas nas décadas de 80 e 90 têm indicado que, apesar de seus combustores serem bem mais compactos que os das turbinas industriais, é possível se manter uma combustão estável e razoavelmente eficiente com gases pobres. Em alguns casos, pequenas modificações nos bocais, e mesmo no combustor, podem ser necessárias. É claro que, a longo prazo, turbinas aeroderivativas especialmente projetadas para gases pobres terão de ser desenvolvidas (CONSONNI & LARSON, 1994a).

Uma maneira de se conseguir aumentar substancialmente a geração de energia elétrica a elevadas eficiências quando se opera com turbinas a gás e caldeiras de recuperação é através da injeção de vapor nestas turbinas. O ciclo correspondente é conhecido como *steam-injected gas turbine* - STIG. Pode-se aumentar a eficiência de qualquer turbina a gás e, em particular, a das turbinas operando segundo o ciclo STIG, através do inter-resfriamento do ar no compressor da turbina. Neste último caso, o ciclo passa a ser denominado *intercooled steam-injected gas turbine* - ISTIG. Estes ciclos avançados ainda não estão disponíveis para a combustão de gases pobres, porém, dado o seu sucesso recente consumindo gás natural (WILLIAMS & LARSON, 1993), apresentam perspectivas promissoras para o futuro, a médio prazo.

Mas, a longo prazo, pode-se mencionar a possibilidade de se substituir o ar como fluido refrigerante das pás das turbinas a gás por vapor, com inúmeras vantagens. Uma delas é que o vapor possui um calor específico superior ao do ar, sendo, por conseguinte, mais eficiente como refrigerante. Pode-se, também, trabalhar com pressões mais elevadas com o vapor, atingindo-se, com isto, velocidades mais elevadas e uma maior taxa de remoção de calor. O trabalho de compressão, no caso do vapor, é muito menor. Apesar de todas estas vantagens, não se progrediu muito com esta substituição, porque ela não é de interesse da indústria aeronáutica, já que não é prático se carregar grandes quantidades de água a bordo de aeronaves. O uso de um combustor de reaquecimento antes do últi-

mo estágio de expansão das turbinas a gás também pode propiciar ganhos de potência e de eficiência no futuro; as relações ar/combustível das modernas turbinas a gás propiciam oxigênio suficiente na exaustão de seu combustor para alimentar uma combustão de reaquecimento (WILLIAMS & LARSON, 1993).

A TPS, um fabricante sueco de gaseificadores, projetou um equipamento que opera com pressões próximas à atmosférica e com um reator catalítico separado para a reforma do alcatrão dos gases, para um sistema BIG/GT, de 27 MW, previsto para operar no sistema da CHESF, no sul do Estado da Bahia, alimentado por lenha proveniente de florestas plantadas. A estimativa inicial de custo unitário desta planta foi de US\$ 2750/kW, em 1992. Espera-se que um projeto cuidadoso e P&D abaxim este custo para cerca de US\$ 1500 - 1600/kW, para a décima planta, devido ao efeito de aprendizado (BRIDGWATER, 1995).

Nas plantas de papel e celulose, um aproveitamento competitivo, a médio prazo, da biomassa para gerar energia elétrica e vapor em unidades de cogeração pode ser atingido através da gaseificação de cavacos residuais da lenha, da casca das toras, dos resíduos florestais e da lixívia. A gaseificação aumenta substancialmente a produção específica de energia elétrica nestas plantas. À guisa de exemplo, pode-se analisar o caso de uma planta hipotética que processa 1000 t de celulose por dia, consome 16,3 GJ de vapor / t de celulose e produz cerca de 700 kWh/t de eletricidade em unidades de cogeração empregando a tecnologia corrente e consumindo só os resíduos industriais. O abandono de turbinas de contrapressão a favor de turbinas de condensação - ciclo CEST - e o processamento, também, de resíduos agrícolas poderiam aumentar a produção específica de eletricidade para 1200 kWh/t. O emprego dos ciclos BIG/STIG e BIG/ISTIG aumentaria ainda mais esta produção específica, para 2500 kWh/t e 3000 kWh/t, respectivamente. Neste exemplo, Williams e Larson (1993) consideraram a produtividade florestal média encontrada no sudeste americano para estimar a disponibilidade de resíduos agrícolas, e assumiram que o consumo específico de vapor poderia ser

reduzido para 9,6 GJ/t nos ciclos CIST e BIC/STIG e para 8,2 GJ/t nos ciclo BIC/ISTIG. Suas estimativas de custo dos sistemas BIC/STIG e BIC/ISTIG parecem excessivamente otimistas. A longo prazo, melhorias na produtividade florestal podem viabilizar economicamente o plantio de árvores para seu posterior consumo nestes novos sistemas de cogeração, e não somente dos resíduos de sua utilização como matéria-prima para a produção de celulose.

