

## **Análise do Uso de Capim Elefante em Cerâmica Vermelha de Três Rios/RJ**

Vanessa Paula de Azevedo<sup>a\*</sup>, Marcos Alexandre Teixeira<sup>a</sup>, Flávio Castro da Silva<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Agrícola e do Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, RJ, Brasil

\*e-mail: [vanessaazevedo@id.uff.br](mailto:vanessaazevedo@id.uff.br)

**Resumo:** A possibilidade de substituição de parte do combustível utilizado em unidade de produção de cerâmica vermelha por biomassa de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) foi analisada no trabalho, foi estimada a quantidade de biomassa necessária para alimentar os fornos, assim como um sistema agrícola satisfatório para assegurar a sua produção para substituição de até 50% do combustível. Os resultados apontam para a falta de conhecimento sobre a efetividade do uso de capim elefante como uma biomassa energética, com poucos trabalhos desenvolvidos que possam abarcar todas as variáveis necessárias para um bom dimensionamento. Com base nos valores obtidos, fica clara a inviabilidade econômica do uso desta biomassa, não só pelos custos maiores do que para a Lenha (substituto mais próximo), mas também por implicar em uma área agrícola a qual o ceramista estaria pouco disposto a gerenciar (não sendo o foco de seu negócio).

**Palavras-chave:** capim elefante, biomassa energética, cerâmica vermelha, *Pennisetum purpureum*.

### **1. Introdução**

A cerâmica é um dos mais antigos materiais produzidos pelo homem e existe há cerca de 10 a 15 mil anos, sendo identificada pelos estudiosos possivelmente, como uma das mais antigas das indústrias, estando diretamente relacionada à história evolutiva das civilizações<sup>1</sup>, atualmente no Brasil, o mercado de cerâmica vermelha vem apresentando alta demanda e crescente produtividade, no que esta indústria brasileira tem se despontado como uma das mais criativas e competentes do mundo.

No Brasil, a cerâmica tem uma grande importância socioeconômica, com participação significativa no Produto Interno Bruto (PIB), com os principais polos localizados nas regiões Sul e Sudeste do País.

O setor ceramista engloba diversos produtos e processos produtivos, os quais são consumidores de recursos naturais e energia, bem como produzem grande quantidade de resíduos. Durante o processo produtivo, vários impactos são gerados, desde os processos de extração de matérias-primas, conformação e queima dos produtos, até a disposição final dos produtos, após a sua vida útil (que pode ser mais longa do que muitos outros materiais de construção como o aço e o concreto).

Uma das etapas fundamentais do processo é a queima do material em que são necessárias altas temperatura e grande quantidade de calor, uma das etapas mais intensivas do processo, o que dá aos fornos de queima grande destaque na questão do desempenho energético da indústria.

Atualmente, os combustíveis mais utilizados na queima dos elementos cerâmicos são basicamente a lenha e o óleo combustível residual (óleo BPF). Em alguns lugares, a lenha, tem o seu custo crescente, inclusive devido à necessidade de certificação para garantir que não seja oriunda da prática de desmatamento da mata nativa, além de apresentar problemas com a sua queima

que acarretam a produção de cinzas, óxidos de enxofre, entre outros componentes químicos.

Em função da sustentabilidade, alguns combustíveis alternativos já se destacam no mercado, como o bagaço de cana, a serragem de madeira, casca e palha de arroz, o capim elefante, entre outros. Uma opção que tem recebido cada vez mais destaque é o Capim Elefante, devido à sua alta produtividade por área plantada.

O capim elefante é uma espécie nativa da África subtropical<sup>2</sup>, mas que se adaptou muito bem às Américas, Ásia e Austrália. É um combustível renovável e não são exigidas licenças especiais para sua produção, além disso, contribui para a remoção de carbono da atmosfera.

Há diversos genótipos de capim-elefante, com diferentes características físicas, caloríficas, potenciais de crescimento e cuidados específicos no plantio e manejo; em especial as variedades destinadas para produção de matéria verde para alimentação animal (porte menor) e as com vocação para produção de biomassa (porte alto). É uma planta que tem crescimento rápido, produtividade elevada, menor demanda por áreas de plantio, além de bom potencial para melhoramento genético, assim como inoculação com bactérias do gênero *Rozóbiium*. O desempenho de cada genótipo depende do solo e do clima da região considerada, devendo a escolha ser feita após experimentação prática, em campo.

