

# 1

## A palhada residual da produção de sementes de capins tropicais no Brasil

---

Francisco H. Dübbern de Souza  
Gutemberg Carvalho Silveira

### A produção de sementes de capim no Brasil

Em muitos países e em especial no Brasil, as pastagens cultivadas são a base da alimentação dos rebanhos produtores de carne e de leite. Isso constitui importante vantagem comercial nos tempos atuais, caracterizados por grande preocupação dos consumidores com segurança alimentar. A rapidez e a amplitude da expansão de áreas cultivadas com pastagens tropicais está associada à disponibilidade de sementes, que, por essa razão, constitui fator estratégico e condicionante da produção de carne e de leite. A grande popularidade do capim-braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), do capim-braquiária (*B. decumbens* cv. Basilisk), do capim-tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e de muitos outros capins, em grande parte, pode ser atribuída à ampla disponibilidade de sementes de boa qualidade.

A existência de condições edafoclimáticas favoráveis à produção de sementes, a presença de empresariado dinâmico e a disponibilidade de cultivares adaptadas a ampla gama de condições ambientais fizeram do Brasil o maior produtor, o maior consumidor e o maior exportador de sementes de plantas forrageiras tropicais no mundo. O valor total desse mercado, que envolve aproximadamente de 100.000 t por ano, ultrapassa US\$ 250 milhões, dos quais cerca de 10% é representado pelo mercado de exportação para mais de 20 países.

### **Características de sistemas de produção de sementes de capins tropicais no Brasil**

Cerca de 90% dos campos são destinados à produção de sementes de três espécies e suas respectivas cultivares (*Brachiaria brizantha* cvs. Marandu e Xaraés, *B. decumbens* cv. Basilisk, e *Panicum maximum* cvs. Tanzânia, Mombaça e Massai). Dentre essas, a *B. brizantha* cv. Marandu ocupa mais de 50% da área total.

As sementes de pastagens tropicais no Brasil deixaram de ser subproduto de áreas de pastagens temporariamente vedadas a animais e hoje resultam de sistemas agrícolas especializados, que incluem tratamentos culturais e equipamentos específicos, nos quais a semente é o produto principal. Assim, a maior parte das sementes comercializadas origina-se de sistemas especializados de produção, que são, na verdade, sistemas intensivos de

agricultura de plantas forrageiras e que, como tais, enfrentam problemas únicos do ponto de vista agrônomico.

Isso se deve ao fato de esse grupo de espécies apresentar história apenas recente de manipulação genética e agrônômica, de forma que ainda mantém características selvagens, que impõem dificuldades à produção comercial de sementes. Em grande número de cultivares de grande interesse econômico, a interação dessas características resulta em baixo sincronismo da produção de sementes. Exemplos dessas características são fácil degrana (queda das sementes das inflorescências), período prolongado de florescimento, dormência das sementes e pequeno número de sementes formadas por inflorescência.

Tais problemas têm persistido pelo fato de as plantas forrageiras tropicais terem sido selecionadas, primordialmente, para a produção de folhas sob pastejo. Florescimento intenso e concentrado, que facilitaria a obtenção de alta produtividade de sementes, comprometeria a produção e a qualidade da forragem, uma vez que os talos florais são mais lignificados e menos digestíveis do que as lâminas foliares, portanto menos nutritivos para ruminantes, e sua produção implicaria a interrupção, mesmo que temporária, da produção de folhas. Ou seja, o florescimento concentrado, que muito contribuiria para maior sincronismo da maturação e da disponibilidade de sementes à colheita, resultaria em cultivares menos interessantes como pastagens.

Por essas razões, o "índice de colheita", definido como a quantidade de matéria seca de sementes em relação à quantidade total de matéria seca produzida pela parte aérea da planta, é muito baixo entre as forrageiras tropicais. Enquanto algumas cultivares modernas de arroz, por exemplo, apresentam índices de colheita de 0,5, nas forrageiras tropicais, esse índice varia entre meros 0,005 e 0,1 (Hacker, 1999), o que reflete a maior proporção de folhas e talos em relação a sementes produzidos por esse grupo de plantas. Essa característica tem reflexos técnicos e econômicos importantes na produção comercial desse tipo de sementes.

### **A colheita de sementes de capim no Brasil**

As razões expostas no item anterior contribuíram para a consagração do "método da varredura" como o mais popular método de colheita de sementes de capins tropicais no Brasil, que resulta nas "sementes do chão" ou "sementes de varredura", como são denominadas popularmente. Essas sementes, geralmente, apresentam melhor qualidade fisiológica e maior longevidade, quando comparadas a sementes colhidas, por exemplo, com colhedoras automotrizes; por essas razões, são preferidas pelos pecuaristas.

O "método da varredura" consiste em resgatar as sementes caídas das inflorescências e acumuladas na superfície do solo. Trata-se de método de grande eficiência

de colheita pelo fato de possibilitar a recuperação da maior parte das sementes produzidas (>90%). Entre meados dos anos 1970 e meados dos anos 1990, esse tipo de colheita era feito à mão. Como tal, teve grande impacto social, além de econômico, em várias regiões do País, em face do grande contingente de mão-de-obra que ocupava no período seco do ano, quando diminuem as ofertas de trabalho.

A disponibilidade de equipamento especialmente desenvolvido possibilitou a rápida mecanização dos sistemas de produção, a ponto de hoje mais de 80% das sementes de capins tropicais comercializadas no Brasil resultar da versão mecanizada desse método. Sua popularização contribuiu também para a redução da importância de determinados pólos regionais, tradicionais, de produção de sementes (centro-norte dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais) e o desenvolvimento de novos pólos (sudeste do Mato Grosso, centro-norte do Mato Grosso do Sul, oeste e sudoeste de Goiás, leste e noroeste de São Paulo, Triângulo Mineiro, noroeste de Minas Gerais e oeste baiano), mostrados na Figura 1.

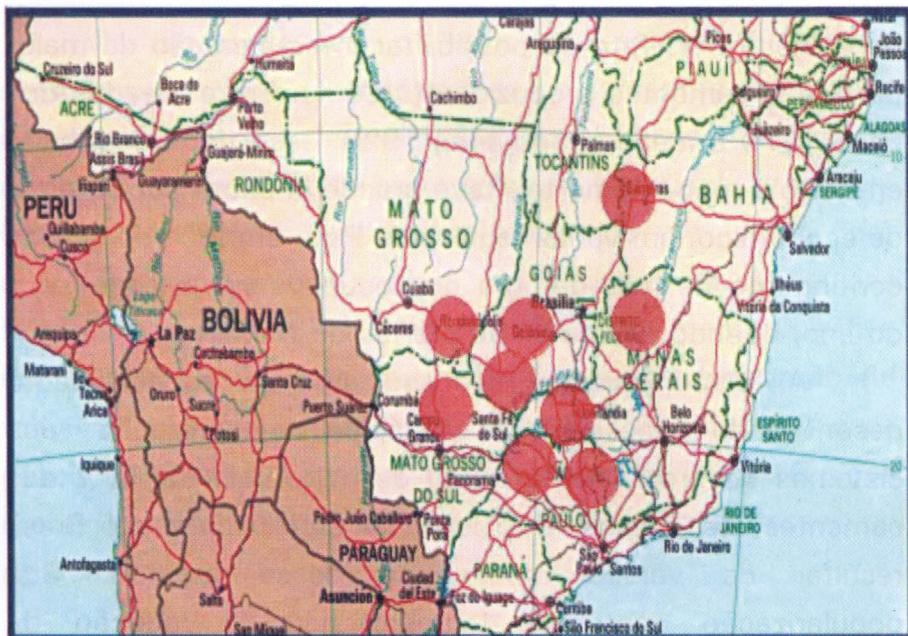


Figura 1. Localização geográfica aproximada dos nove principais pólos de produção de sementes de capins tropicais no Brasil. O diâmetro de cada círculo representa, aproximadamente, 260 km.

### O problema da palhada residual

Outra consequência importante da popularização do método de colheita de sementes de capim por varredura foi o aumento considerável nas regiões produtoras da quantidade de “palhada residual”, isto é, dos resíduos vegetais que sobram da colheita de sementes. A quantidade é grande, considerando-se que os campos de produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais ocupam área equivalente a 140.000 ha por ano, nos quais se acumulam, em média, 20 toneladas de palhada. Assim,

estima-se que, anualmente, 2,8 milhões de toneladas desse material lignocelulósico sejam descartadas no Brasil.

Alguns métodos de colheita existentes, porém muito pouco utilizados no Brasil, não resultam na destruição das plantas. Dentre esses, estão o "método manual da pilha" e o da "colhedeira automotriz". Nesses casos, o "resíduo" da produção de sementes é, na verdade, um alimento de qualidade pelo menos razoável para ruminantes, por ser composto por plantas ainda vivas e, em sua maior parte, verdes, passíveis de aproveitamento, seja em pastejo ou nas formas de feno ou de silagem. A pequena utilização desses métodos resulta da menor possibilidade de obtenção de sementes de boa qualidade fisiológica, da maior demanda por mão-de-obra (métodos manuais), da necessidade de secagem das sementes durante o período chuvoso e da menor produtividade de sementes puras em face de sua menor eficiência na recuperação das sementes produzidas (Souza & Rayman, 1988; Souza, 2001).

Por sua vez, o "método da varredura" requer corte rente ao solo e remoção das plantas após finalização do longo ciclo reprodutivo e da queda das sementes das inflorescências (Figura 2), de forma a expor para a colheita as sementes acumuladas sobre a superfície do solo (Figura 3); para tanto, as plantas cortadas são enleiradas com ancinho tracionado por trator. O período de colheita se estende por aproximadamente 100 dias na época seca do ano (final de maio a setembro) e, no seu final, a palhada apresenta-se enleirada nos campos de produção (Figura 4).

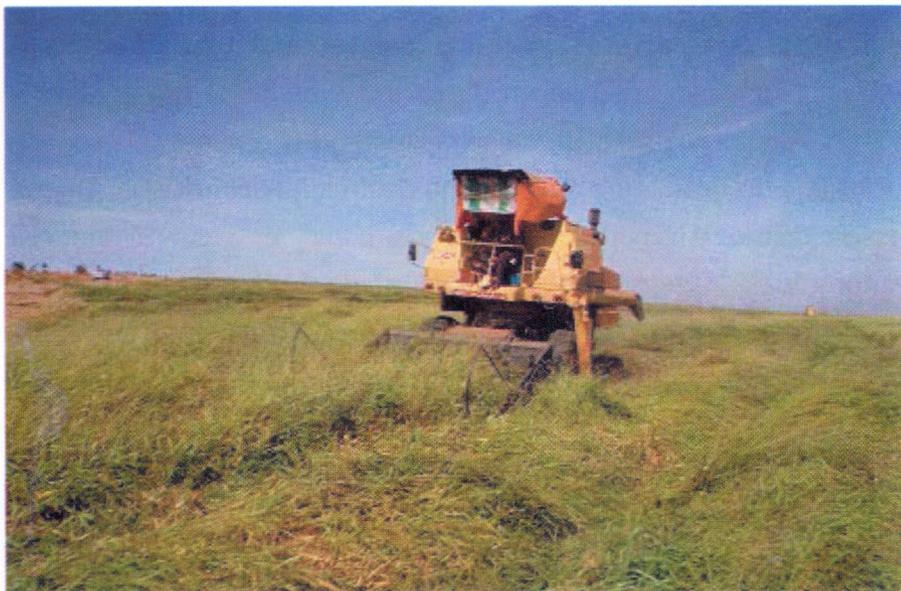


Foto: M.M. Meirelles, 2003.

Figura 2. Corte das plantas em campo de produção de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, realizado por colhedeira automotriz especialmente adaptada para a tarefa (molinete e caracol removidos, mecanismo de trilha desativado).

A permanência da palhada nos campos de produção de sementes resulta em vários problemas. Por exemplo: 1) as sementes acumuladas sobre a superfície do solo coberta pelas leiras só podem ser colhidas se forem expostas; para isso, faz-se necessário movimentar as leiras para o lado (o que tem sido feito com uso do ancinho enleirador), uma operação mecânica adicional, que demanda tempo e representa custos; 2) uma vez concluída a colheita, o rebrote será inibido nas plantas que

permanecerem sob as leiras, comprometendo a produtividade de sementes na safra seguinte; 3) resíduos resultantes de decomposição parcial da palhada remanescente, acumulados sobre a superfície do solo, aumentam a quantidade de impurezas a ser processada pelo equipamento de colheita por varredura, reduzindo sua eficiência na próxima safra.



Foto: M.M. Meirelles, 2003.

Figura 3. Sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu acumuladas sobre a superfície do solo em campo de produção de sementes, à espera da colheita, expostas após enleiramento da palhada resultante do corte das plantas.

Isso significa que, a menos que a palhada seja retirada de alguma forma, a realização de mais de uma safra no mesmo campo de produção é inviável. Sua remoção no final da colheita, a cada ano, pode possibilitar a produção de sementes por um ou mais anos adicionais no mesmo campo. Essa possibilidade tem grande impacto sobre o valor do produto final, uma vez que os custos de produção de sementes são menores em áreas que possibilitam colheitas consecutivas.

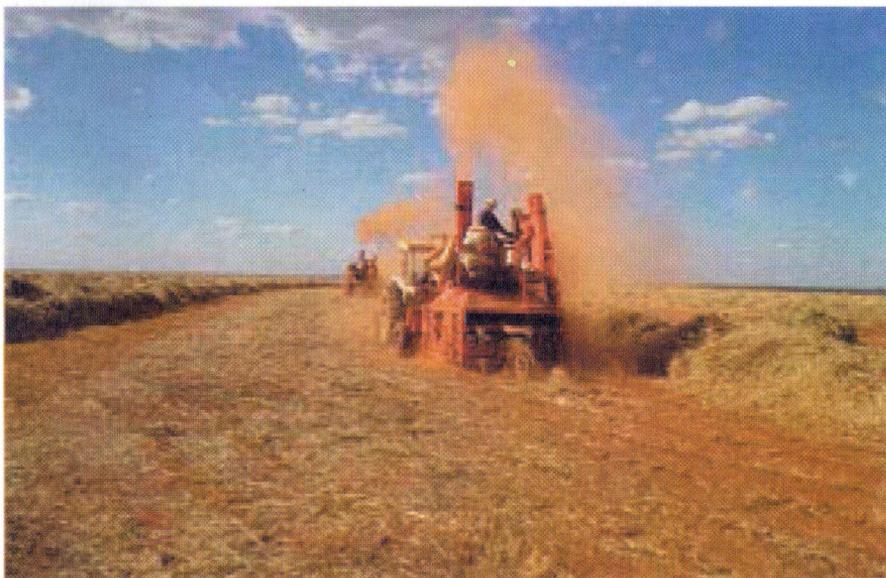


Foto: M.M. Meirelles, 2003.

Figura 4. Colheita mecanizada (método da varredura) de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. A palhada enleirada pode ser vista em ambas as laterais.

### **Alternativas de uso ou de descarte: um desafio**

Esses problemas justificam a necessidade de remoção e de descarte da palhada após a conclusão da colheita. Faltam, no entanto, alternativas práticas e econômicas para isso. Em áreas inicialmente preparadas para colheita de sementes de capim em um único ano, o problema da eliminação da palhada é transferido pelo produtor ao proprietário da terra. Isso ocorre porque, na maior parte das vezes, campos de produção desse tipo de sementes são instalados em áreas arrendadas e, muitas vezes, o produtor de sementes (arrendatário) abandona no campo as leiras de palhada e o proprietário da terra (arrendador) as queima (Figura 5) na maioria dos casos ou as deixa se decompor naturalmente nas situações em que não há planos de utilização imediata da área com agricultura ou a intenção é transformá-la em pastagem.

Entretanto, quando o produtor de sementes pretende colher por mais um ano na mesma área, a remoção da palhada é imprescindível e deve ser feita por ele tão logo seja concluída a colheita no primeiro ano. O interesse dos produtores por essa prática tem aumentado à medida que diminuem as áreas consideradas mais propícias à produção desse tipo de sementes, caracterizadas por determinada topografia, clima favorável, ausência de determinados tipos de ervas daninhas, uso anterior, distância das unidades de beneficiamento e níveis de fertilidade e de textura do solo.

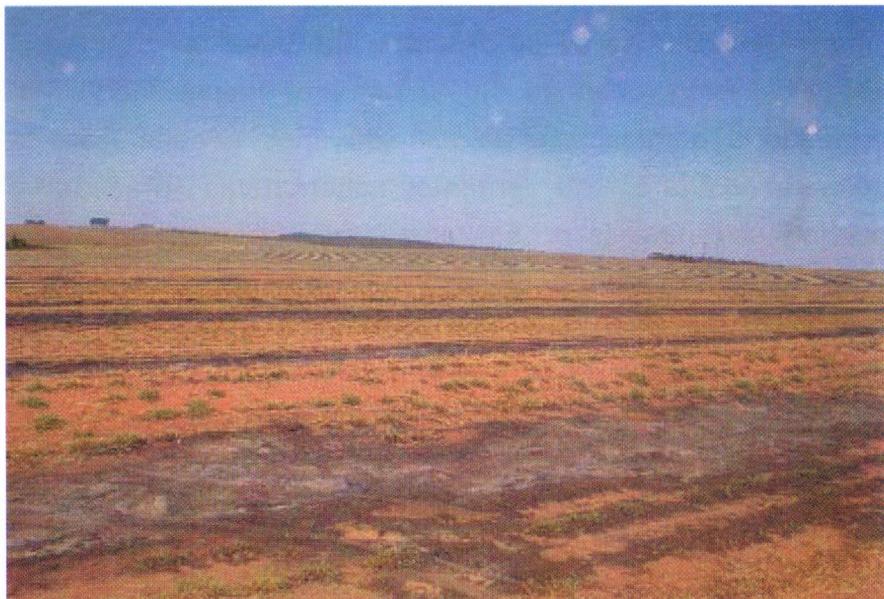


Foto: M.M. Meirelles, 2003.

Figura 5. Vista geral de um campo de produção de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, no final da estação seca, após a conclusão da colheita e a queima das leiras de palhada.

Isso significa que a necessidade de planejar a colheita para mais de um ano na mesma área e de identificar formas de descarte ou de uso da palhada residual é cada vez mais premente.

Em conseqüência, para que possam colher mais de uma safra no mesmo campo de produção, muitos produtores têm recorrido à queima da palhada, após a conclusão da colheita e antes do início da estação chuvosa (setembro – outubro, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste). Esse

procedimento contribui para a poluição atmosférica e, às vezes, resulta em queimadas acidentais de áreas adjacentes, pois nem sempre é feito de acordo com a legislação ambiental.

Queima controlada é uma alternativa legal de descarte de resíduos agrícolas e os procedimentos por ela determinados minimizam a possibilidade de dano ao ambiente. A adoção dessa prática, no entanto, tem se deparado com graus variados de dificuldades em diferentes regiões do País, que variam de negativa de autorização a demora excessiva na obtenção de autorização por autoridade legal competente. Esses fatos têm estimulado a queima ilegal.

Assim, é grande o interesse dos produtores em encontrar rapidamente alternativas econômicas de uso ou de descarte da palhada. Cabe notar que esse interesse deriva não apenas da consciência da maioria dos produtores quanto às suas responsabilidades sociais e ambientais mas, também, da possibilidade de obter renda adicional, como forma de reduzir custos. Prevalece entre os produtores a noção de que, mais do que um problema, a palhada pode representar oportunidade de obtenção de renda.

Diversos fatores diferenciam a palhada residual da produção de sementes de capim de outros tipos de palhada; a forma de descarte ou de uso é um dos principais deles. Trata-se de material extremamente volumoso (mais do que vários outros tipos), composto primordialmente por perfilhos

ressecados, longos (> 1 m), finos, lignificados, com baixo teor de proteína bruta e baixa digestibilidade para bovinos, além de inflorescências e seus fragmentos. A proporção de folhas na sua composição varia de acordo com a espécie ou a cultivar da gramínea, porém, geralmente, é baixa. Assim, o uso desse material na alimentação animal, a princípio uma forma aparentemente óbvia de utilização, é limitada por sua baixa qualidade nutricional e seu grande volume e, em consequência, tem ocorrido de forma apenas esporádica (Souza & Cardoso, 2001).

É possível que a viabilidade técnica do uso desse tipo de resíduo já tenha sido ou possa vir a ser demonstrado em várias outras situações, por exemplo, na produção de papéis, de compostos orgânicos, de produtos químicos, de energia, ou na utilização como cama para aviários e no plantio direto. Outras possibilidades de uso poderão ainda ser identificadas no futuro. Entretanto, a viabilidade econômica das possíveis formas de utilização já identificadas não foi ainda avaliada.

## **Conclusões**

A ampla disponibilidade de sementes de capins tropicais é fundamental para a produção de carne e de leite em pastagens no Brasil. Entretanto, a sustentabilidade do sistema de produção dessas sementes depende da identificação de formas técnica, ambiental e economicamente viáveis de utilização ou de descarte da palhada residual.

Ainda que de forma escassa e não documentada, sabe-se que algumas poucas alternativas de uso identificadas até agora apresentam indícios de viabilidade técnica de uso (alimentação de ruminantes, produção de energia); outras ainda se encontram em fase de especulação (produção de substâncias químicas e de compostos orgânicos, cama para aviários, dentre outras). Nenhuma delas, no entanto, teve sua viabilidade econômica demonstrada até o momento.

Para que isso aconteça, é necessário que o problema seja discutido de forma multidisciplinar, para que os principais gargalos e as oportunidades sejam identificados e abordados de modo apropriado. Até que isso aconteça, faz-se necessário obter das autoridades competentes ajustes e coerência na aplicação da legislação ambiental. Em face da importância do mercado de sementes de pastagens tropicais para o Brasil, isso já deveria ter acontecido.

Todos estão interessados na identificação de soluções para o problema do descarte da palhada resultante da produção de sementes de capim, principalmente os produtores dessas sementes. Afinal, a palhada pode não ser um problema e, sim, uma grande oportunidade

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> M. M. Meirelles pelas fotos incluídas no texto.

## **Referências bibliográficas**

HACKER, J. B. Crop growth and development: grasses. In: LOCH, D. S.; FERGUSON, J. E. (Eds.). **Forage seed production. 2. Tropical and subtropical species.** Wallingford, UK: CABI International, 1999. Chapter 2. p. 41-56.

SOUZA, F. H. D. de. **Produção de sementes de gramíneas forrageiras tropicais.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 43p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documento, 30).

SOUZA, F. H. D. de; CARDOSO, E. G. **Alternativa para o descarte de palhada resultante da produção de sementes de capim.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. 3 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Comunicado Técnico, 39).

SOUZA, F. H. D. de; RAYMAN, P. R. **O emprego de colheitadeiras automotrizes na colheita de sementes de plantas forrageiras tropicais.** Campo Grande: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, 1988. 25 p. (Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. Circular Técnica, 6).

# 2

## Manejo de palhada residual em sistemas de produção de sementes de capim nos Estados Unidos da América

---

*Ronaldo Pereira de Andrade*

### Introdução

A necessidade de aumentar a eficiência biológica e a eficiência econômica de sistemas agrícolas de produção é de os adequar às normas que visam à preservação da qualidade ambiental requer constante aprimoramento desses sistemas. Nesse sentido, grande importância vem sendo dada a estudos que visam à utilização da palhada residual resultante de processos de colheita de sementes de capim.

A queima tem sido o processo secular de eliminação dessa palhada nos sistemas em que sua permanência na área da cultura limita práticas agrícolas, como preparo do solo, controle de ervas daninhas e colheita. Essa é a alternativa preferida de eliminação de resíduos, porque é barata, rápida e eficiente, principalmente quando o volume de palhada é grande. Além disso, a queima controla ervas daninhas, doenças e pragas. Sua prática, no entanto, contribui para a poluição do ar pela liberação de fumaça,

gases e partículas e, quando feita de maneira descontrolada, pode causar incêndios indesejáveis e acidentes, além de desconforto e ou doenças em pessoas.

Em vista desses problemas, por um lado os governos têm elaborado normas cada vez mais restritivas ao uso da queima como alternativa de eliminação de palhada residual. Por outro lado, são diversas as possibilidades de utilização da palhada: alimentação animal, produção de energia e de compostos químicos, compostagem, cama na produção de frangos e outros animais, cobertura morta em sistemas de plantio direto, artesanato e fabricação de aglomerados usados em construção. A maior ou a menor utilização dessas alternativas, como substituto da prática da queima, depende de sua viabilidade econômica.

No mundo, a principal área de produção de sementes de gramíneas de clima temperado encontra-se no Estado do Oregon, situado na região noroeste dos Estados Unidos da América, na costa do oceano Pacífico. Ali, a produção de sementes de gramíneas é uma atividade de grande importância econômica e, por décadas, a queimada foi a única alternativa utilizada para eliminação da palhada residual da colheita de sementes. A partir do início da década de 1990, em virtude de problemas ambientais, foram implementadas ações de legislação, de pesquisa e de extensão que criaram condições para o desenvolvimento de alternativas de manejo da palhada residual, que substituíram com relativo sucesso o uso da queima em grande parte dessas áreas.

A experiência do Estado do Oregon pode ser utilizada como referência na busca de alternativas de manejo que substituam a queima da palhada resultante de colheitas agrícolas e que sejam adequadas aos sistemas de produção de sementes de capim praticados no Brasil.

### **Sistemas de produção de sementes de gramíneas no Estado do Oregon, EUA**

Descrição completa dos sistemas de produção de sementes de gramíneas e de leguminosas no Estado do Oregon foi feita por Young III (2006). Esse Estado é o maior produtor mundial de sementes de gramíneas de clima temperado para formação de pastagens e de gramados. A produção de sementes existe como atividade agrícola no Estado do Oregon desde 1920 e a principal região produtora é o vale do rio Willamette, que corta o Estado na direção sul-norte. Outras áreas de produção de menor importância se localizam nas regiões das cidades de Medford, Kallamath Fall, Madras, Hermiston e La Grande, no mesmo Estado.

Tipicamente, a atividade de produção de sementes é um empreendimento familiar, com uso intensivo de mecanização e de tecnologia. Associados a essa área de produção, estão também presentes no vale todos os componentes da cadeia de produção de sementes, dentre os quais cerca de 370 unidades de beneficiamento de sementes. A aprovação da lei de proteção de cultivares nos Estados Unidos da América, em 1970, teve impacto positivo

na atividade de produção de sementes do Estado do Oregon, tanto que em 2003 cerca de 40% da produção de sementes foi realizada em conformidade com sistemas de certificação.

A existência de condições climáticas ideais para a produção de sementes é uma das principais razões do sucesso da atividade nesse vale. Ele se situa à latitude média de 44° norte, que é a suficiente para estimular o florescimento na maioria das gramíneas e das leguminosas de clima temperado. Além disso, o clima caracterizado por verões quentes e secos, associado à primavera úmida e com temperaturas amenas, garante as condições ideais para expressão do potencial de produção das espécies e das cultivares, além de assegurar as condições ideais para a colheita no verão. No outono-inverno úmido, as temperaturas são suficientemente frias para atender às exigências de indução floral das espécies. Na Figura 1, é apresentada a distribuição da precipitação anual, que atinge total aproximado de 1.100 mm, e as médias mensais de temperatura que ocorrem no vale mencionado.

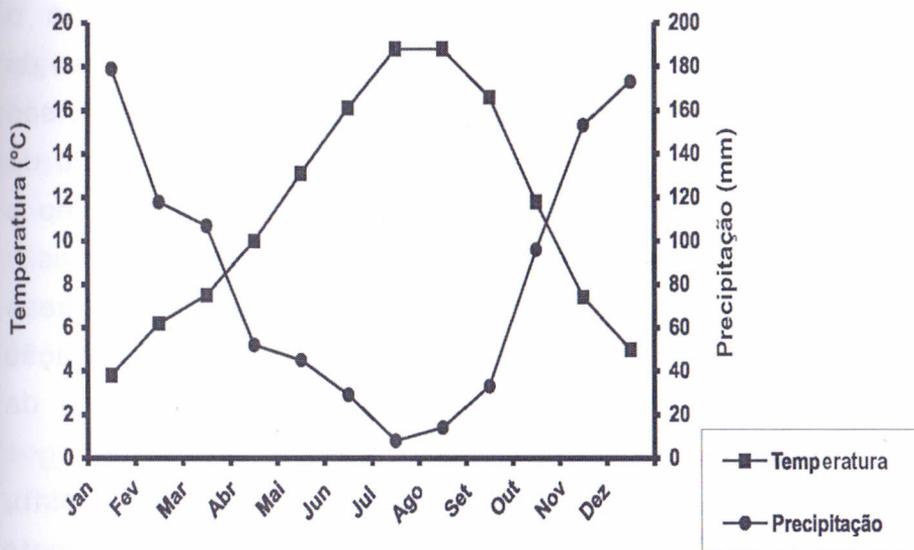


Figura 1. Médias mensais históricas de temperatura e de precipitação no vale do rio Willamette, no Estado do Oregon, Estados Unidos da América.

Nessa região, a seqüência típica de operações realizadas em área de produção de sementes inclui a semeadura entre maio e meados de agosto, ou seja, final da primavera a meados do verão. Especial atenção é dada ao controle de ervas daninhas, por causa de exigências do sistema de controle de qualidade e de certificação de sementes. No estabelecimento da área, a preferência é dada a áreas com histórico de baixa densidade de ervas daninhas e, na semeadura, pode ser utilizado carbono ativado, que, aplicado em faixa sobre a linha de plantio,

protege as sementes da cultura de herbicidas, como o diuron, que controla ervas daninhas antes da germinação de suas sementes. Durante o inverno seguinte ao plantio, são aplicados herbicidas residuais e, na seqüência, no início da primavera, podem ser usados herbicidas seletivos, como o 2-4, D, para garantir perfeito controle das ervas daninhas.

O nitrogênio é o principal nutriente utilizado nas áreas de produção de sementes de gramíneas e a adubação nitrogenada (90 a 150 kg de N/ha) é feita no início da primavera.

A colheita, realizada entre junho e agosto, dependendo da espécie ou da cultivar, é integralmente mecanizada, e realizada em duas operações. Na primeira, com o auxílio de segadeiras-enleiradeiras (*swathers*), as plantas são cortadas e acomodadas em leiras, nas quais ocorre o "chegamento" ou a "cura" das sementes, isto é, a maturação prossegue por algum tempo, apesar de as inflorescências não mais se encontrarem conectadas à planta-mãe. Esse corte é realizado quando a maior parte das sementes está na fase final de maturação; após 7 a 10 dias, quando as leiras estão secas, são trilhadas por colhedeiras automotrizes, nas quais a parte frontal (barra de corte-molinete) é substituída por uma adaptação ou *pick-up*, que facilita o recolhimento e a trilha das leiras pelas colhedeiras automotrizes.

A produção de sementes de gramíneas e de leguminosas é de grande importância econômica para o Estado. Em 2004, 216 mil hectares foram destinadas à produção de sementes, com produção de mais de 364 mil toneladas e valor das vendas superior a US\$ 347 milhões (Tabela 1); nesse ano, foi a terceira exploração agrícola economicamente mais importante do Estado do Oregon (Young, 2005).

A produção de sementes de leguminosas abrange as seguintes espécies: alfafa (*Medicago sativa*), trevo-branco (*Trifolium repens*), trevo-vermelho (*Trifolium pratense*), trevo-encarnado (*Trifolium incarnatum*), *Trifolium vesiculosum*, chicharo (*Vicia sativa*) e *Vicia villosa*. Dentre as gramíneas, as principais espécies são azevém anual (*Lolium multiflorum*), azevém perene (*Lolium perenne*), capim-festuca (*Festuca arundinacea*), grama-azul-de-kentucky (*Poa pratensis*), capim-dos-pomares (*Dactylis glomerata*) e festuca-vermelha (*Festuca rubra*), sendo que dessas espécies são produzidas sementes de mais de 950 cultivares (Young, 2005). Essa grande quantidade de cultivares em produção é clara evidência da importância da lei de proteção de cultivares para a indústria de produção de sementes de gramíneas no Estado do Oregon.

Tabela 1. Área, produção e valor de vendas de sementes de gramíneas e leguminosas do Estado do Oregon, em 2004.

Grupo de espécies	Área	Produção	Vendas
	(ha x 1.000)	(kg x 1.000)	(US \$ x 1.000)
Gramíneas <sup>1</sup>	204	355.374	330.983
Leguminosas <sup>2</sup>	12,5	8.911	16.680
Total	216,5	364.285	347.663

<sup>1</sup> Oito espécies e mais de 950 cultivares.

<sup>2</sup> Sete espécies.

Fonte: Young III (2004).

### Queima de palhada residual em áreas de produção de sementes no Estado do Oregon, EUA

O processo de colheita de sementes usado no Estado do Oregon resulta, em média, no volume de 4 a 10 t/ha de palhada, dependendo da espécie (Chastain et al., 1996a; Banowetz et al., 2004). O uso de fogo para eliminação dessa palhada residual foi iniciado na década de 1940, como prática de controle de doenças fúngicas da semente, como *blind seed*, causada pelo fungo *Gloeotinia temuletum*, e *ergot*, causada por *Claviceps spp.*, e de pragas que causam redução na quantidade e na qualidade de sementes (Young III, 2006). A queima das sementes de ervas daninhas e do próprio cultivo existentes na superfície do solo e de plantas de ervas daninhas reduz a necessidade do uso de herbicidas e facilita o atendimento às exigências de

padrões de campo para produção de sementes certificadas. Também, Chilcote et al. (1980) indicaram que, além desses aspectos, a queima, ao eliminar a cobertura e o sombreamento da base das plantas, proporciona melhor perfilhamento e maior produção de sementes.

A partir da década de 1960, com o aumento da população humana no vale do rio Willamette, a fumaça e a fuligem causada pela queima da palhada nas áreas de produção de sementes começou a provocar doenças e desconforto nos habitantes das cidades e causou acidentes rodoviários e incêndios florestais. Em razão de pressões de ambientalistas e das comunidades, a partir de 1988, a área de produção de sementes em que se utilizava a queima de resíduos de colheita começou diminuir.

Dessa maneira, a prática de queimada de palhadas tornou-se motivo de conflito na sociedade e em 1991 foi aprovada uma lei sobre o assunto (Oregon State University, 2006). Essa lei previa a redução gradual da área queimada, de 72.000 ha em 1991 para o máximo de 16.200 ha por ano, a partir de 1998. Ela também colocava ênfase no desenvolvimento de pesquisa para definir práticas de manejo da palhada alternativas à queima, prevendo até mesmo a alocação de recursos para essa atividade.

Por essa lei, a área em que haveria permissão para queima, de 16.200 hectares, seria acrescida de 10.000 hectares, que seriam determinados pelo governo, para atender às necessidades de realização de queima em locais

montanhosos ou para espécies de gramíneas específicas, nas quais as alternativas de manejo desenvolvidas para substituir a queima causam significativa redução na produtividade (Young, 2005). Essa lei também outorgou ao Departamento Estadual de Agricultura (*Oregon Department of Agriculture*) a responsabilidade pelo controle de queimadas em áreas de produção de sementes de gramíneas, responsabilidade que até então pertencia ao Departamento de Qualidade Ambiental (*Department of Environmental Quality*).

A legislação exige que, anualmente, os produtores façam inscrição prévia das áreas que pretendem queimar, mediante o pagamento de uma taxa por área a ser queimada (US\$ 2,00/acre). A solicitação é analisada e após a autorização os produtores pagam outra taxa (US\$ 8,00/acre) pela área efetivamente autorizada (Oregon State University, 2006)

### **Alternativas de manejo de resíduos de colheitas**

Os diversos tipos de manejo de palhada residual praticados no Oregon foram classificadas por Chastain e Young III (2004) em práticas termiais, não-termiais e sem remoção da palhada.

As práticas termiais envolvem a queima da palhada e são realizadas dentro das condições permitidas pela legislação. Além de controlar doenças, pragas, ervas daninhas e plantas voluntárias, a queima permite maior

reciclagem e maior reposição ao solo de nutrientes, como potássio e fósforo. As opções de manejo termais são: a queima da palhada no campo, no local onde se encontra; a opção anterior, seguida de queima com o uso de queimadores à base de gás propano; e o enfardamento da palhada, seguida da queima da palhada restante no campo e, por último, a opção que envolve o enfardamento seguido do uso de queimadores à base de gás propano para queima da palhada restante.

A utilização de práticas sem o uso de fogo ou práticas não-termais foi facilitada pelo desenvolvimento de uma indústria de remoção e de manejo de palhada. Essa indústria cuida da remoção, do transporte, da compactação e do preparo da palhada para exportação. Assim, todas as opções de manejo não-termal são iniciadas pelo enfardamento e se diferenciam pelo tratamento dado à palhada restante na área após o enfardamento.

As opções de práticas não-termais são: enfardamento; enfardamento e corte com vários tipos de picadores ou trituradores de palha (*flail choppers*); a opção anterior, seguida de enleiramento e remoção da palhada; enfardamento, seguido de corte com segadeiras-enleiradeiras e de remoção da palhada; enfardamento e recolhimento da palhada restante com máquinas de sucção a vácuo; e enfardamento e remoção da palhada para compostagem do material fora da área de produção.

A prática de manejo que não envolve a remoção da palhada requer a picagem ou a trituração da palha *in loco*, para facilitar a decomposição, e a redução da altura da resteva. Esse tipo de manejo pode ser a alternativa quando a qualidade da palhada não é adequada ou quando se pretende facilitar a reciclagem, reduzindo as perdas de nutrientes que ocorrem com a retirada da palhada, ou quando se busca o controle de algumas ervas daninhas, como a *Poa annua*. É uma prática que envolve riscos e sua utilização deve ser analisada, considerando aspectos de tolerância da espécie ou da cultivar a esse manejo e de idade do estande.

