

Balanco de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 71

Balanco de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais

Juliano Brás Zanetti
Rafael Fiusa de Moraes
Bruno José Rodrigues Alves
Robert Michael Boddey
Segundo Urquiaga
Luis Henrique de Barros Soares

Embrapa Agrobiologia
Seropédica, RJ
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrobiologia

BR 465, km 7, CEP 23.851-970, Seropédica, RJ

Caixa Postal 74505

Fone: (21) 3441-1500

Fax: (21) 2682-1230

Home page: www.cnpab.embrapa.br

E-mail: sac@cnpab.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Norma Gouvêa Rumjanek

Secretária-Executivo: Carmelita do Espírito Santo

Membros: Bruno José Alves, Ednaldo da Silva Araújo, Guilherme

Montandon Chaer, José Ivo Baldani, Luis Henrique de Barros Soares

Revisão de texto: Ednaldo da Silva Araújo, Claudia Pozzi

Jantalia, Alexander Silva de Resende, Luiz Fernando Moraes

Normalização bibliográfica: Carmelita do Espírito Santo

Tratamento de ilustrações: Maria Christine Saraiva Barbosa

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

Foto da capa: Rafael Fiusa de Moraes

1ª edição

1ª impressão (2010): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agrobiologia

BALANÇO de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais. / Juliano Brás Zanetti et al. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2010. 18 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 71).

ISSN 1676-6709

1. Bioenergia. 2. Aproveitamento industrial. 3. Produção de cerâmica. I. Zanetti, Juliano Brás. II. Moraes, Rafael Fiusa de. III. Alves, Bruno José Rodrigues. IV. Boddey, Robert Michael. V. Urquiaga, Segundo. VI. Soares, Luis Henrique Barros. VII. Título. VIII. Embrapa Agrobiologia. IX. Série.

333.794 CDD 23. ed.

© Embrapa 2010

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Produção de capim-elefante	9
Balanço de energia do sistema	12
Agradecimentos	16
Referências Bibliográficas	17

Balanço de energia na produção de capim-elefante em condições experimentais

Juliano Brás Zanetti¹

Rafael Fiusa de Moraes²

Bruno José Rodrigues Alves³

Robert Michael Boddey³

Segundo Urquiaga³

Luis Henrique de Barros Soares^{3}*

Resumo

Neste trabalho avaliou-se o balanço energético de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) ao longo de dois ciclos completos de produção desta cultura, destinada para utilização energética, nas condições típicas da região Sudeste, e em um solo naturalmente pobre em nitrogênio disponível. Os genótipos BAG 02 e Cameroon apresentaram produtividade de 50,6 e 52,8 Mg ha⁻¹, respectivamente, após 330 dias e dois cortes. A introdução do capim-elefante em um sistema de produção de biomassa destinado à substituição da lenha e gás natural em indústrias de cerâmica estrutural mostrou-se eficiente, com um balanço de energia total da ordem de 1:39,2. Cada unidade de energia fóssil investida na sua produção resultou em quase quarenta unidades de energia renovável na forma de biomassa seca, pronta para uso industrial. Com a substituição de gás natural por capim-elefante, em uma indústria cerâmica de porte médio, deixa-se de emitir 195 kg de CO₂ para cada tonelada de cerâmica produzida, ou 16,38 toneladas de CO₂ a menos, por dia, na atmosfera.

¹ Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

² Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

³ Pesquisador, Embrapa Agrobiologia. Rodovia BR-465, km 7, CEP 23890-000, Seropédica - RJ. *E-mail: luis.henrique@cnpab.embrapa.br

Energy balance in the production of elephant grass under experimental conditions

Abstract

*The aim of this work was to evaluate the energy balance of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) intended for energy use, along two complete cycles of production. This crop was run under typical edafoclimatic conditions of the Brazilian Southeast zone, in a soil with low levels of available nitrogen. Genotypes BAG 02 and Cameroon yielded 50.6 and 52.8 Mg ha⁻¹, respectively, after 330 days and two cuts. The use of elephant grass for the replacement of firewood and natural gas in structural ceramic industries was efficient, with a total energy balance of about 1:39.2. Each unit of fossil energy invested in the whole cycle of production resulted in nearly forty units of renewable energy in the form of biomass, ready for industrial use. The substitution of natural gas by elephant grass in a medium size ceramic industry avoided the emission of 195 kg of CO₂ for every tonne of ceramics, which means a daily mitigation of 16.38 tons of CO₂ into the atmosphere.*

Keywords: sustainability; biomass; renewable energy.