Portanto, tendo como foco esse mercado da indústria de cerâmica, aliado as questões de sustentabilidade, o objetivo deste estudo foi verificar os custos associados da substituição total ou parcial da lenha, um combustível tradicional, pelo capim elefante, um combustível alternativo, para usos em fornos de queima, fazendo uso de modelos de desempenho energético e de produção agrícola que possibilitem ter uma ideia do custo da energia oriunda do

capim-elefante e seus custos de produção. Com base em uma unidade de grande porte, avaliar a quantidade e os custos de produção para a substituição dos combustíveis utilizados por biomassa de capim elefante, em especial com relação à lenha, a biomassa de eleição para o setor de cerâmica vermelha.

Para atingir o objetivo proposto cumpre-se: estimar a quantidade de energia líquida necessária para a queima na cerâmica; caracterizar a Biomassa energética do Capim Elefante; estimar a quantidade de biomassa necessária para efetuar a queima dos produtos; determinar uma unidade produtiva capaz de atender a demanda de biomassa para esta indústria; estimar os custos de implementação e de produção de biomassa; e comparar os valores energéticos encontrados como fator de tomada de decisão.

## 2. Revisão Bibliográfica

O potencial energético do capim-elefante, como toda biomassa, está relacionado ao seu teor de fibra, especialmente lignina. Um método para avaliar a quantidade de lignina utiliza um detergente ácido específico com a finalidade de solubilizar o conteúdo celular e a hemicelulose. Um resíduo insolúvel no detergente ácido é obtido, denominado fibra em detergente ácido (FDA), constituído em quase sua totalidade de celulose (lignocelulose) e lignina<sup>3</sup>.

Seye<sup>3</sup> estudou a viabilidade técnica de utilizar o capim-elefante na indústria de cerâmica vermelha. Foram feitos testes de diferentes níveis de mistura entre capim-elefante e o cavaco de madeira. Um dos problemas encontrado foi no sistema de alimentação, em que não foi possível alimentar o forno pela rosca-sem-fim somente com o capim-elefante, pois a biomassa do capim solto tem uma capacidade a granel baixa, em torno de 55 kg/m<sup>3</sup>. Foi necessário misturá-lo com cavaco de madeira para conseguir alimentar corretamente o forno, sendo a densidade a granel do cavaco de madeira em torno de 280 kg/m<sup>3</sup>.

A energia produzida em uma bomba calorimétrica é expressa em kcal/kg de matéria seca e normalmente é usada para avaliar o valor energético de uma determinada fonte. Os teores de carbono e de hidrogênio nos tecidos vão determinar esse nível de energia potencial. O poder calorífico superior (PCS) da matéria seca do capim-elefante é estimado em torno de 4.200 kcal/kg, porém Vilela<sup>5</sup> encontrou um valor para o poder calorífico de capim-elefante Carajás a 4.298 kcal/kg, enquanto Pereira et al.<sup>6</sup> mediram o poder calorífico do capim elefante Napier igual a 4.170 kcal/kg.

### 2.2. Determinação da produção energética do capim elefante

Talvez a maior controvérsia no uso do capim elefante como biomassa energética seja na determinação do seu rendimento agrícola; em parte por sua utilização como alimento para o gado, em que o objetivo é maximizar o volume de folhas tenras, e em parte por esta ser vista como uma gramínea C4, de alto rendimento, em uma ótica de uma cana de açúcar, sem o açúcar; focada unicamente na produção da biomassa - a exemplo do bagaço do colmo.

Na literatura são acessíveis dados da produção de matéria seca atingida pelo capim elefante em diferentes regiões do Brasil. A produção de biomassa depende da qualidade do solo e da adubação recebida, como também dos fatores climáticos.

A produtividade de matéria seca do capim elefante adotada neste estudo foi baseada em uma das linhas de pesquisa nesta área realizada na região de Seropédica – RJ, num período de 22 meses, conforme a Tabela 1.

O valor adotado para a produtividade do capim elefante foi de 36,30 toneladas de matéria seca por hectare em um ano, baseado no genótipo Bag 02. Este genótipo foi considerado por apresentar o maior valor de produtividade em 12 meses comparado aos outros genótipos. Ainda que possam ser encontradas referências à produtividades de até 200 em artigos de literatura em geral; em artigos

**Tabela 1.** Produção de matéria seca em 2 tipos de solos e 3 cortes num período de 22 meses, adaptado de Moraes et al.<sup>6</sup>