As opções de manejo sem remoção da palhada podem envolver: um a três cortes, com diferentes tipos de trituradores de palha (*flails*); a opção anterior, associada à remoção do material picado que fica depositado sobre as touceiras das plantas com o uso de rastelos ou enleiradores; e um corte com trituradores de palhada, após o uso de colhedeiças com trituradores de palha.

A experiência de vários anos de pesquisa indicou que a produtividade de sementes depende do manejo de resíduos adotado e da idade do estande. Além disso, as espécies têm comportamento distinto com relação aos diversos tipos de manejo de palhada. Espécies de crescimento cespitoso, como capim-festuca, azevém perene e capim-dos-pomares, são mais tolerantes a manejo sem retirada de palhada e adaptadas a manejos não-termais (Chastain et al., 1996a; Young et al., 1999).

O fato de essas espécies ocuparem aproximadamente 50% da área de produção facilitou a adoção de práticas de manejo que eliminam a queima sem causar perdas econômicas aos produtores. Espécies de hábito decumbente, como grama-azul-de-kentucky e *dryland bentgrass (Agrostis castellana)*, não toleram manejo sem remoção de palhada. Para a grama-azul-de-kentucky, especificamente, além da total remoção da palhada, é necessário corte de rebaixamento da resteva para 4 cm de altura. A *creeping red fescue (Festuca rubra spp. rubra)* tem sua produtividade reduzida por métodos que não envolvem a queima de palhada (Chastain et al., 1996b).

Trabalho recente (Schumaker et al., 2004) confirmou a baixa adaptação de duas subespécies de festuca de folha fina (*fine fescues*), *Festuca rubra ssp. commutata (chewings fescue)* e *creeping red fescue*, a sistemas de manejo de palhada que eliminam a queima. Os autores recomendaram que, na alocação de áreas para uso da queima de palhadas, deve ser dada prioridade a essas duas subespécies, pois a utilização de qualquer outro método de manejo de palhada que não a queima resultará em quedas na produtividade de sementes.

Em suas recomendações, Chastain e Young III (2004) ressaltaram que a seleção do manejo de palhada adequado depende dos seguintes fatores:

- Espécies ou cultivares – A escolha da prática adequada deve considerar o comportamento distinto entre espécies e cultivares quanto à tolerância à presença de palhada e de resteva após a colheita.
- Idade do estande – Plantas de estandes mais velhos tendem a ser mais susceptíveis de morte devida à queima ou ao manejo sem remoção de palhada.
- Localização da área de produção – A proximidade de habitações ou de rodovias dificulta o uso da queima ou de métodos não-termiais, por causa da poeira causada pelos sistemas de enfardamento, de corte e de enleiramento da palhada.
- Presença de ervas daninhas e ou doenças – Doenças ou ervas daninhas influenciam a tomada de decisão quanto ao uso de métodos não-termiais ou de queima de palhada.
- Aspectos econômicos e de risco – A escolha deve recair sobre os métodos de manejo que sejam mais adequados ao nível de produtividade da propriedade e que minimizem os riscos de redução de produtividade.

A redução do uso de fogo em palhadas exigiu o desenvolvimento de estratégias de uso de herbicidas e de fungicidas que substituíssem o efeito da queima no controle de ervas daninhas e de doenças que atacam inflorescências. Nos manejos não-termiais, os sistemas de controle de ervas daninhas se baseiam no uso intensivo de controle químico, com o uso de herbicidas de pré-emergência e de pós-

emergência, como recomendado por Mueller-Warrant e Rosato (2005) para capim-festuca. Nos sistemas que não envolvem a remoção da palhada, o material acumulado no solo pode, por um lado, ajudar no controle de algumas ervas daninhas, embora, por outro lado, esse mesmo material possa também reduzir a eficiência de herbicidas de pré-emergência.

As estatísticas indicam que o enfoque dado ao problema de redução do uso de queima de palhada residual de áreas de produção de sementes de capins no Estado do Oregon foi extremamente eficiente. Em 1968-1969, a área total queimada foi de 127.000 hectares e havia milhares de reclamações registradas no órgão competente, mas a partir da década de 1980 houve redução gradual da área queimada. No entanto, a partir da legislação de 1991, houve queda acentuada no uso de queima de palhada e, na realidade, a meta-limite de área máxima a ser queimada (26.000 ha), prevista para ser atingida em 1998, foi atingida com antecedência de dois anos. Atualmente, o uso da queima se reduziu a 20.000 ha ou aproximadamente 10% da área cultivada para produção de sementes de gramíneas no Estado do Oregon (Oregon State University, 2006)

Além disso, a adoção de métodos não-termiais proporcionou o desenvolvimento da indústria de exportação da palhada para países da Ásia, onde esse material é usado para alimentação animal. Na Tabela 2, são mostrados dados que evidenciam o crescimento dessa atividade econômica

entre os anos de 1994 e 2004. Nesse período, o volume de palhada exportado quase dobrou, houve aumento de US\$ 11,00 no preço da tonelada, a eficiência de venda e da exportação da palhada aumentou de 86% para 98% e o valor das vendas aumentou em aproximadamente 125%.

Tabela 2. Evolução da indústria de exportação de palhada de capim no Estado do Oregon, EUA.

Ano	Produção (t x 1.000)	Preço (US\$)	Vendas (%)	Valor das vendas (US\$ x 1.000)
1994	384	33,73	86	12.339
2004	614	44,81	98	27.064

Embora com menor expressão, existem outras utilizações industriais da palhada, como fabricação de compensados para uso em construções, artesanato e compostagem. Ultimamente, a possibilidade de utilização de palhada para produção de energia vem sendo considerada e o desenvolvimento de reatores de gaseificação que poderão ser utilizados em fazendas poderá aumentar a importância dessa forma de utilização da palhada (Banowetz et al., 2004) nos Estados Unidos da América.

## Conclusões

A implantação de ações que visam à redução ou à eliminação da queima de palhada nas áreas de produção de sementes do Estado do Oregon aconteceu em virtude da pressão exercida pela comunidade que foi afetada pela quantidade de fuligem e de fumaça liberados no ar. Em resposta, as autoridades estabeleceram legislação eficiente, que conseguiu reduzir o uso de queima de resíduos de colheita.

Essa legislação, que foi elaborada de forma participativa, previu um período para que os produtores se adequassem às novas exigências e, principalmente, deu grande apoio para que nesse período fossem desenvolvidas pesquisas que fornecessem alternativas econômica e ambientalmente viáveis de substituição da prática da queima. A legislação previu também a possibilidade do uso de fogo para as condições ou as espécies nas quais essa prática é insubstituível.

O desenvolvimento e a adaptação de maquinário para manipulação de grandes volumes foi outro fator de sucesso na substituição da queima por manejos não-termois da palhada. Possivelmente, esses dois tópicos da experiência do Oregon sejam de especial interesse para o Brasil em seu esforço para também reduzir e regulamentar o uso de fogo em áreas de produção de sementes de gramíneas tropicais.

## Referências bibliográficas

BANOWETZ, G. M.; STEINER, J. J.; BOATENG, A.; EL-NASHAAR, H. Potential for on-farm conversion of straw to bioenergy in seed production operations. In: YOUNG III, W. C. (Ed.). **Seed Production Research at Oregon State University USDA-ARS Cooperating**. Oregon: Dept. of Crop and Soil Science Ext., Oregon Seed Council, 2004. p. 75-77.

CHASTAIN, T. G.; YOUNG III, W. C. Residue management. In: LIES, M. (Ed.). **High yield grass seed production and water quality protection handbook**. Salem: Oregon Seed Council, 2004. p. 8-10. Disponível em: <<http://forages.oregonstate.edu/organizations/seed/osc/brochures/water-quality/brochure.pdf>>. Acesso em 10 de dezembro de 2004.

CHASTAIN, T. G.; YOUNG III, W. C.; GARBACIK, C. J.; SILBERSTEIN, T. B.; MELLBYE, M. E. Full straw management: effect of species, stand age, technique, and location on grass seed performance. In: YOUNG III, W. C. (Ed.). **Seed Production Research at Oregon State University USDA-ARS Cooperating**. Salem: Dept. of Crop and Soil Science Ext., Oregon Seed Council, 1996a. p. 14-16.

CHASTAIN, T. G.; YOUNG III, W. C.; KIEMNEC, G. L.; GARBACIK, C. J.; SILBERSTEIN, T. B.; GINGRICH, G. A.; COOK, G. H. Stubble management for creeping red fescue and Kentucky bluegrass. In: YOUNG III, W. C. (Ed.). **Seed Production Research at Oregon State University USDA-ARS Cooperating**. Salem: Dept. of Crop and Soil Science Ext., Oregon Seed Council, 1996b. p. 16-20.

CHILCOTE, D. C.; YOUNGBERG, H. W.; STANWOOD, P. C.; KIM, S. Post-harvest residue burning effects on perennial grass development and seed yield. In: HEBBLETHWAITE, P. D. (Ed.). **Seed production**. London: Butterworths, 1980. p. 91-103.

MUELLER-WARRANT, G. W.; ROSATO, S. C. Weed control for tall fescue seed production and stand duration without burning. **Crop Science**, v. 45, n. 15, p. 2614, Nov-Dec., 2005.

OREGON STATE UNIVERSITY. **Oregon Seed Extension Program**. Disponível em: ([http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Burning/1991\\_field\\_burning\\_legislation.htm](http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Burning/1991_field_burning_legislation.htm)). Acesso em 7 de junho de 2006.

SCHUMAKER, D. D.; CHASTAIN, T. G.; GARBACIK, C. J.; YOUNG III, W. C. Response of fine fescue seed crop cultivars to residue management practices in the Willamette Valley. In: YOUNG III, W.C. (Ed.). **Seed Production Research at Oregon State University USDA-ARS Cooperating**. Salem: Dept. of Crop and Soil Science Ext., Oregon Seed Council, 2004. p. 34-35.

YOUNG, B. Seed production: Grass and legume seed estimates for 2004. **Crop and Soil News/Notes**, v. 19, n. 2, 2005. Disponível em: (<http://cropandsoil.oregonstate.edu/newsnotes/0503/seed-prod.html>). Acesso em 29 de maio de 2006.

YOUNG III, W. C. **Grass seed production in Oregon**. Salem: Oregon Seed Extension Program, Oregon State University, Dept. of Crop and Soil Science. Disponível em: ([http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Pub/or\\_prod.html](http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Pub/or_prod.html)). Acesso em 23 de maio de 2006.

YOUNG III, W. C. **Oregon grass and legume seed crops preliminary estimates, 2004**. Corvallis, OR: Oregon State University, 2004. Disponível em: <http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Agronomy/04prelest.html>. Acesso em: 29 de maio 2006.

YOUNG III, W. C.; MELLBYE, M. E.; SILBERSTEIN, T. B. Residue management of perennial ryegrass and tall rescue seed crops. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 671-675, 1999.

# 3

## Restrições legais ao uso do fogo como alternativa de descarte da palhada

---

*Carlos Augusto Arantes*

A necessidade de aliar técnica ao cumprimento das normas legais, obriga, sempre, o produtor rural a estar atento a essas normas, sob pena de inviabilizar seu empreendimento por embargos e interdições e de se sujeitar a multas e processos. Historicamente, no Brasil se utiliza fogo para limpeza de áreas a cultivar, por ser um modelo de exploração "menos dispendioso". Esse modelo despreza o possível uso da biomassa produzida para fins mais nobres (óleos, biogás, energia, etc.).

Biomassa é um recurso renovável. Todos os materiais biológicos que podem ser aproveitados como fonte de energia, por exemplo, palhadas diversas, cana-de-açúcar, restos de madeira, lixo e dejetos orgânicos, lenha e carvão vegetal, podem ser definidos como biomassa.

A queima desregulada dessa biomassa concorre para aumentar o efeito estufa, efeito que ocorre naturalmente na Terra, onde a atmosfera segura parte do calor irradiado pela

superfície. Apesar de natural, esse fenômeno tem sido alterado pela ação antrópica. A queima de combustíveis fósseis, as queimadas nas florestas e a poluição das indústrias lançam gases que intensificam esse efeito, causando as chamadas mudanças climáticas e conseqüentemente, o aquecimento global.

Estudos necessários são realizados com vistas a minimizar o efeito estufa. Gases do efeito estufa são os seis gases determinados pelo Protocolo de Quioto, causadores do chamado efeito estufa:

- $\text{CO}_2$  – dióxido de carbono
- HFC – hidrofluorcarbono
- $\text{N}_2\text{O}$  – óxido nitroso
- PFC – perfluorcarbono
- $\text{CH}_4$  – metano
- $\text{SF}_6$  – hexafluoreto de enxofre.

Diversos são os diplomas legais que envolvem o uso de fogo com a finalidade de redução de resíduos vegetais. Além da União, os Estados e os Municípios produzem normas, e ainda existem conselhos, como o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama – criado pela Lei nº 6938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e seus mecanismos de formulação e de aplicação, e dá outras providências – Data da legislação: 31/8/1981 – Publicação no Diário Oficial da União:

2/9/1981), que é um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente e que cria resoluções; e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama – criado pela Lei nº 7.735, de 22/2/1989, formado pela fusão de quatro entidades brasileiras que trabalhavam na área ambiental: Secretaria do Meio Ambiente – Sema, Superintendência da Borracha – Sudhevea, Superintendência da Pesca – Sudepe, e Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF), que, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, é o órgão gerenciador da questão ambiental, responsável por formular, coordenar, executar e fazer executar a Política Nacional do Meio Ambiente e a preservação, a conservação e o uso racional, a fiscalização, o controle e o fomento dos recursos naturais renováveis e que cria portarias.

Para o presente estudo, serão consideradas as normas legais federais, não esgotando o assunto, mas servindo de norte para futuras discussões. São elas:

- A Constituição Federal de 1988.
- A Lei nº 4.771/65 – Código Florestal.
- A Resolução do Conama nº 3/90.
- O Decreto nº 2.661/98.
- A Portaria do Ibama nº 231/88.
- A Resolução do Conama nº 237/97.
- A Lei nº 9.605/98 – Lei de Crimes Ambientais.
- O Decreto nº 3.179/99.

Consoante a Constituição Federal de 1988, no Capítulo VI – Do Meio Ambiente – Art. nº 225, “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

É com base nesse direito que os técnicos envolvidos no setor têm a obrigação de estudar alternativas, ambientalmente corretas e sustentáveis, ao processo, com a finalidade de solucionar um problema sem criar outro, ou seja, mitigar o impacto sem gerar outro passivo ambiental.

As normas dispõem sobre a possibilidade de uso ou de descarte de determinado recurso natural renovável ou sobre índices permitidos de emissões.

Deve-se lembrar que o Brasil é um dos signatários do Protocolo de Quioto. Em 1997, na cidade de Quioto, no Japão, contando com representantes de 159 nações, foi realizada a terceira Conferência das Partes (COP 3), que culminou na adoção, por consenso, de um protocolo – o Protocolo de Quioto – que ficou conhecido como um dos marcos mais importantes desde a criação da convenção no combate à mudança climática. O Protocolo de Quioto define que os países industrializados reduziram em pelo menos 5,2% suas emissões combinadas de gases de efeito estufa em relação aos níveis de 1990. Para que o Protocolo de Quioto entrasse em vigor, ficou decidido que seria

necessária a ratificação de pelo menos 55 países e que juntos deveriam corresponder por pelo menos 55% das emissões globais de gases de efeito estufa.

O Protocolo entrou em vigor em 16/2/2005 e isto significa que passa a ter um compromisso legal vinculando todas as partes envolvidas; e a não colaboração de alguma das partes estará sujeita a penalidades dentro do Protocolo. Estabelece o Protocolo três “mecanismos de flexibilidade” que permitem a esses países cumprir as exigências de redução de emissões fora de seus territórios. Esses mecanismos são os seguintes: a Implementação Conjunta (*Joint Implementation*), o Comércio de Emissões (*Emission Trading*) e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (*Clean Development Mechanism*). O MDL é um mecanismo de flexibilização previsto no artigo nº 10 do Protocolo de Quioto. A proposta do MDL consiste em que cada tonelada de equivalente de CO<sub>2</sub> deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando novo atrativo para redução das emissões globais.

Espera-se que os distintos “créditos de carbono”, destinados a obter reduções dentro de cada item, sejam comercializados entre países de um mesmo mercado de carbono. As negociações acerca dos detalhes, incluindo a forma em que se distribuirão os benefícios, estão em andamento. O MDL requer que os projetos produzam “benefícios de longo prazo, reais e mensuráveis”. Especifica

que as atividades compreendidas nos mecanismos mencionados devam ser desenvolvidas adicionalmente às ações realizadas pelos países industrializados dentro de seus próprios territórios.

Para a definição de poluente atmosférico, observe-se a Resolução do Conama nº 03/90:

Art. 1º – São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Parágrafo Único – Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I – Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde.

II – Inconveniente ao bem-estar público.

III – Danoso aos materiais, à fauna e à flora.

IV – Prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

A previsão legal de uso de fogo em práticas agropastoris tem sua base no Decreto nº 2.661/98, que regulamenta o parágrafo único do artigo nº 27 da Lei nº 4.771, de 15/9/1965 (Código Florestal), mediante o estabelecimento de normas

de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências.

A forma, a permissão e a restrição de uso está clara em seu Art. 1º: É vedado o emprego do fogo:

I – Nas florestas e demais formas de vegetação.

II – Para queima pura e simples, assim entendida aquela não carbonizável, de

a) Aparas de madeira e resíduos florestais produzidos por serrarias e madeireiras, como forma de descarte desses materiais.

b) Material lenhoso, quando seu aproveitamento for economicamente viável.

III – Numa faixa de:

a) Quinze metros dos limites das faixas de segurança das linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica.

b) Cem metros ao redor da área de domínio de subestação de energia elétrica.

c) Vinte e cinco metros ao redor da área de domínio de estações de telecomunicações.

d) Cinqüenta metros a partir de aceiro, que deve ser preparado, mantido limpo e não cultivado, de dez metros de largura ao redor das Unidades de Conservação.

e) Quinze metros de cada lado de rodovias estaduais e federais e de ferrovias, medidos a partir da faixa de domínio.

IV – No limite da linha que simultaneamente corresponda:

- a) À área definida pela circunferência de raio igual a onze mil metros, tendo como ponto central o centro geométrico da pista de pouso e decolagem de aeródromo.
- b) À área cuja linha perimetral é definida a partir da linha que delimita a área patrimonial de aeródromo, dela distanciando no mínimo dois mil metros, externamente, em qualquer de seus pontos.

Em seu parágrafo único, temos a previsão temporal de proibição de queima, mesmo que controlada, de vegetação contida numa faixa de mil metros de aglomerado urbano de qualquer porte, delimitado a partir do seu centro urbanizado, ou de quinhentos metros a partir do seu perímetro urbano, se superior.

Prevê, ainda, a incidência de penalidade aos autores diretos e indiretos, e às autoridades que se omitirem ou facilitarem, por consentimento legal, a prática do ato.

Como definição de “queima controlada”, apresenta-se: o emprego do fogo como fator de produção e de manejo em atividades agropastoris ou florestais, e para fins de pesquisa científica e tecnológica, em áreas com limites físicos previamente definidos. Ressalta-se que, na concepção da palavra, queima controlada é a prática agrícola em que se é conhecedor

exato da área a ser implantada, dos efeitos e do controle temporal. O mesmo diploma legal observa a exigibilidade de licenciamento ambiental para uso dessa “queima controlada”, como segue:

Art. 3º. O emprego do fogo mediante queima controlada depende da prévia autorização, a ser obtida pelo interessado junto ao órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, com atuação na área onde se realizará a operação.

Prévia autorização corresponde a um tipo de licenciamento ambiental, consoante a Portaria do Ibama nº 231/88, em seu Art. 1º – Compete ao Ibama e ou a entidades por ele nomeadas emitir autorização para o uso de fogo sob forma de queima controlada.

Esse licenciamento ambiental tem sua exigibilidade na Resolução do Conama nº 237/97:

Art. 2º – A localização, a construção, a instalação, a ampliação, a modificação e a operação de empreendimentos e de atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

Como etapas do processo de licenciamento ambiental, são relacionadas:

- **Licença prévia:** fase preliminar de planejamento da atividade em que se avalia a concepção e a localização do empreendimento. Nessa etapa, são analisados o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) ou, conforme o caso, o Relatório de Controle Ambiental (RCA).
- **Licença de instalação:** autoriza a implantação do empreendimento. Nessa etapa, é analisado o Plano de Controle Ambiental (PCA), que contém projetos dos sistemas de tratamento e ou descarte de efluentes líquidos, atmosféricos e de resíduos sólidos, etc.
- **Licença de operação:** autoriza a operação do empreendimento, após a verificação do cumprimento das medidas determinadas nas fases de Licença Prévia e de Licença de Instalação.

O prazo legal para a tramitação do processo de licenciamento é de até 180 dias, para cada uma dessas etapas. Nos casos em que há solicitação do EIA e do RIMA ou da audiência pública, o prazo se amplia para 360 dias.

Outro diploma legal que proíbe o uso de fogo sem prévia autorização do órgão ambiental é o Código Florestal – Lei nº 4771/65:

Art. 27. É proibido o uso de fogo nas florestas e nas demais formas de vegetação.

Parágrafo único. Se peculiaridades locais ou regionais justificarem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, a permissão será estabelecida em ato do Poder Público, circunscrevendo as áreas e estabelecendo normas de precaução.

Em caso de dano ambiental, é obrigatório ao infrator a reparação do dano, independentemente de outras penalidades administrativas aplicáveis, como observado no Art. 7º da Portaria do Ibama nº 231/88.

Cominativamente, com fulcro no artigo 2º da Lei de Crimes Ambientais, a Lei nº 9605/98, "incide ainda, nas penas desta lei, quem, de qualquer forma, vier a concorrer para a prática dos crimes previstos no diploma legal e a estas cominadas, na medida de sua culpabilidade".

No caso das pessoas jurídicas, estas serão responsabilizadas administrativa, civil e penalmente, quando a infração for cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou no benefício da sua entidade. Essa responsabilidade não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato.

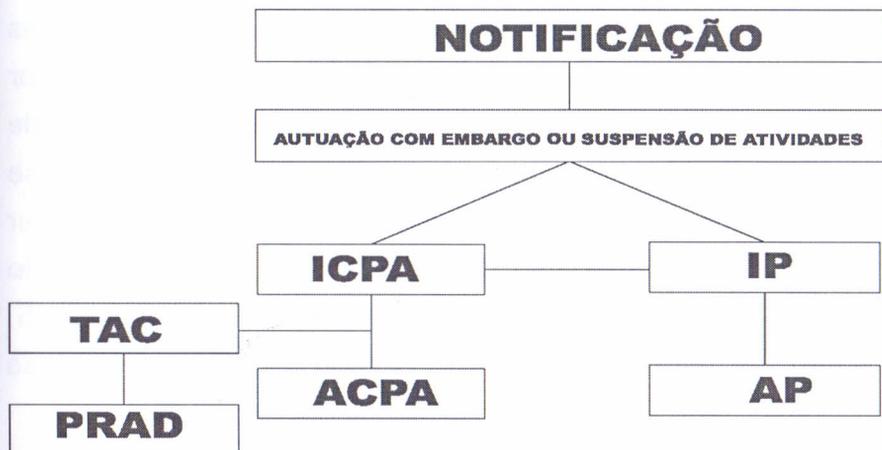
O decreto regulamentador da Lei de Crimes Ambientais, o Decreto nº 3.179/99, prevê que toda ação ou omissão que viole as regras jurídicas de uso, gozo, promoção, proteção e recuperação do ambiente é considerada infração administrativa ambiental, que será

punida com as sanções previstas nesse diploma legal, sem prejuízo da aplicação de outras penalidades previstas na legislação. Ou seja, usualmente o infrator entende que, em caso de autuação ambiental, basta pagar a multa imposta que o processo será resolvido. Está enganado. No mesmo decreto, observa-se a exigibilidade de recompor o dano causado.

Como sanções, são aplicadas: advertência, multa simples, multa diária, embargo de obra ou atividade, suspensão parcial ou total das atividades, restritiva de direitos, e reparação dos danos causados.

Estabelece, ainda, o mesmo decreto, em seu Art. 5º, o valor das multas a serem impostas ao infrator (o mínimo de R\$ 50,00 – cinquenta reais, e o máximo de R\$ 50.000.000,00 – cinquenta milhões de reais). Em seu Art. nº 40, prevê que fazer uso de fogo em áreas agropastoris sem autorização do órgão competente ou em desacordo com a autorização obtida impõe multa de R\$ 1.000,00 (mil reais), por hectare ou fração, muito superior aos R\$ 3,50/ha exigidos em licenciamento de queima controlada.

Em caso de autuação ambiental, pode o infrator sofrer uma Ação Civil Pública Ambiental (ACPA). Essa ACPA tem o seguinte fluxograma:



ICPA = Inquérito Civil Público Ambiental; IP = Inquérito Policial; TAC = Termo de Ajustamento e Conduta; PRAD = Plano de Recuperação de Área Degradada; ACPA = Ação Civil Pública Ambiental; AP = Ação Penal.

Com a notificação da infração ambiental, originam-se dois procedimentos, o primeiro denominado Inquérito Civil Público Ambiental, que tramita pela Curadoria do Meio Ambiente (promotoria), e, concomitantemente, o Inquérito Policial, pela Delegacia de Polícia. Não havendo nesta fase comprometimento do infrator em reparar os danos causados, segue o inquérito, transformando-se em Ação Civil Pública Ambiental e, da mesma forma, o Processo Crime (ação penal). No caso de comprometimento do infrator em recuperar os danos causados, é firmado o Termo de Ajustamento e Conduta (TAC), entre o infrator e a Curadoria do Meio Ambiente ou o órgão estadual ambiental competente.

Recomposto o dano, cessa a ação ambiental em suas esferas. Para cumprimento do TAC, o infrator elabora (por intermédio de técnico legalmente habilitado) um Plano de Recuperação de Área Degradada ou o que o valha. Esse plano tem em seu escopo um cronograma físico a ser cumprido. Para reparação do dano, existe o mecanismo do TAC, previsto no § 6º, do art. 5º, da Lei nº 7.347/85, introduzido pelo art. nº 113 do Código Brasileiro de Defesa do Consumidor – Lei nº 8.078/90, donde se extrai:

“Os órgãos públicos legitimados poderão tomar dos interessados compromisso de ajustamento de sua conduta às exigências legais, mediante cominações, que terá eficácia de título executivo extrajudicial”.

A maioria da doutrina em estudos em direito ambiental tem afirmado que o “compromisso de ajustamento de conduta” configura “transação”, conforme os moldes tradicionais do Direito Civil, importando, entretanto, em peculiaridades próprias. Observa-se que o objeto a ser negociado não é o ambiente, mas as condições de modo, de tempo e de lugar do cumprimento da obrigação de recuperar integralmente o ambiente.

A obrigação de recuperar o ambiente, por sua vez, poderá ser realizada mediante a prestação de “fato único” ou de “fatos sucessivos e vinculados”. No primeiro caso, há a realização de “tarefa única”, capaz por si de devolver

ao ecossistema suas condições primitivas. Se as obrigações de recuperação ambiental forem complexas, em geral e mais comum será sua realização por meio de "sucessivos fatos", uns "vinculados" aos outros.

Em resumo, a ofensa ao direito (dano ambiental) impõe ao infrator:

- Sanções penais e administrativas eventualmente cabíveis.
- O dever de reparar os danos causados.

### **Bibliografia consultada**

<http://www.ambientebrasil.com.br>

<http://www.ibama.gov.br>

<http://www.mma.gov.br>

<http://www.greenpeace.org.br>

<http://www.mct.gov.br>

<http://cdm.unfccc.int/>

<http://cdm.unfccc.int/EB/Members>

<http://www.oecd.org>

<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>

[www.cenbio.org.br/](http://www.cenbio.org.br/)

<http://www.soaresoliveira.br/projetoenergia.em/biomassa.html>

[www.planalto.gov.br](http://www.planalto.gov.br)

# 4

## Perspectivas de utilização da palhada residual da produção de sementes de capim para alimentação de ruminantes

---

*Armando de Andrade Rodrigues  
Francisco H. Dübbern de Souza*

### Introdução

A produção de sementes de gramíneas forrageiras aumentou substancialmente nas últimas décadas, concomitantemente à expansão das áreas de pastagens cultivadas no Brasil e do mercado externo.

No sistema de produção de sementes de capins tropicais há elevada produção de matéria seca, uma vez que os solos para cultivo das plantas são adequadamente adubados. Cerca de 2,8 milhões toneladas de palhada (composta por restos de folhas, de talos e de inflorescências), sobram por ano da colheita de sementes de capim, que têm sido descartadas, principalmente mediante a queima, causando importantes problemas de poluição ambiental nas regiões produtoras. Sua disponibilização ocorre no período seco do ano, em especial, entre junho e agosto.

A demanda alimentar humana nos países em desenvolvimento nos próximos anos exigirá taxa de crescimento da pecuária superior à da agricultura. Para que isso aconteça, diversas modificações estruturais deverão ser propostas e dentre elas, seguramente, a utilização de resíduos agroindustriais na alimentação animal poderá ser uma das alternativas.

### **Importância e aspectos digestivos dos ruminantes que possibilitam o aproveitamento de palhadas**

Os ruminantes ocupam posição de destaque como fornecedores de alimentos de ótimo valor para nutrição humana, tais como carne e leite, além de fornecer lã e couro, entre outros produtos. Entretanto, esse fornecimento varia ao longo do ano em consequência do problema de estacionalidade das pastagens, que afeta a oferta de alimentos para a nutrição de ruminantes, principalmente na época da seca.

Uma alternativa para evitar tais flutuações na produção seria aumentar a disponibilidade de alimentos de baixo custo para os ruminantes (bovinos, bubalinos, caprinos e ovinos) nesse período crítico. Isso poderia ser alcançado viabilizando a utilização mais eficiente de materiais fibrosos disponíveis, como por exemplo a palhada residual da produção de sementes de capim.

No ruminante adulto, o estômago composto corresponde de 60% a 70% da capacidade total do aparelho digestivo. Os dois primeiros compartimentos do estômago do ruminante, o rúmen e o retículo, funcionam como câmara de fermentação. O terceiro compartimento, o omaso, tem grande capacidade de absorção de líquidos, e o último compartimento, o abomaso, é o local de início da digestão feita por enzimas secretadas pelo organismo do animal. A fase pré-gástrica da digestão é uma característica dos ruminantes, e o ambiente ruminal é favorável à fermentação microbiana de componentes fibrosos (celulose e hemicelulose). Os produtos da fermentação microbiana no rúmen são principalmente ácidos graxos voláteis, absorvidos diretamente pelo animal. Esses ácidos graxos (ácido acético, propiônico e butírico) suprem a maior parte da exigência energética do ruminante.

### **Características das palhadas ou restos de culturas como alimento para ruminantes**

As palhadas têm sido freqüentemente utilizadas como volumoso na época da escassez de forragens e como forma de aproveitamento da grande quantidade disponível por ocasião das colheitas. As palhadas têm baixo valor nutritivo e quando são fornecidas como único alimento aos ruminantes não permitem ao animal atingir consumo suficiente de matéria seca, de proteína e de energia digestível para sua manutenção. Geralmente, os resíduos

culturais apresentam elevado teor de parede celular, composta principalmente de celulose, hemicelulose, e lignina. Apresentam também baixos teores de proteína bruta (PB) e de minerais. Embora a lignina não seja um carboidrato, ela está presente na fibra, formando complexo lignocelulósico, que dificulta a decomposição da celulose pelos microrganismos do rúmen. Por isso, trata-se de um dos parâmetros mais importantes na determinação do valor nutritivo, pois se constitui na fração indigestível dos componentes fibrosos.

Na Tabela 1, estão relacionados dados de composição química e de digestibilidade de plantas de duas espécies de *Brachiaria*, colhidas após a maturação de sementes, mostrando o baixo valor nutritivo da palhada quando comparada com a cana-de-açúcar, que é uma forrageira bastante utilizada na época da seca.

Tabela 1. Composição química (em percentagem da matéria seca) e digestibilidade "in vitro" de plantas de duas espécies de *Brachiaria* colhidas após a maturação das sementes, comparadas às da cana-de-açúcar.

Forrageira	FDN	Lignina	PB	Digestibilidade
<i>B. brizantha</i>	81,4	7,5	2,5	41,1
<i>B. decumbens</i>	84,1	7,5	4,6	40,7
Cana-de-açúcar	52,7	6,3	2,3	56,6

FDN = fibra em detergente neutro; PB = proteína bruta.

Fonte: Adaptado de Reis et al. (1995) e Rodrigues et al. (1998).

A proteína bruta total presente nos alimentos fibrosos, além de estar em quantidade aquém do mínimo para a fermentação adequada dos componentes da dieta, é de baixo aproveitamento pelos microrganismos do rúmen.

Com relação ao fósforo, macroelemento imprescindível à fermentação microbiana no rúmen, os alimentos fibrosos contêm baixo teor desse elemento (Cruz, 1992). Esses alimentos apresentam também baixo teor de enxofre, o qual é importante na síntese de proteína microbiana pelos microrganismos do rúmen (Rodrigues, 1998). O enxofre faz parte dos aminoácidos sulfurados que compõem a proteína microbiana. Os teores de sódio são baixos e também os dos microelementos cobre e zinco (Cruz, 1992). Assim, atenção especial é necessária no balanceamento das dietas que envolvem palhadas.

O consumo de palhadas varia, dependendo da qualidade, da palatabilidade, do tratamento e das características do animal, e é limitado pelo longo tempo de passagem pelo trato digestivo, em decorrência da sua lenta degradação.

Alguns pesquisadores recomendam, para melhor utilização das palhadas pelos ruminantes, que sejam corrigidas as deficiências nutricionais que elas apresentam e para isto enfatizam que, antes de qualquer tentativa de tratamento biológico, físico ou químico, seja utilizada a suplementação alimentar.

## **Utilização de suplementação para ruminantes alimentados com palhadas**

Conforme mencionado, as palhadas são alimentos caracterizados pelo alto teor de fibra e pelos baixos teores de nitrogênio e de proteína, o que torna necessário suplementar esses nutrientes para que os ruminantes tenham desempenho adequado. É importante lembrar que a maioria das espécies de bactérias digestoras de celulose é dependente do nível de amônia no rúmen. A amônia é o composto principal para a síntese de proteína no rúmen e pode ser originada de fonte de proteína ou de fonte de nitrogênio não protéico, como por exemplo a uréia (Rodrigues, 2003).

Os carboidratos são a principal fonte de energia para a síntese de proteína microbiana. Além disso, existe estreita dependência entre o uso da uréia e o conteúdo de energia da dieta. Por esse motivo, as recomendações para a utilização da uréia são baseadas principalmente na concentração de energia digestível na dieta. Assim, a eficiência da utilização de uréia será maior em dietas com baixo nível de nitrogênio e que contenham altos níveis de energia, de minerais e de outros componentes que aumentem a atividade microbiana (Rodrigues, 2003).

A quantidade mínima de nitrogênio necessária para a digestão da fibra é de 1% na matéria seca da dieta para volumosos com 50% de energia digestível (van Soest, 1982). Kellaway & Leibholz (1983), reunindo os trabalhos

realizados na Universidade de Sydney, na Austrália, relativos aos efeitos dos suplementos nitrogenados sobre o consumo e a utilização de forragens de baixa qualidade, concluíram que as necessidades de nitrogênio degradável no rúmen para síntese de proteína microbiana podem ser totalmente supridas com nitrogênio não protéico (uréia). Porém, eles citaram ainda que, além da necessidade de nitrogênio, a disponibilidade de energia pode ser um fator limitante para essa síntese de proteína no rúmen em dietas com forragem de baixa qualidade.

Os microrganismos ruminais requerem suprimento balanceado de energia e de proteína, para que a síntese de proteína microbiana seja otimizada. Consumo excessivo de proteína sem quantidade adequada de energia resulta em perda de nitrogênio na excreta (Noller et al., 1997). O nível de proteína degradável no rúmen deve ser de aproximadamente 13% dos nutrientes digestíveis totais (NDT; NRC, 1996). Isto equivale a uma relação NDT:PB próxima de sete. Dessa forma, o potencial de melhora no desempenho animal, por meio do fornecimento de suplementos ricos em proteína, é maior quando a relação NDT:PB da forragem é superior a sete (Kunkle, 1998).

Os farelos de soja e de algodão são, no Brasil, os principais suplementos protéicos utilizados para ruminantes. No entanto, os farelos protéicos são normalmente os componentes mais caros da dieta de bovinos e devem merecer atenção especial, em razão do custo sempre mais

elevado que o dos demais ingredientes. Nesse sentido, o potencial em nossas condições para utilização de sais proteinados ou misturas múltiplas, associados a volumosos de baixa qualidade, é muito grande (Rodrigues, 2002).

A utilização de compostos nitrogenados não protéicos, tal como a uréia, representa uma alternativa para atender parte das exigências de proteína dos bovinos, ao mesmo tempo que reduz os custos da suplementação protéica. Porém, a suplementação com grãos (p. ex., milho ou sorgo) não deve ser excessiva, pois pode afetar a degradação da fibra e não proporcionar os níveis de produção esperados. Além disso, a suplementação com carboidratos solúveis (p. ex., melaço) não deve ser superior a 10% pelo mesmo motivo.

A complementação da dieta à base de palhadas com forragem fresca de melhor qualidade favorece a digestão da fibra e a eficiência de aproveitamento da palhada é aumentada (Leng, 1990; Dolberg, 1992).

### **Tratamentos biológicos, físicos e químicos de palhadas para alimentação de ruminantes**

O tratamento da forragem residual da produção de sementes de capim tem dois objetivos: aumentar a digestibilidade e aumentar o consumo de matéria seca dessa palhada pelos animais, mediante deslignificação, ou seja, o desdobramento da lignocelulose. Diversos tratamentos de palhadas de vários tipos têm sido propostos

na Europa, nos Estados Unidos da América, na China e também no Brasil. Klopfenstein (1978) calcula que o tratamento químico de 200 milhões de toneladas de palhadas permitiria aumentar em 10 milhões de toneladas a produção de carcaças bovinas.