Introdução

Originário da África, o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) está presente em grande parte do mundo tropical e subtropical como uma gramínea (Poaceae) que se destaca pela capacidade de produção de biomassa. Por ser uma planta de metabolismo C₄, possui alta eficiência fotossintética na incorporação de CO₂ atmosférico e no uso dos recursos hídricos. Esta cultura se adaptou facilmente às mais diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro, e responde bem aos programas de melhoramento que buscam alta produção de forragem com qualidade e digestibilidade para a nutrição animal (CARVALHO et al., 1997; MISTURA et al., 2006).

A habilidade de produzir acima de 40 toneladas de biomassa seca por hectare em ciclos curtos, o que corresponde ao dobro da biomassa produzida pela cultura do Eucalipto, faz com que o capim-elefante passe a ser visto como opção, e até mesmo solução, para os programas de agroenergia baseados no uso da biomassa vegetal. Os setores da indústria ceramista e siderúrgica precisam de fontes energéticas alternativas e renováveis, que possam substituir a lenha, o carvão mineral e o gás natural de origem fóssil usados intensivamente como fonte de energia em seus processos. Além disso, o uso de fontes não-renováveis de energia contribui decisivamente para o processo de aquecimento global através da emissão de gases de efeito estufa. Por ser uma cultura rústica, o capim-elefante é capaz de crescer em áreas marginais às grandes culturas, e em solos de baixa fertilidade, embora responda bem à adubação química. Porém, uma grande vantagem é seu potencial em associar-se a microrganismos promotores de crescimento vegetal e obter uma parte de suas necessidades nutricionais através da fixação biológica de nitrogênio (MORAIS et al., 2009).

O perfil de demanda energética da indústria brasileira baseia-se na presença marcante de setores que exigem grandes volumes de energia com determinada qualidade. Entre esses setores está o cerâmico ou ceramista, consumidor de energia térmica que é hoje suprida basicamente pela combustão direta de fontes de energia primárias e secundárias como, por exemplo, lenha, óleo combustível e gás natural. Segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2010), cerca de 45% da oferta interna de

energia se concentra no uso de energias renováveis, destas quase 32% no uso da biomassa vegetal. Diante do potencial de utilização da biomassa do capim-elefante na substituição de fontes de energia não renováveis no setor cerâmico, resta buscar informações mais precisas para que esta teoria seja comprovada.

Segundo informações de representantes do setor, uma indústria de cerâmica estrutural (tijolos e telhas vermelhas) de médio porte é capaz de produzir cerca de 1.050.000 peças por mês. Considerando que cada peça pesa dois quilos, teremos um total de 2.100 toneladas de cerâmica acabada por mês. Por ano isso representa um total de 25.200 toneladas de massa cerâmica cozida. Considerando que o consumo unitário de biomassa queimada diretamente no forno é estimado em 400 kg de material vegetal (contendo 15% de umidade) para cada 1.790 kg de massa cerâmica, pode-se concluir que o total de biomassa necessária para atender a esta demanda é de 5.631 toneladas, no caso de capim-elefante, algo como 18 toneladas ao dia. Obtendo-se uma produtividade no campo de 40 toneladas por hectare ao ano, seria necessário um total de aproximadamente 140 hectares plantados com capim-elefante e manejados anualmente para satisfazer a demanda de uma indústria cerâmica de médio porte. É importante ressaltar o impacto que esta substituição tem sobre a economia de recursos naturais, principalmente as matas nativas.