Genótipo	1º Corte	2º Corte	3º Corte	Total Produção 22 meses	Média Produção em 12 meses
<b>Latosolo Vermelho-Amarelo</b>					
CNPGL F60-3	26,6	22,1	10,7	59,4	32,4
Gramafante	23,6	8,1	11,7	53,4	29,1
BAG 02	24,3	37,9	14,5	66,6	36,3
Roxo	20,3	26,1	6,7	53,0	28,9
Cameroon	29,5	20,1	12,3	31,9	33,8
Médias	24,9	22,9	11,2	58,9	32,1
<b>Planosolo</b>					
CNPGL F06-3	28,4	22,8	7,0	58,2	31,7
Gramafante	28,9	15,0	9,3	53,1	29,0
Bag 02	28,1	17,8	9,7	55,6	30,3
Roxo	21,1	18,8	5,1	45,0	24,4
Cameroon	32,0	20,1	10,9	63,1	34,4
Médias	27,7	18,9	8,4	55,0	30,0

**Tabela 2.** Dados característicos da biomassa capim-elefante.

Grandeza	Valor	Unidade	Descrição
UmiC	30	%	Umidade que vem do campo após a colheita
UmiRef	10	%	Umidade de referência (equilíbrio)
UmiS	10	%	Umidade do material seco
Db	55	Kg/m <sup>3</sup>	Densidade básica aparente a 10% umidade
PCS	4.200	Kcal/kg	Poder calorífico superior <sup>8</sup>
PCI	0,0134	GJ/kg	Poder calorífico inferior <sup>4</sup>

**Tabela 3.** Parâmetros operacionais para fornos intermitentes operando com diferentes combustíveis\*.

Prod.	Parâmetro	Combustível				
		Eucalipto	Frutíferas	Serragem	Óleo Combs.	Gás Natural
Telhas	Consumo Esp. Combust. [m <sup>3</sup> / 1000 peças]	2,05 <sup>1</sup>	3,7 <sup>1</sup>	1,7 <sup>1</sup>	-	-
	Consumo Esp. Energia [kcal / kg produto]	946	1423	899	-	-
	Custo esp. de Combust. [R\$ / t]	35,5	31,3	16,4	-	-
	Razão de Custo [%]	100	88	46	-	-
Blocos	Consumo Esp. Combust. [m <sup>3</sup> / 1000 peças]	1,25	1,6	0,8 a 1,5	-	-
	Consumo Esp. Energia [kcal / kg produto]	682	727	408 <sup>2</sup> a 682	630	497 <sup>3</sup>
	Custo esp. de Combust. [R\$ / t]	25,5	16	83 a 124	64,26	43,89
	Razão de Custo [%]	100	63	32 a 79	252	172

<sup>1</sup>Valores médios observado na região de Tambaú (SP) 2006. <sup>2</sup>Medições feitas pelo IPT em 2004 (Tatuí – SP). <sup>3</sup>CTGAS Trabalho apresentado na Rio Oil & Gás Expo and Conference, 2000

científicos, em condições competitivas de manejo (ex. sem irrigação), a classe de produtividade encontradas eram consideravelmente diferentes, em geral, a produção de matéria seca do capim elefante no Brasil varia de 15 toneladas até 45 toneladas por hectare por ano<sup>3</sup>.

Com relação às suas características com combustível, algumas características foram compiladas na Tabela 2, tais valores são importantes para verificar se a substituição do combustível tradicional (lenha) por capim elefante é viável, ou não, economicamente.

Do outro lado do sistema, temos os fornos de queima de cerâmica, em especial com relação ao seu sistema de alimentação e retiradas de produtos, contínuos (ex. tipo túnel) ou em intermitentes; assim como a suas respectivas fornalhas e seus sistemas de alimentação e controle que estão relacionados aos combustíveis que estes fornos utilizam (ex.: lenha, óleo, gás natural etc.), que podem levar a rendimentos muito diferentes.

Estes dois fatores – sistema de alimentação e combustíveis utilizados – determinam muito da dinâmica de queima na indústria, muitas vezes constituindo a parte central do processo e que – em grande parte determina todos os demais parâmetros produtivos (ex.: possibilidade de uso dos gases de esfriamento para secagem e aquecimento).

Neste sentido, o(s) tipo(s) de combustível(eis) com que o forno existente foi projetado para utilizar, assim como o que está utilizando atualmente, são os fatores de maior variância no processo de mudança de combustível, uma vez que cada forno é dimensionamento para cada tipo de combustível, dada sua termogravimetria, assim

como poder calorífico, densidade e granulometria com que será alimentado no forno.

Para o caso do capim elefante não seria diferente, no que se sobrepõe a problemática da sua umidade, desde o corte até o seu beneficiamento para, finalmente, ser inserido no sistema alimentador do forno.