Custos unitários, de instalação e de geração, bem mais realistas e detalhados, por capacidade e por custo da biomassa, são apresentados por Bridgwater (1995) para diversos sistemas de conversão de biomassa, com destaque para sistemas envolvendo sua gaseifi-

cação. Bridgwater efetua, também, comparações técnicas bastante detalhadas entre os vários tipos de gaseificadores, métodos de limpeza dos gases e sistemas de geração, destacando suas vantagens comparativas e comentando o estado-da-arte destes equipamentos. Ele também aponta perspectivas alvissareiras para a pirólise *flash* da biomassa, gerando combustíveis líquidos, que poderiam ser consumidos em motores de combustão interna ou turbinas a gás. Neste último caso, poder-se-ia desacoplar, fisicamente, a planta de conversão da biomassa da planta de geração termoeétrica ou cogeração, além de se poder viabilizar economicamente unidades geradoras de menor porte¹¹, comuns na indústria de papel e celulose.

12. CONCLUSÕES

As questões-chave para a difusão em larga escala de um novo energético são: preço competitivo, regularidade no suprimento e tecnologia desenvolvida, comercialmente disponível. As alternativas para o uso da biomassa no interior do Estado de São Paulo, que é uma região com abundância de biomassa comercialmente disponível, serão muito afetadas pela introdução do gás natural da Bolívia, principalmente no corredor Três Lagoas - Campinas.

O *marketing* agressivo na comercialização do gás natural, como tem ocorrido, pode comprometer o uso energético de novas formas de biomassa como a palha da cana, notadamente nas cerâmicas de médio porte localizadas perto da Rodovia Washington Luiz. Os potenciais empresários nesta atividade precisam equacionar alguns problemas para tornar esta opção viável técnica e economicamente:

- **Preço competitivo:** os atuais preços praticados para o bagaço, que tem servido de referencial para a palha da cana, não são competitivos com o cavaco de lenha (R\$ 9/ton) e outros resíduos de menor custo, como a serragem de madeira, casca de algodão, casca de café e casca de amendoim;
- **Oferta regular:** é necessário se garantir o fornecimento ao longo do ano todo. Os novos clientes do bagaço e da palha da cana não podem deixar de ser atendidos

na entressafra da cana, que dura quase 6 meses;

- **Tecnologia disponível no mercado:** a tecnologia de adensamento, transporte e preparo da palha ainda não se encontra totalmente desenvolvida e testada para ser comercializada no mercado. Há, ainda, a necessidade de algum avanço, notadamente para reduzir custos nas operações citadas. Existem diversos recursos de potencial reconhecidos na engenharia de projetos, mas pouco explorados na agricultura, tais como simulação com modelos virtuais, técnicas de otimização e outros, com forte potencial para desenvolver equipamentos que viabilizem processos de alta capacidade e baixo custo para o manuseio da biomassa no campo.

Este trabalho mostrou alguns dos possíveis usos energéticos para os resíduos de palha decorrentes da colheita de cana crua, que deve se impor a partir da proibição das queimadas dos canaviais. Entre as alternativas não mencionadas neste artigo há a hidrólise ácida ou enzimática da palha e do bagaço para a produção de etanol. Muito provavelmente não deverá haver um só tipo de uso final para a palha da cana no futuro. Ela também deverá "herdar" alguns dos atuais usos do bagaço, tal como seu emprego para a produção de ração.

