

# UTILIZAÇÃO DO CAPIM ELEFANTE COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL NA ACIARIA ELÉTRICA<sup>1</sup>

Jaderson Rodrigues Ilídio<sup>2</sup>  
Lucas Gibram Leite e Silva<sup>2</sup>  
Tiago Luis Oliveira<sup>3</sup>  
Carlos Frederico Campos de Assis<sup>4</sup>  
Paulo Santos Assis<sup>5</sup>

## Resumo

A ideia deste trabalho é utilizar biomassa nos processos de fabricação do aço, como fonte de energia renovável. Na aciaria elétrica, o Capim elefante (CE) pode ser um deles, devido sua alta produtividade e razoável poder calorífico. O CE é uma gramínea de alta produtividade (30 a 80t.m.s/ha/a) e rápido crescimento, tendo como característica assimilar mais eficientemente o carbono atmosférico. No Brasil, a utilização do CE como fonte energética é muito escassa, isso é devido ao desconhecimento das empresas sobre seu potencial energético e a falta de incentivo à pesquisa do material desenvolvida no país. Pode-se usar o CE na forma moída (finos), em pellets ou briquetes. O gás natural (GN) é atualmente usado na aciaria para o melhoramento dos “pontos frios” dentro do forno, por meio de sua combustão no contato com o banho metálico, além de contribuir diretamente para substituição da energia elétrica por energia fóssil. Entretanto, por ser uma fonte energética não renovável e altamente poluente, apesar do seu alto poder calorífico, apresenta desvantagens em relação ao CE por ser este renovável, não poluente e de baixo custo. Ligando estes fatos, o trabalho visa utilizar o CE como fonte térmica na aciaria elétrica, através da queima do material, substituindo o GN e produzindo energia elétrica de forma limpa e sustentável

**Palavras-chave:** Aciaria elétrica; Termoelétrica; Biomassa; Capim elefante.

## USE OF ELEPHANT GRASS AS RENEWABLE ENERGY RESOURCE IN ELECTRIC STEELMAKING

### Abstract

The main idea of this study is to use the biomass in the steelmaking process, as renewable energy resource. In the electric steelmaking, the Elephant Grass (EG) can be one of them, due of its high productivity and considerable calorific value. The EG is a kind of grass with high productivity (30 to 80 t.m.s/ha/a) and fast growing, and it is main characteristic is to assimilate the atmospheric carbon more efficiently. In Brazil, the use of EG as energy resource is to scarce, it is due the unawareness of the companies about its energetic potential and the lack of incentive to do research in Brazil. The EG can e used as powder, pellets and briquette. The Natural Gas (NG) is used nowadays in electric steelmaking to make better the "cold points" inside the oven, through its combustion in the contact with the metallic bath, furthermore contributing to change electric energy for fossil fuel. However, being a non-renewable and highly pollutant source, it shows some disadvantages compared with EG, as a renewable, non-pollutant and inexpensive energy source. Linking those points, this study goals to use the EG as thermal source into electric ironmaking by burning the material in substitution of the NG, producing energy in a clean and sustainable.

**Keywords:** Electric ironmaking; Thermoelectrics; Biomass; Elephant grass.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Aluno de engenharia metalúrgica, Escola de Minas – UFOP, MG, Brasil

<sup>3</sup> Aluno de pós-graduação, REDEMAT - UFOP, Professor do CEFET Itabirito, MG, Brasil

<sup>4</sup> Aluno de doutorado, REDEMAT – UFOP. MG, Brasil, Professor do CEFET Timóteo, MG, Brasil

<sup>5</sup> Professor Titular na REDEMAT e UFOP – Escola de Minas. Professor Honorário na HUST, China. Pesquisador do CNPq. Conselheiro da EcoEnviroX, MG, Brasil

# 1 INTRODUÇÃO

No final do século XX notou-se que o Planeta Terra estava com uma elevação de temperatura, o chamado aquecimento global. Vários países, então, se reuniram para assinar o protocolo de Quioto, que propôs especialmente a redução da emissão dos gases de efeito estufa, principalmente em países desenvolvidos. Para isso, um caminho seria pelo uso de energia renovável, a chamada energia sustentável, uma vez que os combustíveis fósseis têm dias contados.