Nas Tabelas 3 e 4 podem ser encontrados parâmetros operacionais de diferentes fornos, produzindo diferentes produtos, e operando com diferentes produtos num trabalho de análise comparativa.

### 3. Material e Método

Para o estudo preliminar da implementação do capim elefante como combustível alternativo na alimentação de fornos em indústrias de cerâmica, foi tomada uma unidade de grande porte, de forma a poder dar representatividade ao estudo. Neste caso, os dados correspondem aos parâmetros operacionais da Cerâmica Argibem; fundada em 1952, dedica-se à produção e comercialização de tijolos de alvenaria, estrutural e de vedação, em vários formatos e dimensões, bem como uma série de acessórios complementares. A empresa está localizada em Três Rios e explora barreiros da região, de onde extrai as argilas

\* Cotações obtidas junto ao site de compra e venda de equipamento agrícola (bolsa de equipamentos e produtos): <http://comprar-vender.mfural.com.br/>, com base em dados de 06/2014. Custo (R\$/m<sup>3</sup>): Lenha (eucalipto) 45; Lenha árvores Frutíferas 22; Serragem (sobras de serraria) 25; Óleo Combustível 1000; Gás Natural 0,85.

**Tabela 4.** Parâmetros operacionais para fornos túnel operando com diferentes combustíveis<sup>9</sup>.

Prod.	Parâmetro	Forno Túnel a vagonetas			Forno túnel a rolos	
		Óleo Combs.	Serragem	Gás Natural	Óleo Combs.	Gás Natural
Telhas	Consumo Esp. Combust. [m <sup>3</sup> / 1000 peças]	-	-	105 <sup>1</sup>	-	-
	Consumo Esp. Energia [kcal / kg produto]	-	-	384	240	384
	Custo esp. de Combust. [R\$/ t]	-	-	34	21,24	33,98
	Razão de Custo [%]	-	-	96	60	96
Blocos	Consumo Esp. Energia [kcal / kg produto]	341	573 <sup>2</sup> a 582 <sup>3</sup>	477	-	-
	Custo esp. de Combust. [R\$/ t]	34,78	10,6	42,2	-	-
	Razão de Custo [%]	136	41	165	-	-

<sup>1</sup>Fornos Túneis a vagonetas operando em Tatuí (SP) 2005. <sup>2</sup>Medições Feitas pelo IPT em 1983 <sup>3</sup>Trabalho apresentado pela Univ. Fed. de Santa Catarina – UFSC, no ENCIT – Encontro de Ciências Térmicas de 2002.

**Tabela 5.** Parâmetros operacionais para a gestão agrícola da parcela de 50 ha de produção de capim elefante.

Operação	Número de Operações	Velocidade de Trabalho [km/h]	Largura Implemento [m]
Aração (4 aivecas)	1 a cada ciclo	6	1,8
Gradagem	2 a cada ciclo	7	2
Aplicação de Fertilizante. e Cor.	Anual	9	2,5
Semeadora	1 a cada ciclo	8	4
Picadora de Forragem (Ensiladora)	4 por ano	7	1,2

que usa numa formulação adaptada às características dos produtos que fabrica, segundo dados do seu relatório de análise de eficiência energética (ano base 2011), a empresa produz cerca de 111.890 toneladas de cerâmica vermelha anualmente.

A cozedura dos produtos é feita em forno túnel com 100 metros de comprimento, trabalhando em regime contínuo. Usa como combustível a biomassa (pó de serragem) e carvão. A biomassa é ainda utilizada como fonte energética auxiliar para o secador semi-contínuo que a empresa tem instalado. O consumo global médio de combustível (pó de serragem e cavaco para a caldeira) está em torno de 25 toneladas/dia<sup>9</sup>.

O consumo o consumo específico de energia na Cerâmica Argibem é de 1,958 G J por tonelada de cerâmica vermelha produzida, com uma produção anual estimada de 111889,68 toneladas / ano, levando a um consumo energético total de 219.080 G J térmicos por ano<sup>9</sup>.

Para o sistema agrícola de produção do capim elefante, foi adotada uma área agrícola de 50 ha (500.000 m<sup>2</sup>), como a unidade básica para gestão do sistema de produção. Para a gestão das atividades agrícolas para uma área deste porte, para a cultura de capim elefante, a operação com maior demanda de potência seria a aração (feita somente a cada ciclo de 3 anos), o que determinou a escolha do trator, como sendo uma máquina de 80 CV. As operações agrícolas, assim como os principais parâmetros operacionais utilizados nos cálculos encontram-se na Tabela 5.