A intensificação no uso de culturas com potencial energético resulta necessariamente em incrementos no nível tecnológico aplicado. A perspectiva de aumento na adoção do capim-elefante com este potencial energético requer uma avaliação do impacto que o seu uso pode causar ao longo de todo seu sistema de produção e utilização como fonte energética. Desse modo, quando se propõe que uma cultura ou produto agroindustrial tenha finalidade energética é necessário que se conheça com precisão todos os componentes energéticos inerente a esse sistema (CAMPOS e CAMPOS, 2004). O único trabalho anterior considerando esta cultura do ponto de vista energético foi o de Samson et al. (2005). Ao sugerir que é necessário impor-se uma nova ordem global baseada na intensificação das culturas energéticas baseadas na biomassa vegetal, os

autores obtiveram valores de 21:1, ou seja, 21 unidades de energia renovável produzida em função da energia consumida no processo. Se o nitrogênio fosse suprimido do sistema de produção o balanço poderia subir para 24:1. Aqui neste trabalho avaliou-se o balanço energético de duas variedades (genótipos) de capim-elefante previamente selecionadas quanto à produção de biomassa com qualidade energética, principalmente teor de fibra total, nas condições de solos pobres da Região Sudeste (Seropédica, RJ). A metodologia utilizada do balanço energético considera todos os coeficientes técnicos de aporte de energia, gastos com insumos, combustíveis e infra-estrutura.

Produção de capim-elefante

O estudo foi desenvolvido de 2009 a 2010 no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, localizado em Seropédica (RJ), em um Planossolo Háplico com baixos níveis de nutrientes, principalmente de N disponível. O solo foi previamente corrigido com o equivalente a 500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 100%. A adubação foi feita de acordo com a recomendação da análise de solo, e consistiu em 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, 180 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, e 100 kg ha⁻¹ de mistura de micronutrientes (FTE-BR12), aplicados no fundo do sulco. Os genótipos de capim-elefante utilizados foram Cameroon e BAG 02, selecionado em estudos anteriores (MORAIS et al., 2009).

O experimento consistiu do plantio de toletes sadios destes dois genótipos, retirados do banco de germoplasma da Embrapa Agrobiologia, sendo que estes materiais receberam quatro tratamentos: a) inoculação com inoculante comercial atualmente utilizado em cultivo de cana-de-açúcar (com bactérias diazotróficas isoladas nesta cultura); b) inoculante + 100 kg N ha⁻¹ na forma de ureia em duas aplicações de cobertura, sendo a primeira com 50% da dose aos 45 DAP (dias após o plantio) e os restantes 50% 60 DAP; c) outro tratamento somente com os 100 kg N ha⁻¹, também feito em duas aplicações; e o último tratamento, d) a testemunha, sem aplicação de nitrogênio e sem inoculante.

Cada unidade experimental foi constituída de 04 linhas de 05m (cinco metros) de comprimento, com espaçamento de um metro, totalizando em cada parcela de uma área de 20 m². O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso em um esquema fatorial 2 x 4 (dois genótipos; com aplicação de 100 kg de N; com aplicação do inoculante de bactérias diazotróficas; com aplicação de 100 kg N + inoculante de bactérias diazotróficas, e controle) com 04 repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

Na Tab. 1 estão apresentados os dados de produção de biomassa para o primeiro e segundo ciclos estudados. As análises estatísticas foram realizadas através do pacote estatístico Sisvar 4.3.

O genótipo Cameroon produziu 4,5% mais biomassa em média do que o BAG 02, para todos os parâmetros avaliados. O efeito da adubação se manifestou significativamente apenas no genótipo Cameroon, com uma produção de biomassa em torno de 6,4% maior do que a testemunha. Percebe-se que a resposta à adubação é claramente relacionada ao genótipo. Já para o BAG 02, tanto a inoculação quanto a aplicação de N no capim-elefante inoculado reduziram a produtividade total na faixa de 8% em relação à testemunha. Este comportamento pode ser considerado como ausência de resposta aos tratamentos com inoculação e com adubação nitrogenada. De fato, a fertilização nitrogenada não produziu efeitos na forma de incrementos na produção de biomassa para nenhum dos dois genótipos. O mesmo resultado foi percebido com a inoculação dos genótipos. Cabe notar que o inoculante utilizado não foi desenvolvido para esta cultura, mas sim para cana-de-açúcar. É possível que esta inoculação não específica tenha promovido uma competição com os microrganismos diazotróficos nativos do solo que poderiam colonizar de forma mais eficiente o capim-elefante, resultando em prejuízo destes últimos e reflexos negativos sobre a cultura. Como o efeito do N adicionado não resultou em resposta direta, é plausível considerar que o N inicial presente no solo tenha sido suficiente para satisfazer as necessidades da cultura para atingir os rendimentos observados mas, no entanto, sabe-se que as perdas podem superar a 50% do N aplicado, e desta forma fica difícil atribuir esta falta de resposta a inoculação, uma vez que as perdas não foram quantificadas.