O uso de energias renováveis evidentemente afetou a indústria. No caso da aciaria elétrica a busca por fontes energéticas de menor custo e menos impacto ambiental são constantes, uma vez que sua produção é dependente da energia elétrica. Uma alternativa que esse setor desenvolveu para não depender da compra de energia elétrica de concessionárias foi utilizar de usinas termelétricas próprias. Além disso, vem sendo utilizado cada vez mais, o sistema de cogeração em grandes indústrias, visando à autossuficiência energética e reutilização de resíduos poluentes.

O principal combustível utilizado hoje nessas termelétricas é o gás natural. Entretanto, sendo esse um combustível fóssil, sua disponibilidade tende a reduzir, elevando seu preço. Uma alternativa para isso é o uso de biomassa para geração de energia nas termelétricas.

A biomassa, que é a matéria orgânica ou rejeito gerado do agronegócio, vem como uma ideia inovadora de combustível renovável. Neste artigo, a biomassa utilizada será o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), que é facilmente produzido e entra em fase de ser colhido duas vezes ao ano.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Quantificar a produção de energia elétrica a partir do uso de biomassa, aplicando a cogeração de central termelétrica no forno elétrico a arco para produção de aço.

### 2.2 Objetivo Específico

Estudar a cogeração em indústrias siderúrgicas, garantindo, assim, uma produção conjunta de aço e energia elétrica, a partir do uso de biomassa, a casca de arroz, gerando, assim, energia e aço de forma limpa e renovável.

## 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção procura passar uma visão geral dos princípios, conceitos e fundamentos necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa. O conceito de utilização de biomassa para produção de energia termoelétrica tem motivação em redução de custos de produção, preocupação ambiental com resíduos sólidos, emissão de gases estufas e crédito de carbono. O processo utiliza do Ciclo de Rankine e Primeira Lei da Termodinâmica. Além da produção energética, também se estuda a utilização da fumaça gerada na combustão como gás quente a ser injetado no processo de fabricação do aço para minimizar os pontos-frios no processo.

### **3.1 Protocolo de Quioto**

Assinado por 84 países em 1997, na cidade de Quioto, Japão, esse protocolo tem como objetivo firmar acordos internacionais quanto à redução da emissão de gases estufa na atmosfera. O protocolo visa algumas ações básicas como reformar os setores de energia e transportes, promover o uso de fontes energéticas renováveis, proteger florestas entre outros. A partir daí, a ideia de sustentabilidade foi mais difundida e praticada, aliando o desenvolvimento social, econômico, cultural e ambiental. Esse sistema de gestão visa garantir que os interesses socioeconômicos não sejam prejudicados, antes, que expressem o seu maior potencial preservando o meio ambiente e os ecossistemas naturais por meio de planejamento e manutenção das ações tomadas.

### **3.2 Combustíveis**

Material de origem orgânica não fóssil, animal, vegetal ou de microrganismos com o propósito de se produzir calor, com o qual se produza energia elétrica e/ou mecânica, energia sólida, como briquete ou carvão vegetal, energia líquida, como biodiesel e etanol e energia gasosa, como o biogás de lixo. As biomassas residuais, tais como: bagaço de cana, casca de arroz, casca de algodão, casca de café, capim elefante, casca de coco, resíduos de cascas de árvores, palha de milho, sabugo, madeira de lei, caroço de açaí, serragem, entre outros. pode ter seu aproveitamento otimizado por meio da produção de briquetes. Sua produção simples se dá pela secagem e prensagem.