De forma conservadora, adotou-se uma jornada de 8 horas diárias, sem paradas e sem considerar a capacidade operacional das máquinas, assim como o consumo de diesel foi uniformizado para um valor médio de 10 litros por hora trabalhada (extremamente conservador, em especial para

a aração)<sup>10</sup>. A colheita é feita com uma unidade picadora de capim para forragem (Ensiladora), que lança o capim picado, também tracionada pelo trator.

Na Tabela 6, são apresentadas as quantidades de insumos necessários à etapa de formação do plantio do capim-elefante, em tonelada por hectare. As quantidades de insumos no processo de calagem foram baseadas por Azevedo<sup>11</sup>, através de um estudo para determinar quais as quantidades mínima sugeridas para o cultivo.

Para o caso da sementeira, por ser um sistema voltado à produção de biomassa energética, não foi considerado o plantio por estacas, mas sim o por sementes, com um consumo estimado de 0,008 t/ha<sup>\*\*</sup>. A Produtividade adotada foi de 36,3 t massa seca / ha . ano, tomando como base o trabalho de Quéno<sup>2</sup>, para genótipo Bag 02.

Para os custos foram considerados dois senários, um com a compra da frota por parte da cerâmica (depreciada linearmente, sem resíduo para uma vida útil total de 18 anos), e outro em que esta alugasse os equipamentos (dada a baixa utilização destes ao longo do ano). Para os custos do primeiro senário, foram considerados os preços de compra apresentados na Tabela 7<sup>\*\*\*</sup>.

<sup>\*\*</sup> Correspondência eletrônica trocada com fornecedor seguindo anúncio em site da área rural: <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/sementes-de-capim-elefante-paraiso-matsuda-manual-de-plantio-frete-gratis-105318.aspx>, em 07/2014.

<sup>\*\*\*</sup> Cotações obtidas junto ao site de compra e venda de equipamento agrícola (bolsa de equipamentos e produtos): <http://comprar-vender.mfrural.com.br/>, com base em dados de 06/2014.

O custo do diesel<sup>12</sup> foi tomado como 2,5 R\$/l. Para os custos de Mão de Obra, foi considerado, de forma muito conservadora, somente um operador, recebendo um salário mínimo mais encargos (R\$724,00; 144 horas trabalhadas / mês, acrescido de 110% de encargos trabalhistas). No caso do cenário de aluguel dos equipamentos, foi considerado um valor médio de 200,00 R\$ / hora por uso dos implementos (em substituição aos valores de diesel, hora homem e amortização dos equipamentos).

Ainda de uma forma conservadora, não foram considerados os gastos com transporte e secagem da massa de capim elefante colhida no campo e estocada junto à unidade de cerâmica vermelha (consideração que leva a diminuição dos custos operacionais). Para os insumos foram adotados os valores apresentados na Tabela 8 (fonte: consulta à fornecedores em seus respectivos sites, base 06/2014).

A comparação para avaliar a viabilidade econômica do uso do capim, se deu pela comparação somente dos custos operacionais e custos fixos de tratamentos culturais (insumos) por conteúdo energético, excluindo-se custos

**Tabela 6.** Insumos na formação do plantio do capim-elefante, adaptado de Azevedo (2003).

Insumos	Quantidade (t.ha <sup>-1</sup> )
Superfosfato simples	0,666
Adubo NPK (20-05-20)	0,666
Calcário dolomítico (2 em 2 anos)	2,50
Cloreto de potássio	0,20
Formicida	0,001

**Tabela 7.** Custo estimado para os equipamentos usados no cenário compra e gestão da frota pelo ceramista.

Equipamento	Quantidade	Preço unitário [R\$/unidade]
Trator (80 cv)	1	84.000,00
Arado de Aivecas	1	8.000,00
Grade tanden	1	17.000,00
Aplicador de fertilizante e Corretivo	1	3.000,00
Semeadora	1	22.000,00
Colhedora de forragem (Ensiladora)	1	16.800,00
Vagão forrageiro	1	23.625,00

**Tabela 8.** Custo estimado para os insumos.

Insumos	Preço unitário [R\$ / t]
Superfosfato simples	727,00
Adubo NPK (20-05-20)	1.049,00
Calcário dolomítico (a cada dois anos)	49,78
Cloreto de potássio	1.300,00
Formicida	375,00
Sementes (1 vez a cada ciclo de 3 anos)	95.000,00

de investimento (tais como compra de equipamento e remuneração de capital); para dois cenários: gestão do sistema pelo ceramista e aluguel das máquinas de terceiros (opção para a gestão das etapas agrícolas para a gestão da unidade produtora – terceirização da frota agrícola).