### ***Tratamentos biológicos***

Existem pesquisas sobre tratamentos biológicos que utilizam fungos e bactérias produtoras da enzima ligninase. Contudo, esses trabalhos ainda não resultaram em processos comerciais de tratamento de palhadas.

### ***Tratamentos físicos***

Os tratamentos físicos principais são a moagem e o tratamento com vapor sob pressão. A moagem é feita em moinhos de martelos ou de bolas. Enquanto na moagem o efeito é simplesmente aumento de consumo, sem aumento da digestibilidade, o tratamento com vapor sob pressão aumenta a digestibilidade. Entretanto, o equipamento necessário, o hidrolisador, é dispendioso e conseqüentemente seu uso pode não ser viável na maioria das fazendas.

### ***Tratamentos químicos***

Inúmeros métodos químicos têm sido avaliados visando à melhoria do valor nutritivo de volumosos de baixa qualidade. Entretanto, somente alguns produtos têm sido utilizados com bom resultado na prática. Dentre eles,

destacam-se os hidróxidos de sódio, de cálcio, de potássio e de amônio, a amônia anidra (gasosa) e a uréia como (fonte de amônia).

O baixo valor das palhas deve-se ao incrustamento da parede celular pela lignina. A lignina é solúvel em álcali forte e assim a ação de produtos alcalinos sobre a estrutura da fibra dos volumosos resulta no aumento da digestibilidade da celulose e da hemicelulose, em razão da expansão ou do afrouxamento das fibras vegetais. Entretanto, para que a adição desses produtos químicos não afete a palatabilidade dos alimentos, a quantidade a ser utilizada para promover a deslignificação deve ser a menor possível.

**Tratamento com hidróxido de sódio (soda cáustica ou NaOH).** O tratamento da palha com hidróxido de sódio pode ser feito de diferentes modos: a) a palha pode ser mergulhada em solução com 1,5% a 2,5% de NaOH de 30 min a 12 h e depois armazenada por 4 a 6 dias antes de ser fornecida aos animais; b) pode ser pulverizada, utilizando-se pulverizador com pressão e solução de 4% a 5,5% de soda; c) pode ser tratada com solução de NaOH (3,5% da matéria seca – MS) e ensilada por no mínimo uma semana; d) a palha solta pode ser borrifada com solução de NaOH (2% da MS), misturada com garfo e deixada em repouso por 24 h; e) pode ser tratada durante a colheita ou o enfardamento com um litro de solução de NaOH a 50%, para cada 10 kg de fardo, e armazenada por uma semana (Jackson, 1978; Prates, 1995).

O tratamento com NaOH muda a natureza física e química das palhas, que ficam mais macias. Esta pode ser uma das razões do aumento do consumo dos resíduos tratados. Outra mudança importante é o intumescimento da parede celular. Quando a parede celular é expandida e a superfície é rompida, os microrganismos do rúmen têm melhor acesso aos carboidratos estruturais e, conseqüentemente, a digestibilidade é melhorada. Aumentos da ordem de 30% na digestibilidade têm sido registrados por diversos autores quando as palhadas são tratadas com hidróxido de sódio (Marques Neto & Ferreira, 1984).

O hidróxido de sódio é um dos produtos químicos mais eficientes no tratamento de volumosos de baixa qualidade. Todavia, a sua utilização tem diminuído em razão da possibilidade de contaminação do ambiente durante o tratamento, bem como da quantidade de água para a aplicação e do excesso de sódio na dieta, nas fezes e na urina (Sundstol, 1984; Fahey Jr. et al., 1993).

**Tratamento com hidróxido de cálcio [Ca(OH<sub>2</sub>)].** Com a finalidade de tornar mais econômico o tratamento desses resíduos, alguns pesquisadores vêm realizando ensaios para substituir o hidróxido de sódio pelo hidróxido de cálcio, que, além de ser de fácil manuseio, é reconhecidamente mais barato e de fácil obtenção. Porém, os resultados até agora obtidos da comparação desses dois produtos indicam que a ação do hidróxido de cálcio é inferior à do hidróxido de sódio.

**Tratamento com amônia anidra ( $\text{NH}_3$ ).** Outra maneira de aumentar o valor nutritivo das palhas é tratá-las com amônia. Uma das principais alterações na composição química da fração fibrosa de volumosos com  $\text{NH}_3$  é a solubilização da hemicelulose, que resulta em diminuição no conteúdo de fibra em detergente neutro ou de parede celular (Reis & Rodrigues, 1993). Além desse efeito que aumenta a disponibilidade de carboidratos prontamente fermentescíveis para os microrganismos do rúmen, a amonização eleva o conteúdo de nitrogênio não protéico dos volumosos de baixa qualidade. O resultado é o aumento significativo (8% a 12%) na digestibilidade da forragem tratada.

Com base nos trabalhos consultados e nos resultados de pesquisas realizadas na Unesp, *Campus* de Jaboticabal, pode-se recomendar a utilização de amônia na dosagem de 2% a 3% do peso seco dos volumosos. Cerca de 50% da amônia aplicada é perdida por evaporação por ocasião da abertura da pilha. O restante fica retido na palha e é fonte de nitrogênio não protéico, elevando a proteína bruta em cerca de 4 a 5 pontos percentuais. Contudo, é necessário permitir a aeração dos volumosos, durante dois a três dias, a fim de que ocorra a volatilização da amônia que não reagiu com a fração fibrosa, e diminua a possibilidade de rejeição pelos animais, em razão do odor.

O nitrogênio adicionado pelo processo de amonização pode ser retido na forragem das seguintes formas:

nitrogênio amoniacal solúvel em água, nitrogênio não amoniacal solúvel em água e nitrogênio não amoniacal insolúvel em água. É importante lembrar que nem todo o nitrogênio incorporado na forragem está disponível para os microrganismos do rúmen, como por exemplo o nitrogênio insolúvel em detergente ácido.

A amônia anidra (gasosa) é aplicada através da injeção do produto químico. Nesse caso, o material é enfardado, empilhado e coberto com lona plástica. A amônia é injetada nos fardos sob pressão, através de um cano perfurado e introduzido lateralmente na pilha de fardos. Para tanto, um caminhão tanque com equipamento de pressão é utilizado no transporte e na injeção da amônia. Tem sido recomendado que o material permaneça coberto com a lona plástica por mais ou menos quatro semanas. Em vista da pequena disponibilidade do produto, da exigência de equipamentos especiais para a regulação de pressão e principalmente do transporte, a viabilidade de utilização do processo em condições de fazenda deve ser avaliada cuidadosamente.

**Tratamento com hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).** O emprego da amônia líquida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) tem sido utilizado nos processos de ensilagem de materiais fibrosos, como as palhadas. O processo consiste na pulverização do material a ser ensilado com solução de 3% a 5% de  $\text{NH}_4\text{OH}$  para cada 100 kg de matéria seca da palhada. O emprego do hidróxido

de amônio tem sido feito em pequena escala, comparado aos outros sistemas de tratamento.

**Tratamento com uréia como fonte de amônia.** Uma alternativa viável para se proceder a amonização de volumosos de baixa qualidade é o processo de obtenção de amônia ( $\text{NH}_3$ ) por hidrólise da uréia. Esse sistema está baseado no fato de que, em condições hermeticamente fechadas e sob a ação da urease, ocorre liberação de  $\text{NH}_3$  a partir da uréia. É importante salientar que inúmeros fatores podem afetar a eficiência desse processo, sendo os mais importantes: a) teor de água dos volumosos, b) atividade da urease dos volumosos, c) período de tratamento e d) quantidade de uréia aplicada.

Maior eficiência do tratamento com uréia como fonte de amônia pode ser obtida quando o volumoso apresenta teor de água ao redor de 30%, e a uréia é aplicada na dosagem de 4% a 8% da matéria seca (Dolberg, 1992; Gobbi et al., 2005). Em condições de clima tropical, a amonização pode ser concluída em quatro semanas; todavia, em condições de clima temperado, esse período deve ser prolongado.

Os efeitos de tratamento de *Brachiaria brizantha* com amônia anidra ( $\text{NH}_3$ ) ou com uréia como fonte de amônia podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Características de qualidade (em percentagem da matéria seca) de plantas de *Brachiaria brizantha* colhidas após a maturação das sementes e submetidas a tratamento com uréia ou com amônia.

Característica	Não tratada	NH <sub>3</sub> (3,0% na MS)	Uréia (5,4% na MS)
FDN	81,4	70,5	76,4
Lignina	7,5	7,2	7,3
DIVMS	41,1	62,0	56,0

MS = matéria seca; FDN = fibra em detergente neutro; DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Fonte: Adaptado de Reis et al. (1995).

### **Desempenho de animais alimentados com palhadas ou fenos amonizados**

Um sumário de experimentos, realizados em diversos lugares nos Estados Unidos da América, mostrou média de aumento de 22% no consumo de forragem amonizada, comparativamente à forragem não tratada (Berger et al., 1994). Segundo Kunkle (1998), o aumento de 10,7 unidades percentuais em digestibilidade e o aumento de 22% no consumo resulta em aproximadamente 50% de aumento calculado em ingestão de energia digestível.

Em nove experimentos conduzidos com bovinos em crescimento, verificou-se que os animais que receberam forragens tratadas com amônia ganharam 163 g/d a mais do

que aqueles animais que receberam palha não tratada. Em oito ensaios com vacas gestantes, os fenos e as palhas tratados proporcionaram ganho diário de 313 g superior ao daquele de forragens não tratadas (Kunkle, 1989).

Os dados da Tabela 3 mostram que a utilização do feno de *Brachiaria brizantha* amonizado e suplementado com 0,84 kg de milho e 0,36 kg de farelo de algodão proporcionou maior ganho de peso aos novilhos do que o uso de feno não tratado e suplementado com maior quantidade de concentrado protéico.

Tabela 3. Desempenho de novilhos alimentados com feno de *Brachiaria brizantha*, não tratado ou amonizado ( $\text{NH}_3$  - 3,0% da matéria seca) e suplementado com milho (M) ou farelo de algodão (FA).

Dietas	Ingestão de feno de <i>B. brizantha</i> (% do PV)	Ingestão total de matéria seca (% do PV)	Ganho de peso vivo (kg/dia)
<i>B. brizantha</i> + 0,64 kg de M + 0,96 kg de FA	1,5	2,4	0,3
<i>B. brizantha</i> + $\text{NH}_3$ + 0,84 kg de M + 0,36 kg de FA	2,2	2,8	0,7

Fonte: Adaptado de Reis et al. (1995).

### Vantagens e desvantagens de diferentes métodos de tratamento

As vantagens e as desvantagens das modalidades mais empregadas nos tratamentos de palhadas estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4. Vantagens e desvantagens de diferentes métodos de tratamento de palhadas.

Tratamento	Viabilidade	Risco	Efeito da temperatura ambiente (alta)	Necessidade equipamento especial	Custo	Eficiência
Hidróxido de sódio	difícil	arriscado	nenhum	sim/não	alto	o mais eficiente
Hidróxido de cálcio	fácil	seguro	favorável	sim/não	baixo	---
Amônia	difícil	arriscado	favorável	sim	alto	fornece N
Uréia	fácil	seguro	favorável	não	razoável	fornece N
Urina animal	fácil	seguro	----	não	baixo	fornece N

Fonte: Adaptado de FAO (1983).

O hidróxido de cálcio parece ser de aplicação mais fácil do que o hidróxido de sódio ou a amônia e também é mais barato, porém, é menos eficiente no aumento da digestibilidade. O tratamento com urina animal tem potencial, mas ainda foi muito pouco pesquisado.

A uréia como fonte de amônia parece a alternativa mais adequada para as condições brasileiras, pois sua utilização como fonte de amônia para tratamento de palhadas não requer grande investimento.

## **Aspectos econômicos da utilização de palhadas de produção de sementes de capim**

As características nutricionais das palhadas demandam tratamentos prévios para melhor utilização pelos ruminantes, principalmente químico, além de suplementação com concentrado protéico-energético e minerais, fatores esses que afetam o custo. Outro aspecto é o alto custo representado pelo transporte das palhadas até o local de tratamento ou de armazenamento, em decorrência da sua característica baixa densidade.

Esses aspectos associados (tratamento químico, transporte e suplementação) evidenciam que a maior restrição ao seu uso é de ordem econômica e portanto para reduzir os custos uma das alternativas que se mostra conveniente é o acesso direto do animal às palhadas. Nesse sentido, Ward (1978) apontou o pastejo direto como o mais econômico. Esta é uma alternativa prática e barata, pois o próprio animal colhe a forragem, havendo porém necessidade de suplementação e fornecimento de água. A delimitação da área é outro aspecto necessário, mas isso pode ser feito com cerca elétrica para diminuir o custo.

## **Conclusões**

A disponibilidade da palhada residual da produção de sementes de capim é muito grande e ocorre exatamente no período de escassez de pastagens. Os ruminantes, com seu sistema digestivo peculiar, são capazes de utilizar alimentos

fibrosos corrigidos com nitrogênio não protéico. Os alimentos fibrosos são pobres em alguns elementos imprescindíveis para que se processe a fermentação adequada no rúmen. A digestibilidade e o valor nutritivo das palhadas dependem do grau de impregnação com lignina e podem ser melhorados por diversos tratamentos e também com suplementação adequada. Para a adoção de tratamentos químicos de palhadas, é importante observar os custos da aquisição da palhada, dos produtos químicos e do transporte e também os gastos relativos ao método de tratamento ou de aplicação do produto.

Alguns tratamentos preconizados são onerosos e exigem equipamento especial, necessitando de estudos econômicos comparativos com outras alternativas de utilização. A uréia como fonte de amônia parece a alternativa mais adequada para as condições brasileiras, pois, além de o País ser grande fabricante de uréia, a sua utilização na suplementação de alimentos de bovinos e de ruminantes em geral está bem difundida e a utilização da uréia como fonte de amônia para tratamento de palhadas não requer grande investimento.

A avaliação econômica da utilização de palhadas tratadas e suplementadas para as diferentes categorias de bovinos e outros ruminantes deveria ser feita levando-se em consideração não somente o período de alimentação com a palhada tratada e suplementada, mas dentro do contexto do sistema de produção, abrangendo um período maior (pelo

menos um ano), analisando o retorno econômico do sistema como um todo. Esse enfoque de análise econômica poderá mostrar que a utilização da palhada tratada e suplementada para alimentação de bovinos na época da seca é viável para diferentes categorias de ruminantes, como por exemplo, para bovinos na fase de acabamento, obtendo animais para abate em idade mais precoce, aumentando a eficiência do sistema de produção.

### Referências bibliográficas

BERGER, L. L.; FAHEY JR., G. C.; BOURQUIN, L. D.; TITGEMEYER, E. C. Modification of forage quality after harvest. In: FAHEY Jr., G. C. **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1994. p. 922-966.

CRUZ, G. M. Utilização dos restos de culturas e palhas na alimentação de ruminantes. In: SIMPÓSIO SOBRE UTILIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS E RESÍDUOS DE COLHEITA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES. São Carlos, UEPAE de São Carlos, 1992. p. 99-121.

DOLBERG, F. Progress in the utilization of urea-ammonia treated crop residues: Nutritional dimensions and application of the technology on small farms. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 1992, Lavras, SBZ. **Anais...** Lavras: SBZ, 1992. p. 130-145.

FAHEY JR, G. C.; BOURQUIN, L. D.; TITGEMEYER, E. C.; ATWELL, D. G. Postharvest treatment of fibrous feedstuffs to improve their nutritive value. In: UNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Ed.). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1993. p. 717-766.

FAO. **Nuclear techniques for assessing and improving ruminant feeds**. Roma, 1983. np.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; NETO, A. F. G.; PEREIRA, O. G.; BERNARDINO, F. S.; ROCHA, F. C. Composição química e digestibilidade *in vitro* do feno de *Brachiaria decumbens* Stapf. tratado com uréia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 3, p. 720-725, 2005.

JACKSON, M. G. Treating straw for animal feeding: an assessment of its technical and economic feasibility. **World Animal Review**, v. 28, p. 38-43, 1978.

KELLAWAY, R. C.; LEIBHOLZ, J. Effects of nitrogen supplements on intake and utilization of low-quality forages. Roma, **World Animal Review**, v. 48, p. 33-37, 1983.

KLOPFENSTEIN, T. Chemical treatment of crops residues. **Journal of Animal Science**, v. 46, p. 841-848, 1978.

KUNKLE, W. E. **Strategies for cost effective supplementation of beef cattle**. Ona: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 1998. 7 p.

LENG, R. A. Factors affecting the utilization of poor quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. **Nutrition Research Review**, v. 3, p. 277-303, 1990.

MARQUES NETO, J.; FERREIRA, J. J. Tratamento de restos de cultura para alimentação de ruminantes. Belo Horizonte, **Informe Agropecuário**, n.119, p. 38-43, 1984.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington: NAS, 1996. 242 p.

NOLLER, C. H.; NASCIMENTO Jr., D.; QUEIROZ, D. S. Exigências nutricionais de animais em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.151-184.

PRATES, E. R. Arroz e cereais de inverno. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS. Utilização de resíduos culturais e de beneficiamento na alimentação de bovinos, 6., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.73-98.

REIS, R. A.; RODRIGUES, L. R. de A.; PEREIRA, J. R. A. Sementes de gramíneas forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS. Utilização de resíduos culturais e de beneficiamento na alimentação de bovinos, 6., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 1995. p. 259-280.

REIS, R. A.; RODRIGUES, L. R. de A. **Amonização de volumosos**. Jaboticabal: FCAVJ-UNESP, FUNEP, 1993. 22 p.

RODRIGUES, A. de A. **Utilização de enxofre na dieta de bovinos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1998. 27 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 13).

RODRIGUES, A. de A.; CRUZ, G. M.; ESTEVES, S. N. Potencial e limitações de dietas a base de cana-de-açúcar para recria de novilhas e vacas em lactação. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 1998. 22 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 16).

RODRIGUES, A. de A. Utilização de nitrogênio não protéico em dietas de ruminantes. In: SIMPÓSIO GOIANO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE E LEITE, 5., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBNA, 2003. p.167-196.

RODRIGUES, A. de A. Potencial e limitações da uréia e de misturas múltiplas para bovinos alimentados com forragens tropicais. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 31p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 32).

SUNDSTOL, F. Ammonia treatment of straw: Methods for treatment and feeding experience in Norway. **Animal Feed Science and Technology**, v. 10, p. 173-187, 1984.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant.** Corvallis, Oregon: O & B Books, 1982. 374 p.

WARD, J. K. Utilization of corn and sorghum residues in beef cow forage systems. **Journal of Animal Science**, v. 46, p. 831-840, 1978.

# 5

## Perspectivas de uso da palhada de capim-braquiária como cama para aviários

---

*Paulo Sérgio Rosa*

*Waldomiro Barioni Júnior*

### Introdução

Cama é o nome utilizado para caracterizar o material colocado no piso dos galpões de criação de frangos, onde haverá deposição de excreta e pisoteio pelos frangos durante o período de criação, em instalações denominadas de aviários (Figura 1).

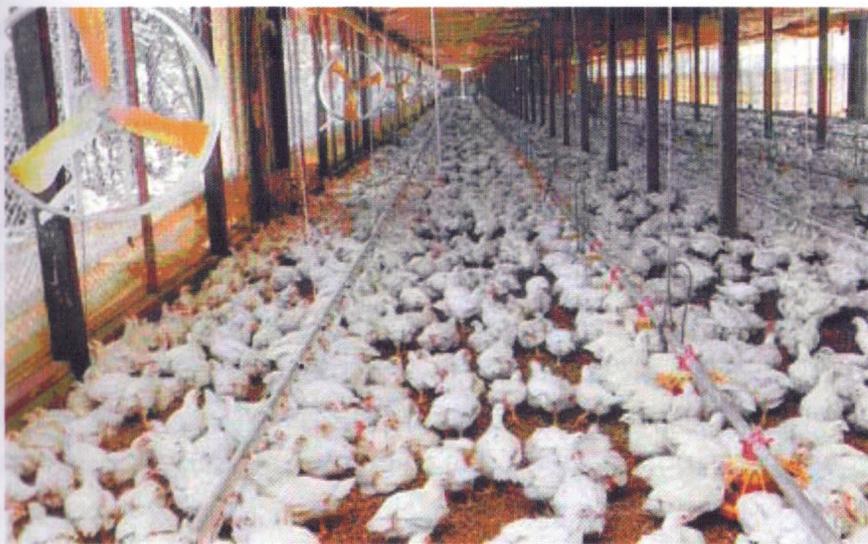


Figura 1. Vista de um aviário com frangos de corte sobre cama de maravalha, na região Sul do Brasil.

O material usado como cama deverá ter características que possibilitem a obtenção de bons resultados zootécnicos e que garantam a boa saúde do lote. Para tanto, esse material deve ser capaz de amortecer o impacto da ave com o piso, absorver a umidade da excreta e também ter boa capacidade de secagem (pela aeração), para manter a cama em estado de baixa umidade.

Além dessas características, o material deve ser isento de produtos oriundos de tratamentos industriais, normalmente tóxicos (inseticidas, herbicidas), que poderiam eventualmente provocar irritação e ou lesão na pele ou nos olhos das aves, prejudicando a saúde do lote. Outro aspecto importante a ser considerado e limitante para o uso de um material como cama é a elevada proliferação de fungos e de bactérias proporcionada por alguns materiais, que também coloca em risco a saúde do lote.

Na preparação do material para a utilização como cama, deve ser considerada a secagem e a redução do seu tamanho. No que se refere à secagem, o material deve conter de 12% a 18% de umidade. Materiais muito secos podem gerar poeira, que pode aumentar o risco de doenças respiratórias para os frangos. No caso de materiais com umidade alta, pode aumentar o risco de doenças, principalmente as provocadas por eimérias, fungos e bactérias. No que se refere ao tamanho das partículas, os materiais devem ser picados e os fragmentos não devem ultrapassar 5 cm. Isso é válido para as gramíneas de colmos

finos (capins do gênero *Brachiaria*). Já para materiais mais grosseiros, como gramíneas de colmo grosso (capim-napier), e outros materiais, como o sabugo de milho e o bagaço de cana-de-açúcar, os fragmentos não devem ultrapassar 2 cm.

No que se refere à quantidade de cama, tem-se indicado como adequado 10 cm de espessura do material. Porém, existem considerações que poderão ajudar a definir essa quantidade com maior precisão. Certamente, quanto menor for a densidade do material, maior será a redução de volume provocada pelo pisoteio e maior também deverá ser o volume de material a ser utilizado na cama. Para os materiais com densidade menor do que 0,15 (150 kg/m<sup>3</sup> de material), deverá ser utilizada a espessura de no mínimo 20 cm de material para cama, enquanto os materiais com densidade de 0,15 a 0,30 (150 a 300 kg/m<sup>3</sup>) deverão ser utilizados na espessura de no mínimo 15 cm.

Para definir a espessura mais adequada da cama, deve-se ainda considerar a densidade populacional de aves e a média de peso de abate dos frangos. Quanto maior for a densidade e quanto maior for a média de peso, mais pressão será exercida e conseqüentemente tanto maior será a compactação da cama. Nesse caso, deverá ser utilizada maior quantidade de material para suportar a carga exercida pelas aves. Camas muito compactadas ou materiais muito abrasivos poderão afetar o rendimento dos lotes, pela ocorrência de elevada percentagem de frangos com calos nos pés ou no peito.

Outro aspecto a ser lembrado é a possibilidade de utilização sucessiva da cama por vários lotes de frangos, que é uma realidade do sistema de produção em função dos problemas de reciclagem desse material pela alta concentração de aviários em determinadas microrregiões de alguns Estados brasileiros.

O contato do material com a excreta, associado à pressão pelo pisoteio, promove aceleração da decomposição do material, facilitada pela elevação da temperatura no local de criação dos frangos. Alguns materiais podem perder características importantes e se tornar ineficientes como cama ao se decomporem e se transformarem em pó muito rapidamente.

É prudente que antes da indicação da utilização de determinado material (resíduos, como a palhada de capim, ou outro produto de que não se tenha conhecimento adequado) se façam testes criteriosos, preferencialmente de campo, para avaliar a potencialidade e garantir a viabilidade de utilização, sem riscos para o setor produtivo de frangos.

Um estudo-piloto, em laboratório, foi realizado na tentativa de encurtar o caminho para a possível indicação do uso da palhada do capim-braquiarião (*Brachiaria brizantha*) como cama de aviário, visto que dos outros materiais testados já existem conhecimentos suficientes nessa questão. Neste estudo foram avaliadas a capacidade de encharcamento e de secagem da palhada do capim-braquiarião, para sua utilização como cama de aviário, e os resultados são apresentados a seguir.

### **Procedimentos utilizados para o teste dos materiais**

A palhada de capim-braquiário e o sabugo de milho foram picados para utilização como cama, respectivamente, em fragmentos de 1,5 – 2,0 e 3,0 – 4,0 cm; os outros materiais foram utilizados como se apresentavam na forma natural. Todos os materiais foram secados em estufa ventilada a 60°C por 24 horas (com a finalidade de padronizar as amostras quanto ao teor de água). Foi tomado 0,5 L de cada material e pesado, para a determinação da densidade. Para a determinação do percentual de matéria seca, uma amostra de 2 g, em duplicata, foi levada à estufa a 105°C por 24 h.

Foram utilizados diferentes materiais para avaliação do poder de encharcamento e de secagem (palhada de capim-braquiário, maravalha de pínus, maravalha de madeira de lei, sabugo de milho, bagaço de cana-de-açúcar, pó de serra de madeira da indústria de móveis e areia de rio com tamanho médio de partícula). Utilizou-se 0,5 L de cada material e quatro repetições. Os materiais após a pesagem foram devidamente acondicionados em compartimento de alumínio e imersos em água por 6 h. Após esse tempo, foi retirado o excesso de água por 1 h, até a parada da percolação pelo material, procedendo-se à pesagem (tempo inicial = hora 0), para cálculo do poder de encharcamento de cada material. Após isso, todas as amostras foram colocadas em estufa ventilada, à temperatura de 45 a 50°C, para a avaliação da perda de peso, em água. Foram realizadas dez pesagens no tempo de 0, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 32, 40 e 48 h.

### ***Resultados obtidos***

Na Tabela 1, encontram-se as médias da densidade e da matéria seca (%), referente aos sete materiais avaliados: palhada de capim, maravalha de pínus, maravalha de madeira de lei, sabugo de milho, bagaço de cana-de-açúcar, pó de serra de madeira de lei e areia de rio.

Observa-se que, dentre os materiais estudados, a palhada de capim registrou a mais baixa densidade ( $0,081 \pm 0,0025$ ), de modo que num recipiente de  $1 \text{ m}^3$  caberiam 81 kg desse material. O valor da matéria seca da palhada (91,5%) é similar à dos demais produtos de origem vegetal, exceto à da areia (99,8%), um material mineral.

A uniformização dos materiais foi fundamental para que fosse possível diminuir a variabilidade entre eles. Sabe-se, na prática, que normalmente os materiais utilizados como cama têm percentual de matéria seca mais baixo, entre 82% e 85%, ou seja, umidade mais elevada. Deve-se considerar que o uso dos materiais com densidade extrema é complicada, pois os de muito baixa densidade são de acamamento, transporte e manuseio difíceis dentro dos aviários e os de alta densidade podem não atender às especificações de um bom material para cama e normalmente são de transporte caro e de difícil manuseio, além de interferirem no processo de produtividade dos lotes, por aumentarem problemas de calos nos pés e no peito das aves.

Tabela 1. Média ( $\pm$  desvio padrão) da densidade e da matéria seca (MS, %) de cada material estudado.

Variáveis	Palhada de capim <sup>3</sup>	Maravalha de pínus	Bagaço de cana	Maravalha de madeira de lei	Sabugo de milho	Pó de serra	Areia de Rio
Densidade <sup>1</sup>	81 $\pm$ 2,6	96 $\pm$ 1,7	107 $\pm$ 2,6	158 $\pm$ 5,5	174 $\pm$ 2,8	314 $\pm$ 4,7	1,620 $\pm$ 8,1
MS(%) <sup>2</sup>	91,5	92,9	91,5	92,0	92,4	91,0	99,8

<sup>1</sup> Média de quatro repetições.

<sup>2</sup> MS = matéria seca; média de duas repetições.

<sup>3</sup> *Brachiaria brizantha*.

A Tabela 2 mostra a média de perda de umidade (%) dos sete materiais nos tempos observados. A coluna da hora 0 registra o quanto o material ficou encharcado em relação ao seu peso inicial, equivalente a 100%. Portanto, a Tabela 2 registra a capacidade de encharcamento de cada material com água na hora 0 e a sua perda de água em nove períodos (2, 4, 6, 8, 16, 24, 32, 40 e 48 h) após a hora 0. A palhada na hora 0 partiu com encharcamento de 349,7%, isto é, quase 3,5 vezes o seu peso natural (sem encharcamento = material seco = 100%), e com 40 h a palhada ainda continha 9,6% de água em relação ao seu peso inicial. Quando se comparou a palhada com a maravalha de pínus e com o sabugo de milho, dois materiais amplamente usados para cama na produção de frangos de corte, verificou-se que, enquanto com 32 h a palhada ainda mantinha 37,1% de água, a maravalha de pínus e o sabugo de milho mantinham 2,5% e 7,3%, respectivamente.

Quando se considera a percentagem de perda de água, a maravalha de pínus e o sabugo de milho com 16 h são equivalentes à palhada com 32 h. Outro material, que surpreendeu, quando comparado com a palhada, foi o bagaço de cana-de-açúcar, pois teve a maior capacidade de retenção de água (363,7%) em relação ao seu peso inicial e, com 32 h já havia perdido toda a umidade retida. Na Figura 2 fica evidente que a palhada perde água de forma linear (mais lenta), enquanto a maravalha de pínus, o sabugo de milho e o bagaço de cana-de-açúcar tiveram perda exponencial, isto é, perderam água mais rapidamente, característica desejável para a cama.

A boa capacidade de encharcamento, associada à elevada capacidade de perda de água do bagaço de cana-de-açúcar, da maravalha de pínus e do sabugo de milho, confere a esses materiais a melhor perspectiva de utilização, dentre os avaliados neste experimento, como material de cama para frangos de corte.

O teor de água dos materiais se estabilizou após 48 h, exceto o da maravalha de madeira de lei e o do pó de serra, que continham ainda 6,7% e 4,8% de água, respectivamente. A areia serviu para validar a metodologia usada, pois observa-se que na hora 0 estava retendo 17,6% de água em relação ao seu peso inicial. A areia é conhecida como material inerte, com baixa capacidade de retenção de água, mantendo-se estável a partir das 24 h, quando volta a seu estado inicial de peso. Foi constatada baixa capacidade de encharcamento

Tabela 2. Resultado (em %) da perda de água, em horas, de diferentes materiais potencialmente utilizáveis como cama para aviários.

Material	Horas									
	0 <sup>1</sup>	2,0	4,0	6,0	8,0	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0
Palhada	349,7	328,7	308,4	288,7	271,4	214,0	177,2	137,1	109,6	94,0
MarPínus	323,7	288,1	261,5	230,8	208,7	155,0	124,8	102,5	95,8	95,3
MarLei	280,2	266,4	252,5	237,7	225,2	186,6	158,6	134,6	117,6	106,7
Sabugo	250,6	233,0	216,0	199,7	185,0	144,3	124,8	107,3	98,7	98,7
Bagaço	363,7	325,7	291,8	256,6	233,5	166,7	123,9	95,8	95,8	95,8
Areia	117,6	115,8	114,1	112,1	110,1	104,1	101,1	99,9	99,9	99,9
Pó de serra	348,4	340,0	328,9	316,9	303,6	249,5	195,6	145,1	117,9	104,8

<sup>1</sup> Hora 0 = Capacidade de encharcamento dos materiais em relação ao seu peso inicial (100%).

Palhada = palha de *Brachiaria brizantha*; MarPínus = maravalha de pínus; MarLei = maravalha de madeira de lei; Sabugo = sabugo de milho; Bagaço = bagaço de cana-de-açúcar.

na areia, o que está relacionado à elevada capacidade de percolação da água pelo material. No entanto, foi verificada elevada capacidade de perda de água, característica positiva na avaliação de materiais para cama de aviário. Eventualmente, sob determinadas condições (indisponibilidade de outros materiais mais adequados), mediante avaliação dos aspectos negativos do material de elevada densidade e com dificuldades de manuseio, em aviários de chão batido e baixa densidade de criação, poderia ter sua utilização considerada.

Se os resultados de perda de água da palhada fossem equivalentes aos da maravalha de pínus e do sabugo de milho, ainda assim seria necessário avaliar outros fatores de viabilidade do material, como custo e logística de transporte,

capacidade da manutenção da integridade do material, aspectos sanitários (proliferação de fungos e de bactérias) e do conforto para as aves.

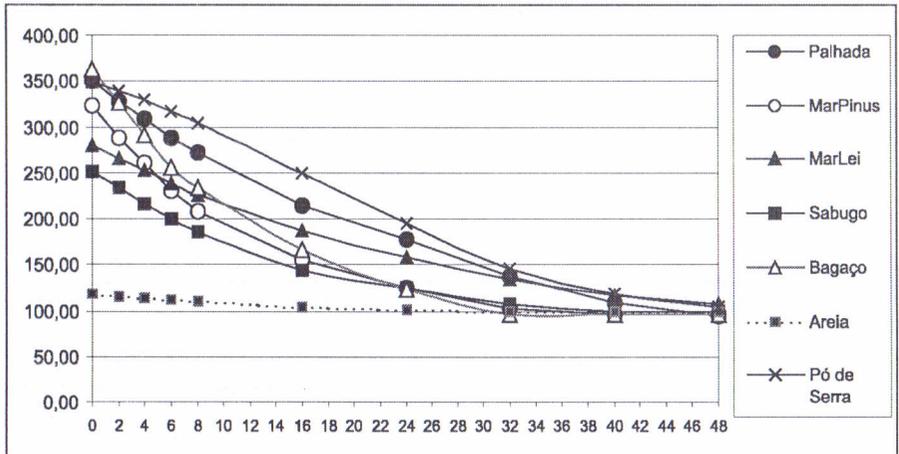


Figura 2. Média de perda de água (em %), dos sete materiais avaliados.

Palhada = palhada de *Brachiaria brizantha*; MarPínus = maravalha de pínus; MarLei = maravalha de madeira de lei; Sabugo = sabugo de milho; Bagaço = bagaço de cana-de-açúcar.

## Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que a palhada de capim-braquiarião é um material de muito baixa densidade e possui boa capacidade de encharcamento, porém baixa capacidade de perda de água (secagem), o que limita o seu uso como cama para frangos em produções comerciais, que utilizam alta densidade de criação de aves.

Experimentos para avaliar o uso conjunto da palhada de capins com outros materiais poderão eventualmente viabilizar sua utilização para cama de frangos.

### **Bibliografia consultada**

ANISUZZAMAN, M.; CHOWDHURY, S. D. Use of four types of litter for rearing broilers. **British Poultry Science**, v. 37, n. 3, p. 541-545, 1996.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15ed., Washington, DC. 1990.

ÁVILA, V. S. de.; OLIVEIRA, U. de.; FIGUEIREDO, E. A. P de.; GOMES, M. F. M. Uso de materiais alternativos como cama de aviário. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1993, Santos. **Trabalhos de Pesquisa...** Campinas: FACTA, 1993. p.81.

CONTE, A. J. Efeitos de dois sistemas de criação e de dois tipos de cama no desempenho de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 1998, Campinas. **Trabalhos de Pesquisa...** Campinas: FACTA, 1998. p.76.

FERREIRA, H. A.; OLIVEIRA, M. C.; TRALDI, A. B. Efeito de condicionadores químicos na cama de frango sobre o desempenho de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 56, n. 4, p. 542-546, 2004.

MOUCHREK, E.; LINHARES, F.; STELING, R.; TANAKA, T. Identificação de materiais de cama para frangos de corte criados em diferentes densidades populacionais. 1. Resultados de época quente. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 1992. p. 343.

NOLL, S. L. Interacciones entre el manejo de la cama y la salud de la parvada. **Avicultura Profesional**, v. 10, n. 1, p. 42-43, 1992.

OLIVEIRA, M. C.; GOULART, R. B.; SILVA, J. C. N. Efeito de duas densidades e dois tipos de cama sobre a umidade da cama e a incidência de lesões na carcaça de frangos de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 3, n. 2, p. 7-12, jul-dez., 2002.

RITZ, C. W.; FAIRCHILD, B. D.; LACY, M. P. **Litter quality and broiler performance**. Cooperative Extension Service, The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, Bulletin 1267, apr. 2005.

SANTOS, E. C. dos; COTTA, J. T. de B.; MUNIZ, J. A.; FONSECA, R. A. da; TORRES, D. M. Avaliação de alguns materiais usados como cama sobre o desempenho de frangos de corte. Lavras, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 4, p. 1024-1030, out-dez., 2000.

# 6

## Perspectivas de uso da palhada para a produção de compostos orgânicos

---

*Vinicius de Melo Benites*

### Introdução

Resíduos orgânicos ricos em lignina e celulose são produzidos diariamente em grande quantidade em diversas atividades humanas, tanto agrícolas como urbanas. Esses resíduos são provenientes de tecido vegetal não aproveitado por diversos processos de produção de alimentos, de fibras e de sementes, ou mesmo de manutenção de gramados em áreas urbanas. O termo "resíduos lignocelulósicos" é utilizado para denominar materiais também conhecidos como palhadas, serragens, tortas, aparas e outros materiais de constituição predominantemente vegetal.