Material de produção rápida e barata, o capim elefante não precisa de cuidados especiais em sua cultura e pode ser colhido duas vezes por ano, garantindo uma produção acima da média em relação as demais biomassas. Seu poder calorífico na forma briquetada é da ordem de 4.100kcal/kg, sendo seu preço R\$0,20/kg.<sup>(1)</sup>

O gás natural é um combustível fóssil constituído da mistura de hidrocarbonetos gasosos, originados da decomposição de matéria orgânica fossilizada (animal) ao longo de milhões de anos. Sua composição no estado bruto consiste em metano, com proporções variadas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e também CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, água, ácido clorídrico, metanol e outras impurezas.<sup>(2)</sup>

### **3.3 Conceitos Termodinâmicos**

A 1ª Lei da Termodinâmica é baseada no conceito de conservação de energia. Quando há uma interação entre sistemas, o ganho de energia de um dos sistemas é igual a perda de energia do outro sistema. Por exemplo, a quantidade de energia necessária para decompor um composto em elementos é igual ao calor gerado quando o composto é formado a partir dos elementos.

A cogeração é utilizada para produzir simultaneamente calor e energia elétrica que viabiliza economicamente a autogeração de energia. Seu conceito é usualmente entendido como a produção simultânea, e combinada, de energia térmica e energia elétrica ou mecânica de uma mesma fonte. Sua vantagem é o maior aproveitamento energético da fonte utilizada reduzindo custos na produção das formas energéticas secundárias.

No Ciclo de Rankine utiliza-se o calor proveniente da queima de combustíveis, onde o vapor é gerado em uma caldeira ou gerador de vapor, sendo posteriormente enviado a uma turbina a vapor para geração de energia mecânica/elétrica. Os gases

de exaustão da turbina ou de extração numa turbina de condensação são utilizados como calor de processo, sendo que este calor encontra-se geralmente a uma baixa pressão. Devido a essa característica, é o ciclo mais utilizado em sistemas de cogeração.<sup>(3)</sup>

O poder calorífico é a quantidade de calor ou energia proveniente da combustão completa da unidade de massa ou volume de um determinado combustível. Pode ser dividido em PCS e PCI. O primeiro considera a quantidade de calor necessário para retirar a umidade do combustível, já no PCI, a quantidade de calor necessária para que toda a umidade seja evaporada é deduzido do valor.

A planta termoelétrica é composta por máquinas térmicas para a geração de energia elétrica por meio da combustão de fontes caloríficas. Seus principais constituintes são a caldeira, a turbina e o gerador. O funcionamento básico se dá pela queima do combustível na caldeira aquotubular. No presente estudo, pretende-se utilizar a biomassa. O calor gerado nessa combustão aquece a água. O vapor d'água é conduzido à alta pressão à turbina, movimentando as pás da turbina que gira junto com o eixo de um gerador elétrico, produzindo energia.

As empresas brasileiras Sykué Bioenergy e Dedini assinaram, no dia 18 de julho de 2012, contrato para a instalação de uma usina termelétrica que vai gerar 30 MW, usando como combustível a biomassa do capim elefante. A maior parte das termelétricas movidas à biomassa (material orgânico cultivado) no Brasil usa bagaço da cana. Será a primeira Termoelétrica a capim elefante no Brasil e no mundo.<sup>(4)</sup>

### 3.4 Aciaria Elétrica

Processo de transformação de sucata e gusa sólido em aço líquido. Seu processo se dá pelo Forno Elétrico à Arco (FEA). O FEA é um forno de aciaria elétrica, em que três eletrodos produzem um arco elétrico, cuja energia transferida para a carga é capaz de produzir sua fusão e refino. O FEA é um equipamento muito versátil de produção de aço e, nas últimas décadas, vem se tornando um dos mais eficientes. Dentre suas vantagens está em poder ser carregado com 100% de sucata, permite operação intermitente e mudanças rápidas de operação, é o forno que alcança os níveis mais baixos de fósforo e enxofre, e é eficiente em termos energéticos.<sup>(5)</sup>

De acordo com Knut, Akif e Dogan<sup>(6)</sup> a Figura 1 abaixo representa os custos de energia em uma pequena siderúrgica que produz barras de aço para construção civil, onde a energia elétrica representa 52% do custo total da energia consumida.