Tabela 1. Rendimento de biomassa seca (Mg ha⁻¹) dos dois genótipos de capim-elefante estudados, 330 dias de cultivo (maio - setembro/2009; outubro/2009 - março/2010).

Genótipo	Tratamento				Média	C.V. (%)
	Testemunha	Inoculado	100 kg N·ha ⁻¹	Inoc. + 100 kg N		
BAG 02						
1º Ciclo						
Colmo	9,01 Aa	8,25 Aa	8,80 Aa	8,28 Aa	8,58 A	
Folha	7,76 Aa	8,44 Aa	6,80 Ab	6,83 Ab	7,46 A	
Total	16,77 Aa	16,69 Aa	15,60 Aa	15,11 Aa	16,04 A	
2º Ciclo						
Colmo	22,62 Ab	21,41 Ab	23,87 Aa	23,87 Aa	22,95 A	
Folha	13,34 Ba	10,30 Bb	12,83 Ba	9,78 Bb	11,56 B	
Total	35,96 Aa	31,71 Bb	36,70 Aa	33,65 Bb	34,51B	
TOTAL	52,73 Aa	48,40 Ab	52,30 Ba	48,76 Bb	50,55 B	
Cameroon						
1º Ciclo						
Colmo	9,03 Aa	8,66 Aa	9,59 Aa	8,48 Aa	8,94 A	10,84
Folha	7,83 Aa	5,90 Ba	6,98 Aa	6,88 Aa	6,90 A	12,22
Total	16,86 Aa	14,56 Ba	16,57 Aa	15,36 Aa	15,84 A	8,14
2º Ciclo						
Colmo	18,84 Bb	20,30 Ab	23,39 Aa	19,74 Bb	20,57 B	5,93
Folha	16,91 Aa	15,11 Ab	16,00 Ab	17,69 Aa	16,43 A	5,99
Total	35, 75 Aa	35,41 Aa	39,39 Aa	37,43 Aa	36,99A	5,86
TOTAL	52,61 Ab	49,97 Ab	55,96 Aa	52,79 Ab	52,82 A	4,44

Médias seguidas de letras distintas maiúsculas (genótipo), e minúsculas (tratamentos) na coluna diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

A energia contida no material colhido, folhas e colmos dos dois genótipos estudados, foi determinada através de estudos calorimétricos. A Tab. 2 reflete os valores de poder calorífico do capim-elefante em Joules (unidade do SI) e em calorias, com base na biomassa seca. Estes valores são importantes para se determinar a quantidade total de energia retirada do sistema na forma de biomassa.

Tabela 2. Poder calorífico dos genótipos Cameroon e Bag 02.

Genótipo	Compartimento da planta	PCS (kJ·kg ⁻¹)	Kcal·kg ⁻¹
Cameroon	Folha	16.636	3.979,90
	Colmo	17.708	4.236,36
	Média	17.172	4.108,13
Bag 02	Folha	16.418	3.927,75
	Colmo	17.303	4.139,47
	Média	16.860,5	4.033,61

Balanço de energia do sistema

O balanço energético do sistema de produção de capim-elefante utilizado é representativo de uma capineira bem constituída e com finalidade energética. As operações e a configuração das operações de manejo são bem distintas do que é proposto para um sistema de forrageamento animal. Na Tab. 3 estão detalhados os componentes em que há gasto de energia fóssil e de trabalho no sistema, a forma de energia consumida e as operações agrícolas envolvidas.