13. NOTAS

1. Gás de baixo poder calorífico.
2. Atinge-se temperaturas superiores a 1200°C na entrada das turbinas a gás, enquanto não se atinge a metade deste valor na entrada das turbinas a vapor. Além disso, novos materiais e novas técnicas de resfriamento das pás tem permitido se aumentar esta temperatura, nas turbinas a gás, cerca de 20°C a cada ano, com conseqüentes aumentos de eficiência. Esta tendência deve continuar no futuro (WILLIAMS & LARSON, 1993). Por outro lado, a tecnologia das turbinas a vapor já está madura e seu desenvolvimento, estagnado há décadas.
3. Os níveis de contaminantes do gás combustível que podem ser tolerados pelas turbinas a gás não são bem estabelecidos, já que se tem pouca experiência operacional. Nesta circunstância, as especificações estabelecidas pelos fabricantes de turbinas tendem a ser conservadoras.
4. Compare-se, no entanto, estes valores com o poder calorífico do gás natural ou dos óleos leves - 35 - 40 MJ/Nm³ -, usualmente consumidos nas turbinas a gás.
5. Na segunda câmara ocorre o craqueamento dos alcatrões.
6. Os materiais particulados causam erosão nas pás da turbina a gás.
7. Os metais alcalinos, por seu turno, corroem estas pás.
8. Acima de 500 kW (BRIDGWATER, 1995).
9. As perdas termodinâmicas associadas à compressão do agente fluidizante, nos sistemas pressurizados, são menores do que as perdas associadas à compressão do gás combustível, nos sistemas que operam à pressão atmosférica.
10. Cogeração industrial ou comercial, ou, então, aquecimento distrital.
11. Inferiores a 10 MW (MALINEN & HELYNEN, 1994).

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEZZON, C. (1994). Síntese de Novos Combustíveis Sólidos a Partir de Resíduos Agrolorestais e Possíveis Contribuições no Cenário Energético Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP, 115p.
- BRIDGWATER, A. V. (1995). "The Technical and Economic Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation", *Fuel*, 74(5): 631-53.
- CONSONNI, S. & LARSON, E. D. (1994a). "Biomass - Gasifier / Aero-derivative Gas Turbine Combined Cycles. Part A: Technologies and Performance Modeling", In: *Cogen Turbo Power '94*, Portland, Oregon, U.S.A. Proceedings. ASME.
- CONSONNI, S. & LARSON, E. D. (1994b). "Biomass - Gasifier / Aero-derivative Gas Turbine Combined Cycles. Part B: Performance Calculations and Economic Assessment", In: *Cogen Turbo Power '94*, Portland, Oregon, U.S.A.. Proceedings. ASME.
- CORTEZ, L.A.B. & SILVA-LORA, E. (Coordenadores). *Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa*, Editora da Universidade do Amazonas, Manaus, AM, Julho de 1977, 527p.
- FURLANINETO, V.L. (1994). "Colheita Mecanizada de Cana-de-Açúcar", *Revista da STAB*, 12 (3): 8-9.
- GAGO J. S. N. (1986) "Corte, Carregamento e Transporte de Cana-de-Açúcar", In: *Anais do III Seminário de Tecnologia Agrônômica*, 3, Fricicaba, SP. Anais. COPERSUCAR
- HAHN M., BRAUNBECKO, RIBEIRO R. (1995). "Um Novo Software para o Planejamento de Transporte de Cana "ÁL-COOL & AÇÚCAR, 15 (79): 36-41.
- MALINEN, H. O. & HELYNEN, S. A. (1994). "Possibilities for Increasing Power Production with Biofuels in the Finnish Forest Industry - Present and Future Technologies and their Effects on Emissions", In: *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*, Vienna, Austria. Proceedings, v. 1. Elsevier Science, New York, USA, p. 779-92.
- MARRISON, I. & LARSON, E. D. (1995). "Cost Versus Scale for Advanced Plantation-based Biomass Energy Systems in the U.S.A. and Brazil", In: *Biomass Conference of the Americas: Energy, Environment, Agriculture and Industry*, 2. Portland, Oregon, U.S.A. Proceedings. NREL, Denver, CO, USA, p. 1272-90.
- MME (1998). "Balanço Energético Nacional - ano base 1997",

MOUINAJR, W. E., RIFOLI, T. C., GIRALDI, R. N., AMARA, J. R. (1995). "Aspectos Econômicos e Operacionais do Entardamento de Resíduo de Colheita de Cana-de-Açúcar para Aprroveitamento Energético", *Revista da STAB*, 13 (5): 28-31.

OLIVEIRAS-COMEZ, E. (1996). Projeto, Construção e Avaliação Preliminar de um Reator de Leito Fluidizado para Gaseificação de Bagaço de Cana-de-Açúcar, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP, 178p.

POCCIANI, F. (1986). Produção de Biomassa e Balanço Nutricional em Plantações de Eucaliptos e Pinheiros - Implantações Silviculturais, *Pracicaba, ESALQ/DCI*, 20 p.

RISNIFILIT, E. (1991). "Gasification for Power Productions", In: Grassi, G. (Ed.) *European Forum on Electricity Production from Biomass and Solid Wastes by Advanced Technologies*, 2. Florence, Italy, Proceedings, Commission of the European Communities, Brussels, p. 65-79.