Os materiais lignocelulósicos são formados pela atividade de fotossíntese executada pelos vegetais, que utilizam o dióxido de carbono atmosférico para a formação de fibras e de polímeros, como a lignina, a celulose e a

hemicelulose. Dessa forma, esses compostos constituem uma fonte renovável de carbono. A lignocelulose, por sua vez, é a principal precursora da matéria orgânica do solo, que se constitui principalmente do "húmus" ou, mais tecnicamente, de "substâncias húmicas". As substâncias húmicas são responsáveis por uma série de propriedades dos solos, tais como estruturação, porosidade, atividade biológica, e retenção de água e de nutrientes. Sem matéria orgânica, os solos se tornam inférteis e com baixa capacidade para utilização agrícola. Logo, para a manutenção de um bom sistema de produção agrícola, torna-se indispensável o manejo da matéria orgânica do solo.

O manejo da matéria orgânica do solo pode ser feito por meio da ciclagem biológica, utilizando-se culturas de cobertura para a produção de palhada e conseqüentemente obtendo aumento da matéria orgânica humificada. Essa prática é bastante difundida no Brasil pelo "sistema plantio direto", que tem sido adotado em larga escala na produção de grãos. Outra forma de manejar a matéria orgânica do solo é a adição de fertilizantes orgânicos e de condicionadores orgânicos aos solos. Essa prática é mais comum em sistemas mais intensivos, como olericultura, fruticultura e floricultura. Nesse caso, é necessário haver disponibilidade de fontes de matéria orgânica de boa qualidade, ou seja, com elevado grau de humificação e isentas de contaminantes. Além disso, é importante que o valor econômico desses adubos sejam condizentes com o valor das culturas, viabilizando sua utilização.

Uma das formas de produzir matéria orgânica de boa qualidade é por meio da compostagem. A compostagem é uma técnica que utiliza a atividade de microrganismos para a transformação de resíduos orgânicos, em especial aqueles compostos por material de origem vegetal, em adubos. O processo de compostagem envolve diferentes fases, cada qual representada por um grupo de microrganismos. Dessa forma, grupos microbianos com diferentes mecanismos de ação sobre o substrato se sucedem, transformando aos poucos o material lignocelulósico original, e produzindo matéria orgânica humificada (Pereira Neto, 1996). Esse processo pode apresentar diversas variações, influenciadas por temperatura, aeração, constituição do material de origem, uso ou não de inóculos e ativadores, e presença de nutrientes na formulação inicial, entre outros fatores. Todos os fatores podem ser controlados, originando compostos com diferentes características e tempos de estabilização do processo.

Este trabalho tem como objetivo descrever um método de compostagem de resíduos lignocelulósicos, que pode ser adaptado para diferentes condições e que permite a produção comercial de fertilizantes orgânicos, de condicionadores e de substratos. Dessa forma, é possível obter produtos de alto valor comercial a partir de materiais de baixo valor ou que representem algum impedimento ambiental a seu descarte controlado.

## **A palhada residual como fonte de material para compostagem**

Dentre os resíduos lignocelulósicos disponíveis no Brasil, a palhada residual da produção de sementes de capim envolve grandes volumes, cujo descarte representa um entrave ao sistema de produção de sementes, uma vez que há crescente pressão ambiental para restringir a prática de queima desse material. Aspectos relacionados ao recolhimento e ao transporte desses resíduos para o local de beneficiamento e de utilização industrial ainda são um empecilho para a implantação de usinas de compostagem. Contudo, suas características químicas e físicas são apropriadas para a produção de fertilizantes e de substratos de excelente qualidade, produtos cuja demanda cresce a cada dia com o aumento de áreas de agricultura orgânica no Brasil.

## **O processo industrial de produção de fertilizantes orgânicos por meio da compostagem**

Embora o processo de compostagem seja antigo e difundido em vários países, o estabelecimento de processos contínuos e em grande escala é ainda restrito. Por se tratar de um processo biológico, diversos parâmetros técnicos devem ser estabelecidos para a otimização e a padronização do processo. A partir de pesquisas realizadas pela Embrapa Solos, com resíduos lignocelulósicos

resultantes da manutenção dos gramados do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, foi estabelecido um protocolo de compostagem, passível de ser implementado em escala comercial (Benites et al., 2004). A seguir, serão descritas passo a passo as etapas do processo.

Inicialmente, a palhada deve ser triturada, até passar em peneira de 10 mm, utilizando um triturador misto (facas e martelo), com motor de 30 cv e rotação de 1800 rpm (Figura 1).

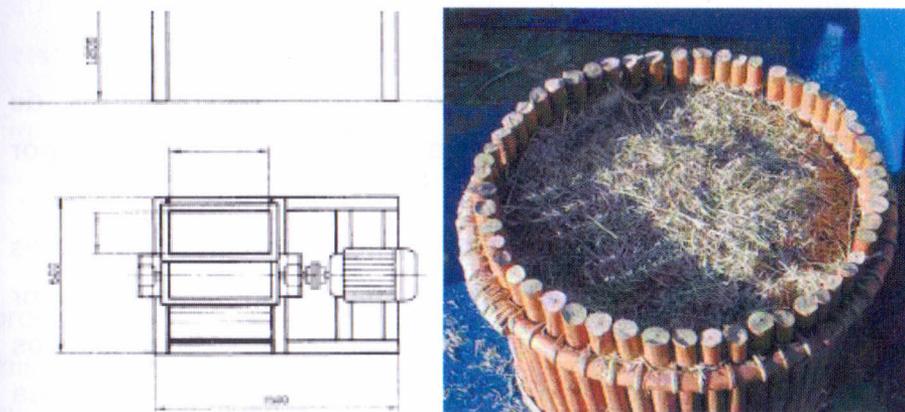


Figura 1. Desenho esquemático do moinho misto (faca e martelo) e aspecto de palhada (foto) após a moagem.

O material moído deve ser misturado com finos de carvão vegetal e com fosfato de rocha, nas seguintes proporções, na matéria seca: 132 kg de grama moída, 90 kg finos de carvão e 15 kg de fosfato de rocha. Para esse procedimento, deve ser utilizado um misturador horizontal ou uma betoneira, dependendo da escala praticada (Figura 2). Os

finos de carvão vegetal podem ser encontrados em carvoarias e são considerados um resíduo do processo. O carvão tem a finalidade de facilitar a aeração da pilha de compostagem, uma vez que o processo é aeróbico, ou seja, precisa de oxigênio. Além disso, experimentos com microrganismos demonstraram efeito benéfico da adição do carvão à mistura de compostagem (Coelho et al., 2003). Esse efeito é provavelmente devido à retenção, por parte do carvão, de substâncias produzidas pela atividade dos organismos, as quais são inibidoras do crescimento desses mesmos microrganismos. Dessa forma, na presença de carvão, a atividade biológica permanece elevada por período maior.

O fosfato de rocha tem a função de elevar os teores de fósforo e de cálcio do material, para proporcionar melhor equilíbrio nutricional. O fosfato de rocha é aceito pelos órgãos certificadores de agricultura orgânica e, logo, sua utilização não desclassifica os produtos gerados para utilização em sistemas orgânicos de produção. Dependendo da fonte de palha utilizada e de sua análise elementar, é necessária a adição de outros suplementos minerais, como o magnésio e o potássio.

Ainda durante a etapa do misturador, o material deve ser umedecido, até atingir 60% de teor de água (base úmida), com água isenta de cloro, proveniente de poços ou de cursos d'água. O controle do grau de umidade é fundamental para o



Figura 2. Moega de alimentação e misturador horizontal utilizado para a homogeneização da mistura antes da compostagem.

processo de compostagem, uma vez que, por um lado, misturas com baixo teor de água não apresentam atividade microbiana necessária, além de promoverem a perda de nitrogênio por volatilização. Por outro lado, misturas com alto grau de umidade produzem chorume, que pode representar perdas no processo, além de causar problema de engenharia e necessidade de uso de canais de escoamento e de bombas para a reinjeção do chorume (Figura 3).

Uma vez misturado e umedecido, o material deve ser organizado em pilhas. As pilhas devem ter espessura mínima, para permitir a formação de microclima adequado ao desenvolvimento dos microrganismos. A Figura 4 ilustra



Figura 3. Produção de chorume (líquido escuro), resultante do excesso de água nas pilhas de compostagem.

um esquema de compostagem em pilhas com aeração forçada, com dimensões relativas a  $45 \text{ m}^3$  de material, o que corresponde a aproximadamente 4 t de composto. O corte transversal mostra a disposição de pilhas em paralelo, o que facilita a operação de carga e a remoção das pilhas e também o processo de aeração (Figura 4).

Para a aeração das pilhas, são utilizados compressores de 5 cv, acoplados a canos de PVC perfurados ao longo de toda sua extensão, que são dispostos sob a pilha, no sentido longitudinal, no momento de sua montagem. Cada compressor está ligado a um termostato regulado para  $55^\circ\text{C}$ . Logo após a montagem da pilha, o material entra na fase termofílica e, se não houver intervenção, a temperatura interna pode exceder os  $80^\circ\text{C}$ .

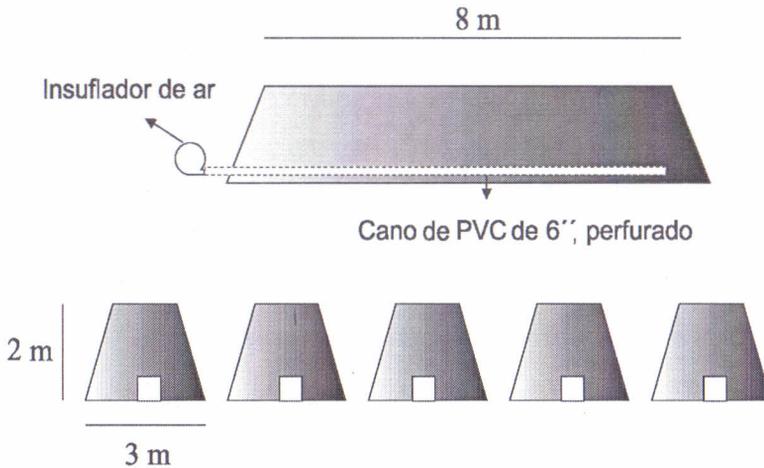


Figura 4. Desenho esquemático de pilhas de compostagem com aeração forçada, com capacidade para a produção de 4 t de composto por pilha.

A aeração controlada tem como objetivo, além do fornecimento de oxigênio, o resfriamento da pilha, evitando que o processo termofílico destrua os organismos mesofílicos, que são os verdadeiros humificadores do material. Dessa forma, quando a temperatura medida pelos termopares inseridos na pilha atingir valores superiores a 55°C, os compressores são acionados pelo termostato e inicia-se a aeração. Os compressores são automaticamente desligados quando a temperatura retorna a patamares inferiores à temperatura programada. Nos primeiros dias de compostagem, esse é um processo quase contínuo, que só cessa quando o composto entra na fase mesofílica (Figura 5).

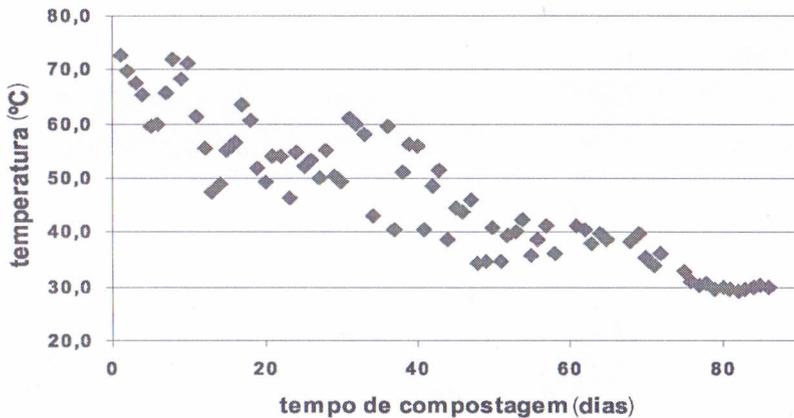


Figura 5. Evolução da média de temperatura das pilhas de compostagem, sem intervenção (aeração), mostrando as fases termofílica ( $T > 50^{\circ}\text{C}$ ), mesofílica e de maturação (após 80 dias).

Durante todo o processo de compostagem, o teor de água das pilhas deve ser mantido em torno de 60% (base úmida). Sempre que for constatado nível inferior a este valor, o ajuste deverá ser feito por meio da irrigação das pilhas com água isenta de cloro. O monitoramento da umidade pode ser feito por coletas semanais de material no interior das pilhas e secagem em forno de microondas.

Após atingir a estabilidade térmica, a pilha deve permanecer montada por mais 40 dias. Essa é a fase de maturação, em que ocorrem as principais transformações no material e é quando ocorre a formação do húmus, que é o objetivo maior da compostagem. Nessa fase, podem ser

percebidos insetos que começam a colonizar o composto. O material encontra-se pronto para a utilização como fertilizante orgânico e condicionador de solo.

Para padronizar a granulometria do material e permitir seu uso como substrato para crescimento de plantas, é necessário o peneiramento do composto. Normalmente, são utilizadas peneiras rotativas com malha de 10 mm, quando se pratica a compostagem em escala comercial. Para o uso do material como condicionador de solos, não é necessário o peneiramento e o material pode ser comercializado a granel. Para produção em menor escala, uma peneira horizontal de acionamento manual pode ser suficiente (Figura 6). O resíduo retido na peneira poderá ser utilizado na formação de novas pilhas, atuando como reinoculante. Grande parte do carvão fica retido na peneira e junto com ele, adsorvido em seus poros, grande quantidade de microrganismos decompositores. A presença do carvão na mistura facilita o processo de peneiramento, aumentando o rendimento. Na ausência de carvão, formam-se aglomerados de composto de difícil destorroamento, que aumentam a quantidade de matéria retida na peneira. Nesse caso, é necessária nova moagem do material após a compostagem.



Figura 6. Peneiramento do composto após a fase de maturação, utilizando-se peneira horizontal com malha de 10 mm.

### **Produtos obtidos pelo processo de compostagem de palhada**

Como produto final do processo de compostagem, obtém-se o composto orgânico. O composto orgânico pode ser utilizado para diferentes fins. O próprio composto, dependendo de suas características e dos materiais utilizados na sua preparação, é atualmente classificado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como fertilizante orgânico ou como condicionador orgânico de solos (MAPA, 2004b). A Instrução Normativa 15/2004 define os padrões mínimos para esses produtos, que são relacionados à sua constituição orgânica e mineral, além de algumas propriedades, como retenção de água e capacidade de troca catiônica. O composto preparado pelo processo descrito se enquadra nos padrões do MAPA para fertilizantes orgânicos, em razão dos seus teores de N, P e K (Tabela 1).

Tabela 1. Média da composição química de composto produzido a partir de aparas de grama no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (fração < 10 mm).

N	P	K	S	Ca	Mg	M.O.	Relação	S.H.
-----g/kg -----							C:N	g de C/kg
22,3	17,7	15,6	5,0	38,3	3,0	665	17,3	92,6
Mn	Co	B	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb	Na
-----mg/kg -----								
404	0,7	32	14	160	15	1,8	2,0	1,7

M.O. = matéria orgânica; S.H. = substâncias húmicas.

Fonte: Adaptado de Benites et al. (2004).

O composto pronto apresenta pH em torno de 8,5 e condutividade elétrica inferior a 3,0 mS/cm. O teor de matéria orgânica é superior a 60% e predominam as fibras ainda não alteradas, uma vez que o teor de carbono na forma de substâncias húmicas não ultrapassa 10% do peso total do composto. Contudo, esses valores são elevados quando comparados a outros produtos de compostagem.

O teor de metais pesados é inferior aos limites definidos pelas legislações europeias, que são as mais restritivas (Hoog et al., 2002). A partir das características do composto, ele pode ser classificado como fertilizante orgânico composto, classe A, de natureza sólida, sem classificação granulométrica, pela Instrução Normativa 15/2004 (MAPA, 2004b).

Após o peneiramento, o produto obtido se enquadra como substrato para plantas, conforme Instrução Normativa 14/2004 (MAPA, 2004a), atendendo aos critérios de umidade, capacidade de retenção de água, pH, condutividade elétrica e densidade. Além de atender às exigências da instrução normativa, o substrato obtido por esse processo pode ser usado em sistemas de produção orgânicos, uma vez que sua matéria-prima é aceita pelos órgãos certificadores de agricultura orgânica. Vale ressaltar que substratos têm valor de mercado superior ao valor de fertilizantes orgânicos e a demanda potencial de substratos tem crescido bastante no Brasil, em decorrência de atualizações na legislação, que exige a produção de mudas em ambientes protegidos, visando ao controle fitossanitário.

Além dos produtos descritos, novas pesquisas têm sido realizadas no sentido de obter produtos de maior valor agregado extraídos de compostos. Um exemplo de produto dessa natureza são as enzimas. Vários setores industriais utilizam enzimas para o tratamento de seus efluentes, como é o caso da indústria têxtil e de algumas indústrias alimentícias. Essas enzimas são na maioria das vezes importadas e representam alto custo. Em razão da alta atividade biológica presente no processo de compostagem, elevados teores de enzima são constantemente produzidos e incorporados no composto. O desenvolvimento de técnicas que permitam extrair e purificar essas enzimas proporcionará melhor aproveitamento econômico do composto.

Outro produto que pode ser extraído do composto é o ácido húmico (Figura 7). O uso agrícola de ácidos húmicos tem crescido nos últimos anos e o Brasil tem importado uma série de produtos à base desses compostos. Ácidos húmicos têm sido utilizados em sistemas de fertirrigação de fruteiras e em pulverização e tratamento de sementes de soja (Figura 7). Na maioria dos casos, os ácidos húmicos são extraídos de fontes não renováveis, como carvões e turfeiras. Esses produtos podem ser facilmente extraídos do composto maduro, ou simplesmente isolado do chorume, que pode ser produzido por uma irrigação forçada do composto.



Figura 7. Recipiente com ácido húmico (precipitado preto), obtido a partir do chorume de composto orgânico (à esquerda), e detalhe de uma folha de soja, após aplicação foliar de ácido húmico (à direita).

## **Perspectivas econômicas associadas à produção de compostos a partir da palhada**

Embora o método de produção de fertilizantes e de substratos a partir da compostagem de palhadas seja viável tecnicamente, alguns aspectos devem ser observados para a viabilidade econômica de um projeto com o intuito de comercializar o produto da compostagem e seus derivados. O primeiro aspecto a ser considerado é a disponibilidade dos resíduos lignocelulósicos e de carvão, observando-se a possibilidade de recolhimento e de transporte desses resíduos para o pátio de compostagem. Normalmente, os resíduos apresentam custo negativo, ou seja, quem os produz paga para descartá-los corretamente. Dessa forma, há possibilidade de remuneração já na obtenção dos resíduos, como forma de pagamento pelo seu descarte. Em algumas experiências no Brasil, empresas de reciclagem recebem resíduos orgânicos de indústrias, são remuneradas por isso e, além disso, produzem fertilizantes comerciais utilizando esses resíduos (Bioland, 2005).

Outros aspectos a serem observados são a escala de produção e o mercado consumidor. Normalmente, quanto maior for a escala, tanto menor será o valor pago por tonelada de produto. Os consumidores em grande escala são agricultores que cultivam hortaliças, frutíferas ou flores, e normalmente adquirem o composto como alternativa a outros adubos orgânicos, como esterco bovino e cama de aviário. Com a expansão da agricultura orgânica no Brasil,

há tendência de aumentar a demanda por esse tipo de insumo. Contudo, deve-se considerar que o custo de transporte representa parcela significativa no custo final do produto nesse nicho de mercado.

Em outro extremo, o consumidor em menor escala paga elevado valor por substratos para plantas. Esse é o caso, por exemplo, dos consumidores domésticos de substratos para enchimento de vasos, jardineiras e jardins, no ambiente urbano. Dependendo da estrutura de logística do produtor de composto, esse mercado pode representar volumes comparáveis aos mercados de grande escala, quando somados o conjunto de consumidores presentes em grandes centros urbanos. Centenas de pontos de venda de flores e de insumos para jardinagem podem ser encontrados em áreas urbanas, como na zona sul do Rio de Janeiro. Uma infinidade de produtos são comercializados nesses pontos, sob a classificação de terra vegetal, terra preta, xaxim vegetal, substrato orgânico, terra adubada, etc. A grande maioria desses produtos apresenta baixa qualidade, sem padrão e sem registro no MAPA. São comercializados em pequenas embalagens de 1 a 5 kg e atingem preço final ao produtor superior a R\$ 1.500,00 a tonelada (Figura 8). Dessa forma, a produção de substratos com padrão de qualidade comprovado, para a comercialização voltada ao consumidor urbano, representa interessante opção econômica. Contudo, esse nicho de mercado deve ser previamente avaliado para a definição da escala de produção e do custo da logística.



Figura 8. Amostra de produtos obtidos no comércio da zona sul do município do Rio de Janeiro, comercializados como substrato para vasos e jardins.

Além da possibilidade de comercialização dos produtos da compostagem, outra alternativa é a produção de composto para uso próprio em sistemas integrados de produção. Esta tem sido a alternativa encontrada por alguns produtores orgânicos, que optam por produzir esse insumo em sua propriedade, portanto próximo do ponto de consumo, reduzindo assim os custos de transporte, de embalagem e de armazenamento.

## Conclusões

A produção de fertilizantes orgânicos e de substratos a partir da compostagem de resíduos de palhada é viável tecnicamente e pode representar uma alternativa econômica, desde que considerados aspectos relacionados à logística e ao mercado consumidor. Embora essa não seja uma alternativa que solucione todos os problemas relacionados ao descarte da palhada resultante da produção de sementes de capins, pode ser alternativa viável em algumas situações e representar boa oportunidade de negócios.

Pesquisas de inovação tecnológica, associadas ao desenvolvimento de novos produtos de maior valor agregado a partir do composto orgânico, podem adicionar valor ao processo e tornar viável sua aplicação em algumas situações.

## Referências bibliográficas

BENITES, V. M.; BEZERRA, F. B.; MOUTA, R. O.; ASSIS, I. R.; SANTOS, R. C.; CONCEIÇÃO, M.; ANDRADE, A. G. **Produção de adubos orgânicos a partir da compostagem dos resíduos da manutenção da área gramada do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 50).

BIOLAND Indústria e Comércio de Composto Orgânico. Disponível em <<http://www.bioland.com.br>>. Acesso em 20 de dezembro de 2005.

COELHO, R. R. R.; BENITES, V. M.; BON, E. P. S.; SACRAMENTO, D. R. Avaliação do crescimento de actinomicetos em substratos contendo subprodutos da carbonização vegetal visando a produção de ácidos húmicos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 5., 2003, Curitiba. **Anais...**

HOGG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. **Review of compost standards in the Sweden.** London: WRAP. Waste and Resource Action Programme, Suppl. 14, p. 1-21, 2002. Disponível em: <http://www.gesource.ac.uk/roads/cgi-bin/fullrecords>. Acesso em: 20 de abril de 2006.

MAPA(a). **Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas.** Instrução Normativa nº 14/2004 (15/12/2004).

MAPA(b). **Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes.** Instrução Normativa nº 15/2004 (22/12/2004).

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem.** Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

# 7

## Perspectivas de uso da palhada residual da produção de sementes de capim para produção de energia

---

*José Dilcio Rocha*

*Juan Miguel Mesa Pérez*

*Luís Augusto Barbosa Cortez*

*Osório de Brito*

*Henry Ramón Marín Mesa*

*Manuel Raul Peláez Samaniego*

### Introdução

A biomassa sempre foi e continuará sendo fonte importante de energia para a humanidade. Ela é a forma natural de armazenar uma fração da energia solar que incide no planeta. Até mesmo os combustíveis fósseis são originários da biomassa. O desafio da humanidade é buscar soluções para usar de forma cada vez mais eficiente esse recurso natural. Essa busca é compensadora, em razão dos grandes benefícios ocasionados pelo uso energético da biomassa, principalmente na realidade brasileira. Segundo o Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia, de 2004 (Brasil, 2006), no Brasil, 44,1% da oferta interna de energia (OIE) teve origem em fontes renováveis, enquanto no mundo essa taxa é de 13,6% e nos países

desenvolvidos, de apenas 6%. Dos 44,1% de energia renovável, 14,5 pontos percentuais correspondem à geração hidráulica e 29,6, à biomassa. Os 55,9% restantes da OIE vieram de fontes fósseis e outras não-renováveis. Essa característica, bastante particular do Brasil, resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica desde a década de 1950 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo (ocorrida em 1979) com vistas à redução do consumo de combustíveis oriundos dessa fonte e dos custos correspondentes à sua importação, na época, responsáveis por quase 50% das importações totais do País (Figuras 1 e 2).

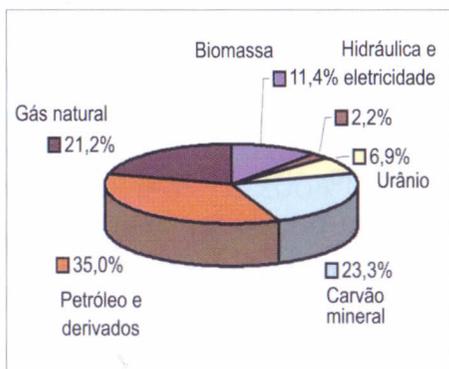


Figura 1. Oferta de energia no mundo (2001).

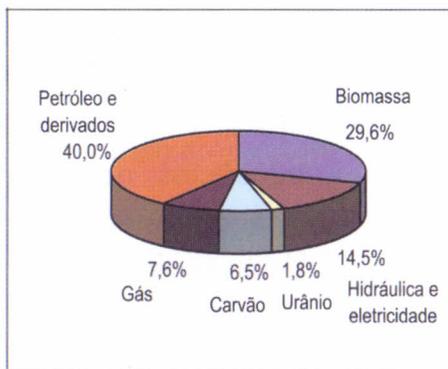


Figura 2. Oferta interna de energia no Brasil (2003).

A produção de biomassa para fins energéticos é renovável, gera mais empregos e requer menor investimento por posto de trabalho criado do que os combustíveis fósseis. Além disso, descentraliza a produção regionalmente, tem o ciclo de carbono fechado (o que significa diminuição das emissões de poluentes) e economiza as fontes não-renováveis; essas são apenas algumas das suas vantagens. Sua prática, entretanto, deve se dar de forma sustentável, de acordo com técnicas apropriadas de manejo e cultivo, e de forma a não concorrer com a agricultura alimentícia. Juntamente com o aspecto agrícola, o desenvolvimento das tecnologias de processamento da biomassa é igualmente importante e fundamental.

Dentre os diversos tipos de biomassa existentes no Brasil, destaca-se o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), do qual se dispõem de inúmeras cultivares. Trata-se de uma gramínea tropical originária da África, desde a muito utilizada na alimentação de bovinos na maioria dos Estados do Brasil, cujo uso como matéria-prima para produção de insumos químicos e energia é uma alternativa ambientalmente correta, que visa diminuir o uso de lenha.

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal (Rocha, 2002), obtido fundamentalmente de eucalipto. Segundo o Balanço Energético Nacional, no Brasil, em 2003

produziu-se mais de 8,6 milhões de toneladas de carvão vegetal, dos quais, aproximadamente, 72% foi empregado na produção de ferro-gusa e aço (Brasil, 2006). A produtividade de um hectare das variedades de capim-elefante existentes no Brasil pode alcançar até 40 t/ha por ano de massa seca, que é muito superior ao rendimento do eucalipto, que é de no máximo 15 t/ha por ano (Folha de São Paulo, 2003). A grande disponibilidade do capim-elefante, a facilidade de seu cultivo e o alto rendimento por hectare cultivado permitem sua aplicação na produção de carvão vegetal e bioóleo.

Atualmente, a produção de carvão vegetal a partir da madeira de eucalipto consiste em métodos tradicionais que se baseiam no emprego de fornos, onde a recuperação do carvão atinge em média valores de 30% e onde os líquidos obtidos do processo são recuperados em quantidade muito pequena (Rocha, 2002). Por essa razão, grande parte dos gases e dos vapores produzidos são lançados na atmosfera, provocando poluição. Esse problema pode ser resolvido com o emprego de tecnologias que possibilitem a recuperação dos vapores e seu posterior uso como energético e insumos químicos, como é, por exemplo, o bioóleo (fumaça condensada do processo de pirólise da biomassa).

Neste capítulo, são apresentadas algumas das tecnologias desenvolvidas pela empresa Bioware para a produção de carvão e de bioóleo, que usam capim-elefante e

outras biomassas com pequeno tamanho de partículas. As tecnologias descritas são baseadas no processo de pirólise, em operação contínua, e na existência de separadores de líquidos da fumaça, assim como no reaproveitamento dos gases no próprio processo.

### **Tecnologias da Bioware para produção de carvão e de bioóleo com capim-elefante**

As tecnologias da Bioware transformam a biomassa vegetal em insumos químicos e em energia mediante o processo de pirólise. Esse processo tem sido usado por milhares de anos, porém com baixa eficiência de transformação e sem responsabilidade ambiental. Um exemplo disso é a produção de carvão vegetal em fornos convencionais, os quais têm rendimento de aproximadamente 25% a 30%, e todos os compostos constituintes da fumaça são lançados no ambiente. As tecnologias da Bioware, além de produzir carvão de forma contínua a partir de resíduos, recuperam os líquidos da pirólise, agregando valor e diminuindo a poluição ambiental pelas emissões de compostos químicos, produtos da pirólise.

#### ***Tecnologia de leito fluidizado***

A Figura 3 mostra o esquema da planta de pirólise rápida, modelo PPR-200, operada pela tecnologia da Bioware. A instalação experimental em escala-piloto está

baseada na tecnologia de leito fluidizado e utiliza ar como agente de fluidização. As principais partes que formam a planta são: sistema de alimentação de biomassa, composto por esteira transportadora (1), silo (2), dosador de biomassa (3) e rosca alimentadora (4); reator de leito fluidizado (5) com placa distribuidora de ar (6); dois ciclones em série para separar os finos de carvão (7); válvula amostradora de carvão (8) com tambores para armazenar o carvão (9); sistema de recuperação de finos de carvão via úmida (10); sistema de recuperação de bioóleo (11); e chaminé (12).

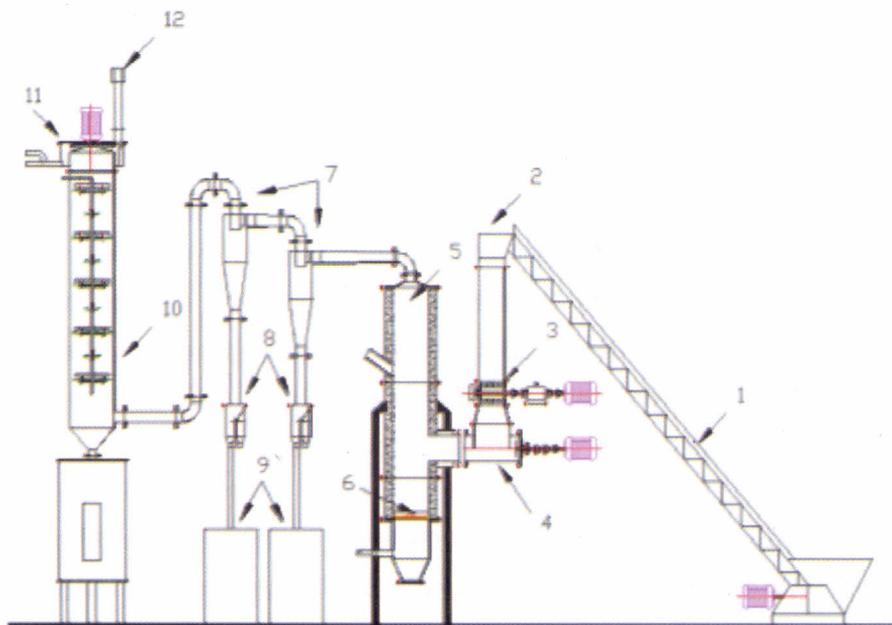


Figura 3. Esquema da planta de pirólise rápida da Unicamp.

O reator é cilíndrico, construído em aço carbono, com diâmetro interno de 417 mm, revestido internamente com isolamento térmico refratário. Sua capacidade de alimentação é de 200 kg/h de biomassa polidispersa seca e utiliza leito de material inerte durante a sua operação. O sistema de aquisição de dados registra e armazena a temperatura por meio de termopares (14 pontos), ao longo da altura do reator e na saída dos sistemas de recuperação. O monitoramento dos dados inclui a retirada de amostras de finos de carvão na seção abaixo do ciclone, por meio de válvulas amostradoras, e de bioóleo no sistema de recuperação centrífugo.

**Biomassa.** A biomassa usada é de capim-elefante, cujas principais características são mostradas na Tabela 1.

**Procedimento de operação.** O reator é inicialmente aquecido com finos de carvão vegetal oriundos do processo de carbonização de lenha de eucalipto, processo que continua até que o leito de areia sílica atinja temperatura entre 550°C e 600°C. Nessas condições e encontrando-se a vazão mássica de ar no valor estabelecido, alimenta-se a biomassa. Para realizar a coleta das amostras de carvão, espera-se que a distribuição de temperaturas ao longo da altura do reator seja aquela correspondente às condições de regime estacionário.

Tabela 1. Características físico-químicas do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*).

Descrição	Elemento	Porcentagem na matéria seca
Composição química elementar	Carbono (C)	41,16 ± 0,51
	Hidrogênio (H)	5,55 ± 0,08
	Nitrogênio (N)	1,78 ± 0,15
	Oxigênio (O)*	45,91 ± 0,50
Análise imediata	<b>Componente</b>	<b>Porcentagem na matéria úmida</b>
	Umidade	12,20 ± 0,37
	Compostos voláteis	67,34 ± 1,26
	Cinzas	4,92 ± 1,23
	Carbono fixo	15,54 ± 0,90
	Poder calorífico superior, MJ/kg	14,7 ± 0,5
	Densidade real das partículas, kg/m <sup>3</sup>	1468 ± 7
Densidade aparente das partículas, kg/m <sup>3</sup>	763 ± 14	
Outras propriedades	Porosidade das partículas	0,48 ± 0,01
	Distribuição de tamanho das partículas, mm	1,68 < d <sub>pb</sub> < 2,38

\* Determinado por diferença.

As amostras de carvão são colhidas na válvula amostradora situada na saída dos ciclones. Paralelamente, mede-se o tempo entre o início e o fim da amostragem, com vistas a estimar a vazão em massa de carvão vegetal. O bioóleo é recuperado depois de os vapores serem resfriados em sistema centrífugo (Mesa Pérez, 2004).

**Tecnologia de carcaça-parafuso.** A empresa Bioware desenvolveu tecnologia para a carbonização de capim-elefante (reator de carcaça-parafuso) e sua posterior compactação (briquetagem). Esse reator trabalha de forma contínua e foi projetado para ser usado por comunidades que possuam resíduos, sem necessidade de mão-de-obra altamente qualificada.

A planta (Figura 4) está composta basicamente por forno contínuo (2) (tipo carcaça-parafuso desenvolvido pela Bioware), uma câmara de combustão (3), um sistema de recuperação de bioóleo (4) (tecnologia da Bioware) e uma briquetadeira (7). Outros equipamentos usados são: um sistema de armazenamento de bioóleo (6), um reservatório do extrato ácido da pirólise (5) e um silo de alimentação (1). O reator pode ser construído com diferentes capacidades de processamento (60 a 300 kg/h) de biomassa com 12% de umidade.

**Procedimento para operação.** O capim-elefante cortado é colocado no silo de alimentação, de onde passa para o reator (forno); na saída do forno os finos de carvão são transportados até a briquetadeira. Os gases gerados no forno passam pelo sistema de recuperação, que separa ácido pirolenhoso na primeira fase e em seguida o bioóleo no sistema centrífugo. Os gases na saída do sistema de recuperação centrífugo são queimados e injetados novamente no forno.

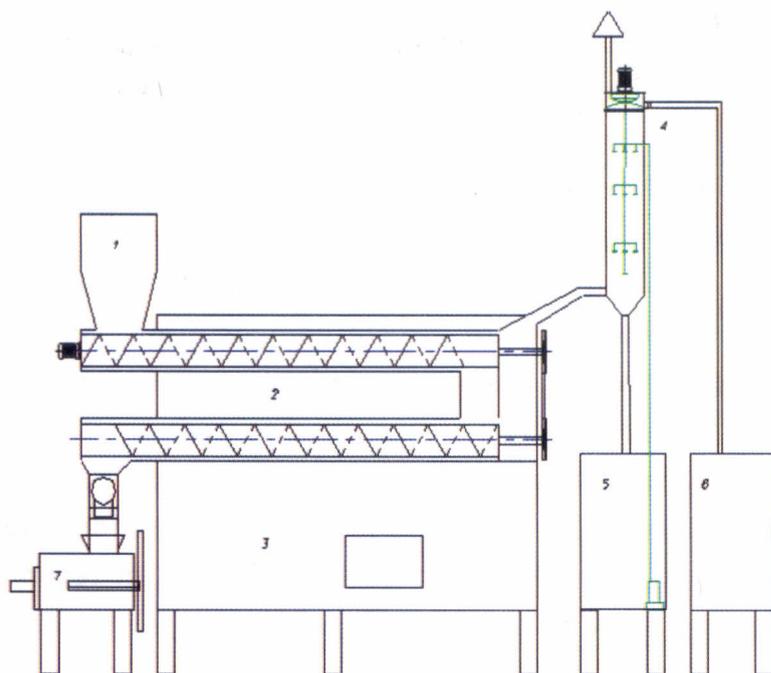


Figura 4. Planta de produção de briquetes de carvão e bioóleo a partir de capim-elefante com tecnologia da Bioware de carcaça-parafuso.

### ***Características dos produtos***

Na Figura 5, mostram-se os produtos obtidos (bioóleo e finos de carvão) a partir do processo de pirólise com as tecnologias da Bioware.