Para a secagem do material, planejou-se o uso de uma construção tipo galpão rústico com aproximadamente 500 m², com piso de concreto impermeabilizado e paredes de tijolos com um metro de altura, aberto nas laterais. Este tipo de estrutura já vem sendo utilizada com sucesso e difundida por produtores ceramistas do Norte do estado Fluminense. O capim-elefante recém colhido e picado é espalhado de modo a cobrir todo o piso, até uma altura de 20-30 cm. Nesta construção, um motor elétrico de 2 hp movimenta-se em marcha reduzida ao longo de uma cremalheira instalada na lateral maior do prédio, e aciona uma rosca sem fim dotada de pás que revolve o material para que o processo de secagem se realize no menor tempo possível. Forçadores de ar quente podem ser instalados a partir da exaustão do próprio forno da olaria. Cada indústria cerâmica deste porte deveria conter três unidades secadoras, de modo a obter fornecimento regular de biomassa durante todo ano.

Tabela 3. Consumo de energia elétrica, na forma de óleo combustível e hora-homem, em operações agrícolas para plantio e manutenção de uma área de capim elefante ao longo do primeiro ciclo de cultivo em Planossolo.

Ciclo Capim-elefante/planta					
Operação Agrícola	Equipamento	Litros/h	Hora/ha	Litros/ha	MJ/ha
Aração	Trator MF-275 ^a	7,5	2,50	18,75	894,93
Aplicação de Calcário		4,0	0,70	2,80	133,64
Gradagem		4,5	1,50	6,75	322,18
Sulcamento		7,5	1,10	8,25	393,77
Distribuição dos Toletes		4,0	0,65	2,60	124,10
Aplicação de herbicidas		5,0	1,50	7,50	357,98
Capina entre linhas		5,5	1,45	7,98	380,88
Aplicação de Fertilizantes		4,0	0,25	1,00	47,73
Trituração		-	-	-	23,35
Secagem	Motor 1,0 hp ^c	-	-	-	5,84
Enfardamento		5,0	1,20	6,00	286,38
Operação Manual	Unidade	Quant.	MJ/Un.	MJ/ha	
Distribuição dos Toletes	hora-homem	4,60	7,84	-	36,06
Aplicação de Fertilizantes	h-h	5,55	7,84	-	43,51
Aplicação do inoculante	h-h	4,00	7,84	-	31,36
Fechamento dos sulcos	h-h	14,00	7,84	-	109,76
Colheita	h-h	34,00	7,84	-	266,56
TOTAL até 1º corte					3.458,03
Ciclos após 1º corte					
Op. Agrícola após corte	Equipamento	Litros/h	hora/ha	Litros/ha	MJ/ha
Remoção de Resíduo	Trator MF-275 ^a	4,0	0,50	2,0	95,46
Capina entre linhas		5,5	1,45	7,97	380,41
Aplicação de fertilizante		4,0	0,25	1,0	47,73
Aplicação de herbicidas		5,0	1,50	7,5	357,98
Trituração		-	-	-	46,70
Secagem	Motor 1,0 hp ^c	-	-	-	11,68
Enfardamento		5,0	1,20	6,00	286,38
Op. Manual após corte	Unidade	Quant.	MJ/Un.	MJ/ha	
Aplicação de Fertilizantes	h-h	5,55	7,84	-	43,51
Manejo da re-inoculação	h-h	16,00	7,84	-	125,44
Colheita	h-h	34,00	7,84	-	266,56
TOTAL até 2º corte					1.661,85
TOTAL anual					5.119,88

^a O mesmo trator realizou todas as operações. O valor calorífico de 1,0L de óleo Diesel é 47,73 MJ.

^b O triturador necessita de aproximadamente 4 horas para processar a quantidade de capim-elefante para um dia de operação.

^c O motor que aciona o revolvedor para secagem opera durante aproximadamente uma hora por dia. O processo leva aproximadamente 48h para reduzir a umidade do material até 15%.