STAVIL, K. & LUNDQVIST, R. (1994). "Combined Power and Heat Production Based on Thermal Gasification of Wood Chips at Värnamo", Sweden. In: *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry*, Vienna, Austria., Proceedings, v. 1. Elsevier Science, New York, USA, p. 831-40.

VITAL, A. R. T. (1996). Efeito do Corte Raso no Balanço Hídrico e na Cítagem de Nutrientes em uma Microbacia Reflorestada com Eucalipto, Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Pracicaba, SP, 104 p.

WALTER, A. C. S. (1994). Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucroalcooleiro, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, SP, 259p.

WILLIAMS, R. H. & LARSON, E. D. (1993). "Advanced Gasification-based Biomass Power Generation", In: Johansson, T. B., Kelly, H., Reddy, A. K. N. & Williams, R. H. (Eds.), *Renewable Energy Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, Washington, DC, p. 729-85.

ANEXO

Mário Covas, Governador do Estado de São Paulo, no uso de suas atribuições legais:

Considerando que a queima dos canaviais como prática auxiliar de sua colheita produz emissões que alteram desfavoravelmente a qualidade do ar;

Considerando que a despalha pré-colheita de cana-de-açúcar através de sua queima é prática tradicional desta cultura;

Considerando que a mecanização da colheita será a tecnologia adotada para eliminar a despalha por queima sem comprometer a competitividade internacional do setor;

Considerando que a colheita manual de cana-de-açúcar emprega a maior quantidade da força de trabalho rural do Estado de São Paulo;

Considerando que a mecanização da colheita da cana, adotada de maneira abrupta, causaria imenso problema de ordem social, já que centenas de milhares de empregos seriam imediatamente eliminados, sem tempo

para a absorção dessa mão-de-obra por outros setores da economia regional; e

Considerando que não existem condições objetivas para a adoção abrupta e imediata da colheita mecânica de cana-de-açúcar, tais como disponibilidade de colhedeiiras, disponibilidade de capital para aquisição de colhedeiiras e disponibilidade de canaviais adaptados à colheita mecânica,

DECRETA

Artigo 1º. - O artigo 5º. do Decreto no. 41.719, de 16 de abril de 1997, passa a ter a seguinte redação:

Artigo 5º. - As queimadas deverão ser evitadas e só serão toleradas quando autorizadas previamente pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento, desde que:

- I- caracterizem medida fitossanitária que exija destruição de restos culturais;
- II- problemas de ordem social exijam a sua prática em caráter transitório;
- III- caracterizem a medida fitotécnica even-

tual mais adequada à situação em questão.

§1º - A prática da despalha da cana-de-açúcar através de sua queima, como método auxiliar da colheita, está proibida no Estado de São Paulo, sendo admitida apenas excepcionalmente e em caráter transitório na seguinte conformidade:

1. em áreas em que a colheita é mecanizável, a redução da prática da queima será efetuada ao ritmo de 25% da área com essas características a cada 2 (dois anos), exigindo-se um mínimo de 10% de eliminação no primeiro ano, de tal maneira que, ao final de 8 (oito) anos, a queima da cana nessas áreas esteja completamente eliminada;

2. em áreas em que a colheita não é mecanizável, a redução da prática será efetuada ao ritmo de 13,35% a cada 2 (dois) anos, de tal maneira que, ao fim de 15 (quinze) anos, a queima da cana nessas áreas será completamente eliminada;

a) são consideradas como áreas de colheita mecanizável os canaviais instalados em terras com declividade menor que 12%;

b) as áreas de colheita mecanizável, pertencentes a fornecedores e por eles colhidas, sem qualquer auxílio ou interferência de serviços prestados por quaisquer agroindústrias ou empresas a elas coligadas, ocupando uma área inferior a 125 (cento e vinte e cinco) hectares, terão, para, os efeitos deste regulamento, o mesmo tratamento que as áreas de colheita não mecanizável;

3. não poderão ser objeto de despalha por sua queima os canaviais que significarem expansão de área de influência da agroindústria;

4. a prática da despalha da cana-de-açúcar através da sua queima só poderá ser realizada em horário a ser determinado por Resolução Conjunta da Secretaria da Agricultura e Abastecimento, Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria do Emprego e Relações do Trabalho;