A opção por este cenário simplista de comparação se deu pela impossibilidade de levantar os custos implantação para o eucalipto, assim como o objetivo de avaliar os custos de oportunidade que o capim elefante poderia ter em relação à compra da lenha (cenário mais provável). Para a compra da lenha, foram considerados dois preços, um limite superior\*\*\*\* 110,00 R\$ / m<sup>3</sup> stereo e outro inferior 25,2 R\$ / m<sup>3</sup> stereo<sup>13</sup>.

O forno contínuo da Cerâmica Argibem usa como combustível serragem e carvão, cujos consumos são considerados no computo do consumo energético total. Avaliar qual seria a eficiência da queima de Biomassa de Capim Elefante neste mesmo forno é uma das maiores fontes de indeterminação para o cálculo da substituição de combustível.

Neste sentido, é necessário considerar alguma nova eficiência de queima desta nova biomassa nas instalações já existentes, o que deverá ser feito com algum discernimento, tanto para não tornar o cálculo demasiadamente robusto (em especial por não haverem dados experimentais de queima de capim em fornos similares), nem por demais otimista que não possibilite uma base razoável de cálculo.

Isto posto, é necessário reconhecer as fontes de incerteza, tais como: dinâmica de alimentação do forno com a nova biomassa, umidade final do capim, sua granulometria, e o sistema de alimentação do forno. Desta forma, com algum grau de confiabilidade, assumiu-se as seguintes simplificações e exceções abaixo listadas:

1. Em função da umidade e granulometria do capim, este nunca poderá ser o único combustível a alimentar o forno, de forma a diminuir a ocorrência de embuchamento da rosca sem-fim<sup>10</sup>;
2. Para os cálculos preliminares, objetos deste estudo, o capim deverá ser considerado seco, ainda que a etapa de secagem não seja considerada no custos (uma abordagem conservativa para análise dos custos);
3. Não foram considerados os custos de aluguel e/ou compra da área agrícola; e
4. Com base na comparação de performance em fornos intermitentes, a razão entre os consumos específicos de energia (em kcal /kg de produto), entre eucalipto e serragem, pode-se estimar qual seria a quantidade de capim que seria necessário queimar para ter-se o mesmo efeito de queima, ou seja qual o incremento em energia a ser adicionado de forma a ter-se a mesma energia disponível para o produto, dada a menor eficiência do forno operando com capim.

\*\*\*\* Custo da lenha cortada, entregue em pequenas quantidades (mercado de pizzarias). Fonte: <http://www.lenhaseca.com.br/Precos.html> consultado em 06/2014.



**Tabela 9.** Propriedades dos combustíveis considerados.

Combustível	Densidade Aparente [kg/m <sup>3</sup> ]	Poder Calorífico Inferior [kJ/kg]
Capim Elefante	55,0 <sup>8</sup>	13.400 <sup>4</sup>
Lenha	252 <sup>14</sup>	12.980 <sup>14</sup>

**Tabela 10.** Resumo dos custos operacionais da gleba, cenário ceramista gestor da frota.

Operação	Tempo total [h/50 ha . Ano]	Custo de HH [R\$/ 50 ha . Ano]	Dias trabalhados ao ano	Consumo Diesel [l /50 ha . ano]	Custo Diesel [R\$/ 50 ha . Ano]
Aração (4 aivecas)	15	162,94	2	154	385,80
Gradagem	24	251,29	3	238	595,24
Aplicação de Fert. e Cor.	22	234,63	3	222	555,56
Semeadora	5	54,99	1	52	130,21
Ensiladora	238	2513,89	30	2381	5952,38
Totais	305	3217,84	38	3048	7619,19

**Tabela 11.** Resumo dos custos.

Combustível	Custos totais [R\$/ano]	Custo específico [R\$ / t MS]	Custo da Energia [R\$ / GJ]
Capim Elefante - Gestão da Frota pelo Ceramista	490.297	47,93	3,58
Capim Elefante - Aluguel Frota	718.143	70,20	5,24
Lenha - Limite Superior	2.380.269	282,05	21,73
Lenha - Limite Inferior	545.298	64,62	4,98

Desta forma, adotou-se um mix máximo de 50% do combustível (com base na energia total consumida), com uma eficiência relativa de 80% para a queima do capim. Com este mix, e eficiência de queima foi estimado a quantidade de biomassa necessária e daí a área total a ser cultivada para poder alimentar a unidade. Com relação aos dados de energia, foram utilizados os valores apresentados na Tabela 9.