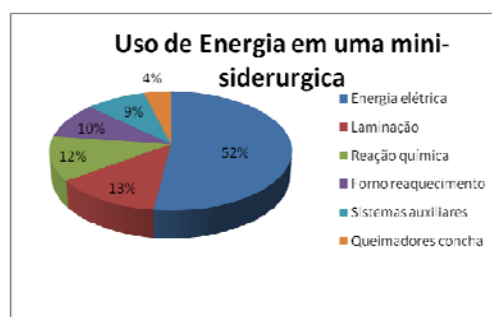


Figura 1: Uso de energia em uma mini-siderúrgica.<sup>(6)</sup>

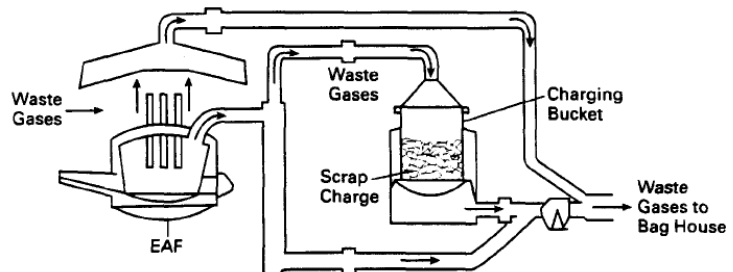
Uma alternativa para reduzir os custos com a energia elétrica é o preaquecimento da sucata que pode ser feito meio de gases a temperatura acima de 700°C, retirados do forno FEA durante o processo de refino. Atualmente existem vários sistemas de preaquecimento de sucata como mostra a Tabela 1. Com o preaquecimento surgem

os benefícios ambientais como a diminuição de emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> além de aumentar a produção.<sup>(6)</sup>

**Tabela 1:** Características entre os fornos de Aciaria elétrica<sup>(6)</sup>

Características entre os tipos de Fornos	FEA Convencional	Consteel	Dedo eixo	EPC
Desliga	Cesta de sucata 12-14 min.	Carregamento contínuo 6-8 min.	Cesta de sucata/dedos 12-14min	Carregamento contínuo 6-8 min.
Preaquecimento	Não	Baixa eficiência	Média eficiência	Muito eficiente
Energia conservada	400kWh/t	360kWh/t	335kWh/t	290kWh/t
Gás conservado	6Nm <sup>3</sup> /t	3Nm <sup>3</sup> /t	6Nm <sup>3</sup> /t	3Nm <sup>3</sup> /t
limitação de sucata	sim	sim	sim	não
Densidade da sucata	sim	sim	sim	não
Rendimento metálico	0	0,50%	1%	1%
Queimadores requeridos	Sim	Não	Sim	Não
Água de arrefecimento	painéis	Carro/túnel	Eixo/dedo	Não
Despoeiramento	100%	100%	70%	50%
Altura do prédio	Médio	Médio	alto	Médio
Vibração	100%	aprox. menos 30%	aprox. menos 30%	aprox. menos 40%

A Figura 2 mostra um esquema de preaquecimento de sucata em um bucket ou balde.



**Figura 2:** Diagrama de preaquecimento de sucata.<sup>(7)</sup>

Dentro de um FEA temos os pontos quentes, que se encontram na direção radial de cada eletrodo, e pontos frios, que são o espaço entre dois eletrodos, conforme a Figura 3. Assim, posicionando oxi-queimadores nestes locais, uniformiza-se a carga de energia dentro do forno e gera uma pós-combustão do gás CO, resultando em uma fusão mais rápida, economizando assim energia elétrica.<sup>(8)</sup>

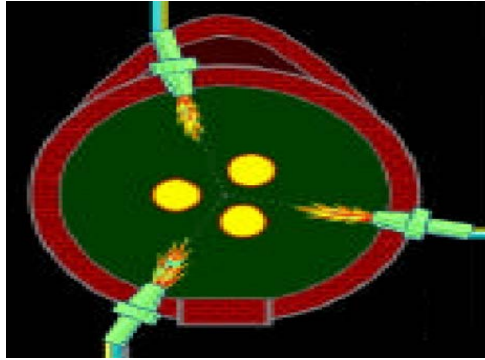


Figura 3: Posição dos oxi-queimadores nos pontos frios do FEA. (8)