Considerando uma vida útil de 30 anos, e que os tijolos utilizados são oriundos da própria indústria, a energia embutida na construção foi ponderada no balanço energético com base em um hectare de produção de capim-elefante. Para o transporte da biomassa para a indústria e dos insumos, considerou-se uma distância média de 10km.

A metodologia de cálculo de balanços energéticos foi desenvolvida em Soares et. al. (2007) e está descrita em Boddey et al. (2008). Os

Tabela 4. Balanço de energia total para produção de capim-elefante, sob condições experimentais.

Operações Agrícolas	Capim-elefante/dois ciclos			
	Unidade	Quant.	MJ/Unidade	MJ/ha/ano
Trabalho	Hora-homem	117,7	7,84	922,77
Máquinas	kg	2,73	13,00	35,49
Óleo Diesel	L	86,1	47,73	4.109,55
Energia elétrica ^a	hp-h	32,68	2,68	87,57
Nitrogênio	kg	100	54,00	5.400,00
Fósforo (P ₂ O ₅)	kg	150	3,19	478,5
Potássio (K ₂ O)	kg	180	5,89	1.060,2
Micronutrientes (FTE-BR 12)	kg	100	27,00	2.700,00
Calcário Dolomítico	kg	500	1,31	655,00
Inoculante	cx	4,0	-	-
Toletes ^b	kg	6.100	-	2.347,89
Herbicidas	L	1,5	451,66	677,49
Transporte de Insumos	kg	790	3,85	3.037,55
Transporte do capim	Mg	51,67	7,69	397,34
Trituração	hp-h/dia	8,72	2,68	23,37
Secagem (estrutura)	kg	5,02	36,60	183,73
Enfardamento	kg	51,67		310,02
Total				22.426,47
Energia no capim-elefante ^c				879.399,80
Balanço energético				1:39,2

^a Para motores elétricos, 1hp-h equivale a 2,68 x 106J.

^b Estimado como a proporção entre a quantidade necessária para plantar 1ha e o custo energético de produção total.

^c Produtividade média para os dois genótipos estudados de 51,68 Mg em matéria seca, valor calorífico conforme Tab. 2.

coeficientes energéticos foram retirados destas duas referências. Na Tab. 4 temos a energia consumida em todas as operações, desde a preparação do terreno até o primeiro e segundo cortes. Nesta Tabela também estão indicados os valores de energia embutida nos insumos agrícolas, instalações dedicadas a esta cultura e no maquinário usado, ponderando-se o tempo dedicado aos tratos culturais efetivamente realizados no capim-elefante.

Neste trabalho, o capim-elefante sofreu dois cortes por ano, ao longo de um ciclo completo. Porém, quando se deseja obter um fornecimento mais constante de biomassa, o capim-elefante pode ser cortado a cada 2 meses, ou sempre que atingir pelo menos 50 cm de altura. Em épocas de maior produção, o material excedente pode ser enfardado no campo e armazenado ao abrigo da umidade. Inicialmente, antes da implementação da cultura, é necessário corrigir o solo adequadamente e elevar os índices de fertilidade, pois o capim-elefante é capaz de extrair uma grande quantidade de nutrientes na sua biomassa. Estes valores devem ser verificados e reajustados frequentemente caso um sistema mais intensivo seja implementado em área com solo de baixa fertilidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmicas (ABC, 2004), praticamente a metade (49,1%) da energia utilizada pela indústria ceramista é resultante da queima de lenha. Porém isto é uma média, tendo em vista que as indústrias de cerâmica de revestimento são mais modernas e tecnificadas, e que as indústrias de cerâmica estrutural usam ciclos tradicionais em fornos geralmente ineficientes (DUTRA et al., 2009). Embora o uso de florestas plantadas seja crescente, ainda existe pressão sobre as matas nativas. Além disso, 25% das indústrias utilizam o gás natural como fonte de energia. O gasto com energia representa aproximadamente 30% do total de custos do setor cerâmico (FERREIRA et al., 2008).