#### 4. Resultados e Discussão

Para a substituição de 50% do combustível necessário para a queima (109540 GJ/ano), por capim elefante, com o decréscimo advindo da menor eficiência de queima (80%), chegou-se a um valor de 137076 GJ/ano como o montante de energia a ser aportada pela biomassa do capim elefante.

Com base no poder calorífica inferior, chegou-se à 10230 t MS/ano, e com a produtividade em base seca (36,30 t MS / ano ha), a um total de 282 hectares. Para fins de gestão, divididos de 6 glebas de 50 ha cada. Para cada gleba, os custos operacionais estão resumidos na Tabela 10.

Adicionalmente, ao cenário de gestão da frota pelo ceramista, adicionam-se os custos com depreciação da frota de 9.690,28 R\$ / ano. Para o cenário investimento, tem-se custo operacional de 86.992,17 R\$/ano 50 ha, para o cenário aluguel das máquinas chegou-se a um custo operacional de 127.418,36 R\$ / 50 ha ano. Os custos com os insumos totalizaram 1.329,30 R\$ / ha ano.

Na Tabela 11 um resumo dos valores obtidos para custos totais e custos específicos para os diferentes cenários e combustíveis considerados.

#### 5. Discussões e Conclusões

De forma a abrir as discussões, em primeiro lugar gostaríamos de ressaltar a área total necessária para a produção da biomassa, ainda que calculada de forma bastante inicial (desconsiderando área para manobra, corredores de passagem, áreas de escape, curvas de nível etc), leva à uma propriedade de médio a grande porte, ou seja, se caracterizando como uma atividade agrícola de médio porte, que muito provavelmente acabaria por necessitar de uma estrutura de gestão única, totalmente voltada para a gestão da produção da biomassa.

Outro aspecto relacionado à área agrícola advém do fato de que a grande maioria das indústrias de cerâmicas vermelha estão situadas em áreas próximas aos centros consumidores de seus produtos – áreas peri-urbanas, e que muitas vezes apresentam baixa disponibilidade de área cultivável (ainda mais nesta escala - mais de 200 ha). Desta feita é pouco provável que seja possível encontrar um conjunto contínuo de área agricultável capaz de suportar a demanda de biomassa pela propriedade; aspecto que iria dificultar ainda mais a gestão da produção agrícola.

Finalmente, há que se considerar as áreas auxiliares ao processo produtivo, que não foram alvo do presente estudo, a saber: área para armazenagem e manutenção dos maquinário, implementos e insumos assim como para o pré-preparo e armazenagem temporária da biomassa a exemplo de pátios de secagem e galpões de armazenagem temporária (para dias de chuva por exemplo).

Com base nestas premissas, assim como no contato feito com ceramistas, fica claro que uma eventual inserção do capim elefante como biomassa para o setor ceramista foge totalmente à vocação da cerâmica, de forma que uma

parceria seria mais aconselhável que esta seja considerada dentro de uma ótica de terceirização, em que uma terceira empresa poderia assumir a gestão da fase agrícola, em pareceria com uma associação entre ceramistas para poder gerenciar áreas de jazidas esgotadas como áreas para o crescimento do capim elefante, numa ótica de divisão do trabalho, e geração de ativos com base na gestão das áreas em recuperação.

Neste sentido, o custo energético a ser considerado estaria mais próximo do cenário de aluguel de máquina do que o do investimento, o que o coloca acima do valor para lenha, que indica que esta segunda estaria mais do que bem colocada para competir com o capim elefante como uma alternativa energética sustentável para o setor de cerâmica vermelha.

Em seu trabalho de estudo da viabilidade do uso da biomassa do capim elefante em comparação à do eucalipto, Quéno<sup>3</sup>, encontrou valores próximos aos apresentados no presente trabalho (7,17 R\$ / GJ\*\*\*\*), o que aponta para uma certa uniformidade dos resultados, porém, dado que muitos dos custos – para o presente trabalho – foram desconsiderados e naquele, os índices referentes à cultura de capim elefante foram estimados em literatura,

Como base nos números obtidos, pode-se concluir que a substituição da lenha por capim elefante, para as condições a apresentadas na Cerâmica Argibem, não é viável economicamente, fica claro que esta eventual substituição ainda tem muitos dos fatores a serem estudados, e muitas das variáveis permanecem ainda desconhecidas, a exemplo da eficiência de queima do capim em diferentes umidades, no que é clara a necessidade de estudos mais detalhados para possíveis resultados mais satisfatórios, considerando que o capim-elefante é uma biomassa considerada com alto potencial energético.