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Por meio da queima da biomassa dentro da caldeira, que levará o vapor de água superaquecido até a turbina, será produzida energia elétrica para alimentar o forno elétrico a arco, no processo de produção do aço na aciaria elétrica. Dependendo da quantidade de briquete e da capacidade da caldeira e turbina, a termoelétrica poderá gerar uma quantidade de energia até maior que a necessária para o forno elétrico, podendo então vender seu excedente.

Já as fumaças, oriundas da queima direta da biomassa dentro da caldeira, poderão ser utilizadas no aumento da temperatura do forno elétrico, elevando a temperatura nos “pontos frios”, além de gerar uma escória espumante, reduzindo assim o gasto de energia elétrica. Produzindo-se, então, um aço melhor e mais barato. Esse método possui vantagens pelo fato de utilizar-se um material de baixo custo, com potencial energético, mas muitas vezes desperdiçado, além de ser uma ótima fonte renovável. A Figura 4 ilustra a geração de energia elétrica (caminho azul) e utilização das fumaças no banho metálico (caminho vermelho) à partir da queima da biomassa na caldeira (verde).

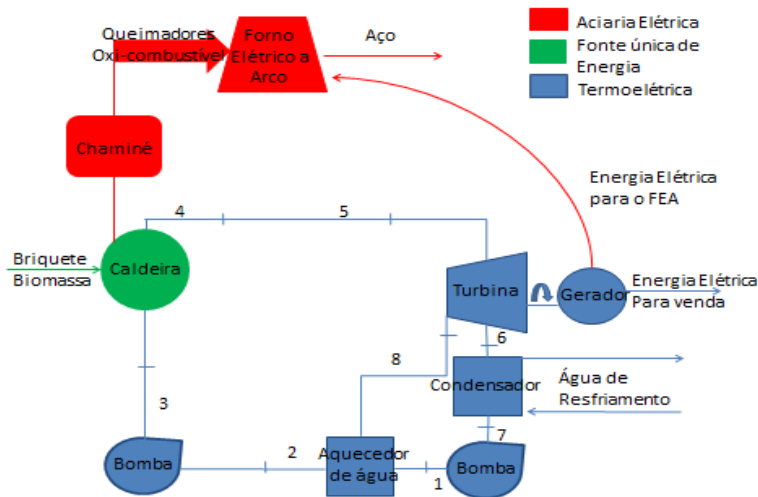


Figura 4: Fluxograma da produção de energia elétrica via cogeração.

Neste estudo, foi utilizado o briquete de capim elefante para combustão na caldeira. Sua vantagem está no elevado PCI, de 4.100 kcal/kg<sup>(1)</sup> em relação à casca *in natura*, menor umidade e maior densidade, favorecendo o armazenamento e transporte.<sup>(9)</sup>

Esse material será queimado em uma termoelétrica que opera segundo o Ciclo de Rankine, com um rendimento de 33%.<sup>(10)</sup> Para cálculo da quantidade de biomassa utilizada na caldeira foi usada a seguinte equação:<sup>(11)</sup>

$$\eta = \frac{\dot{W}}{PCI \cdot \dot{m}} \quad (1)$$

Onde:  $\dot{W}$  é a potência elétrica a ser gerada  
 $\dot{m}$  é a vazão mássica (ou volumétrica, no caso de gases)  
 $\eta$  é o rendimento do ciclo de Rankine

Este cálculo da vazão mássica partiu do conceito da primeira lei da termodinâmica, onde é possível tomar o valor do PCI desta biomassa para estimar o valor de potência elétrica que se deseja produzir.