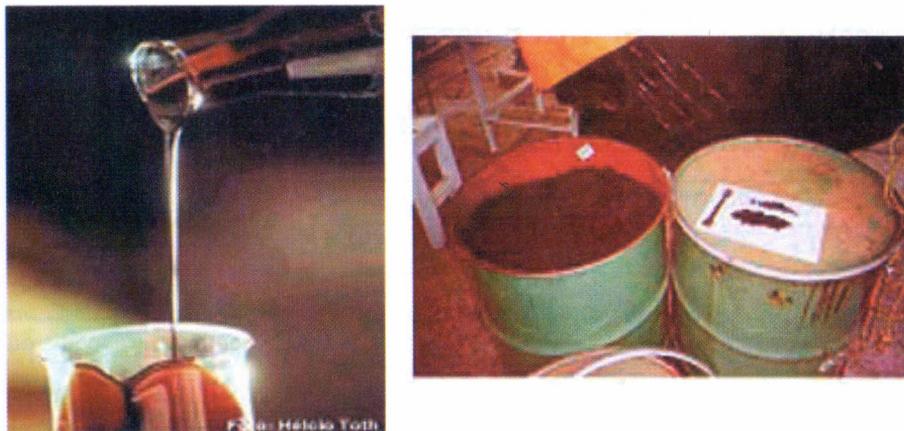


Figura 5. Produtos obtidos durante o processo de pirólise com tecnologias da Bioware: bioóleo (à esquerda) e finos de carvão (à direita).

**Finos de carvão.** Na Tabela 2, mostram-se algumas características dos finos de carvão de capim-elefante, obtidos na planta do modelo PPR-200. Consta-se que a porcentagem de cinzas no carvão é alta, situação que compromete o poder calórico do material e conseqüentemente as suas características combustíveis. Isso pode ser melhorado, mediante a produção de capim-elefante com baixo teor de cinzas (Mesa Pérez, 2004).

Tabela 2. Características dos finos de carvão de capim-elefante obtidos na planta de pirólise rápida, modelo PPR-200, com tecnologia da Bioware de leito fluidizado.

V (%)	Cz (%)	CF (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	PCS (MJ/kg)	PFE (%)	TML (°C)	dp (mm)
9	42,2	49,7	92,4	2,39	2,39	2,85	17,3	14,7	650	0,1

V = voláteis; Cz = cinzas; CF = carbono fixo; PCS = poder calorífico superior; PFE = porcentagem de finos elutriados do reator; e TML = temperatura média do leito.

Na Tabela 3, mostram-se os valores de densidade real e aparente, assim como o volume e a área total de poros do carvão de capim-elefante. Verifica-se que os valores do carvão de capim se encontram na mesma ordem de grandeza dos relatados por Zanzi et al. (2002), em carvão obtido com palha de trigo, com resíduo de produção de azeite de oliva e com madeira de bétula. Porém, a densidade real dos finos de carvão de capim resultou maior do que a dos restantes materiais, supostamente em razão do seu alto teor de cinzas.

Na Tabela 4, apresentam-se algumas das características físico-químicas de carvão obtido por vários autores com diferentes tipos de materiais, processos e tecnologias. Pode-se constatar que em todos os casos a porcentagem de carbono elementar é alta, enquanto o teor de oxigênio é menor quando comparado com a composição elementar da biomassa *in natura*. Esse comportamento também foi constatado por Schenkel (2001).

Tabela 3. Algumas propriedades de carvão obtido com diferentes materiais e tecnologias.

Variáveis	Carvão			
	Capim-elefante	Palha de trigo	Resíduo de produção de azeite (0,8 - 1 mm)	Madeira de bétula (0,8 - 0,1 mm)
Densidade aparente da partícula, kg/m <sup>3</sup>	989 ± 45	-	-	-
Densidade real do material, kg/m <sup>3</sup>	1741 ± 34	1100	1000	600
Densidade em bulto do material, kg/m <sup>3</sup>	125 ± 12	50	400	100
Área total de poros, m <sup>2</sup> /g	5,89 ± 1,44	7,3	3,5	3,1
Faixa de diâmetro de poros, A <sup>0</sup>	35,6 ± 83961	-	-	-
Faixa de pressão intrusão, psi	25 ± 59790	-	-	-
Volume total de poros, g/cm <sup>3</sup>	2,16 ± 0,32	9,9	3,6	2,9

### *Bioóleo ou líquido pirolítico*

O líquido pirolítico é referenciado na literatura técnica com vários nomes, tais como óleo de pirólise, bioóleo bruto, biocombustível, líquidos de madeira, óleo de madeira, líquido condensado da fumaça, destilado da madeira, alcatrão pirolenhoso e ácido pirolenhoso. A composição e o rendimento dos líquidos condensados variam segundo a tecnologia utilizada, ou seja, os líquidos condensados a partir da fase gasosa do processo de carbonização apresentam composição e rendimento

Tabela 4. Características de carvões vegetais obtidos de diferentes tipos de biomassa.

Processo	Reator	Material carbonizado	Análise elementar (base seca, %)					Análise imediata (base seca, %)				Poder calórico superior (MJ/kg)	Ref.
			C	H	O	N	S	CF	V	Cz	U		
Pirólise lenta	Leito fixo	Capim <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	47	33	20	8	18,9	(1)
		Bagaço <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	61,9	33	6,1	6	24,2	(1)
Pirólise lenta	Leito fixo	Guatambu <sup>3</sup>	92,8	1,3	5,1	0,8	-	84,7	8,1	7,2	-	29,6	(2)
		Pópulo <sup>4</sup>	89,6	0,8	9,3	0,3	-	88,0	7,4	4,6	-	27,4	(2)
		Casca <sup>5</sup>	84,6	0,8	13,7	0,9	-	57,0	38,8	4,2	-	25,8	(2)
		Oliva <sup>6</sup>	94,4	0,5	4,3	0,8	-	76,3	22,1	1,6	-	27,7	(2)
Pirólise lenta	Leito fixo	Eucalyptus	87,38	1,22	10,9	0,52	-	-	-	-	-	-	(3)
Pirólise rápida	Leito fluidizado	Eucalyptus	81,85	1,55	16,05	0,55	-	-	-	-	-	-	(3)
Pirólise lenta	Leito fixo	Bagaço <sup>7</sup>	82,9	2,2	11,8	-	-	-	11,8	-	-	-	(4)
Pirólise rápida	Leito fluidizado	Resíduo <sup>8</sup>	71,6	3,9	23,6	0,9	-	-	-	9,4	4,1	26,0	(5)
Pirólise rápida	Leito fluidizado	Resíduo <sup>9</sup>	81	2	8	1	-	76	16	7	1	29,5	(6)
Pirólise a vácuo	Leito movente	Bagaço <sup>2</sup>	85,6	2,9	3,5	1,3	-	74,4	18,9	6,7	3,2	36,0	(7)
Pirólise rápida	Leito fluidizado	<i>Arbutus unedo</i>	76	3	29	-	-	-	-	-	-	28,2	(8)

Material carbonizado: <sup>1</sup> Capim-elfante (*Pennisetum purpureum*); <sup>2</sup> Bagaço de cana-de-açúcar; <sup>3</sup> *Aspidosperma australe*; <sup>4</sup> *Populus deltoide*; <sup>5</sup> Casca de amendoim (*Arachis hypogaea*); <sup>6</sup> *Olea L. europaea*; <sup>7</sup> Bagaço de cana-de-açúcar; <sup>8</sup> Resíduo de oliva; <sup>9</sup> Resíduo de madeira. Ref. = referência: (1) = Mesa Pérez et al. (2004); (2) = Brossard Perez et al. (2001); (3) = Teplitskiy (1999); (4) = Zanzi et al. (2002); (5) = Zabanitout & Karabelas (1999); (6) = Schenkel (2001); (7) = Mesa Pérez et al. (2005); (8) = Azevedo (2000). CF = carbono fixo; V = voláteis; Cz = cinzas; T = teor de água (%).

diferentes quando comparados com aqueles obtidos pelos processos de pirólise rápida ou a vácuo. O tipo de biomassa utilizada é outra variável que influencia as características e o rendimento dos líquidos condensados.

O bioóleo é uma mistura complexa de compostos orgânicos, o qual, embora tenha natureza química diferente do petróleo, pode ser considerado como petróleo de origem vegetal obtido pelo processo de pirólise rápida de biomassa. O bioóleo apresenta cor marrom e a sua composição elementar se aproxima à da biomassa.

Como fonte de materiais, provavelmente a mais promissora das aplicações do bioóleo é como substituinte do fenol petroquímico em resinas fenólicas. A fração fenólica do alcatrão pode substituir o fenol petroquímico na formulação de resinas fenólicas em até 50% em massa. Também é possível produzir um aditivo, que, quando colocado no petróleo pesado, permite diminuir a sua viscosidade, o que facilita o transporte e a queima. Além disso, a fração de ácidos carboxílicos pode ser esterificada, para produção de um combustível similar ao "biodiesel", batizado pela Bioware como "bioflex".

Na Tabela 5, detalham-se algumas características representativas dos líquidos de pirólise rápida (Bridgwater, 2002).

No processo de carbonização atual, esses componentes da fumaça são jogados no ambiente, situação que provoca poluição e doenças nas pessoas expostas. As tecnologias da Bioware de termoconversão de biomassa recuperam e usam essa fumaça, e agregam valor ao processo com responsabilidade social e ambiental.

Tabela 5. Composição química representativa de líquidos de pirólise rápida.

<b>Componentes (%)</b>	<b>Massa (%)</b>
Água	20 – 30
Fragmentos de lignina: Lignina pirolítica insolúvel	15 – 30
Aldeídos: formaldeídos, acetaldeído, hidroxiacetaldeído, glioxal, metilglioxal	10 – 20
Ácidos carboxílicos: fórmico, acético, propiônico, butírico, pentanóico, hexanóico, glicólico, hidroxíácidos.	10 – 15
Carboidratos: celobiose, α-D-levoglucose, oligossacarídeos, 1,6 anidroglicofuranose	5 – 10
Fenóis: fenol, cresol, guaiacol, siringil	2 – 5
Furfuróis	1 – 4
Álcoois: metanol, etanol	2 – 5
Cetonas: acetol (1-hidroxi-2-propanona), ciclopentanonas	1 – 5

## Conclusões

As crises do petróleo da década de 1970 impuseram a reavaliação do papel da biomassa vegetal como fonte energética. Segundo esse novo enfoque, além da madeira, materiais lignocelulósicos de origem agrícola, industrial e urbana começaram a ser considerados, como é o caso do capim-elefante.

Tal mudança de ponto de vista foi provocada, entre outras causas, pelo fato de que esses materiais podem ser continuamente produzidos, não se justificando portanto nenhuma preocupação com seu possível esgotamento. Além disso, o emprego da biomassa vegetal como energético é reforçado pela redução de emissões nocivas e por sua contribuição na preservação do equilíbrio ecológico.

Embora a biomassa vegetal (sobre uma base energética) tenha um preço competitivo com relação ao do petróleo, a falta de tecnologias viáveis para a sua termoconversão faz com que os diferentes produtos obtidos a partir dela (produtos químicos de especialidade e combustíveis) apresentem custos de produção maiores do que os correspondentes alcançados pela via petroquímica.

A biomassa vegetal e especificamente o capim-elefante ocupará o lugar que lhe confere seu caráter renovável, seu baixo custo e sua grande disponibilidade, se forem resolvidos aspectos relacionados com:

a) Desenvolvimento de novas espécies e novas cultivares de capim específicos para uso como energia, e desenvolvimento de infra-estrutura necessária para colheita, acondicionamento, transporte, armazenamento e inserção no mercado;

b) Desenvolvimento de tecnologias economicamente viáveis na substituição direta de matérias-primas procedentes do petróleo por produtos de biomassa;

c) Disponibilidade de tecnologias de conversão termoquímica em escala comercial para os diferentes tipos de biomassa vegetal gerados pela agroindústria.

A palhada residual da produção de sementes de capim também é matéria-prima adequada para ser transformada em carvão, bioóleo e gases combustíveis com a tecnologia da Bioware. Porém, deve existir processamento prévio dessa matéria-prima, para obter, por exemplo, teor de água de aproximadamente 12% e tamanho de partículas de 2 a 4 mm, a fim de garantir a qualidade e o rendimento dos produtos da pirólise. Esse material contém cerca de 20% de lignina, valor similar àquele de madeira e de bagaço de cana. Isso garante o rendimento de carvão de aproximadamente 30%, além da obtenção de bioóleo e de gases combustíveis.

Atualmente, no Brasil são produzidos por ano 2,8 milhões de toneladas de palhada residual da produção de sementes de capim, que têm sido regularmente queimadas a céu aberto. As tecnologias da Bioware podem contribuir para a redução dos problemas ambientais resultantes das queimadas e ainda agregar valor à palhada, gerar emprego e criar novos produtos, de forma contínua e com responsabilidade social e ambiental.

Torna-se evidente que a infra-estrutura adequada para o fornecimento da biomassa vegetal como matéria-prima e o desenvolvimento de tecnologias viáveis técnica, econômica e ambientalmente corretas são as questões centrais que viabilizarão o aproveitamento desse abundante recurso natural.

### **Bibliografia consultada e referenciada**

ANTONELLI, L. **Improvement of pyrolytic products bio-oil and bio-carbon/emulsion and slurries.** In: GRASSI, G.; PIRRWITZ, D.; ZIBETTA, H. (Ed.) **ENERGY FROM BIOMASS**, 4; E. C. CONTRACTORS MEETING, 3, 1989, London. **Proceedings...** London: Elsevier Applied Science, 1989, p. 531-535.

AZEVEDO, P. B. M. Aspectos econômicos da produção agrícola do capim-elefante. In: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas, AGRENER, 2000. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço energético nacional – BEN. Disponível em [http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432&pageId=6071](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=6071). Acesso em 18 de maio de 2006.

BRIDGWATER, A. V. **Fast pyrolysis of biomass: a handbook**. [S.l.]: Aston University, Bio-energy Research Group, UK, 2002. v. 2.

BROSSARD PEREZ, L. E.; CORTEZ, L. A. B.; MESA, J.; BEZZON, G.; OLIVARES GOMEZ, E. The strategy of empirical research and optimization process. **Pesquisa Operacional**, v. 21, n. 1, p. 89-105, jun. 2001.

DERENZO, W. A. S. Estudo das condições operacionais da etapa de extração de proteína do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), utilizado como fonte energética. Agrupamento de Processos Químicos, IPT. ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: AGRENER, 2000. 1 CD-ROM.

Folha da São Paulo. Dinheiro. Tecnologia: IPT cria energia com capim-elefante. Disponível no site: <http://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi11032003330.htm>. Acesso em: 14 de setembro de 2003.

GUERRERO, M.; RUIZ, M. P.; ALZUETA, M. U.; BILBAO, R.; MILLERA, A. Pyrolysis of eucalyptus at different heating rates: studies of char characterization and oxidative reactivity. **J. Anal. Appl. Pyrolysis**, v. 74, p. 307–314, 2005.

IPT. **Capim-elefante produz energia**. Disponível em: <http://www.ipt.br/institucional/imprensa/noticias/?ID=36>. Acesso em 21 de setembro de 2001.

MESA PÉREZ, J.M. **Teste em uma planta de pirólise rápida de biomassa em leito fluidizado: Critérios para sua otimização.** 2004. Tese (Doutorado), FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MESA PÉREZ, J. M.; CORTEZ, L. A. B.; ROCHA, J. D.; BROSSARD, L. E.; GOMEZ, E. O. Unidimensional heat transfer analysis of elephant grass and sugar cane bagasse slow pyrolysis in a fixed bed reactor. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 565-575, 2005.

MESA PEREZ, J. M.; CORTEZ, L. A. B.; ROCHA, J. D.; OLIVARES-GÓMEZ, E. **Características dos finos de carvão vegetal obtido pelo processo de pirólise rápida de capim-elefante em leito fluidizado em diferentes condições de operação.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 5, 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: AGRENER, 2004. 10 p.

MINKOVA, V.; MARINOV, S. P.; ZANZI, R.; BJÖRNBOM, E.; BUDINOVA, T.; STEFANOVA, M.; LAKOV, L. Thermochemical treatment of biomass in a flow of steam or in a mixture of steam and carbon dioxide. **Fuel Processing Technology**, v. 62, p. 45-52, 2000.

ROCHA, J. D.; OLIVARES-GÓMEZ, E; MESA PÉREZ, J. M.; CORTEZ, L. A. B.; SEYE, O. ; GONZALEZ, L. E. B. The demonstration fast pyrolysis plant of biomass conversion in Brazil. **WORLD RENEWABLE ENERGY CONGRESS**, 7, Colônia, Alemanha. **Proceedings...** Colônia: Pergamon, 2002. 1 CD-ROM, 5 f. ISBN 008 0440 79 7.

SCHENKEL, Y. Influence of temperature, residence time and heating rate on pyrolytic carbon deposition in beech wood chars. In: BRIDGWATER, A. V. (Ed.). **Progress in thermochemical biomass conversion**. Great Britain: Blackwell Science, 2001. p. 1633-1641.).

TEPLITSKIY, Yu S. Similarity of transport processes in fluidized beds. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 42, p.3887-3899, 1999.

URQUIAGA, B. A.; BODDEY, R. Capim Elefante: Uma nova fonte alternativa de energia. Disponível em: [http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agropecuario/index.html&conteudo=./agropecuario/artigos/capim\\_elefante.html](http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agropecuario/index.html&conteudo=./agropecuario/artigos/capim_elefante.html). Acesso em 18 de maio de 2006.

ZABANIOTOU, A. A.; KARABELAS, A. J. The Evritania (Greece) demonstration plant of biomass pyrolysis. **Biomass and Bioenergy**, v. 16, p. 431-445, 1999.

ZANZI, R.; SJÖSTRÖM, K.; BJÖRNBOM, E. Rapid pyrolysis of agricultural residues at high temperature. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 357-366, 2002.

# 8

## Coleta, transporte e uso de palhicho<sup>1</sup> de cana-de-açúcar

---

*Marco Lorenzo Cunali Ripoli  
Tomaz Caetano Cannavam Ripoli*

### Introdução

Em face, por um lado, do aumento da demanda mundial por combustíveis de qualquer natureza e, por outro, da inexorabilidade do fato de que os combustíveis fósseis têm previsão de esgotamento físico dentro de 50 anos, as nações estão procurando alternativas técnicas e economicamente viáveis para que seu desenvolvimento não sofra solução de continuidade, com conseqüente diminuição da qualidade de vida de seus cidadãos (o que já ocorre em dezenas de países pobres). Tão alarmante quanto as guerras regionalizadas e de cunho religioso que grassam pelo planeta e a questão dos impactos decorrentes de desastres naturais, a escassez de combustível é, também, uma das maiores preocupações da atualidade.

---

<sup>1</sup> Palhicho é o material vegetal remanescente sobre a superfície do solo após a colheita da cana-de-açúcar, principalmente a mecanizada. É constituído de folhas verdes, palha, ponteiros dos colmos da cana ou suas frações e, eventualmente, frações de raízes e partículas de terra a elas aderidas.

O Brasil é decantado como um país privilegiado pela área agricultável que dispõe, associada a excelente grau de insolação, condições não encontradas em outro lugar do planeta. Todavia, apesar de que a biomassa energética se apresente hoje como uma vertente das mais factíveis, já se antevê que, o que seria uma hegemonia, pode se transformar em "vitória de Pirro", caso o País não desenvolva novas tecnologias no campo da hidrólise enzimática voltada para o setor sucroalcooleiro, principalmente.

Porém, uma área que o País ainda não vem explorando adequadamente, referente ao setor sucroalcooleiro, diz respeito ao aproveitamento do bagaço e do palhiço para co-geração de eletricidade.

O fato é patente: O Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia, pela sua tabela de remuneração de energia gerada por meios alternativos, contempla a geração eólica, sobre a qual o País paga *royalties* e gera empregos para europeus, como uma grande privilegiada, em detrimento de co-geração com bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, que possui tecnologia brasileira e gera empregos no País. Esta é a principal razão do porque apenas poucas agroindústrias canavieiras estão gerando eletricidade excedente.

A pesquisa sobre a biomassa brasileira, passível técnica e economicamente de ser aproveitada, caminha e já oferece soluções no que diz respeito não somente a aspectos diretos da co-geração, mas também num ponto que, até a pouco tempo, era o fator limitante de sua

utilização (no caso do palhiço), ou seja, a retirada, o transporte e o descarregamento na unidade transformadora para eletricidade (usinas açucareiras).

### **Biomassa vegetal e principais características**

Hiler & Stout (1985) definiram "biomassa" como toda matéria orgânica, excetuando-se os combustíveis fósseis, ou seja, todo material proveniente de colheitas agrícolas e florestais, produtos animais, massa de células microbianas, e resíduos e produtos renováveis em bases anuais.

Em outras palavras, biomassa, do ponto de vista energético, é toda matéria orgânica (de origem vegetal ou animal) que pode ser utilizada na transformação de energia. A biomassa vegetal é o resultado da transformação da energia solar que foi convertida em energia química, por meio do processo fotossintético, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Segundo Brito (1986), a biomassa pode constituir a base de um modelo de desenvolvimento tecnológico e industrial auto-sustentado, baseado em dados concretos da realidade regional e na integração do homem a um ambiente econômico em harmonia com seu ambiente natural, além de ser uma fonte simples de energia alternativa. Esse autor comenta que o componente energético é quem molda e sustenta as civilizações, concluindo que existem amplas oportunidades para participação efetiva dos combustíveis derivados de biomassa no Brasil e na América Latina, existindo, todavia, necessidade de clara opção política

e esforço tecnológico mais autônomo e que tal política terá como vetores de energia o etanol, os óleos vegetais e a biomassa florestal na propulsão de veículos e na geração de eletricidade.

A combustão, segundo Jenkins et al. (1998), pode ser aplicada à biomassa integral ou à parte remanescente de processos de separação bioquímicos, como a fermentação. A combustão da biomassa, ao contrário das estratégias bioquímicas ou termoquímicas, é essencialmente não seletiva e reduz o combustível a produtos simples. Tipicamente, a biomassa é formada por 30% a 40% de oxigênio, 30% a 60% de carbono, 5% a 6% de hidrogênio, e menos de 1% de nitrogênio, enxofre e cloro. Nas culturas anuais, o potássio excede 1%.

Ao se referir à capacidade fotossintética da cana-de-açúcar, Rosa (1977) comenta que 1,6% da energia solar incidente sobre a cultura é transformada em energia química, o que corresponde a 52 barris de petróleo por dia, por quilômetro quadrado de área plantada. Desse total, apenas o correspondente a 6,8 barris é transformado em álcool e ou açúcar.

As Tabelas 1 a 4 permitem comparar o poder calorífico dos principais combustíveis com os de origem de biomassa e sua potencialidade. Mostram, ainda, que, por mais inusitado que possa parecer, a busca pelo aproveitamento de biomassas viáveis é mundial.

Tabela 1. Poder calorífico de alguns combustíveis.

Combustíveis	Poder calorífico		
	Kcal/kg <sup>a</sup>	Kcal/L <sup>a</sup>	Kcal/L <sup>b</sup>
Gasolina	11.100	8.150	7.759
Etanol	6.400	5.040	-
Metanol	4.700	3.740	-
Madeira	2.524	-	-
Carvão vegetal	6.798	-	-
Álcool anidro	-	-	5.082
Óleo diesel	-	-	8.883
Gás metano	-	-	4.203

<sup>a</sup> Goldenberg (1979).

<sup>b</sup> Mialhe (1980).

Ripoli et al. (2000) desenvolveram um modelo matemático que permitiu estimar o potencial de energia de biomassa, referente a palhico de cana-de-açúcar, bagaço de cana-de-açúcar ou palha de arroz, para a região centro-sul do Brasil, o qual, transformado em eletricidade, poderia abastecer determinado número de pessoas por ano. A equação resultante é a seguinte:

$$Pd = \frac{Pu \cdot \alpha \cdot Ac \cdot Qt \cdot Ef}{1314 \cdot Cd} \quad (1),$$

em que

Pd = número estimado de pessoas a serem servidas, por ano;

Pu (MJ/t) = 13.551 de poder calorífico para palhico de cana-de-açúcar (Ripoli et al., 1998);

Pu (MJ/t) = 7.868 de poder calorífico para bagaço de cana-de-açúcar (Maranhão, 1983);

$P_u$  (MJ/t) = 15.401 de poder calorífico para palha de arroz (Dario, 1995);

$\alpha$  (%) = 50 para utilização de palhiço de cana-de-açúcar (Ripoli et al., 1998);

$\alpha$  (%) = 30 para utilização de bagaço de cana-de-açúcar (Copersucar, 1989);

$\alpha$  (%) = 80 para utilização de palha de arroz (apenas para as regiões Sul e Oeste);

$A_c$  (ha/ano) = 1.365.000, considerando 50% da área canvieira passível de colheita mecanizada (Agrianual, 1996);

$A_c$  (ha/ano) = 2.730.000 para bagaço de cana-de-açúcar (Copersucar, 1989);

$A_c$  (ha/ano) = 1.792.500 para palha de arroz (Agrianual, 1996);

$Q_t$  (t/ha) = quantidade de palhiço no campo, após a colheita mecânica, ou de bagaço obtido, ou de palha de arroz;

$E_f$  (%) = 8,7 eficiência de conversão energética estimada para pequenas geradoras (Hiler & Stout, 1985);

$C_d$  (kWh/d) = 1,4 = consumo diário por pessoa de baixo consumo (segundo a Companhia Paulista de Força e Luz).

Quando aplicaram esses valores estimados na equação 1, os autores obtiveram os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativas dos potenciais de energia de biomassa composta por diferentes resíduos agrícolas na região Centro-Sul do Brasil.

Biomassa	Pu (MJ/t)	A (%)	Ac (ha/ano)	Qt (t/ha)	Pd (pessoas/ano)
Palhico de cana	13551	0,50	2,73x10 <sup>6</sup>	11,26	9,85x10 <sup>6</sup>
Bagaço de cana	7868	0,30	2,73x10 <sup>6</sup>	18,20	5,55 x10 <sup>6</sup>
Palha de arroz	15401	0,80	1,798x10 <sup>6</sup>	0,257	0,26x10 <sup>6</sup>

Pu = poder calorífico da biomassa; A = coeficiente de aproveitamento da biomassa produzida; Ac = área ocupada pela cultura (cana-de açúcar ou arroz); Qt = quantidade de biomassa disponível; Pd = número estimado de pessoas a serem servidas, por ano.

Os autores concluíram que tanto o bagaço excedente quanto o palhico de cana constituem biomassa real e factível para diversificar a matriz energética das regiões Sul e Sudeste do Brasil, a qual possibilita comercializar para as concessionárias significativa quantidade de energia elétrica. Quanto à palha de arroz, sua utilização seria mais restrita. A equação 1 permite estimar inúmeros cenários, dependendo dos valores consignados em cada variável.

Tabela 3. Características químicas e caloríficas de várias biomassas.

Biomassa	Elementos (% em peso seco)					Cinzas	PCS (kJ/kg)
	C	H	N	S	O		
Hulha	75,5	5,0	1,2	3,1	4,9	10,3	31.721
Lignina	64,0	4,2	0,9	1,3	19,2	10,4	24.894
Carvão vegetal	80,3	3,15	0,2	0,0	11,3	3,4	57.390
Casca de pinheiro	52,3	6,3	0,1	0,0	40,5	0,8	21.031
Casca de arroz	38,5	5,7	0,5	0,0	39,8	15,5	15.361
Palha de arroz	39,2	5,1	0,6	0,1	35,8	19,2	15.198
Serragem ( <i>pellets</i> )	47,2	6,5	0,0	0,0	45,4	1,0	20.483
Papel	43,4	5,8	0,3	0,2	44,3	6,0	17.597
Dejetos de animais	42,7	5,5	2,4	0,3	31,3	17,8	17.150
Dejetos urbanos sólidos	47,6	6,0	1,2	0,3	32,9	12,0	19.860
Nogueira	49,7	6,5	0,0	0,0	43,1	0,7	20.148
Impurezas de beneficiamento de algodão	42,0	5,4	1,4	<0,5	35,0	14,5	15.500
Colmos de sorgo	40,0	5,2	1,4	0,2	40,7	12,5	15.400
Dejetos frescos de gado	45,4	5,4	1,0	0,3	31,0	15,9	17.361
Compostagem de dejetos de gado	33,0	4,9	0,7	0,8	17,5	41,6	15.124
Espiga de milho	46,2	7,6	1,2	0,3	42,3	2,4	26.328
Casca de arroz	41,3	8,4	1,0	0,02	33,0	18,3	16.513
Serragem	49,7	6,2	0,7	0,17	42,6	0,7	19.970

C = carbono; H = hidrogênio; N = nitrogênio; S = enxofre; O = oxigênio;  
PCS = poder calorífico superior.

Fonte: Adaptado de Hiler & Stout (1985).

Tabela 4. Poder calorífico superior (PCS), em kcal/kg, de biomassas vegetais.

Biomassa	PCS	Biomassa	PCS
Painço ( <i>Setaria italica</i> ) (1)	4.178	Casca de pecã (1)	4.345
Colmo de sorgo (1)	4.273	Laranja (fruto) (1)	4.464
Folhas de sorgo (1)	4.631	Pecã (fruto) (1)	4.536
Capim-napier (1)	4.369	Grape fruit (1)	4.464
Gramma-bermuda (1)	4.584	Cone de <i>Pinus spp.</i> (1)	4.870
<i>Pinus spp.</i> (1)	4.249	Palha de <i>Pinus spp.</i> (1)	5.348
Pêssego (fruto) (1)	4.608	<i>Pinus strobus</i> (2)	5.285
<i>Eucaliptus saligna</i> (3)	4.670	<i>Pinus ponderosa</i> (2)	5.000
<i>Eucaliptus robusta</i> (3)	4.774	<i>Eucaliptus tereticomis</i> (4)	8.248
Madeira dura (5)	4.555 a 4.665	Madeira mole (5)	4.665 a 5.550
Palha de cereal (5)	4.445	Bagaço de cana (5)	4.445 a 4.665

(1) Sumner et al. (1983); (2) Andrade (1961); (3) Arola (1976); (4) Brito (1979) e (5) Atchison (1977), citados por Ripoli & Ripoli (2004).

### Síntese de análise de caso

As condições para coleta e transporte do palhiço da cana-de-açúcar são as que mais se assemelham às de material remanescente no campo (palhada), decorrente da colheita de áreas de produção de sementes de capim.

As atuais opções para o recolhimento do palhiço do campo e sua colocação no pátio da usina-destilaria, em estudos no Brasil, são apresentados por Ripoli & Ripoli (2004), conforme mostra a Figura 1. Até o ano de 2003, poucos foram os trabalhos efetuados no Brasil, sob condições de ensaios padronizados.

Para o caso de restos de cultura de produção de sementes de capim, entende-se que, das opções da Figura 1, a mais adequada é o enleiramento seguido de enfardamento prismático, que apresenta menor custo de recolhimento e permite melhor densidade de carga, levando a menor custo de transporte e maior facilidade de estocagem.

Teixeira & Graminha (2001), citados por Ripoli & Ripoli (2004), trabalhando com recolhedor de forragem em palhiço, na Usina da Barra, obtiveram os seguintes resultados preliminares: capacidade efetiva da recolhedora = 160 t/dia; custo de enleiramento e recolhimento = R\$ 18,65/t; custo do transporte em distância (média) de 20 km = R\$ 7,35/t e custo total do palhiço posto no pátio da usina = R\$ 26,00/t (US\$ 1,00 = R\$ 2,85).

Ripoli (2002), utilizando técnicas de agricultura de precisão, mapeou o palhiço enfardado em uma área colhida mecanicamente, sem queima prévia. As Figuras 2 e 3 mostram a variabilidade espacial verificada, em termos de produtividade agrícola e de grau de umidade do palhiço enfardado. Concluiu que essa variabilidade é muito grande, o que leva a requerer muito cuidado nas amostragens de determinação da produtividade desse material. O autor estudou dois tipos de enfardamento (cilíndrico e prismático). Obteve, como média geral de palhiço enfardado, o valor de 8,79 t/ha, com coeficiente de variação de 30,03%. A média de umidade do palhiço obtida foi de 22,58% com desvio padrão de 9,85%.

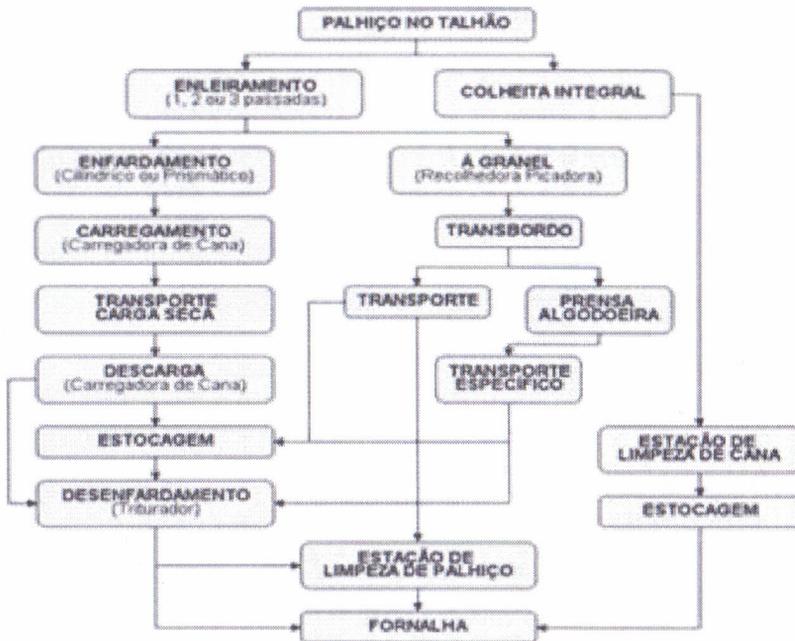


Figura 1. Fluxograma de opções de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar, no Brasil.

Obs: colheita integral = toda biomassa é colhida com colhedora mecânica, operada com os dispositivos de limpeza (exaustores e ventiladores) desligados.

Fonte: Ripoli & Ripoli (2004).

É de se esperar que o que as Figuras 2 e 3 apresentam para palhiço de cana-de-açúcar possa ocorrer também no material remanescente da produção de sementes de capim. Trata-se de aspectos importantes para a definição do tipo de enleiramento a ser adotado (simples, duplo ou triplo) e a correspondente quantidade de terra arrastada e enfardada com a biomassa (Figura 4).

O estudo desenvolvido por Ripoli et al. (2003) contempla também análises de custo do transporte da biomassa (Figura 5). No caso de enfardamento, a média do custo variou de R\$ 7,40/t até R\$ 7,90/t transportada, em caminhões de carga seca (Figura 6), à média de distância, do campo à usina, de 18 km. A média da massa específica dos fardos prismáticos foi de 210 kg/m<sup>3</sup>. Para a condição descrita na Figura 6, ou seja, nove fardos, e considerando-se a distância de 18 km, pôde-se determinar o custo/km de R\$ 0,43/t ou o valor de R\$ 0,81/km rodado.

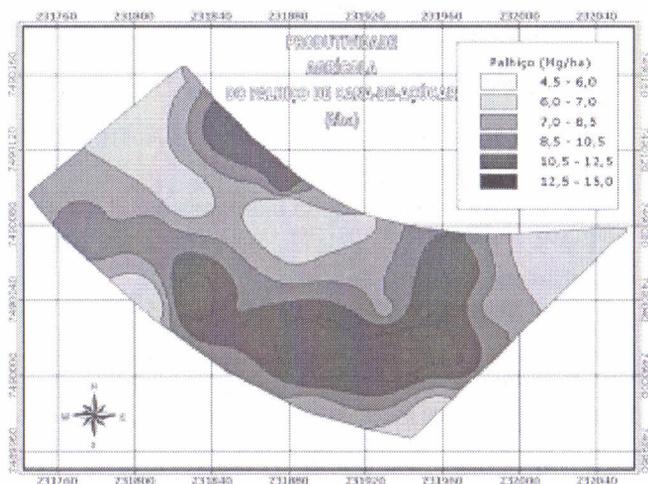


Figura 2. Mapeamento da variabilidade da produtividade agrícola (t/ha) do palhico de cana-de-açúcar. Fonte: Ripoli (2002).

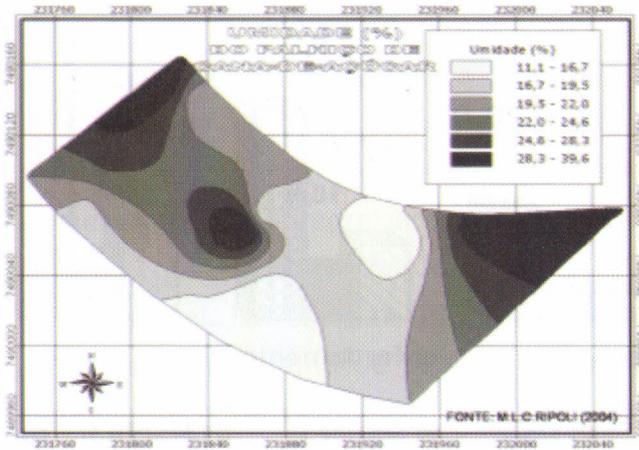


Figura 3. Mapeamento da variabilidade do grau de umidade do palhicho de cana-de-açúcar no momento do recolhimento.  
Fonte: Ripoli (2002).

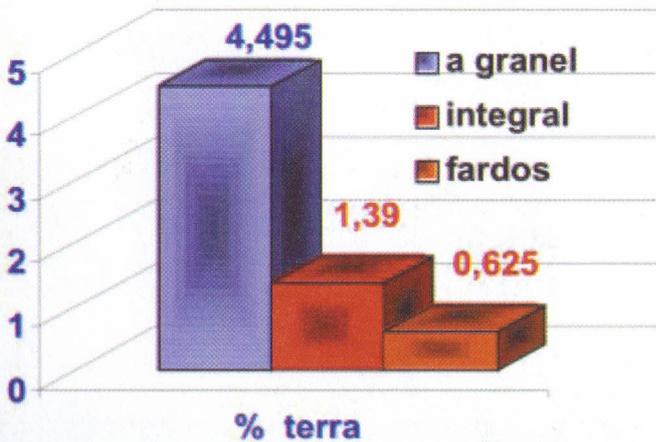


Figura 4. Percentagem de terra no recolhimento do palhicho de cana-de-açúcar.  
Fonte: Ripoli et al. (2003).