O gás natural (GN), combustível fóssil composto essencialmente por gás metano (CH_4), possui um poder calorífico maior que o da biomassa, ao redor de 9.300 kcal por kg. Isto resulta em uma eficiência energética maior, ou seja, um kg de gás natural é capaz de produzir 14,11 kg de cerâmica,

enquanto que um kg de capim-elefante produz 4,47 kg de produto cerâmico acabado. Assim, esta indústria cerâmica de médio porte retratada anteriormente, capaz de produzir 25.200 toneladas de cerâmica vermelha por ano, consome cerca de 1.786 Mg de GN, anualmente. Todavia, para cada um kg de metano queimado são produzidos 2,75kg de CO₂, gás que vai contribuir efetivamente para o efeito estufa. Como a biomassa de capim-elefante é renovável, a simples substituição de gás natural por capim-elefante deixaria de emitir aproximadamente 195 kg de CO₂ para cada tonelada de cerâmica produzida, ou 16,38 toneladas de CO₂ a menos, por dia, na atmosfera.

O fato de, neste trabalho, a inoculação do capim-elefante com um inoculante desenvolvido para cana-de-açúcar não ter resultado em incrementos de produtividade, reforça o argumento de que a de interação planta-microrganismo apresenta uma relação de especificidade muito particular e interdependente. Inúmeros microrganismos diazotróficos e promotores de crescimento estão sendo isolados nesta gramínea. Um cenário possível seria a substituição parcial de 50% na dose aplicada de N, sendo este complementado com nitrogênio derivado da fixação biológica. Nesta situação, mesmo com uma redução ao redor de 20% na produtividade total de biomassa teríamos um balanço de quase 36 unidades de energia renovável para cada unidade de energia fóssil investida, ao redor de 45% maior do que o resultado de Samson (2005). Embora a eficiência do sistema possa parecer comprometida, esta diferença no balanço de energia provoca um aumento de apenas 0,23% de energia fóssil, fazendo com que o sistema ainda mantenha-se acima de 97% de retorno em energia renovável. Melhor ainda, a redução em 50% do N aplicado evitaria emissões da ordem de 30,5 kg de CO₂ por hectare diretamente para a atmosfera.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Dra. Janaina Ribeiro Costa Rouws pelo auxílio no planejamento e nas análises estatísticas, e ao CNPq, CAPES e FAPERJ pelas bolsas concedidas e suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

ANUÁRIO Brasileiro de Cerâmica, São Paulo, Jun. 2004.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Balço Energético Nacional. Brasília, 2010. disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>> Acesso em 21 out. 2010

BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Bio-ethanol production in Brazil. PIMENTEL, D. (Ed.). **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems**. Dordrecht: Springer, 2008.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. D. Balços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1977-1985, 2004.

CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; CARVALHO, L. de A. **Capim-elefante**: produção e utilização. 2. ed. revisada. Brasília: Embrapa-SPI Juiz de Fora, 1997.

DUTRA, R. P. S.; VARELA, M. L.; NASCIMENTO, R. M.; GOMES, U. U.; MARTINELLI, A. E.; PASKOCIMAS, C. A. Estudo comparativo da queima rápida com a queima tradicional nas propriedades de materiais cerâmicos de base argilosa. **Cerâmica**, v. 55, p 100-105, 2009.

FERREIRA, C.; ALEXANDRE, S. I. C.; VITORINO, N. M. D.; FERREIRA, A. A. L. Otimização energética de um forno na indústria cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 13, p. 43-46, 2008.

MISTURA, C.; FONSECA, D. M.; MOREIRA, L. M.; FAGUNDES, J. L. L.; MORAIS, R. V.; QUEIROZ, A. C.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Efeito da adubação nitrogenada e irrigação sobre a composição químico-bromatológica das laminas foliares e da planta inteira de capim-elefante sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1707-1714, 2007.

MORAIS, R. F.; SOUZA, B. J. de; LEITE, J. M.; SOARES, L. H. de B.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 133-140, fev. 2009.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HO LEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 24, p. 1-35, 2005.

SOARES, L. H. B.; MUNIZ, L. C.; FIGUEIREDO, R. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. **Balanco energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no Cerrado**. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2007. 32 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).



Agrobiologia

**Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**