Assim, no contexto da produção de aço, a estimativa da quantidade de material injetado para produção de uma tonelada de aço em uma hora teve como base de cálculo a vazão mássica do briquete, conforme a Equação (1), onde se foi considerada uma potência de 1.800 MJ/h<sup>(12)</sup> necessária para a produção de 100 toneladas de aço. O cálculo do orçamento do custo para produção de uma tonelada de aço no tempo de uma hora, também foi considerado, devido isso se tem o custo do briquete no mercado. Os dados necessários estão na Tabela .2

**Tabela 2:** Informações para a produção de energia elétrica com queima de Capim Elefante

Capim Elefante			
Dados	Unidades	Valores	Fonte
PCI do briquete	MJ/kg	17,1	[1]
Densidade do briquete	kg/m <sup>3</sup>	580	[12]
Custo do briquete no mercado	R\$/kg	0,20	[1]
Rendimento térmico do ciclo	%	0,33	[10]
Pot. Média necessária (1 ton de aço)	MJ/h	1800	[11]

Já para o gás natural, para efeito de comparação, usou-se a Tabela 3.

**Tabela 3:** Informações para a produção de energia elétrica com queima de Gás Natural

Gás Natural			
Dados	Unidades	Valores	Fonte
PCI do gás	MJ/m <sup>3</sup>	35,95	[13]
Custo do gás	R\$/m <sup>3</sup>	0,60	[14]
Rendimento térmico do ciclo	%	0,33	[10]
Pot. Média necessária (1 ton de aço)	MJ/h	1800	[11]

Para uma melhor análise e comparação calculou-se o capim elefante e o gás natural nas unidades de compra, USD por MMBTU, além do PCI em MMBTU por m<sup>3</sup>. O custo do gás natural é de 8 USD por MMBTU<sup>(13)</sup> na Rússia, China e na Índia, com o PCI de 0,034 MMBTU por m<sup>3</sup>, já o capim elefante, para manter a base de cálculo, possui um valor de 6,05 USD por MMBTU e PCI de 9,40 MMBTU por m<sup>3</sup>.

Para que haja a combustão completa do capim elefante, usou-se 30% de excesso de ar na relação ar/combustível. Tendo esta ideia sido retirada do exemplo 12.5, página 407, do Sonntag.<sup>(11)</sup> Assim para se encontrar o excesso, tem-se a análise elementar do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Análise química elementar do Capim Elefante

Elemento	Análise Elementar (% massa)	MM (g/mol)	Número de moles (para 100g)
C	38,6	12	3,22
H	5,16	2	2,58
O	36,9	32	1,15
N	1,47	28	0,05
S	0,19	32	0,006

Tendo que para este material haja três reações, conforme a Tabela 5, para a combustão, onde se fez a estequiometria destas com a quantidade de mols entendidos na Tabela 4, achou-se a quantidade de ACteórico, que é a relação ar/combustível sem excesso, e AF, que é a relação ar/combustível com 30% de excesso de ar.

**Tabela 5:** Relação ar/combustível do Capim Elefante

Reações de combustão		
0,0059 S +	0,0059 O <sub>2</sub> =	0,0059 SO <sub>2</sub>
2,5800 H <sub>2</sub> +	1,2900 O <sub>2</sub> =	2,6 H <sub>2</sub> O
3,2167 C +	3,2167 O <sub>2</sub> =	3,2 CO <sub>2</sub>
4,5126 kmol de O <sub>2</sub> necessários/100 Kg de combustível		
-1,1531 kmol de O <sub>2</sub> no combustível/100 Kg de combustível		
3,3595 kmol de O <sub>2</sub> do ar /100 kg de combustível		
ACteórico = 4,6326 kg de ar/ kg de combustível		
Para 30% de excesso de ar, a relação ar-combustível será:		
AF = 6,0224 kg de ar/ kg de combustível		

Com estes métodos e materiais poder-se-iam então gerar, a partir de uma fonte única de combustível, energia mecânica/elétrica e energia térmica, com a fumaça, para ajudar no aquecimento dos pontos frios do forno elétrico, além de ser útil para a formação de escoria espumante.