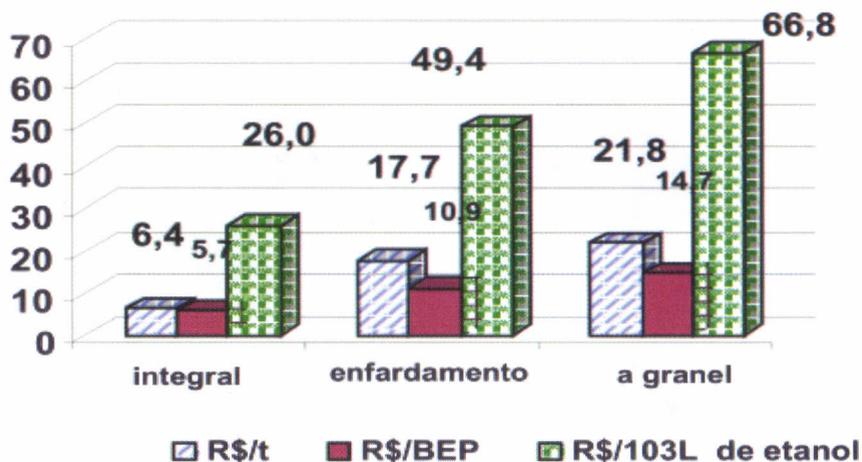


Figura 5. Custo comparativo de três sistemas de recolhimento de palhaço de cana-de-açúcar.

BEP = barril equivalente de petróleo.

Fonte: Ripoli et al. (2003).

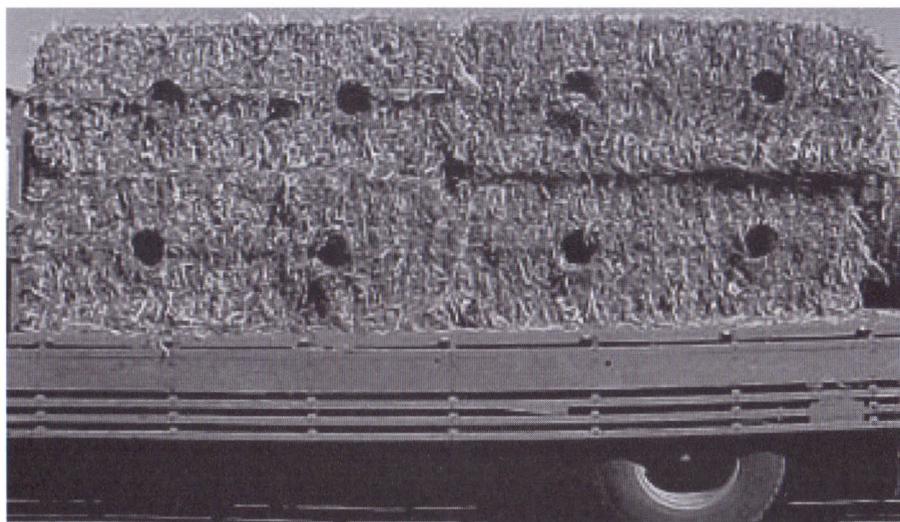


Figura 6. Caminhão de carga seca com nove fardos prismáticos de palhaço, com média de massa unitária de 212 kg (Foto: M. L. C. Ripoli).

## Conclusão

Em termos de recolhimento e de transporte de palhiço de cana-de-açúcar, com base nos ensaios padronizados efetuados envolvendo as opções disponíveis, conclui-se que a colheita integral é a que apresenta menor custo, seguida pelo enfardamento e, por último, o recolhimento a granel. Na colheita integral, a matéria-prima deverá passar por um sistema de separação na usina, com base em tecnologia e processo já disponíveis no mercado brasileiro.

## Referências bibliográficas

AGRIANUAL, 1997. FNP Consultoria e comércio. São Paulo, 1996. 435 p.

BRITO, J. O. Energia de biomassa: uma alternativa para os trópicos. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENERGIA, 3., 1986, Guatemala. **Anais...** São Paulo: CONFEA; CREA, 1986. p. 1-20.

COPERSUCAR. **Pró-álcool: fundamentos e perspectivas.** São Paulo: Copersucar, 1989. 121 p.

DARIO, G. J. A. **Informações básicas para a cultura de arroz.** Piracicaba: ESALQ, 1995. 28 p.

GOLDENBERG, J. Biomassa como fonte de energia. São Paulo: **Energia**, v. 1, n. 2, p. 21-22, mai-jun. 1979.

HILER, E. A.; STOUT, B. A. **Biomass energy: a monograph**. College Station: Texas A&M University Press, 1985. 313 p.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JUNIOR, T. R.; MILES, T. R. **Combustion properties of biomass. Fuel processing Technology**. Cambridge: Cambridge University, 1998. p.17-46.

MARANHÃO, L. E. Secagem do bagaço: avaliação do bagaço de cana-de-açúcar. **Coleção SOPRAL**, São Paulo, n. 4, p. 40-48, 1983.

MIALHE, L. G. **Curso intensivo de mecanização agrícolas na produção de álcool**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 174 p.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C.; DeLEON, M. J.; MIALHE, L. G. Pérdidas de azúcares reductores totales como consecuencia de la quema en pré-cosecha de cañaverales. In: BAULBUENA A.; BENEZ, S. H.; JORAJURIA, D. (Ed.). **Ingenieria rural y mecanización agrária en el ambito latinoamericano**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 1998. p. 250-255.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JUNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Energetic potential of the sugar cane biomass in Brazil. **Rivista di Ingeniería Agrária**, Bologna, v. 31, n. 1, p. 2-7, Feb. 2000.

RIPOLI, T. C. C.; CASAGRANDE, D. V.; RIPOLI, M. L. C. **Projeto COSAN-ESALQ: Sistemas de colheita de palhico de cana-de-açúcar como fonte de biomassa**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 320 p.

RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu potencial energético.** 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C., 2004. 302 p.

ROSA, A. V. Energia derivada do aguapé. **Silvicultura**, São Paulo, ed. esp., p. 179-183, 1977.

# 9

## Operação inovadora de biorrefino para produção de óleos combustíveis e de químico-plataforma a partir de carboidratos de biomassa e de resíduos diversos<sup>1</sup>

---

*Daniel J. Hayes*

*Michael H. B. Hayes*

*Margaret M. Daly*

### Introdução

A economia mundial nos tempos atuais é altamente dependente da disponibilidade de combustíveis fósseis e de petroquímicos. Há sólidas evidências de que o volume de petróleo utilizado excede o que vem sendo descoberto. A crise ficará melhor caracterizada quando for constatada a impossibilidade de aumentar a taxa de extração de petróleo, a qual deve obedecer determinado limite, para que não sejam danificadas as estruturas que permitem a extração. A maioria das previsões indica que o pico da produção será alcançado dentro de poucos anos. O aumento da demanda por essa *commodity*, em especial nas economias emergentes, a tornará progressivamente mais cara e as reservas poderão se exaurir em menos de 30 anos (Simmons, 2005).

---

<sup>1</sup> Traduzido por Francisco H. Dübbern de Souza, Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Dr., Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.

Petróleo obtido a partir de xisto e de carvão poderá estender o período de disponibilidade de combustíveis e de químicos-plataforma dele derivados. Entretanto, esses também são combustíveis fósseis, que, quando queimados, contribuem para o aumento da concentração atmosférica de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), considerado um dos principais causadores (dentre os chamados "gases de efeito estufa") das mudanças climáticas. Presentemente, tal concentração é da ordem de 380 ppmv, mas, se persistir a atual tendência de aumento, esse nível deverá alcançar 400 ppmv em cerca de dez anos.

Os efeitos do aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  sobre a produção de alimentos e de fibras necessários a uma população de seis bilhões de habitantes, e que deverá aumentar para nove bilhões nos próximos 30 anos, têm sido tema de muitos debates. Argumenta-se que a população atual não poderia ser sustentada se ainda prevalecessem os níveis de concentração de  $\text{CO}_2$  existentes antes da revolução industrial (Sage, 1995). Devidas considerações deveriam ser dadas para assegurar nível ambientalmente sustentável de  $\text{CO}_2$ . Esse nível talvez seja de aproximadamente 450 ppmv, mas não deveria ser permitido que alcançasse 500 ppmv. Por essa razão, grande esforço deveria ser feito para a reciclagem de  $\text{CO}_2$ .

Condições climáticas favoráveis conferem ao Brasil enorme capacidade de produção de alimentos e de biomassa. Frações não comestíveis das culturas

alimentícias (palhas, bagaços e restolhos) e culturas energéticas provêm o País de suficiente material para produzir grandes volumes de biocombustíveis para veículos de transporte, bem como de químicos-plataforma utilizados na fabricação de vários produtos.

No presente trabalho, serão delineados aspectos da composição da biomassa e de resíduos agrícolas utilizáveis como precursores para tais produtos. De forma sucinta, serão apresentadas algumas tecnologias emergentes para a conversão de biomassa e de resíduos orgânicos, e atenção especial será dada ao "processo Biofine", que tem potencial para se tornar um dos principais contribuidores à conversão da energia armazenada em carboidratos constituintes desses tipos de materiais em combustíveis líquidos e em químicos-plataforma.

## **Biorrefinarias e aspectos de composição e da estrutura química de substratos orgânicos**

### ***Biorrefinarias***

O conceito de biorrefinarias é análogo ao de refinaria de petróleo. No caso de biorrefinarias, o substrato é material biológico, enquanto o óleo cru é o substrato nas refinarias de petróleo. Combustíveis líquidos e químicos-plataforma, ou seja, químicos a partir dos quais é obtida grande variedade de plásticos, de polímeros e de outros produtos orgânicos, podem ser fabricados em biorrefinarias, utilizando-se

constituintes (especialmente carboidratos) de biomassa. Idealmente, as biorrefinarias devem ser flexíveis, de modo a permitir o uso de diversos tipos de substratos orgânicos.

A matéria-prima usada no biorrefino é de pouco ou de nenhum valor alimentício, é abundante e fácil de ser cultivada, requer poucos insumos, e é composta principalmente de materiais lignocelulósicos (celulose, hemicelulose e lignina). Na sua maior parte, alimentos ricos em açúcar ou amido têm valor alimentício muito superior aos apresentados pelos substratos utilizados em biorrefinarias.

### ***Aspectos relevantes da composição e da estrutura química de biomassas***

Carboidratos são os constituintes mais abundantes da biomassa vegetal utilizada em biorrefinarias. Esses compostos são poliidróxidos, cuja composição elementar geral é  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ . A natureza oxigenada confere a tais moléculas (hidrocarbonetos) características particularmente propícias à conversão e à utilização. Existem mais de 100 tipos de resíduos monossacarídeos, porém, os mais abundantes são as aldoses e as cetoses.

A Figura 1 ilustra a “árvore de açúcar” da aldose, originada do D-gliceraldeído, e as estruturas de açúcares, mostradas de acordo com projeções de Fischer (linhas verticais e horizontais) e conformações em ziguezague. A funcionalidade de carbaldeído inclui o átomo número 1 de

carbono e a configuração D refere-se à orientação do carbono assimétrico de mais alta numeração. Na projeção de Fischer, a  $-OH$  situa-se no lado direito na configuração D, e no lado esquerdo, no caso de configuração L.

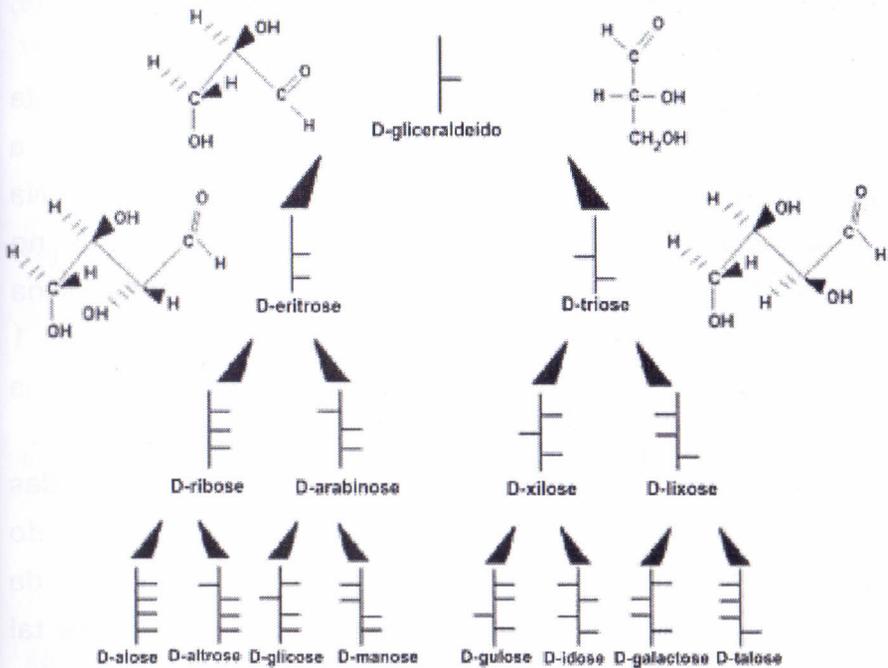


Figura 1. Representações diagramáticas da "árvore de açúcar" de D-aldoexoses derivadas de D-gliceraldeído.

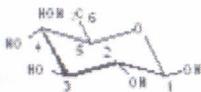
A molécula de glicose, a unidade básica de composição da celulose, é o componente mais abundante das biomassas lignocelulósicas. As hexoses manose e galactose e, claro, a glicose, são também componentes das hemiceluloses. Em geral, celulose e hemiceluloses constituem 45% a 50% e 25% a 30%, respectivamente, das biomassas lignocelulósicas.

A Figura 2 mostra a configuração  $\beta$  da glicose, da manose e da galactose em suas formas piranosas, e a estrutura de outros açúcares são mencionadas no texto. Na configuração  $\beta$ , a funcionalidade da hidroxila ( $-OH$ ) no carbono nº 1 (C1), o carbono anomérico, é equatorial, e na configuração  $\alpha$  ela é axial. A xilose, mostrada na Figura 1 na forma piranosa, é mais comumente encontrada na forma furanosa; a  $\alpha$  L-arabinose é mostrada na forma furanosa.

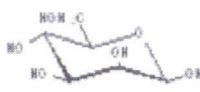
A Figura 3 mostra diagramas representativos das moléculas de amilose e de amilopectina, componentes do amido. O amido é um homopolissacarídeo composto de moléculas de glicose conectadas de modo  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4), de tal forma que o terminal hidroxila ( $-OH$ ) do C1 de uma das moléculas reage com a  $-OH$  equatorial do C4 de outra glicose; dessa reação resulta uma molécula de água (que é eliminada) e uma conexão glicosídica, que passa a combinar as duas moléculas de glicose, resultando uma função acetal.

No caso da amilopectina, a ramificação ocorre quando o terminal  $-OH$  na configuração  $\alpha$  do C1 conecta-se com o C6 do  $CH_2OH$  equatorial em outra molécula de glicose componente de uma molécula do tipo amilose, resultando, outra vez, a molécula de água, que é eliminada.

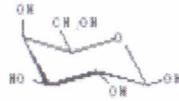
### Hexoses



$\beta$ -D-glicopirranose



$\beta$ -D-manopirranose

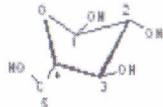


$\beta$ -D-galactopirranose

### Pentoses

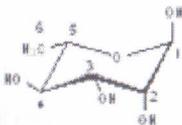


$\beta$ -D-xilopirranose

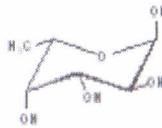


$\alpha$ -L-arabinofuranose

### 6-desoxi-hexoses

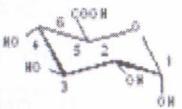


$\alpha$ -L-ranopirranose

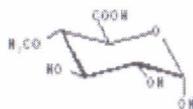


$\alpha$ -L-fucopirranose

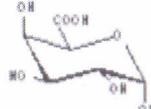
### Ácidos urônicos



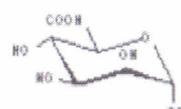
ácido  $\alpha$ -D-glicopiranosurônico



ácido 4-O-metil- $\alpha$ -D-glicopiranosurônico



ácido  $\alpha$ -D-piranosurônico



ácido  $\alpha$ -D-manopiranosurônico

Figura 2. Representação diagramática de estruturas de açúcares mencionadas no texto.

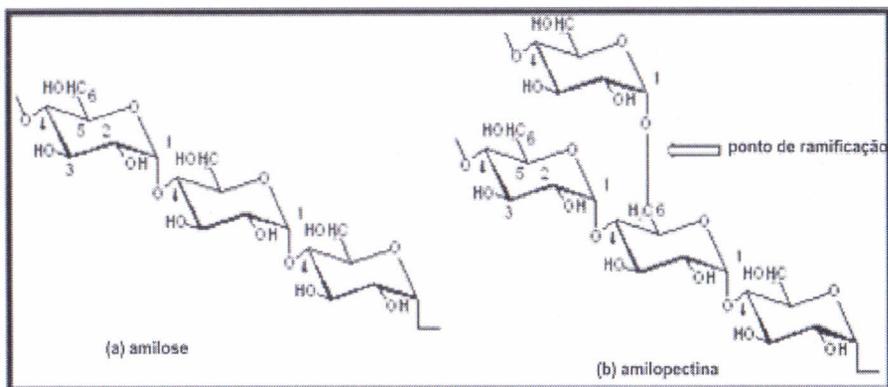


Figura 3. Representação diagramática das estruturas de amilose e de amilopectina, componentes de amido.

Fonte: Sjostrom (1981).

A única diferença estrutural existente entre a amilose e a celulose (Figura 4) consiste no fato de que, na celulose, as moléculas de glicose apresentam-se conectadas na forma  $\beta$ -(1>4). O fato de a hidroxila equatorial no C1 (o carbono anomérico) de uma das glicoses conectar-se com a hidroxila equatorial no C4 de outra molécula de glicose resulta em uma funcionalidade acetal e na eliminação de uma molécula de água. A conexão do tipo  $\beta$ -(1>4), característica da celulose, atribui a ela a conformação de hélice (Rees, 1967) ou de fita linear (Hatfield, 1993), num arranjo espacial que propicia conexões intramoleculares envolvendo hidrogênio. Isso torna as estruturas celulósicas relativamente resistentes a processos de hidrólise que adicionam água às conexões  $\beta$ -(1>4), necessárias à liberação das moléculas individuais de glicose constituintes.

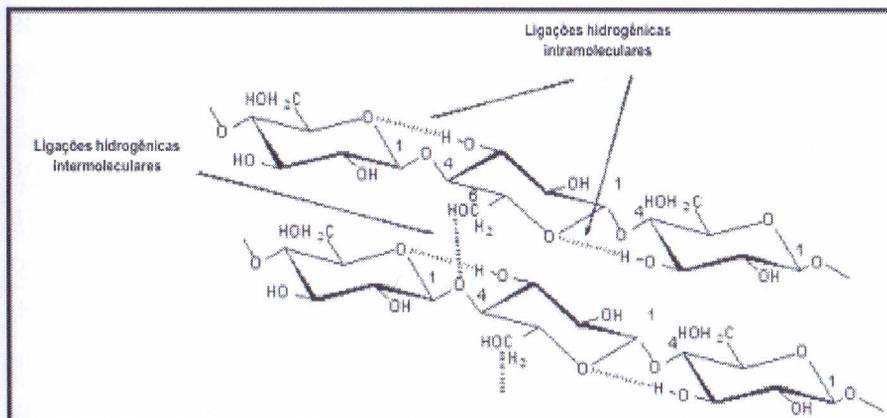


Figura 4. Representação diagramática da estrutura da celulose, mostrando ligações do tipo ponte de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares. Fonte: Preston (1979).

Em contraste, a hidrólise do amido é relativamente simples e consiste do ataque nucleofílico ao oxigênio da ligação glicosídica. Além disso, o acesso da amilase a essa ligação é facilitado pela estrutura randômica em hélice, resultante da configuração  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4). Entretanto, em decorrência do efeito das ligações hidrogênicas, as moléculas de celulose são agrupadas em fibrilas, cada uma composta por 60 a 70 moléculas de glicose (Roberts, 1996), que, por fim, resultam na formação de fibras de celulose. Por essa razão, as celulasas têm dificuldade em acessar as ligações  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4), de forma que a hidrólise da celulose por enzimas, ou mesmo por ácido, é lenta.

As hemiceluloses são heteropolissacarídeos ramificados, compostos, na sua maior parte, por pentoses (xilose e arabinose), e hexoses (glicose, galactose e manose), além de pequenas quantidades de L-ramose (na qual o grupo  $\text{CH}_2\text{OH}$  da manose é substituído por  $\text{CH}_3$ , Figura 2), ácidos D-glicurônico e D-galacturônico (no qual o grupo  $\text{CH}_2\text{OH}$  da glicose e da galactose é substituído por  $\text{COOH}$ , Figura 2), e ácido 4-O-metil-D-glicurônico (em que a hidroxila do C4 é substituída por um grupo metoxil,  $\text{OCH}_3$ ), conforme mostra a Figura 2.

As hemiceluloses são relativamente desordenadas, se comparadas à celulose, e apresentam grau consideravelmente menor de polimerização (100 a 200 unidades de açúcares) e, por isso, sua hidrólise pode ocorrer mais rapidamente. As hemiceluloses localizam-se em espaços existentes entre microfibrilas, junto a moléculas desordenadas de celulose e de lignina.

## **Produtos de biorrefinarias obtidos de biomassa**

### ***Tecnologias de biorrefino de lignocelulose***

Essas tecnologias promovem a hidrólise de polissacarídeos para monossacarídeos e podem envolver hidrólise com ácido diluído, com ácido concentrado ou com enzimas ou ainda auto-hidrólise por meio de vapor. A ênfase atual é voltada à produção de etanol, mas essa não é uma forma eficiente de utilização de açúcares C5.

Outros processos biorrefinadores não-bióticos incluem a gaseificação (*steam reforming*), a produção de hidrogênio, e a produção de metanol-etanol pelo processo *Fischer-Tropsch*. A pirólise-liquefação pode produzir bioóleo, via decomposição termal, e hidrogênio, energia e produtos químicos. Algumas pesquisas têm buscado o desenvolvimento de tecnologias de gaseificação de biomassa, que são, no entanto, mais complexas e menos econômicas do que as biorrefinarias.

O presente trabalho concentra-se na "tecnologia Biofine", inventada pelo Dr. S. W. Fitzpatrick, da Bioetics Inc., de Waltham, Estado de Massachusetts, Estados Unidos da América. Essa tecnologia envolve alta temperatura e hidrólise ácida rápida da biomassa de polissacarídeos, resultando em ácido levulínico (composto nº 8, na Figura 6), ácido fórmico e carvão residual.

### ***Ácido levulínico obtido de carboidratos como precursores***

No "processo Biofine", o substrato orgânico é hidrolisado por solução de 1% a 5% de ácido mineral em dois reatores. No primeiro, os polissacarídeos são hidrolisados em seus componentes monossacarídeos e a desidratação das hexoses (Figura 5) resulta no 5-hidroximetilfurfural (HMF) e a das pentoses, no furfural. Esse processo foi descrito por Kookherkov et al. (1967). Na

Figura 5, é mostrada também a desidratação da aldose glicose e da manose, bem como da cetose frutose. Dessa etapa, resulta 3,4-dideoxiglicosuloseno-3 (composto nº 3), que é prontamente convertido para dienodiol (composto nº 4), que é ciclizado (composto nº 5) e, ao ser desidratado, transforma-se em 5-hidroximetilfurfural (composto nº 6). A substituição do grupo  $\text{CH}_2\text{OH}$ , no C5, dá origem ao furfural. Substâncias do tipo marrom-húmicas podem também resultar dessa reação.

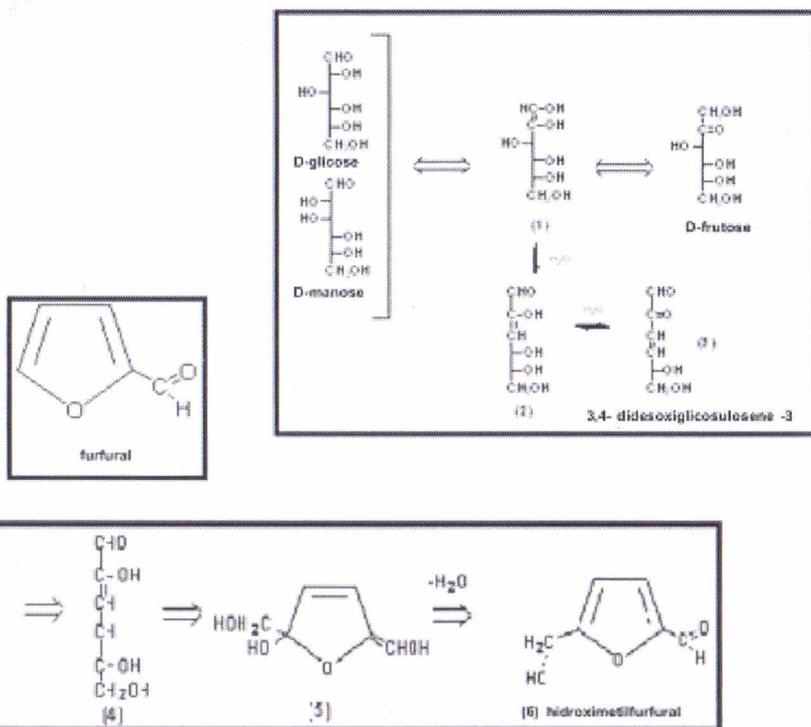


Figura 5. Formação de 5-hidroximetilfurfural a partir de aldoseoses e cetoseoses.

Fonte: Timokhin et al. (1999).

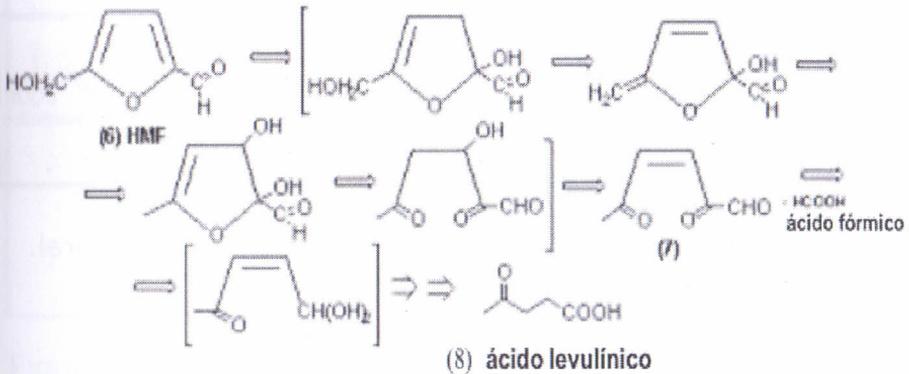


Figura 6. Conversão de 5-hidroximetilfurfural em ácido levulínico.

Fonte: Timokhin et al. (1999).

A hidratação do HMF, mediante ligação dupla existente no C2 e no C3 do anel furano (Figura 6), resulta em um intermediário tricarbonil instável (composto nº 7, na Figura 6), que se decompõe em ácido levulínico (composto nº 8) e ácido fórmico (HCOOH), conforme sugerido por Timokhin et al. (1999). Ácido levulínico também pode ser preparado a partir de álcool furfúrico (composto nº 9), obtido a partir da hidrogenação do furfural (Figura 7), que, por sua vez, é obtido da desidratação de pentoses liberadas das hemiceluloses no "processo Biofine".

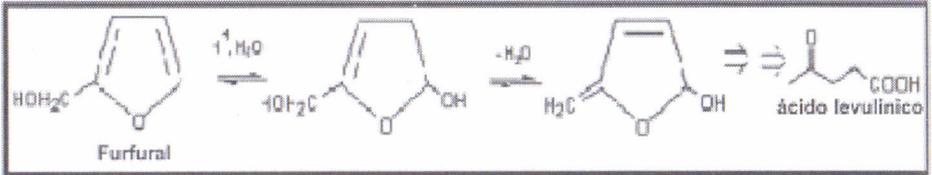


Figura 7. Formação de ácido levulínico a partir de furfural.  
Fonte: Timokhin et al. (1999).

### ***Algumas substâncias químicas industriais e outros produtos obtidos do ácido levulínico***

Grande número de derivados valiosos podem ser obtidos do ácido levulínico (Oono *et al.*, 1996; The Lubrizol Corporation, 1998), que é, portanto, um excelente químico-plataforma. Por exemplo, da sua redução e desidratação resulta a diolefina, a qual, por sua vez, pode dar origem a grande variedade de polímeros e de plásticos. Em razão da baixa produtividade das sínteses convencionais, seu custo atual de mercado é de aproximadamente quatro euros por quilograma. Atualmente, ela tem sido utilizada em baterias, processos fotográficos, síntese de polímeros de alto valor, reagentes quirais, inibidores de corrosão, e absorventes. O ácido  $\delta$ -aminolevulínico (DALA, preparado conforme descrição mostrada na Figura 8), por exemplo, apresenta ampla gama de atividade biológica.

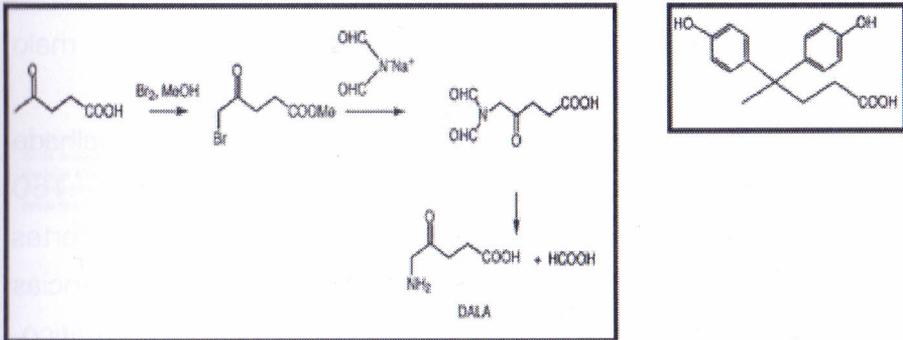


Figura 8. Conversão de ácido levulínico em ácido  $\delta$ -aminolevulínico (DALA). O ácido difenólico é mostrado na figura localizada no lado direito.

O ácido  $\delta$ -aminolevulínico é um herbicida de amplo espectro, altamente seletivo e ambientalmente benigno (Rebeiz et al., 1984). É também um inseticida útil (Rebeiz et al., 1995) e um produto promissor para terapias fotodinâmicas usadas no tratamento de certos tipos de câncer (Bedwell et al., 1992). O ácido difenólico, mostrado na Figura 8, resulta da reação de ácido levulínico com dois moles de fenol. Por algum tempo foi usado comercialmente em várias formulações de resinas e de recobrimentos decorativos, até ser substituído por bisfenol-A, um produto mais barato, derivado de petróleo.

O resíduo do "processo Biofine" é um carvão. A Figura 9 mostra os espectros de ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$ , no estado sólido, aplicada de acordo com a técnica de polarização cruzada com rotação em torno do ângulo mágico (CPMAS  $^{13}\text{C}$ ) de carvões de palhada e de papel, e de resíduos da queima de

hidrocarbonetos de óleo *diesel* e de musgos, obtidos por meio desse processo.

Observa-se claramente que o carvão resultante de palhada apresenta características de lignina ( $-O$  aromático a 140 – 150 ppm, e metoxil a 56 ppm). No carvão de papel, há fortes evidências de resíduos de hidrocarbonetos e algumas evidências de carboidrato e de funcionalidades resultantes de  $-O$  aromático. Ambos os carvões da Biofine apresentam alguma funcionalidade carboxila, porém, são significativamente diferentes do carvão de musgo. Tais carvões são típicos da queima de vegetais. Por sua vez, o carvão resultante da queima de óleo *diesel* mostra evidências de resíduos de hidrocarbonetos alifáticos (10 a 40 ppm), indicando conversão incompleta para carvão.

### ***Combustíveis para veículos de transporte obtidos do ácido levulínico***

Metiltetraidrofurano (MTHF), um reconhecido extensor oxigenado de combustíveis derivados de petróleo, é formado pela hidrogenação catalítica do ácido levulínico (Figura 10), via  $\gamma$ -valerolactona, que, ao ser submetida a nova hidrogenação, resulta em 1,4-pentanediol e MTHF, possibilitando altas taxas de produtividade (92% do máximo teórico). Esse composto apresenta octanagem 87 e possibilita desempenho, em termos de quilômetros por litro, similar ao obtido com petróleo. Tanto o MTHF quanto o dimetiltetraidrofurano podem também ser formados a partir de furfural e 5-hidroximetilfurfural, respectivamente.

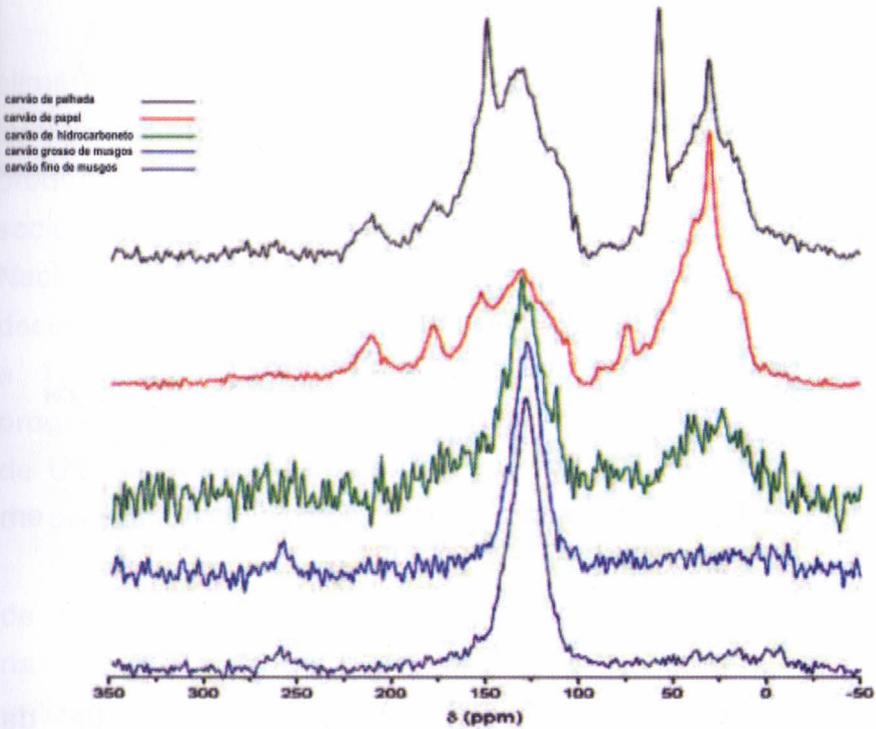


Figura 9. Espectros de ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  obtidos de carvões, no estado sólido, com a técnica de polarização cruzada com rotação em torno do ângulo mágico. De cima para baixo: carvões de palhada e de papel submetidos ao "processo Biofine"; carvões resultantes da queima de óleo *diesel*, e carvões fino e grosso, respectivamente, resultantes da queima de musgos.

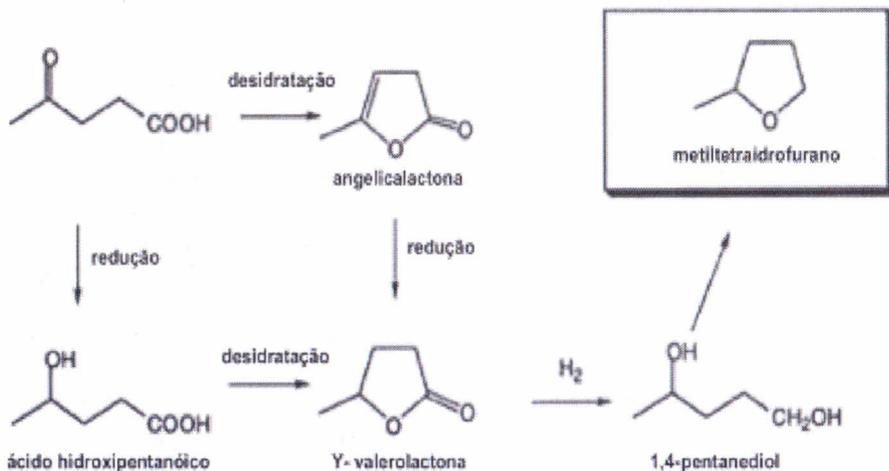


Figura 10. Conversão de ácido levulínico em metiltetraidrofurano.

Fonte: Bozell et al. (2000).

O etil-levulinato (EL), preparado a partir da esterificação do ácido levulínico com etanol combustível, é um excelente extensor de óleo *diesel*, que contém 33% de oxigênio na sua composição. A mistura de 20% de EL, 1% de co-aditivo e 79% de *diesel* apresenta teor de oxigênio de 6,9%. Isso possibilita combustão muito mais limpa, se comparada à combustão exclusiva de *diesel*, e atende a todas especificações da ASTM D-975 para óleo *diesel*. Além disso, o desempenho rodoviário de veículos movidos por *diesel* suplementado com EL é idêntico ao apresentado por veículos movidos exclusivamente a *diesel*.

## O Brasil e a biomassa

O Brasil, graças à predominância de condições climáticas favoráveis e à disponibilidade de grandes áreas cultiváveis em seu território, tem enorme capacidade de produção de biomassa. As grandes vantagens socioeconômicas e estratégicas resultantes do Programa Nacional do Alcool podem ser aumentadas pelo desenvolvimento de uma indústria de biorrefino. Entre 1975 e 1989, cerca de US\$ 5 bilhões foram investidos no programa de etanol combustível e isso possibilitou economia de US\$ 43,5 bilhões, resultante da redução na importação de petróleo.