5. a permissão para prática da despalha mediante queima será dada através de cada empresa produtora de açúcar e álcool, a qual deverá providenciar, bianualmente, seu plano de evolução de eliminação da despalha me-

dante queima, abrangendo as áreas próprias e as áreas de seus fornecedores;

a) os planos previstos no item 5 deverão ser entregues até 15 de janeiro de cada ano no Escritório de Desenvolvimento Rural da Secretaria de Agricultura e Abastecimento em que estiver instalada a unidade agroindustrial, que repassará cópia ao Escritório Regional da CETESB. Após análise do plano, as duas entidades emitirão conjuntamente uma permissão bial de queima;

b) poderá ocorrer a substituição de área de colheita não mecanizável por área de colheita mecanizável, desde que ambas se situem no âmbito territorial da área de atuação de uma mesma agroindústria e que a substituição esteja explicada no plano bial de evolução de eliminação de queima da referida agroindústria e, ainda, que a substituição não implique na diminuição da progressão da eliminação das queimas;

c) eventuais alterações no plano bial de eliminação de queimadas deverão ser previamente aprovadas conjuntamente pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria do Emprego e Relações do Trabalho, conforme dispuser resolução conjunta;

d) o plano bial de diminuição das queimas deverá ser devidamente assinado por profissional técnico responsável e as informações incorretas ou distorcidas serão consideradas lesivas ao interesse público, ficando os responsáveis sujeitos às sanções legais cabíveis;

6. na hipótese de queima em área não autorizada, serão aplicadas penalidades em conformidade com o Decreto nº. 41.719, de 16 de abril de 1997, e em conformidade com o regulamento da Lei nº. 997/96, sem prejuízo de outras penalidades cabíveis;

7. caso ocorra incêndio acidental, por qualquer razão, em área não tolerada, o fato deverá ser comunicado imediatamente à Secretaria de Agricultura e Abastecimento, através do Escritório de Desenvolvimento Rural, que, em conjunto com a Se-

cretaria do Meio Ambiente, através do escritório regional da CUTESB, poderá permitir, em caráter excepcional, sua substituição por outra gleba de igual tamanho, de modo a manter-se a área total não queimada, como previsto no plano de evolução da eliminação da queima.

§ 2º - Ficam proibidas as queimadas nos seguintes locais e situações:

1. no raio de 1 (um) km dos núcleos urbanos, contando a partir do perímetro urbano efetivamente urbanizado;

2. em área contida por faixa de 10 (dez) metros de cada lado da projeção sobre o solo do eixo das linhas de distribuição de energia elétrica de até 15 kV.

a) em área contida por faixa de 25 (vinte e cinco) metros de cada lado da projeção sobre o solo do eixo das linhas de distribuição de energia elétrica de 34,5; 69; 88 e 138 kV;

b) em área contida por faixa de 30 (trinta) metros de cada lado da projeção sobre o solo do eixo das linhas de transmissão de energia elétrica de 230; 345; 460 e 500 kV;

c) em área contida por faixa de 36 (trinta e seis) metros de cada lado da projeção sobre o solo do eixo das linhas de transmissão de energia elétrica de até 600 kV;

d) em área contida por faixa de 54 (cinquenta e quatro) metros de cada lado da projeção sobre o solo do eixo das linhas de transmissão e/ou distribuição de energia elétrica de até 750 kV;

3. em área contida num raio de 100 (cem) metros ao redor de subestações de energia elétrica de concessionária pública;

4. em área contida num raio de 25 (vinte e cinco) metros ao redor das estações de telecomunicações;

5. em área abrangida num raio de 1 (um) km ao redor de aeroportos públicos;

6. em área contida numa faixa de 50 (cinquenta) metros de cada lado da faixa de domínio de rodovias estaduais e federais e ferrovias;

7. em área contida num raio de 100 (cem) metros ao redor das Unidades de Conservação, as condições a serem observadas na realização de queimadas nas hipóteses previstas neste artigo;

§ 4º - O uso de queimadas poderá ser autorizado pelo dirigente da unidade administrativa definida pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI, da Secretaria da Agricultura e Abastecimento, mediante requerimento do interessado e prévia inspeção do local.

§ 5º - A unidade administrativa responsável pela autorização para o uso da queima deverá verificar, em inspeção posterior, o cumprimento das condições estabelecidas para a realização da mesma."

Artigo 2º. - Este decreto entrará em vigor na data de sua publicação, ficando revogados os Decretos nºs. 28.848, de 30 de agosto de 1988, e 28.895, de 20 de setembro de 1988.

Palácio dos Bandeirantes, 6 de agosto de 1997.

Assinam: Governador, Secretário da Agricultura e do Abastecimento, Secretário Chefe da Casa Civil e Secretário de Estado do Governo e Gestão Estratégica.