## 5 RESULTADOS

Com a realização dos cálculos com a Equação (1) e os dados das Tabelas 2, 3 e 5, foram encontradas as vazões volumétricas e vazões mássicas, para um melhor entendimento quando houver comparação e para saber a quantidade de briquete necessária na caldeira para a produção de 1.800 MJ/h,<sup>(12)</sup> respectivamente. Os resultados estão apresentados na Tabela 6, para o Capim Elefante e na Tabela 7, para o Gás Natural.

**Tabela 6:** Vazão e Custo do Capim Elefante para 1.800 MJ/h<sup>(12)</sup>

Capim Elefante		
Resultados	Unidades	Valores
Vazão mássica de briquete	kg/h	318,98
Vazão volumétrica de briquete	m <sup>3</sup> /h	0,55
Vazão de ar para combustão	m <sup>3</sup> /h	2233,74
Custo (1 ton de aço)	R\$	<b>R\$ 63,80</b>

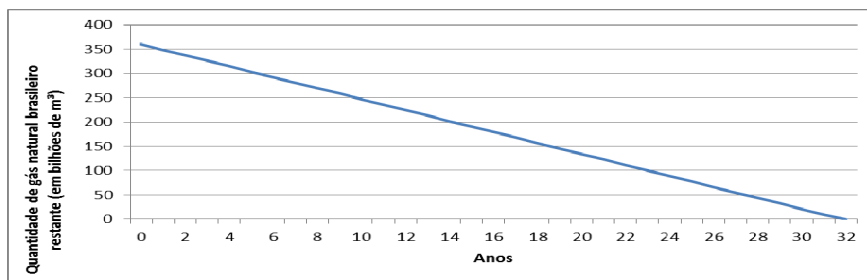


**Tabela 7:** Vazão e Custo do Gás Natural para 1.800 MJ/h<sup>(12)</sup>

Gás Natural		
Resultados	Unidades	Valores
Vazão volumétrica	m <sup>3</sup> /h	151,73
Custo (1 ton de aço)	R\$	<b>R\$ 91,04</b>

## 6 DISCUSSÕES

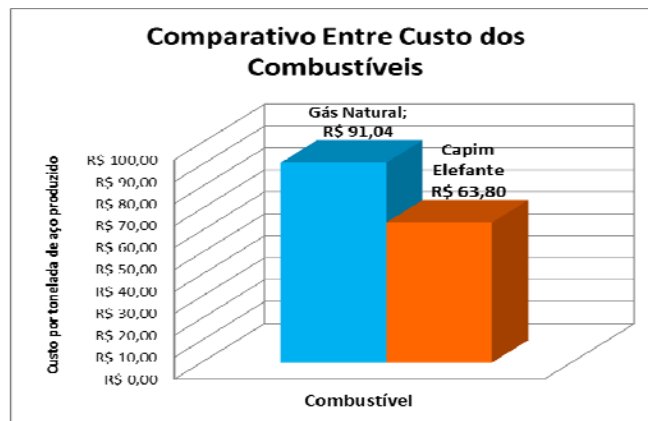
Já são utilizadas termelétricas, que o combustível na entrada do processo é o Gás Natural, porém, conforme a Aneel,<sup>(2)</sup> a projeção deste acabar, aqui no Brasil, é de alguns anos, conforme a Figura 5.



**Figura 5:** Quantidade de gás natural disponível no Brasil, considerando o consumo e disponibilidades atuais, em função do seu tempo de exaustão.

Assim o conceito de usar biomassa está sendo não só muito pesquisado, como já implementado. Um exemplo é em Ribeirão Preto, na PIE-RPTermoeletrica S/A, com capacidade de instalação de 27,8 MW e consumo de média de 1.300 toneladas de bagaço de cana por dia, com custo de trinta milhões de reais entre 2002 e 2004.<sup>(16)</sup> Mas o propósito se diferencia pela implementação de uma usina de cogeração, uma termoeletrica que gerasse energia elétrica pra a manutenção do forno elétrico a arco, conforme a Figura 4.