Concomitantemente, o uso do etanol evitou que cerca de 110 milhões de toneladas de carbono fossem lançados na atmosfera, o que teria ocorrido caso tivessem sido utilizados combustíveis fósseis. Somente em 2000, a geração de 9,2 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> fóssil foi evitada pela substituição de parte da gasolina por etanol.

O processamento de resíduos e de detritos orgânicos e de culturas energéticas em biorrefinarias poderia contribuir de forma significativa para o aumento das oportunidades de emprego e da segurança energética (e química) e permitir a produção de biocombustíveis em regiões onde a cana-de-açúcar não é cultivada. Os novos veículos do tipo *flex fuel* oferecem oportunidades para combustíveis da série P, que não são baseados em petróleo, e as possibilidades são especialmente encorajadoras onde é

utilizado *diesel*. Cerca de 17% do *diesel* usado no Brasil é importado e, em 2000, essa importação custou US\$ 10 bilhões.

O Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Combustíveis Alternativos (Probiodiesel) foi criado para avaliar técnica e economicamente diferentes tipos de "biodiesel". A maior parte das alternativas avaliadas foi considerada relativamente cara ou inadequada para os veículos a *diesel* em operação. Entretanto, tem sido permitido aos distribuidores de combustíveis adicionar 2% de "biodiesel" (obtido de plantas oleaginosas) ao *diesel* proveniente de óleos fósseis e essa adição passará a ser obrigatória a partir de 2008. O composto etil-levulinato, um dos vários produtos passíveis de obtenção por biorrefino, pode ser misturado ao *diesel* em proporções de até 20% do volume e, com isso, reduzir a necessidade de importação de *diesel*.

Cerca de 90% das necessidades de energia elétrica do Brasil têm sido supridas por usinas hidroelétricas. A expansão dessa fonte de suprimento, porém, é limitada pela necessidade de água para irrigação. Severa escassez de eletricidade ocorreu no País em 2001, em consequência de níveis de água inferiores à média nos reservatórios. No presente, menos de 3% da produção de eletricidade provém de biomassa, mas há potencial para considerável aumento nessa área. Por exemplo, a geração de energia a partir de bagaço de cana-de-açúcar e de outras formas de biomassa poderia complementar a energia de sistemas hidroelétricos, uma vez que a colheita da cana ocorre justamente durante o período seco do ano em grande parte do País.

Ácido levulínico, metiltetraidrofurano e etil-levulinato, passíveis de obtenção por meio de biorrefino, são mais valiosos como combustíveis automotivos ou como químicos-plataforma do que como combustíveis para usinas geradoras de energia. Entretanto, o teor energético (28,5 MJ/kg) de carvão seco, originário principalmente da queima da fração lignina, de produtos polimerizados e de resíduos de carboidratos decompostos da biomassa, é similar ao do carvão betuminoso. Assim, carvões são mais apropriados para usinas geradoras de energia do que materiais lignocelulósicos, que podem conter teor de água de 30% ou mais. Carvões têm também potencial de uso como aditivos para solos.

Há uma proposta governamental (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) de acordo com a qual, até o ano 2020, pelo menos 10% das necessidades de energia elétrica do Brasil deverão se originar de fontes renováveis. O Plano de Ação para o Desenvolvimento de um Mercado Sustentável para Serviços de Energia Rural Renovável no Brasil objetiva a "incorporação de tecnologias do estado da arte para a obtenção de fontes renováveis de energia e a avaliação de experiências internacionais relevantes". Isso sugere que as tecnologias de biorrefino poderiam desempenhar papel importante nessas iniciativas.

### ***Detritos orgânicos como substrato para biorrefinarias***

Três grupos principais de substratos podem ser considerados para biorrefino (Tabela 1). São eles: lixo, resíduos agrícolas e culturas energéticas. O lixo municipal pode ser uma alternativa economicamente atrativa, pelo fato de existirem sistemas de coleta que o disponibilizam em locais específicos e por estarem disponíveis a custo zero (pelo menos inicialmente). Biorrefino é um modo mais aceitável de uso desse tipo de material do que o descarte em aterros sanitários ou lixões. Entretanto, ele apresenta desvantagens, tais como qualidade variável (especialmente quanto à proporção de impurezas), teor de carboidrato inferior ao apresentado por biomassas e disponibilidade limitada.

**Tabela 1. Exemplos de substratos para biorrefinarias.**

Lixo	Resíduos agrícolas	Culturas energéticas
Esgoto	Resteva de milho	<i>Miscanthus spp.</i> <sup>1</sup>
Papéis	Bagaços	Capim-elefante <sup>2</sup>
Lixo municipal sólido	Palhas, Palhadas	"Switchgrass" <sup>3</sup>
Serragens	Estercos	Bambu (várias espécies)
Madeiras (descartes)		
Industrial		

Nota do Tradutor: <sup>1,3</sup> espécies de gramíneas de clima temperado;

<sup>2</sup> *Pennisetum purpureum* (gramínea de clima tropical); <sup>3</sup> *Panicum virgatum*.

No Brasil, o lixo municipal sólido apresenta, em média, 34,4% de matéria orgânica e, se confirmada a expectativa de que essa fração contém 50% de carboidratos e 25% de resíduos lignificados, então ele pode ser considerado um substrato valioso para o biorrefino. Restos de papéis e de serrarias e outros descartes de madeira são substratos excelentes; por sua vez, o valor do esgoto para tal fim depende de seu teor de carboidratos.

### ***Resíduos agrícolas***

A composição do bagaço de cana-de-açúcar (65% a 70% de carboidrato, 23% de lignina e apenas 2% de cinzas) o caracteriza como excelente substrato para processos de biorrefino. Seu grau de umidade, geralmente de 40% a 50%, pode ser considerado uma vantagem, uma vez que água é necessária ao biorrefino. No Brasil, parte desse material tem sido usado para prover energia à produção de açúcar e etanol. Considerando-se que o "processo Biofine" pode resultar em 0,3 t de carvão/t de bagaço, com valor calorífico de 28,5 GJ/t, então será possível obter 8,55 GJ de energia/t de bagaço, ou seja, mais do que o obtido com a queima direta do bagaço úmido (8,13 GJ/t).

Assim, a gaseificação do carvão permitiria a uma usina de açúcar e álcool com capacidade de processar 300 t/dia de cana tornar-se totalmente auto-suficiente quanto à energia e ainda produzir excedente de 2,4 MW durante um

período operacional de 200 dias por ano. As usinas brasileiras produtoras de etanol processam de 3.500 a 30.000 t/dia de cana. O gerador da Biofine poderia suprir a demanda energética do próprio "processo Biofine" e da produção de etanol e produzir ainda um excedente de energia elétrica. Deve ser considerada também a possibilidade de comercialização do carvão resultante do "processo Biofine" como aditivo de solo.

Estima-se que a produção brasileira de bagaço de cana seja de 42 milhões de toneladas secas por ano. Por meio de biorrefino, esse total poderia resultar em cerca de 15 milhões de toneladas de ácido levulínico, o qual, por sua vez, poderia ser convertido em 10,5 bilhões de litros de MTHF. A mistura de 13 bilhões de litros de ácido levulínico com 7,4 bilhões de litros de etanol resultaria em cerca de 18 bilhões de litros de etil-levulinato. Obviamente, os valores comerciais de MTHF e de etil-levulinato dependem do preço do petróleo no mercado mundial.

Há possibilidade, também, de utilização de resíduos da cultura da cana no biorrefino. Cerca de 20 t/ha de matéria seca de cana são queimadas no preparo do cultura para a colheita. A prática da queima está sofrendo restrições por causa do seu impacto ambiental. Conseqüentemente, a colheita da cana crua cria a possibilidade de uso de resíduos culturais (que representam cerca de 4% do peso dos colmos) como biomassa.

Resíduos de palhadas, como a palhada residual da produção de sementes de capim, que contém 35% a 40% de celulose, 25% de hemicelulose e 20% de lignina, são especialmente adequados ao uso como substrato para processos biorrefinadores. Cerca de 700 mil toneladas de ácido levulínico poderiam ser obtidos de 2 milhões de toneladas de palhadas residuais. Resteva de milho, composta por 36%, 24%, 20% e 10%, respectivamente, de celulose, de hemicelulose, de lignina e de cinzas, é também considerada bom substrato para biorrefino.

Cerca de 23 milhões de toneladas de mandioca são colhidas anualmente no Brasil. O bagaço resultante de sua industrialização é composto por material radicular fibroso, que contém resíduos de amido. O processamento de 250 a 300 t de tubérculos crus resulta em, aproximadamente, 280 t de mandioca úmida, cujo teor de água pode alcançar 75%. Esse material altamente biodegradável pode tornar-se sério problema ambiental quando descartado. No entanto, o teor residual de amido lhe confere propriedades altamente desejáveis ao biorrefino.

O Brasil produz anualmente cerca de 28 milhões de sacas de café. Os resíduos da casca das cerejas processadas contém aproximadamente 50% de carboidrato e 20% de lignina e podem, portanto, ser utilizados para biorrefino.

A produção de soja é atividade de grande importância econômica no Brasil e sua palhada residual também pode ser utilizada como substrato em processos de biorrefino. Entretanto, qualquer avaliação do potencial de uso de resíduos culturais em biorrefino deve levar em conta o valor desses materiais como adionantes de matéria orgânica ao solo. Deve ser considerado, também, o valor como aditivo de solo do carvão passível de ser obtido por meio de biorrefino desses materiais, e é necessário também determinar até que ponto esse produto substitui a incorporação direta de tais resíduos agrícolas ao solo.

### ***Culturas energéticas***

Os bambus (*e.g.*, *Bambusa vulgaris*), conforme mostrado por pesquisa sobre culturas energéticas para o Brasil, é considerado uma das plantas mais propícias à produção de energia (por meio de procedimentos de combustão-gaseificação), especialmente, na região Nordeste. A cultura alcança a maturidade após cinco anos, a primeira colheita pode acontecer três anos após o plantio e as colheitas subseqüentes em intervalos bianuais. Os colmos colhidos apresentam 35% de água e baixo teor de cinzas (0,11%).

A planta de bambu se desenvolve bem sob condições de clima e de solo idênticas às requeridas ao cultivo de cana-de-açúcar. No entanto, ao contrário da cana, ela pode ser cultivada em terrenos íngremes. O Grupo Industrial João Santos cultiva 108 km<sup>2</sup> de bambu na região Nordeste como matéria-prima para as indústrias de polpa e de papel. Os resíduos de folhas e os ramos dos colmos de três anos de idade correspondem a 38% do peso original da parte aérea da planta, que são desperdiçados no campo durante o período (cerca de 15 dias) de secagem pós-colheita. Cerca de 10% dos colmos são desperdiçados durante o processo de produção de polpa. Há, portanto, razões suficientes para considerar o bambu como cultura especialmente propícia ao suprimento de substrato para biorrefinarias.

O miscanto (*Miscanthus spp.*), uma planta do tipo C4, é considerada excelente fornecedora de substrato para o "processo Biofine". Produtividade de 20 a 30 t/ha pode ser obtida em solos de boa fertilidade em partes do norte da Europa. Tal produtividade pode, entretanto, ser triplicada em clima mais quente, desde que haja disponibilidade hídrica. Há relatos de que o capim-elefante, que pode ser considerado a versão tropical do miscanto, em regiões tropicais do Brasil pode proporcionar produtividade várias vezes superior à obtida com miscanto cultivado em climas mais quentes. Assim, a possibilidade de cultivar capim-elefante para biorrefino na região Nordeste do Brasil merece ser considerada.

## As usinas da Biofine e o futuro imediato

Desde 1996, uma usina-piloto da Biofine tem sido operada em Glens Falls, Estado de Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, onde uma ampla gama de lixo e de resíduos e de biomassa tem sido processada. Uma usina com capacidade de processamento diário de 300 t entrará em operação a partir do primeiro quadrimestre de 2006 em Caserta (nas proximidades de Nápoles), na Itália, e outra, para 130 t/dia (inicialmente), está sendo planejada para a cidade de Trenton, Estado de Nova Jérsei, nos Estados Unidos da América. Negociações estão em andamento para a construção de usinas na Irlanda.

A Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental agraciou a *Biofine Inc.* com o prêmio *Presidential Green Chemistry Award*, em reconhecimento à sua "excepcional tecnologia química verde", e o Senado dos Estados Unidos da América incluiu a Biofine entre suas "Tecnologias Aprovadas" para competir com as "Tecnologias de Etanol" na disputa para a obtenção de financiamentos federais. A Shell Global descreveu a Biofine como uma das principais tecnologias "verdes" e dispõe-se a adquirir volumes significativos dos seus produtos finais.

## Referências bibliográficas

THE LUBRIZOL CORPORATION. ADAMS, P. E.; LANGE, R. M.; YODICE, R.; BAKER, M. R.; DIETZ, J. G. **Intermediates useful for preparing dispersant-viscosity improvers for lubricating oils**. European patent 882745, 1998.

BEDWELL, J.; MCROBERTS, A. J.; PHILLIPS, D.; BROWN, S. G. Fluorescence distribution and photodynamic effect of ALA-induced PP IX in the DMF rat colonic tumor model. **British Journal of Cancer**, v. 65, p. 818-824, 1992.

BOZELL, J. J.; MOENS, L.; ELLIOTT, D. C.; WANG, Y.; NEUENSCWANDER, G. G.; FITZPATRICK, S. W.; BILSKI, R. J.; JARNEFELD, J. L. Production of levulinic acid and use as a platform chemical for derived products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 28, p. 227-239, 2000.

HATFIELD, R. D. Cell wall polysaccharide interactions and degradability. In: JUNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Eds). **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 285-313.

KOOKHERKOV, N. A.; BOCHKOV, A. F.; DIMITRIEV, B. A.; USOV, A. I.; CHIZBOV, O. S.; SHIBAEV, Y. N. **Khimiya uglevodov (The chemistry of carbohydrates)**. Moscow: Khimiya, 1967.

OONO, T.; SAITO, S.; SHINOHARA, S.; TAKAKUWA, K. **Fluxes for electric circuit board soldering and electric circuit boards**. Tamura Kaken, 1996.

PRESTON, R. D. Polysaccharide conformation and cell wall function. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 30, p. 55-78, 1979.

REES, D. A. The shapes of molecules: Carbohydrate polymers. **Contemporary science paperbacks**. 1967.

REBEIZ, C. A.; GUT, L. J.; LEE, K.; JUVIK, J. A.; REBEIZ, C. C.; BOUTON, C. E. Photodynamics of porphyrin insecticides. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 14: p. 329-366, 1995.

REBEIZ, C. A.; MONTAZER-ZOUHOOR, A.; HOPEN, H. J.; WU, S. M. Photodynamic herbicides: Concept and phenomenology. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 6, p. 390-401, 1984.

ROBERTS, J. C. **The chemistry of paper**. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry, 1996.

SAGE, R.F. Was low atmospheric CO<sub>2</sub> during the Pleistone a limiting factor in the origin of agriculture? **Global Change Biology**, v. 1, p. 93-106, 1995.

SIMMONS, M. R. **Twilight in the desert**. New Jersey: Wiley, 2005.

SJOSTROM, E. **Wood chemistry: Fundamentals and applications**. London, UK: Academic Press, 1981.

TIMOKHIN, B. V.; BARANSKY, V. A.; ELISEEVA, G. D. Levulinic acid in organic synthesis. **Russian Chemical Reviews**, v. 68, n. 1, p. 73-84, 1999.

## **Agradecimento**

O tradutor agradece ao Prof. Gilberto Moraes, da Universidade Federal de São Carlos, ao Dr. Etelvino H. Novotny, da Universidade de São Paulo, e ao Dr. Odo Primavesi e ao Dr. Edison Beno Pott, da Embrapa Pecuária Sudeste, por valiosas sugestões.

# 10

## Perspectivas do uso da palhada no "sistema plantio direto"

---

*João Carlos de Moraes Sá*

*Josiane Burkner dos Santos*

*Eduardo Garcia Cardoso*

*Darci Siuta Junior*

*Carla Fernandes Ferreira*

*Ademir Oliveira*

*Márcia Freire Machado de Sá*

*Lucien Séguy*

*Serge Bouzinac*

### Introdução

O manejo do solo tem como finalidade proporcionar para as plantas o suprimento adequado de ar, água e nutrientes, e esses componentes são influenciados pelas ações do preparo e da mobilização do solo, que modificam a estrutura do solo. A alteração no arranjo dos agregados influencia a porosidade total e se refletirá no fluxo de ar e de água. Em consequência disso, a atividade biológica reage a essas mudanças, o que gera reação em cadeia que influencia os fluxos de energia e a ciclagem de nutrientes. A utilização de sistemas de manejo conservacionistas, associada com culturas de cobertura que proporcionem elevadas adições de carbono (C) e nitrogênio (N), é uma alternativa para reduzir o impacto da exploração

agropecuária. Além disso, minimiza a erosão do solo e reduz o consumo de combustíveis fósseis (Kern & Johnson, 1993; Lal & Logan, 1995), e constitui estratégia importante para a melhoria da qualidade do solo (Amado et al., 1999) e a conservação de água.

A mobilização mínima do solo, princípio básico desses sistemas, altera a dinâmica da maioria dos nutrientes, com reflexo na sua disponibilidade para os cultivos em sucessão. Embora o investimento inicial para implantação desses sistemas conservacionistas seja alto, em razão da necessidade de aquisição de novos equipamentos, do aumento da adubação nitrogenada e da aplicação de herbicida (Kern & Johnson, 1993), os resultados econômicos têm sido favoráveis.

A importância desses sistemas está no fato de requererem menos operações de manejo do solo para alcançar aproximadamente o mesmo nível de produção que o sistema de plantio convencional, resultando em menores perdas de C orgânico do solo e em redução das emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dos combustíveis fósseis para a atmosfera (Kern & Johnson, 1993). A adoção de sistemas conservacionistas torna viável a recuperação dos teores de matéria orgânica de solos degradados, mesmo em condições climáticas altamente favoráveis à decomposição microbiana e em solos com baixo teor de argila, no qual a proteção física da matéria orgânica é frágil (Bayer et al., 2000; Sá et al. 2001a; Amado et al., 1999).

## O solo como fonte ou como dreno do CO<sub>2</sub> atmosférico

A matéria orgânica do solo é um componente-chave de qualquer ecossistema terrestre e a variação na sua distribuição, no seu conteúdo e na sua qualidade têm importante efeito nos processos que ocorrem dentro do sistema. Dependendo das práticas de manejo adotadas, o solo pode agir como dreno ou como fonte do CO<sub>2</sub> atmosférico, contribuindo diretamente para o efeito estufa. Do ponto de vista agrícola, o solo torna-se fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera quando as perdas por oxidação são maiores do que as adições de carbono na forma de palhada.

Os sistemas de manejo que usam o preparo do solo para a produção vegetal constituem o principal fator dessas perdas. Os mecanismos envolvidos nesse processo são os seguintes: a) a ruptura dos agregados expõe a matéria orgânica do solo, que está atuando como agente de ligação entre microagregados, ao ataque da biomassa microbiana; b) a mistura de material orgânico fresco com o solo resulta em condições mais favoráveis à decomposição; e c) o aumento na atividade da biomassa microbiana, em consequência da maior aeração do solo e do aumento da oferta de C facilmente oxidável, resulta em maior fluxo de mineralização de C (Elliot, 1986; Powlson et al., 1987; Reicosky et al., 1995), em especial quando o pH do solo for próximo do neutro, como após calagem. A severidade dessas perdas será maior em ambientes sob clima tropical e pode ser de cinco a dez vezes superior à das regiões sob clima temperado (Lal & Logan, 1995).

Além disso, o solo torna-se dreno do CO<sub>2</sub> atmosférico quando as adições de C são maiores do que as perdas por oxidação. De acordo com Bruce et al. (1999), a implementação de medidas integradas conforme os fatores relacionados a seguir é o caminho para que o solo atue como um dreno: a) eliminação do preparo do solo; b) intensificação de sistemas de rotação de culturas; c) adoção de práticas que promovam o aumento da produtividade das culturas; e d) restabelecimento de cobertura vegetal permanente. O carbono constitui componente central como agente de cimentação e de estabilização dos agregados e da estrutura do solo.

A participação do C na agregação do solo resulta da sua característica como principal gerador de cargas negativas em solos com carga variável e dependente de pH e como agente de ligação entre os agregados. Além disso, atua como substrato para o desenvolvimento e a manutenção da biomassa microbiana no solo.

Nas últimas duas décadas, o avanço na instrumentação científica e a maior preocupação com o impacto ambiental dos sistemas agrícolas desencadearam inúmeros trabalhos com preocupação na interação entre os componentes dos compartimentos do C orgânico do solo (Jenkinson & Ladd, 1981; Tisdall & Oades, 1982; Cerri et al., 1985; Elliot, 1986; Parton et al., 1987; Christensen, 1992; Cambardella & Elliot, 1994). Até então vigoravam basicamente duas linhas de pensamento sobre o estudo da

matéria orgânica do solo: a) os que procuravam saber o que é a matéria orgânica; e b) os que estavam preocupados em estudar o que a matéria orgânica faz.

A compreensão dos mecanismos e dos processos de recuperação da matéria orgânica do solo no plantio direto está relacionada com a alteração dos agregados do solo, expondo os componentes que atuam como estabilizadores da estrutura do solo.

A principal diferença na estrutura do solo sob vegetação natural comparada ao sistema sob preparo convencional e ao plantio direto está na alteração dos fluxos de entrada e de saída de biomassa e de energia. O ponto comum entre o sistema sob vegetação natural e o plantio direto está na preservação da unidade básica do solo que é o agregado. No sistema sob preparo ocorre ruptura constante das classes de agregados maiores, que expõe os compostos orgânicos de cimentação à ação da microbiota do solo e assim reduz sua estabilidade.

Além disso, a quantidade e a qualidade de C dos resíduos culturais que entram por influência do "sistema plantio direto" possui características diferentes do sistema natural e aí reside uma das principais diferenças na recomposição dos compartimentos da matéria orgânica do solo. O tipo de resíduo cultural que é aportado no plantio direto possui elevada quantidade de celulose e menor quantidade de ligninas e em consequência a velocidade de decomposição e a taxa de humificação é alterada. No

sistema sob vegetação natural, a diversidade de espécies com maior entrada de compostos orgânicos constituídos de ceras, gorduras, ligninas e polifenóis resulta em fluxo de C mais lento. No plantio direto, as entradas de compostos orgânicos são mais intensas, em razão da rotação de culturas, com predominância de compostos celulósicos. Essa "injeção" de celulose altera a diversidade dos agentes decompositores, estimulando a ocorrência, em maior expressão, de microrganismos celulolíticos. A decomposição lenta e gradual restabelece o fluxo contínuo de carbono, proporcionando a redistribuição de compostos orgânicos com diferentes estágios de humificação nos compartimentos da matéria orgânica do solo.

Do ponto de vista do manejo do solo, a sugestão de Duxbury et al. (1989), de alocar os diferentes estágios da dinâmica do C em quatro compartimentos ou "reservatórios", representa as possíveis alterações causadas pelo manejo:

- "Reservatório" *ativo ou lábil* – é constituído por compostos orgânicos facilmente oxidáveis, derivados de fragmentos de vegetais recentes, de biomassa microbiana e de depósitos de raízes ("rizodepósitos"). É controlado principalmente pela adição de resíduos culturais e pelo clima, e é fortemente influenciado pelo tipo de manejo do solo. As modificações são rápidas, e elevadas quantidades de C e N são função das transformações da biomassa microbiana.

- "Reservatório" *lentamente oxidável* – está relacionado com os macroagregados e é controlado pela mineralogia e pelos fatores agronômicos que interferem na agregação. Dentre estes, os sistemas de manejo do solo influenciam o tamanho desse reservatório.
- "Reservatório" *muito lentamente oxidável* – está relacionado com os microagregados; o fator controlador é a estabilidade do agregado em água. O sistema de manejo do solo tem pequeno impacto nesse compartimento.
- "Reservatório" *passivo ou recalcitrante* – está relacionado com o C associado às partículas primárias do solo. É controlado pela mineralogia da fração argila, formando complexos organo-argílicos pela decomposição microbial que reduz o C para formas elementares. Os sistemas de manejo do solo não influenciam esse compartimento.

### **Sistemas de produção sob plantio direto para elevada produção de palhada e acentuado seqüestro de carbono**

Nos últimos dez anos, a expansão do plantio direto no Brasil foi expressiva e a preocupação com a produção de palhada por meio de sistemas de rotação de culturas economicamente viáveis para as diversas regiões climáticas do País assume papel fundamental na estabilidade do sistema. A área estimada para a safra 2005–2006 situa-se em 23,4 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2005) e a taxa de expansão anual com base nos dados do período de 1992 a

2004 (FEBRAPDP, 2005) foi de 1,94 milhões de hectares. Isso indica que o produtor, respaldado pela comunidade científica e estimulado pela cadeia do agronegócio, está procurando se desenvolver com base em sistemas de manejo que minimizem seus riscos. O desafio atual é ajustar a necessidade de produzir palhada e raízes como benefício de sustentação dos sistemas de produção.

O tempo de recuperação da matéria orgânica do solo após a conversão de áreas sob preparo convencional para o "sistema plantio direto" está estreitamente relacionado com o balanço de C, que é governado pela quantidade e pela qualidade do material orgânico a ser adicionado na superfície do solo (Bayer et al., 2000; Sá et al., 2001b).

### **Mecanismos e processos de acúmulo de C no "sistema plantio direto"**

Como não há revolvimento do solo, a palhada permanece na superfície do solo, mantém-se a integridade do sistema radicular, e a matéria orgânica do solo fica menos exposta aos processos microbianos, reduzindo a taxa de mineralização e resultando em menor fluxo de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Reicosky et al., 1995). Esse mecanismo proporciona a proteção física da matéria orgânica do solo, que atua como agente de ligação entre os microagregados na formação de macroagregados (Six et al., 2002).

A fração ativa da matéria orgânica do solo é de particular interesse, por causa da sua contribuição no

suprimento de nutrientes e por apresentar resposta mais rápida às mudanças nas práticas de manejo do solo. Considerando esse ponto de vista, Bonde (1991) mostrou que o tempo de retorno do C foi de 0,15 anos em dois solos sob clima tropical, enquanto no solo sob clima temperado foi de 2 anos. Na mesma condição, observou que o reservatório ativo de C representou de 21% a 25% do C total, enquanto na condição temperada situou-se em 6%. Isso significa que nos solos sob clima tropical o tempo de retorno do C foi 13,3 vezes mais rápido e o reservatório ativo de C foi de 3,5 a 4,2 vezes maior do que nas condições de clima temperado. Este e outros exemplos têm mostrado a magnitude dessas diferenças, aumentando as atenções sobre sistemas de manejo em regiões tropicais. Em condições tropicais, o compartimento ativo de C tem duas funções: além do suprimento de nutrientes, age como fornecedor de compostos orgânicos que atuam como agentes de agregação do solo e na retenção de cátions (Duxbury et al., 1989).

### **Rotação de culturas como base para a produção de palhada e sua relação com o aumento do estoque de C e de N no solo sob plantio direto**

O não revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície por longo período proporcionou fluxo contínuo de C do reservatório ativo para

o estável. O estoque de C (t/ha) no plantio direto foi significativamente superior ao que resultou do preparo convencional até a camada de 0 – 10 cm e o estoque total de C até a camada de 0 – 40 cm foi de 118,4 t/ha no plantio direto e de 99,3 t/ha no preparo convencional. A diferença entre o plantio direto e o preparo convencional foi de 19,1 t/ha em favor do plantio direto (Sá et al., 2001b). O constante fraturamento dos agregados, especialmente dos macroagregados, provocado pelo preparo mecânico do solo, deixam de existir ou ficam restritos à linha de semeadura no caso do plantio direto. Em conseqüência, a entrada repentina de elevada quantidade de  $O_2$  é sensivelmente reduzida, criando ambiente menos oxidativo. Assim, a exposição da matéria orgânica do solo ao ataque microbiano é minimizada e permite que os agentes de agregação atuem como os ligantes na formação de macroagregados. Dessa forma, parece ocorrer efeito benéfico com o aumento da densidade do solo nos tratamentos sob plantio direto (Reicosky et al., 1995; Six et al., 2002).

A ausência de revolvimento do solo associada a diferentes tipos, qualidade e quantidade de sistemas radiculares permite a formação de arquitetura com poros contínuos, induzindo a ocorrência de fluxo dirigido dos gases. Desse modo, a abordagem de Reicosky et al. (1995) sugere a existência de uma taxa controlada de  $O_2$  e  $CO_2$  nesses poros, que por sua vez influenciam a atividade da biomassa microbiana.

Os ganhos de carbono orgânico total no plantio direto ocorrem na camada de 0 – 10 cm e representaram 82% do total. Em contraste, as perdas no preparo convencional foram de 97% nessa camada amostrada (Sá, et al., 2001b).

A adição contínua de resíduos culturais com relações C:N contrastantes proporciona fluxos diferenciados de C e N. Dessa forma, haverá períodos com elevado fluxo de C e de N e outros com menor fluxo. É essa variação que proporciona o acúmulo de matéria orgânica do solo, porque ocorrerá sobreposição de resíduos em camadas, em razão da resistência à decomposição dos resíduos com maior relação C:N. A recomposição dos compartimentos da matéria orgânica do solo e a concentração de C nas frações granulométricas dessa matéria orgânica é influenciada pelo preparo do solo.

O processo de acúmulo de C é contínuo e é governado pelas entradas de resíduo cultural. No plantio direto, o incremento de C na fração mais grosseira (210 – 2000  $\mu\text{m}$ ) representa o impacto dos resíduos que se acumulam e se transformam pela atividade da biomassa microbiana.

A maior concentração de C nas frações lábeis (2000 – 210  $\mu\text{m}$  e 210 – 53  $\mu\text{m}$ ) no plantio direto, comparado ao sistema de preparo convencional, indica que o solo está se comportando como dreno e em direção ao seqüestro de carbono (Sá et al., 2001b).

O agrupamento contínuo de microagregados e de macroagregados desenvolve microssítios e ou nichos de

colônias de bactérias e de outros microrganismos entre os planos de fraqueza estrutural, reduzindo a sua atividade. Dessa forma, o aumento da densidade do solo nos tratamentos sob plantio direto parece contribuir positivamente para a proteção do C.

Isso indica que o plantio direto associado à adição de elevada quantidade de resíduos culturais ( $> 8$  t/ha por ano) conduz à formação de complexos envolvendo as frações  $20 - 53 \mu\text{m}$ ,  $2 - 20 \mu\text{m}$  e  $< 2 \mu\text{m}$ , que resultam na proteção do carbono orgânico. No plantio direto, de acordo com Doran (1980), essa proteção tem início com a acumulação de lisados de hifas de fungo, quando os resíduos culturais são mantidos na superfície e a comunidade microbiana é dominada por fungos, predominantes em pH mais baixo. Adicionalmente, é sabido que quantidades elevadas de polissacarídeos secretadas pelos microrganismos atuam como forte agente de ligação entre as partículas primárias e os agregados do solo.

Esse fluxo contínuo de C resultante da mineralização e a humificação dos compostos orgânicos no tratamento por longo período sob plantio direto parecem ser os fatores-chave que influenciam as associações do C com os agregados e as frações granulométricas da matéria orgânica do solo. Dessa forma, o plantio direto deve ser conceituado como um sistema, pelo fato de as interações entre os atributos do solo serem mais importantes do que o efeito isolado de cada um. Os resultados obtidos por Venzke-Filho

(2003) sobre o fluxo do C e do N microbiano corroboram essas afirmações.

Com o passar dos anos, as alterações tornam-se menos abruptas e o fluxo é mais constante. As médias da diferença do carbono microbiano e do nitrogênio microbiano na parcela manejada de forma convencional há 12 anos comparadas às de 22 anos sob plantio direto foram de 298 e de 32 kg/ha, respectivamente (Sá et al., 2001b). Do ponto de vista agrônomo, esses valores são expressivos, porque estão em forma facilmente disponível para utilização pelas plantas.

### **Balço de carbono nos sistemas de manejo do solo**

Em regiões tropicais e em regiões subtropicais, apesar de a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo ser de cinco a dez vezes mais elevada do que em regiões temperadas (Lal & Logan, 1995), os ganhos na matéria orgânica do solo devidos à adoção do "sistema plantio direto" têm sido similares e ou superiores. A matéria orgânica do solo é um componente dinâmico e vários modelos têm sido usados para descrever suas alterações com o tempo. Por exemplo (Tabela 1), para manter o balanço positivo nesses sistemas, é necessário produzir no mínimo 3,5 ou 6,0 t de massa seca (parte aérea + raiz) de trigo ou soja por hectare, respectivamente (Bayer, 1996).

Pode-se afirmar que a quantidade mínima de palhada para manter o preparo convencional em equilíbrio estável é

Tabela 1. Balanço do carbono estimado pelo modelo unicompartmental (Hénin & Dupuis, 1945), em quatro sistemas de manejo: preparo convencional, preparo mínimo, plantio direto com escarificação<sup>1</sup> e plantio direto permanente.

Período <sup>‡</sup>	Cultura	Adição de massa seca			Adição de C <sup>§</sup>	Balanço de C com K <sub>2</sub> ajustado para o experimento <sup>**</sup>				Média dC/dt
		PA	Raiz	Total		Estoque C (solo)	K <sub>1</sub> *A	-K <sub>2</sub> *C	dC/dt	
Preparo convencional, t/ha										
I - 02	Aveia	3,08	0,71	3,79	1,70					
V - 02/03	Milho	10,64	2,42	13,05	5,87	30,88	2,01	1,67	+0,34	
I - 03	Aveia	6,19	1,42	7,61	3,43					
V - 03/04	Soja	3,18	0,71	3,89	1,75	31,22	1,37	1,69	-0,31	
I - 04	Trigo	2,99	0,47	3,47	1,56					
V - 04/05	Soja	4,34	0,98	5,32	2,39	30,91	1,05	1,67	-0,62	-0,20
Preparo mínimo, t/ha										
I - 02	Aveia	3,67	0,84	4,51	2,03					
V - 02/03	Milho	11,54	2,62	14,16	6,37	34,20	2,23	1,11	+1,12	
I - 03	Aveia	6,51	1,50	8,01	3,60					
V - 03/04	Soja	3,35	0,75	4,10	1,84	35,32	1,44	1,15	+0,30	
I - 04	Trigo	3,00	0,47	3,48	1,56					
V - 04/05	Soja	4,66	1,05	5,71	2,57	35,61	1,10	1,16	-0,06	+0,45
Plantio direto com escarificação, t/ha										
I - 02	Aveia	3,81	0,88	4,69	2,11					
V - 02/03	Milho	11,37	2,59	13,96	6,28	33,63	2,22	0,96	+1,26	
I - 03	Aveia	8,56	1,97	10,53	4,74					
V - 03/04	Soja	3,07	0,69	3,76	1,69	34,89	1,70	0,99	+0,71	
I - 04	Trigo	3,03	0,48	3,51	1,58					
V - 04/05	Soja	4,94	1,11	6,05	2,72	35,60	1,14	1,01	+0,13	+0,70
Plantio direto permanente, t/ha										
I - 02	Aveia	4,20	0,97	5,17	2,32					
V - 02/03	Milho	11,29	2,57	13,85	6,23	35,14	2,27	0,81	+1,46	
I - 03	Aveia	10,77	2,48	13,25	5,96					
V - 03/04	Soja	3,45	0,78	4,23	1,90	36,60	2,08	0,84	+1,24	
I - 04	Trigo	3,16	0,50	3,66	1,65					
V - 04/05	Soja	4,85	1,09	5,94	2,67	37,84	1,15	0,87	+0,27	+0,99

<sup>1</sup> Plantio direto com uma escarificação a cada três anos; <sup>‡</sup> I = Inverno, V = Verão e os números ao lado representam os anos para o balanço de C; <sup>§</sup> Refere-se à adição de C por meio dos resíduos culturais; <sup>\*\*</sup> Coeficiente de oxidação de carbono K<sub>2</sub> ajustado para as condições do experimento, com base nos estoques determinados em laboratório; K<sub>1</sub> representa o coeficiente de humificação de carbono. PA = parte aérea da planta.

Fonte: Sá et al. (2001b).

de 13,84 t/ha. Entretanto, a quantidade média de palhada adicionada foi de 12,38 t/ha (Sá et al., 2001b), o que demonstra que sempre haverá déficit em palhada no preparo convencional e tenderá a aumentar as perdas de C até novo ponto de equilíbrio estável. Esse novo estado de equilíbrio dependerá dos mecanismos de proteção do C nos agregados, que está estreitamente associado às características da mineralogia do solo (Bayer, 1996).

Em contraste (Tabela 2), no plantio direto permanente a quantidade mínima de palhada necessária para manter o equilíbrio estável foi de 8,04 t/ha (Sá et al., 2001b).

Tabela 2. Equivalente em palhada dos atributos do balanço de carbono para os sistemas de manejo de solo (SMS) em um experimento de longa duração.

SMS	C*K <sub>2</sub>	dC/dt ≠ 0	Equivalente em palhada <sup>†</sup>			
			dC/dt ≠ 0	dC/dt = 0	Adição anual (AA)	Balanço geral (AA - dC/dt = 0)
----- t ha <sup>-1</sup> -----						
PC	1,67	-0,20	-1,66	13,84	12,38	-1,46
PM	1,14	0,45	3,77	10,00	12,62	2,62
PDE	0,99	0,70	5,87	9,00	12,99	3,99
PDP	0,84	0,99	8,32	8,04	13,12	5,08

<sup>†</sup> Valores foram calculados a partir dos seguintes parâmetros: o coeficiente de oxidação representado pela expressão C\*K<sub>2</sub> foi dividido pelo número de anos do período (a média de três anos = C\* K<sub>2</sub>/3); dC/dt ≠ 0 representa a média do balanço de C para cada tratamento; o equivalente em palhada do dC/dt ≠ 0 representa a transformação da média do balanço de C em massa seca; o equivalente em palhada do dC/dt = 0 representa a quantidade perdida do estoque até o presente momento; média do aporte anual = média da produção anual de massa seca; o balanço geral representado por (Adição anual - dC/dt = 0) = média do aporte anual de massa seca - equivalente em palha do dC/dt = 0.