Ao longo dos trabalhos, o principal elemento para o cálculo da área agrícola foi a produtividade esperada, e este parâmetro, na maioria dos casos, é pensado somente para o uso do capim como forrageira para alimentação do gado, e que ainda há muito a ser desenvolvido para a plena utilização desta gramínea como uma potencial fonte de biomassa energética.

Vale ressaltar, que a tendência do setor é adotar ações de aumento de eficiência energética, que no âmbito da demanda térmica, podemos citar as práticas já consagradas como a recirculação de gases quentes na secagem dos produtos<sup>15</sup> assim como outras que ainda não encontram as condições para seu desenvolvimento, como a cogeração – a exemplo do que já é uma realidade no setor sucroalcooleiro<sup>16</sup>.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer às pessoas e entidades que colaboraram no desenvolvimento deste trabalho, pela informações fornecidas, em especial ao Eng.º Cerâmico Bruno Frasson da Associação Nacional

Indústria Cerâmica – ANICER\*\*\*\*\*, por disponibilizar dados da Cerâmica Argibem, em Três Rios, aos pesquisadores Vicente Mazzarella, Omar Seye e Segundo Urquiaga pelos dados relativos à produção de biomassa assim como o Eng. Laiete Messias pelos dados de consumo de combustíveis em fornos de cerâmica.

## Referências

1. AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – CPRH. *O setor ceramista e o meio ambiente*. Recife: CPRH, 2010. Disponível em: <[http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/cartilha%20ceramistas;0419;20101123.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/cartilha%20ceramistas;0419;20101123.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2014.
2. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. *State of the World's forests 2009*. Rome: FAO, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/011/i0350e00.htm>>. Acesso em: 07 jun. 2014.
3. QUÉNO, L. R. M. *Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia*. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
4. SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O. Estudo cinético da biomassa a partir de resultados termogravimétricos. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. *Anais...* Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022000000200022&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000200022&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 13 mai. 2014.
5. VILELA, H. *Capim-elefante Carajás (Ex. Paraíso) (Pennisetum hybridum)*. Belo Horizonte: Portal Agronomia, 2008. Disponível em: [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_capim\\_elefante\\_paraíso.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso.htm)>. Acesso em: 23 abr. 2014.
6. PEREIRA, J. A., et al. Composição química da silagem de capim elefante cv. Napier (*Pennisetum purpureum schum.*) com diferentes níveis de leucena cv. Cunningham (*leucacena leucocephala (lam.) de wit.*). *Revista Científica de Produção Animal*, v. 1, n. 2, p. 191-204, 1999.
7. MORAIS, R.F., et al. Elephant grass genotypes for bioenergy production by direct biomass combustion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 2, p. 133-140, 2009.
8. QUÉNO, L.R.M. Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10482/7547>. Acesso em: 23 abr. 2014.
9. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA – ANICER. *Auditoria energética cerâmica argibem Três Rios – Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: ANICER, 2011.
10. SEYE, O. *Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (Pennisetum Purpureum Schaum)*. 2003. 148 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos)-Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2003.
11. AZEVEDO, P. B. M. Aspectos econômicos da produção agrícola do capim-elefante. In: ENCONTRO DE ENERGIA

\*\*\*\*\* ANICER – Associação Nacional Indústria Cerâmica. Rua Santa Luzia, 651 12º Andar - Centro - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20030-041. E-mail: [anicer@anicer.com.br](mailto:anicer@anicer.com.br) - Tel: (21) 2524-0128.

\*\*\*\* Valor original de 5,44 R\$ / GJ, corrigido pelo ICPA Geral acumulado de jan 2009 a jan 2014, num total de 31,9%.

- NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. *Anais...* Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC00000002200000100032&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC00000002200000100032&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 13 mai. 2014.
12. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. *Preço dos combustíveis*. Disponível em: <<http://www.precodoscombustiveis.com.br/>>. Acesso em: 24 jun. 2014.
  13. AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA FILHO, D.; COSTA, D. R. Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 1, p. 28-35, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30093.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2014.
  14. Brasil. Ministério de Minas e Energia - MME. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2013.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf). Acesso em: 07 jun. 2014.
  15. MESSIAS, L. S. Recuperação de gases quentes em fornos intermitentes. Aplicação na indústria de cerâmica estrutural. *Cerâmica Industrial*, v. 1, n. 2, p. 31-37, 1996.
  16. MESSIAS, L. S., et al. Estudo de alternativas de cogeração aplicado a secagem de argila para fabricação de revestimentos cerâmicos por via seca. *Cerâmica Industrial*, v. 15, n. 3, p. 24-30, 2010. 3.