Fonte: Sá et al. (2001b).

A média da quantidade produzida nos últimos anos proporciona sobra de 5,08 t/ha (Sá et al., 2001b), o que indica que o "sistema plantio direto" com elevada adição de resíduos culturais é um sistema sustentável. Porém, a combinação de culturas é fundamental para manter esse equilíbrio. Por exemplo, quando se retira a cultura de milho da rotação, o sistema fica vulnerável, porque a taxa de seqüestro está associada à produção de biomassa. Qualquer variação climática que reduza as adições de C poderá resultar em balanço negativo.

Outro ponto fundamental para a manutenção do equilíbrio é a semeadura da cultura de cobertura. Se a semeadura de aveia preta for realizada com a utilização de grade niveladora para cobrir as sementes, o balanço de C poderá ser negativo. A perda total de C devida à operação de grade niveladora foi de 0,90 t/ha, enquanto o retorno de C, proveniente da palhada de aveia preta, foi de 0,52 t/ha. A quantidade adicionada foi insuficiente para repor a quantidade de C que foi perdida após a operação com grade e por isso gerou balanço negativo (adição = 4,35 t/ha de massa seca de aveia preta – parte aérea + raiz; porcentagem de C na massa seca da aveia preta = 45% = 0,45; coeficiente de humificação,  $k_1 = 0,265$ ). O calculo do balanço foi: Balanço aparente de C = 0,9 t/ha – (4,35 t/ha x 0,45 x 0,265) = –0,38 t/ha (Sá et al., 2001b). A estratégia de escolha das culturas deve ser associada à produção de massa seca suficiente para a manutenção do sistema e acumular matéria orgânica no solo.

Em regiões tropicais cuja taxa de decomposição é elevada, a necessidade de desenvolver sistema de produção com elevada capacidade de adição de resíduos culturais é ainda maior do que em regiões subtropicais. A avaliação de sistemas de produção com elevado aporte de resíduos culturais na região de Sinop, MT, mostrou que a recuperação da matéria orgânica do solo original ocorre em curto período (Séguy et al., 2001)<sup>1</sup>. Nessas regiões, é possível cultivar espécies com elevada capacidade de produção de biomassa, cuja taxa de crescimento é compatível com a combinação das culturas econômicas no período de chuvas. Por exemplo, a queda do conteúdo original de matéria orgânica do solo no período de oito anos devida ao preparo do solo associado à monocultura de soja, mesmo sendo superior a 40%, pode ser revertida pela intensidade da adição de resíduos culturais associada ao plantio direto. Em geral, as leguminosas normalmente usadas para formação de coberturas verdes (ervilhacas, tremoços, mucunas, crotalárias, estilozantes, guandu e outras) liberam elevada quantidade de polissacarídeos e amino-compostos, enquanto as gramíneas (milho, sorgo, trigo, centeio, capim-braquiária, pé-de-galinha e outras) são ricas em polifenóis e ligninas. A combinação das culturas em rotação como base do "sistema plantio direto" parece proporcionar efeito intermitente na formação de macroagregados na camada superficial.

---

<sup>1</sup> SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A. C. 2001. Um dossiê do plantio direto: Sistemas de cultivo e dinâmica da matéria orgânica – 203 p. Document Interne et CD-Rom CIRAD-CA/GEC 34398 Montpellier Cedex 5 - França.

## **Potencial de seqüestro de carbono em solos sob plantio direto associado à rotação de culturas no Brasil**

Embora 32% do estoque de C dos solos do mundo se encontrem na região tropical (Eswaran et al., 1993; Batjes, 1996), o banco de dados sobre experimentos de longa duração e as avaliações dos estoques de carbono ainda carecem de maiores detalhes. Nas regiões subtropicais e nas regiões tropicais do território brasileiro, os dados ainda são incipientes e as projeções são limitadas, especialmente em relação à diversidade dos sistemas de produção. A amplitude de variação de taxas de seqüestro de C situa-se entre 0,99 t/ha por ano (Sá et al., 2001a) nas regiões subtropicais e 2,18 t/ha por ano de C em um Oxisol sob plantio direto em zonas tropicais do cerrado brasileiro (Corazza, 1999). A Tabela 3 apresenta alguns dados sobre as taxas de seqüestro em regiões subtropicais e em regiões tropicais.

Com base na área estimada pela FEBRAPDP (2005) para a safra 2003–2004 (21,86 milhões de hectares, sendo 62% situados no Sul e no Sudeste e o restante na região dos Cerrados e outras) e nos dados disponíveis sobre as taxas de seqüestro de C, foram elaborados três cenários para o seqüestro de C em solos sob plantio direto no Brasil:

Tabela 3. Taxas de seqüestro de carbono em diversas regiões do Brasil.

Profundidade (cm)	Taxa (t/ha por ano)	Latitude	Longitude	Referência
0-20	0,51 a 1,84	12° 30' S	45° 30' W	Corazza et al. (1999)
0-20	0,88	25° 20' S	50° 23' W	Sá et al. (2001a)
0-40	0,99	25° 20' S	50° 23' W	Sá et al. (2001a)
0-20	1,6	29° 30' S	53° 30' W	Amado et al. (1999)
0-17,5	1,26	30° 50' S	51° 38' W	Bayer et al. (2000)
0-10	1,45 <sup>1</sup>	11° 40' S	55° 30' W	Séguy et al. (2002) <sup>3</sup>
0-10	2,89 <sup>2</sup>	11° 40' S	55° 30' W	Séguy et al. (2002) <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Sistema soja-milheto em plantio direto.

<sup>2</sup> Sistema soja-arroz + *Eleusine coracana*.

<sup>3</sup> SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; Groupe MAEDA.; AGRONORTE. 2002. Rapports annuels d'activité Groupe MAEDA/CIRAD-CA et AGRONORTE/CIRAD-CA. Document Interne CIRAD-CA/GEC 34398 Montpellier Cedex 5 - França.

**Cenário 1:** Taxa de seqüestro de 0,52 t/ha de C para a região Sul, com média de adição de 10,1 t/ha por ano de massa seca e média de 10 anos sob plantio direto. Taxa de 0,25 t/ha por ano para a região tropical e média inferior a 5 anos sob plantio direto.

**Cenário 2:** Taxa de seqüestro de 0,75 t/ha de C para a região Sul, com aumento na produção de resíduos culturais em 20% a 30%. Taxa de 0,45 t/ha de C para a região dos Cerrados, com aumento na adoção de rotação de culturas em 25%.

**Cenário 3:** Taxa de seqüestro de 1,50 t/ha de C para a região Sul, com adições ao redor de 15 t/ha. Taxa de 0,55 t/ha de C para a região dos Cerrados, com adoção da rotação de culturas em 50% das áreas e adições superiores a 15 t/ha.

### **Benefícios do aumento do estoque de C em atributos do solo**

Em regiões de clima temperado, a adoção e a manutenção do plantio direto têm conduzido à distribuição estratificada da matéria orgânica do solo e dos nutrientes, cuja acumulação ocorre principalmente nas camadas superficiais, entre 0 e 10 cm de profundidade (Shear & Moschler, 1969; Triplett Jr. & Van Doren Jr., 1969). Embora tenham sido desenvolvidos estudos semelhantes em solos com carga variável e de baixa capacidade de troca de cátions (CTC) de regiões tropicais (Lal, 1976; Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1985; Sá, 1999), os resultados ainda são insuficientes para explicar as alterações na fertilidade do solo. Ainda não explicam claramente como os nutrientes reciclados dos resíduos culturais podem ser mantidos na superfície desses solos, tendo em vista os efeitos da erosão e a lixiviação dos nutrientes. Alguns autores propuseram que a estratégia de manejo apropriada para esses solos, visando elevar o seu potencial produtivo, seria por meio do aumento das cargas negativas e conseqüentemente de sua CTC (Sanchez, 1976; Uehara, 1995). Nesses solos, o uso de calcário para

a correção da acidez, de gesso e de adubos fosfatados tem sido um meio para ativar as cargas negativas dependentes do pH e aumentar o conteúdo de matéria orgânica, por meio da maior produção de fitomassa (Fox, 1980). Em solos do Estado de São Paulo, do Paraná e da região dos Cerrados, Raij (1969), Pavan et al. (1985) e Silva et al. (1994) constataram que a matéria orgânica é responsável por 74% a 80% da CTC total, o que evidencia sua importância para os solos com carga variável.

Além disso, de acordo com Juo & Lal (1979) e Dick et al. (1998), a melhoria da fertilidade do solo devida ao plantio direto se restringe à camada superficial. Eles constataram que a aplicação de fertilizantes na superfície, o retorno dos resíduos culturais e o não revolvimento do solo são as principais razões disso. No início da década de 1990, Havlin et al. (1990) mostraram que a manutenção dos resíduos culturais influencia sensivelmente as propriedades do solo nas camadas superficiais. Recentemente, os resultados em condições subtropicais e em solos com carga variável mostraram que o retorno de resíduos culturais com 40% a 50% de C, associado ao não revolvimento do solo, aumentou a matéria orgânica do solo e a carga negativa líquida. Também concluíram que o aumento da matéria orgânica do solo e conseqüentemente da CTC seria o caminho para a retenção dos cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) oriundos da mineralização dos resíduos culturais.

### Considerações finais

Estes resultados mostram que o “sistema plantio direto” associado à rotação de culturas com o retorno de elevada quantidade de resíduos culturais conduz o solo a atuar mais como dreno do que como fonte de  $\text{CO}_2$ . A proteção da matéria orgânica do solo dentro de novos agregados é o primeiro passo para o sistema e constitui o componente-chave do plantio direto. O manejo da matéria orgânica do solo deve ser considerado como a base do planejamento para o sucesso desse sistema, proporcionando maior sustentabilidade ao produtor e a sua produção de alimentos. Cada tonelada de carbono adicionada pelo resíduo cultural pode ser transformado em 265 kg/ha de C da camada de 0 a 10 cm do solo (Sá et al., 2001b). O aumento de 1 g/dm<sup>3</sup> de carbono na camada superficial (10 cm) do solo pode elevar de 3 a 5 mm a capacidade de armazenamento de água, que, sendo 5 g/dm<sup>3</sup> maior em 10 anos de manejo, pode representar de 65 a 90 mm de água disponível a mais, o que, pode resultar em incremento da produção de milho em 5% a 10% ou de soja em 7% a 12%, o que resultaria em retorno econômico anual de US\$ 40 a US\$ 80 por hectare.

## Referências bibliográficas

AMADO, T. J.; PONTELLI, C. B.; JÚNIOR, G. G.; BRUM, A. C. R.; ELTZ, F. L. F.; PEDRUZZI, C. Seqüestro de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: REUNIÓN BIENAL DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5. **Anais...** Florianópolis: 1999. p. 42 - 43.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, p. 151 - 163, 1996.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo do solo. Tese (doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996. 240 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTINETO, L; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research.**, v. 54, p. 101 - 109, 2000.

BONDE, T. A. **Size and dynamics of active soil organic matter fraction as influenced by soil management.** Linköping: Linköping University, 1991. 34 p. (Linköping Studies in Arts and Science, 63).

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 54, p. 382 - 389, 1999.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 123 - 130, 1994.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSAGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en  $^{13}\text{C}$ , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans le sols. **Comptes Rendu Academie Seances Paris**, série II, t. 300, v. 9, p. 423 - 428, 1985.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v. 20, p. 2-90, 1992.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

DICK, W. A.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W.; PETERS, S. E.; CHRISTENSEN, D. R.; PIERCE, F. J.; VITOSH, M. L. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. **Soil & Tillage Research**, v. 47, p. 235 - 344, 1998.

DORAN, J.W. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 44, p. 765-771, 1980.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.) **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, NifTAL Project, 1989. p. 33 - 67.

ELLIOT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 627-633, 1986.

ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 192-194, 1993.

FEBRAPDP – FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 2005. Evolução da área de plantio direto no Brasil - dados estatísticos. Disponível em: [http://www.febrapdp.org.br/area\\_PD\\_Brasil\\_2002.htm](http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm). Acesso em 5 de setembro de 2005.

FOX, R.H. Soil with variable charge: agronomic and fertility aspects. In: THENG, B. K. G. (Ed.). **Soils with variable charge**. Lower Hutt: New Zealand Society of Soil Science, 1980. p. 195 - 224.

HAVLIN, J. L.; KISSEL, D. E.; MADDUS, L. E.; CLAASSEN, M. M.; LONG, J. H. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 448-452, 1990.

HÉNIN, S.; DUPUIS, M. Essai de bilan de la matière organique des sols. **Annales de Agronomie**, v.15, p.161-172, 1945.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker, v. 6, 1981. p. 415-471.

JUO, A. S. R.; LAL, R. Nutrient profile in tropical Alfisol under conventional and no-till systems. **Journal of Soil Science**, v. 127, p. 168-173, 1979.

KERN, J. S.; JOHNSON, M. G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 200 - 210, 1993.

LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. **Soil Science Society of America Journal**, v.40, p.762-768, 1976.

LAL, R.; LOGAN, T. J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R. KIMBLE, J.M., LEVINE, E. AND STEWART, B.A. (ed.). **Soil management greenhouse effect**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. p. 293 - 307.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, p. 95-102, 1983.

PARTON, W. J.; SCHIMEL, D. S.; COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains. **Soil Science Society of America Journal**, v .51, p. 1173 - 1179, 1987.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the State of Paraná, Brazil. **Turrialba**, v. 35, p. 131 - 139, 1985.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, p. 159 - 164, 1987.

RAIJ, B. van. Capacidade de troca de cátions de frações orgânicas e minerais de solos. **Bragantia**, v. 28, p. 85 - 112, 1969.

REICOSKY, D. C.; KEMPER, W. D.; LANGDALE, G. W.; DOUGLAS JR., C. L.; RASMUSSEN, P. E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 50, p. 253 - 261, 1995.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Lavras: UFLA, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p. 267 - 320.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Carbon sequestration in a plowed and no-tillage chronosequence in a brazilian oxisol. In: STOTT, D. E.; MOHTAR, R.; STEINHARDT, G. (Eds.). **The global farm** - Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, May 24-29, 1999. West Lafayette, Indiana, USA: Purdue University, 2001a. p. 466 - 471.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R.; DICK, W. A.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.; FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1486 - 1499, 2001b.

# 11

## Utilização da palhada residual da produção de capim sob enfoque multidisciplinar: avaliação e conclusões dos debates

---

*Francisco H. Dúbberm de Souza*

*Odo Primavesi*

*Alberto C. de Campos Bernardi*

*Armando de Andrade Rodrigues*

*Edison Beno Pott*

### Introdução

Ciente de possíveis dificuldades, porém preocupada em maximizar o aproveitamento dos trabalhos e das discussões desenvolvidas, a Comissão Organizadora do *workshop* sobre "Alternativas de uso para palhada residual da produção de sementes de capim" chamou para si a responsabilidade de tentar extrair a essência das principais conclusões alcançadas. Essa tarefa serviu para confirmar o velho adágio: "Ninguém disse que isso seria fácil. E ninguém estava certo".

O *workshop* caracterizou-se por ativa participação dos presentes, tanto quanto se poderia esperar de um seletivo grupo, vivamente interessado pelo tema. Tanto as apresentações quanto as discussões mostraram-se pertinentes e muito ricas, de forma que de modo algum o leitor que não participou do evento pode se deixar iludir que

a leitura dos anais do *workshop*, especialmente deste capítulo, irá suprir as perdas de conhecimentos decorrentes da sua ausência. Esperamos que isso sirva de estímulo à sua participação numa próxima oportunidade.

Os trabalhos permitiram delinear um panorama dos problemas e das oportunidades associadas ao tema e um resumo desse panorama é apresentado a seguir.

### **A palhada residual da produção de sementes de capim**

Até onde vai nosso conhecimento, o tema “palhada residual da produção de sementes de capim” ainda não havia sido objeto de discussão multidisciplinar e multiinstitucional no Brasil, como foi no presente *workshop*. Foi repetidamente lembrado durante as apresentações e as discussões que palhadas não resultam apenas da produção de sementes de capim nem tampouco a necessidade e as formas de seu descarte ou de seu aproveitamento são problemas exclusivamente brasileiros.

Foi muito interessante conhecer a forma como problema similar tem sido tratado no Estado do Oregon, nos Estados Unidos da América [vide Andrade (2006), neste volume]. Ali, o trabalho conjunto de produtores e de autoridades ambientais, motivados por interesse comum, resultou em legislação adequada e eficiente, que tem possibilitado o atendimento de requisitos ambientais, ao mesmo tempo em que tem permitido a exploração continuada e sustentável de uma atividade agrícola de

grande expressão econômica. A redução das áreas queimadas e a manutenção da produtividade de sementes atestam esse fato. Sem dúvida, trata-se de mais um exemplo vitorioso de diálogo construtivo.

No Brasil, o que diferencia a palhada residual da produção de sementes de capim de outros tipos de palhada são, principalmente, suas características morfológicas, além de forma e de local de acúmulo e de volume disponível, estimado em cerca de 2,8 milhões de toneladas por ano [vide Souza & Silveira (2006), neste volume]. Presentemente, a maior parte desse material tem sido queimada de forma não controlada e o uso da queima tem sido restringido por causa do volume excessivo, da composição física e química da palhada, do local de produção e do acúmulo em forma de leiras, nos campos de produção de sementes. Esses foram fatores importantes, porém não os únicos, que influenciaram as potenciais alternativas de uso e de descarte discutidas no *workshop*, como será visto a seguir.

### **A queima como alternativa de eliminação da palhada residual**

Em que pesem as várias vantagens da queima da palhada [vide Souza & Silveira (2006) e Andrade (2006), neste volume], estritamente do ponto de vista da produção de sementes, ficou evidenciado consenso entre os participantes do *workshop* quanto à necessidade de se

encontrar formas alternativas para o manejo da palhada, em face dos problemas a ela associados (poluição ambiental e riscos de escape de fogo e de queima indesejável de áreas protegidas). Outro grande estímulo ao abandono da prática da queima é a possibilidade de transformar a palhada em fonte de renda adicional ao produtor.

Ao mesmo tempo, ficou clara a preocupação de que a eventual proibição da queima como alternativa deveria ser gradual, para que a cadeia produtiva da produção de sementes não seja comprometida. Essa estratégia foi usada com sucesso nos Estados Unidos da América [vide Andrade (2006), neste volume]. A queima controlada, como alternativa legal de eliminação de resíduos agrícolas foi bastante comentada nas discussões; os procedimentos por ela determinados reduzem as possibilidades de danos ao ambiente [vide Arantes (2006), neste volume].

A prática da queima controlada, no entanto, tem se deparado com graus variados de dificuldades em diferentes regiões do País. Essas dificuldades variam desde a negativa de autorização até a demora excessiva na obtenção de autorização pela autoridade legal competente. Esses fatos têm estimulado a queima ilegal e aumentado a probabilidade de queimadas acidentais e de inúmeros problemas conseqüentes de poluição ambiental.

Foi levantada a necessidade de convidar as instituições públicas ambientais, reguladoras da queima, para uma próxima discussão e de buscar a possibilidade de

utilização, para financiamento de projetos de pesquisa sobre o tema, de parte dos recursos angariados por essas instituições com a taxa paga pelos produtores para obtenção de licença para realização de queima controlada.

Foram também discutidas alternativas para a realização de queimadas controladas; há indícios de que a fragmentação (picagem) mecânica da palhada, seguida da sua esparramação e queima, resulta em fogo mais brando e mais rápido, sem efeitos danosos sobre o rebrote das plantas. Trata-se de hipótese a ser testada pela pesquisa. Sua eventual popularização, no entanto, ficaria na dependência de disponibilidade de equipamento específico (picador), ainda não existente no mercado brasileiro, e da aceitação da prática pelas autoridades ambientais como alternativa de queima controlada.

### **A palhada residual como alimento para ruminantes**

A utilização da palhada residual como alimento para ruminantes depara-se, primeiramente, com as características nutricionais inferiores do material, principalmente no que tange à sua digestibilidade e ao teor de proteína bruta [vide Rodrigues & Souza (2006), neste volume]. Como tal, seu potencial de utilização, no momento, é limitado e sua viabilização demandaria o uso de tratamentos físicos ou químicos, além de suplementação mineral, protéica e ou energética, dependendo do objetivo de sua utilização.

Foi ressaltado, no entanto, no que se refere à qualidade bromatológica, que talvez seja um equívoco considerar idênticas todas as palhadas residuais de produção de sementes de capins tropicais. É provável que existam diferenças de qualidade entre, por exemplo, palhadas resultantes de cortes realizados no início e no final do período de colheita, entre diferentes espécies e cultivares e entre período de permanência no campo. Trata-se de mais hipóteses a serem testadas pela pesquisa.

Outro ponto discutido foi a distância entre os locais de acúmulo e de uso; certamente, quanto menor for a distância, tanto maior será o potencial de utilização da palhada na alimentação de ruminantes. Nesse quadro, nas regiões produtoras localizadas próximas ou dentro de regiões pecuárias, as chances de utilização da palhada na alimentação de ruminantes são maiores, se outros fatores limitantes que caracterizam o material forem devidamente equacionados. Foi também lembrado que as possibilidades de utilização aumentam também quando as condições climáticas são particularmente adversas ao desenvolvimento de pastagens, caso em que o uso é feito em caráter emergencial, fato que já tem ocorrido.

Assim, ficou evidenciado que o uso da palhada na alimentação animal já é tecnicamente viável, mas sua ampla adoção é, essencialmente, uma questão econômica.

## A palhada de capim como cama para aviários

Nas discussões, ficou claro que a possibilidade de uso da palhada residual da produção de sementes de capim como material para cama de aviários torna-se especialmente interessante, à medida que se expande a avicultura na região Centro-Oeste do Brasil, aproximando-se de regiões de produção de sementes de capim. Além disso, acumulam-se informações de que os materiais considerados bons para essa finalidade (maravalha e sabugo de milho moído, por exemplo) estão escasseando em algumas regiões, havendo portanto grande interesse dos avicultores em encontrar materiais alternativos.

Lamentavelmente, conforme demonstrado durante o *workshop* [vide Rosa & Barioni, (2006), neste volume] a palhada de capim, se utilizada de forma exclusiva, não atenderia pelo menos um dos principais requisitos de materiais de cama para aviários; do ponto de vista físico, suas características de perda de água deixam a desejar. Por sua vez, do ponto de vista da composição química, preocupa a possibilidade da presença de resíduos de compostos potencialmente tóxicos, derivados do fungo *Claviceps sulcata*, um tipo de *ergot*, causador da "mela-das-sementes" (doença comum em campos de produção de sementes de *Brachiaria brizantha* e *B. decumbens*), que poderiam causar problemas às aves. Também essa hipótese está à espera de avaliação.

Houve concordância, no entanto, de que a possibilidade de uso da palhada como cama para aviários não deve ser totalmente descartada, uma vez que ainda não foi avaliada sua utilização em conjunto (misturas) com outros materiais, ou mesmo após sofrer determinado processamento, como fracionamento e ou esmagamento.

### **A palhada de capim como substrato para a fabricação de compostos orgânicos**

A viabilidade técnica de produção de compostos orgânicos a serem utilizados como fertilizantes e ou melhoradores de características de solo foi experimentalmente demonstrada e validada em escala piloto [vide Benites (2006), neste volume]. Sua popularização, entretanto, depende de capital para investimentos na construção de usinas de compostagem, em localização próxima a mercados consumidores e, ao mesmo tempo, de fonte de matéria-prima (palhada de capim ou outro resíduo lignocelulósico) como forma de reduzir os custos de transporte.

Uma alternativa sugerida, como fonte de capital, foi a formação de cooperativas de produtores interessados. A possibilidade de fazer compostagem dentro dos campos de produção de sementes foi discutida e considerada inviável por várias razões, mas, principalmente, pela grande área que ela ocuparia dentro do campo.

Os custos envolvidos nesse processo são altos, de forma que seus resultados têm maior potencial de uso na produção de itens de alto valor agregado, tais como flores, alimentos orgânicos ou para uso doméstico (jardinagem).

### **Uso da palhada residual no plantio direto**

O uso da palhada no plantio direto foi considerado pelo grupo de participantes como possível alternativa à queima, mesmo considerando-se que seria restrito à última colheita de sementes no campo. Vale lembrar que, atualmente, a maior parte dos campos de produção de sementes de capim é colhida pelo método da varredura, uma única vez. Em áreas programadas para serem colhidas por mais de um ano, será necessário encontrar outras formas de remoção e de descarte da palhada após as colheitas anteriores à última.

Durante as discussões, ficou evidenciado que a viabilidade dessa opção, entretanto, depende da disponibilidade de equipamento para picar e distribuir a palhada picada. Não se tem notícias da disponibilidade no mercado nacional de equipamento capaz de realizar simultaneamente essas operações com esse tipo de palhada, principalmente, quando enleirada.

Foram consideradas as tentativas já realizadas com plantio direto sobre palhada distribuída porém não picada, em que se deparou com problema de "embuchamento" do mecanismo de corte que antecede o mecanismo de plantio

no equipamento convencional. O problema é causado pelos perfilhos longos, finos e lignificados que constituem a maior proporção da palhada do capim-braquiarião (*B. brizantha* cv. Marandu), por exemplo. O desenvolvimento de adaptações ao mecanismo de corte desses equipamentos representaria, portanto, uma alternativa à picagem da palhada. Foi lembrado, no entanto, que, mesmo que tal adaptação seja desenvolvida, ainda assim, permanecerá a necessidade de esparramação das leiras de palhada pelo campo, operação provavelmente facilitada pela fragmentação dos talos, talvez por ocasião do corte.

### **A palhada residual como fonte de energia**

A possibilidade de produção de energia a partir da palhada residual da produção de sementes de capim gerou discussão rica e interessante, possivelmente por se tratar de tema atual. A discussão teve como base os argumentos levantados por Rocha et al. (2006), Hayes et al. (2006) e Ripoli & Ripoli (2006), cujas apresentações foram transformadas em capítulos incluídos no presente volume.

Duas formas principais de utilização da palhada foram discutidas: 1) queima direta (em caldeiras, por exemplo) e 2) transformação em produtos ("biodiesel" e carvão, por exemplo); grande parte dessas formas de utilização resultaria na produção de energia. Essas alternativas têm sido tentadas no Brasil, ainda que de forma esporádica ou experimental.

O principal obstáculo identificado foi a necessidade de investimentos iniciais relativamente elevados com instalações e equipamentos. O grupo concluiu que essa questão seria facilitada pela criação de cooperativas regionais de produtores de sementes de capim ou se pessoas físicas ou jurídicas se propusessem a investir na produção de energia, utilizando a palhada. Isso implicaria a estocagem de palhada enfardada e ou a utilização de outras fontes complementares de resíduos lignocelulósicos (outros tipos de palhadas) existentes na região de instalação da usina, como forma de promover suprimento regular e constante de material combustível durante o ano.

Outra alternativa levantada foi o fornecimento da palhada a usinas de cana-de-açúcar, para queima direta em caldeiras, junto ao bagaço de cana; foi lembrado, porém, que há excesso de bagaço em muitas usinas, o que tornaria improvável o interesse por essa forma de uso. Em outras indústrias, no entanto, o interesse pelo uso da palhada como combustível para o mesmo tipo de queima precisa ser explorado. A presença de grande quantidade de terra, algumas vezes encontrada como contaminante da palhada, é outro fator cuja importância para essas, dentre outras, formas de utilização deve ser avaliada.

Da pirólise rápida (um processo especial de queima) da palhada pode resultar biocarvão e, também, os finos de carvão (produto de alto valor agregado), que, na forma compactada, podem substituir o carvão artesanal, ser transformados em

“biodiesel”, ou ser utilizados diretamente em determinadas indústrias, como a siderúrgica e a metalúrgica. Para isso já existe tecnologia nacional, até mesmo em vias de ser utilizada em assentamentos de pequenos proprietários de terra; uma usina-piloto foi montada em Piracicaba, SP, onde está sendo testada. Usando esse processo, usinas pequenas, com capacidade diária de processamento de dez toneladas de palhada, podem ser construídas por cerca de R\$ 150 mil [vide Rocha et al. (2006), neste volume]. Também nesse caso, tal volume de investimento pode constituir-se em barreira à popularização dessa forma de aproveitamento da palhada.

Foi mencionado que o preço atualmente pago por quilowatt-hora produzido a partir de biomassa não tem estimulado investimentos nessa área; esse quadro, entretanto, poderá alterar-se em função de eventual aumento da demanda energética no País e da adoção de política energética especificamente voltada à produção de energia por meio de fontes alternativas, não fósseis.

### **A palhada como matéria-prima para obtenção de produtos químicos de alto valor agregado**

Nas apresentações feitas por especialistas irlandeses [vide Hayes et al. (2006), neste volume] foi levantada a possibilidade de obtenção de ampla gama de produtos químicos de alto valor agregado (por exemplo, ácido levulínico, etil-levulinato, furfural, metiltetraidrofurano),

além de "biodiesel", a partir da palhada residual da produção de sementes de capim ou de qualquer outro resíduo lignocelulósico. Adicionalmente, os resíduos do processo encontram aplicações variadas na agricultura, na indústria e também na produção de energia.

Apesar de o grupo de participantes haver concordado quanto à possibilidade dessa alternativa vir a se tornar uma das mais importantes formas de aproveitamento de resíduos agrícolas no Brasil e no mundo, as discussões centraram-se no alto investimento (da ordem de milhões de dólares) necessário à sua implantação. Presentemente, sua viabilização implicaria alto nível de articulação entre vários setores da cadeia do agronegócio brasileiro, dentre eles o governamental, e para isso o segmento de produção de sementes de forrageiras tropicais não se encontra ainda suficientemente estruturado.

### **A questão do transporte da palhada**

Durante as discussões, o problema representado pelo transporte da palha foi recorrente. Suas características físicas resultam em baixa densidade na maior parte das formas de acondicionamento consideradas (enfardamento, compactação). Essa característica está associada aos custos do transporte [vide Ripoli & Ripoli (2006), neste volume]. Assim, diante da inevitabilidade do fato de que será necessário transportar a palhada, para qualquer forma de sua utilização, exceto em plantio direto feito após a

última colheita e na queima controlada, a questão da baixa densidade ficou caracterizada como central e determinante do potencial de várias alternativas de uso consideradas.

Existem no mercado várias opções de enfardadeiras, capazes de produzir fardos com diferentes pesos e formas, dentre as quais a forma prismática parece oferecer maior vantagem do que a cilíndrica no que tange ao transporte. Ainda assim, a experiência acumulada mostra que, mesmo após enfardamento, a densidade do material permanece relativamente baixa. A experiência de alguns produtores mostrou que uma carreta graneleira de três eixos, com capacidade para até trinta toneladas de soja, quando carregada com fardos redondos de palhada residual de capim, cada um com cerca de 200 kg, carrega no máximo oito toneladas.

De qualquer modo, ficou caracterizada a necessidade de comparar a eficiência dos diferentes sistemas de enfardamento disponíveis e dos seus custos. Adaptações quanto ao tipo (rolo, prisma) e ao tamanho de fardo e à forma de uso deverão também ser consideradas. Curiosamente, o material utilizado para o amarrão dos fardos foi apontado pelos participantes como um dos principais componentes do custo do enfardamento; assim a busca de materiais substitutos, mais baratos, para tal finalidade parece apropriada.

A experiência angariada com palhão de cana-de-açúcar [vide Ripoli & Ripoli (2006), neste volume] representa

rica fonte de informações que pode ser adaptada para o manejo da palhada residual da produção de sementes de capim e sugere um roteiro a ser seguido na busca à viabilização de várias alternativas de uso desse resíduo.

Outras formas de compactação foram também discutidas; a prensagem, tanto da palhada quanto do carvão oriundo da sua pirólise rápida, por prensas hidráulicas disponíveis no mercado nacional, pode resultar em briquetes (tijolinhos) de formas e de tamanhos variados, que podem ser usados na produção de energia (no caso do carvão ou da palhada) ou até mesmo de chapas (no caso da palhada), utilizáveis na indústria moveleira, por exemplo. Trata-se de mais uma alternativa a ser avaliada.

### **Outras possibilidades de uso da palhada residual**

Algumas outras formas de utilização da palhada residual da produção de sementes de capim foram brevemente mencionadas, mas não discutidas; são exemplos: fabricação de papel, de biomantas (para estabilização de taludes, encostas, etc.), e embalagem para transporte de frutas (melancia, abacaxi, etc.).

### **Alternativas para redução da quantidade de palhada residual**

A busca de formas para reduzir a quantidade de palhada residual foi outra abordagem interessante ao problema. O uso de reguladores de crescimento durante a fase vegetativa das plantas, com o propósito de reduzir seu

desenvolvimento, sem prejuízo da produção, tem sido bem sucedido nas culturas de algodoeiro, de cevada e de trigo em vários países, inclusive no Brasil (no caso do algodoeiro).

O uso dessa possibilidade com a cultura de capins tropicais, visando à redução da produção de folhas e talos, sem prejuízo à produção e à qualidade das sementes, esbarra, no momento, na absoluta falta de informações. Sua utilização eficaz, no entanto, depende do desenvolvimento de conjunto específico de recomendações de práticas de manejo agrônômico (adubação, espaçamento, época de plantio) visando à produção de sementes. Trata-se, portanto, de linha de pesquisa promissora e de grande potencial de impacto sobre o atual sistema de produção de sementes.

## **Conclusões**

Com base no que foi apresentado e discutido no *workshop*, a Comissão Organizadora chegou às seguintes conclusões:

- 1) Não há solução universal para o problema; a maior probabilidade é de que as soluções sejam variadas e localizadas. Em alguns casos, um conjunto de alternativas será a melhor solução.
- 2) A viabilidade de várias alternativas depende ainda de muita pesquisa; temas foram identificados (Tabela 1), porém, possíveis candidatos que pudessem ser responsáveis por eles não o foram.

- 3) O desenvolvimento ou a adaptação de equipamentos agrícolas já utilizados no Brasil é também um dos principais condicionantes da viabilização de várias alternativas de uso para a palhada.
- 4) A maior parte das dificuldades encontradas nas discussões deriva do fato de que se buscou mercado para determinados produtos e não produtos para determinados mercados; entretanto, em face da natureza do problema, dificilmente as discussões poderiam ser conduzidas de outra forma.
- 5) As alternativas devem ser avaliadas dentro de visão estratégica de futuro; produção de energia e de produtos químicos de alto valor agregado a partir de biomassa parece ser tendência irreversível.
- 6) No momento, um fator atenuante ao problema é o aumento da comunicação entre os participantes da cadeia produtiva de sementes de forrageiras tropicais, fundamentada a) na compreensão da importância estratégica (além de econômica) do setor para o Brasil e b) das responsabilidades de cada um dos participantes dessa cadeia.
- 7) Há indícios claros de que a palhada residual da produção de sementes de capim, em vez de problema, pode ser uma importante alternativa de renda ao produtor. A viabilização desse grande potencial permanece como grande desafio, o qual só será vencido à custa de muita boa vontade, muita comunicação e muito trabalho.
- 8) E, de fato, *"Ninguém disse que isso seria fácil. E ninguém estava certo"*.

Tabela 1. Temas potenciais de pesquisa identificados durante as discussões que aconteceram no *Workshop* sobre "Alternativas de uso para palhada residual da produção de sementes de capim", ocorrido em São Carlos, SP, em 10 e 11 de novembro de 2005.\*

Área do conhecimento	Tema
Mecanização agrícola	<p>Desenvolvimento ou adaptação de equipamentos e ou materiais para:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Plantio direto sobre palhada não picada de capins</li> <li>2) Fragmentação da palhada enleirada no campo</li> <li>3) Amarrio de fardos de palhada, de baixo custo</li> <li>4) Enfardadeiras com alta capacidade de compressão de palhada seca</li> <li>5) Diferentes formas de descarte da palhada no campo</li> </ol> <p>Comparação da eficiência e da eficácia de equipamentos para:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Enfardamento</li> <li>2) Prensagem de palhada e biocarvão para produção de briquetes ou outro produto</li> </ol> <p>Estimativa de custos em função de forma de utilização e de transporte da palhada residual da produção de sementes de capim</p>
Fitotecnia	<p>Efeitos de reguladores de crescimento sobre o desenvolvimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo de gramíneas forrageiras tropicais</p> <p>Efeitos da queima da palhada picada nos campos de produção de sementes sobre a produtividade e a qualidade das sementes produzidas</p> <p>Efeitos da queima sobre a produção de sementes de diferentes espécies e cultivares de gramíneas forrageiras tropicais</p>

Tabela 1. Continuação.

Forragicultura	Avaliação de gramíneas forrageiras tropicais como produtoras de biomassa para produção de energia
	Caracterização da composição morfológica e bromatológica de palhadas de diferentes tipos de gramíneas forrageiras tropicais e em diferentes épocas no período de colheita
Produção animal	<p>Estudos de viabilidade econômica sobre a utilização na alimentação de ruminantes</p> <p>Efeitos da presença de resíduos da "mela-das-sementes" na palhada usada como cama de aviários sobre o desenvolvimento das aves</p> <p>Efeitos de misturas da palhada residual da produção de sementes de capim com outros materiais, na cama de aviários</p>
Logística da produção	Estimativa da disponibilidade regional e estacional de resíduos lignocelulósicos de agricultura nas principais regiões agrícolas do Brasil
Produção de energia	<p>Caracterização físico-química de palhadas residuais da produção de sementes de capins tropicais</p> <p>Manejo de palhadas residuais da produção de sementes de capins tropicais, visando à redução da contaminação com terra</p> <p>Efeitos de métodos de coleta da palhada residual sobre a produtividade de sementes de capins tropicais</p>

\* Promotores: Embrapa Pecuária Sudeste, Embrapa Transferência de Tecnologia, Unipasto, Abrasem.