Foram calculadas as quantidades de material necessário para ser alimentado na caldeira, em suas respectivas unidades, para fazer uma comparação de custo para produzir uma tonelada de aço em uma hora. Percebe-se que há uma enorme vantagem no uso de biomassa de capim elefante, conforme a Figura 5. Apesar de seu poder calorífico inferior ao do gás natural, seu custo muito inferior o torna uma excelente alternativa. Estima-se uma redução da ordem de 62,8 % considerando os custos atuais dos dois combustíveis. Com a aplicação da tecnologia em tela, também é de se esperar uma redução das emissões de gases de efeito estufa, devido à substituição do gás natural pela biomassa em tela.



**Figura 5:** Gráfico comparativo entre custo dos combustíveis.

Finalmente comenta-se que o aproveitamento da fumaça gerada nos queimadores deverá permitir:

- acréscimo de energia térmica ao FEA pela troca de calor entre os gases quentes e o banho;
- auxílio na redução do ferro devido a seus gases redutores, CO e CH<sub>4</sub>;
- maior espumação da escória;
- melhorias quanto ao desgaste de refratários e eletrodos;
- aquecimento dos pontos frios dentro do FEA;
- diminuição no tempo de corrida;
- redução do consumo específico de energia elétrica; e
- redução ou até extinção do uso do gás natural para injeção no FEA.

## 7 CONCLUSÃO

É de se notar que no futuro empresas termoelétricas necessitarão de biomassas para operar, devido à queda da produção de gás natural. Com isso, combinando uma indústria siderúrgica e termoelétrica, com uma única fonte combustível, forma-se uma empresa sustentável com reduzido custo de operação.

É importante observar, que desta pesquisa, usando queimador oxi-combustível, a fumaça da queima pode ser usada na injeção trazendo certos benefícios, tais como:

- acréscimo de energia térmica ao FEA pela troca de calor entre os gases quentes e o banho;
- auxílio na redução do ferro devido a seus gases redutores, CO e CH<sub>4</sub>;
- espumação da escória;
- melhorias quanto ao desgaste de refratários e eletrodos;
- aquecimento dos pontos frios dentro do FEA;
- diminuição no tempo de corrida;
- redução do gasto de energia elétrica; e
- redução ou até extinção do uso do gás natural para injeção no FEA.

Além de, em trabalhos futuros, misturar as biomassas com gás natural, para então obter-se dados experimentais e reais do poder calorífico da mistura, produzindo energia elétrica para a fabricação do aço e utilizando as fumaças para aquecer o mesmo forno.

## Agradecimento

Os autores desse artigo gostariam de agradecer ao Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas pelas análises elementares, a EcoEnviroX pelo apoio ao desenvolvimento do presente estudo e a UFOP pelo apoio incondicional a inovação. A Fundação Gorceix, Fapemig e CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 ROCHA , E. P. A.; SOUZA D. F.; DAMASCENO S. M. Estudo da Viabilidade da Utilização de Briquete de Capim como Fonte Alternativa de Energia para Queima em Alto-Forno. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica-Uberaba-MG, p. 1-6, 2009.
- 2 GASNET. O que é gás natural, 1999. Periódico disponível em: <[www.gasnet.com.br/menu/default.asp?sub=104#104](http://www.gasnet.com.br/menu/default.asp?sub=104#104)>. Acesso em: Dez. 2012.
- 3 SONEGHETI, M. C.; Geração Termoelétrica, Projeto de Graduação, UFES, 2001.
- 4 AKATU. Brasil terá primeira termelétrica a capim do planeta. 2 ago. 2007. Disponível em: <<http://www.akatu.org.br/Temas/Energia/Posts/Brasil-tera-primeira-termeletrica-a-capim-do-planeta>>. Acesso em 22 jan. 2013.
- 5 BAJAY, Sérgio Valdir. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico (2025): Eficiência Energética na Siderurgia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009 (Nota Técnica).
- 6 Knut, (Rummler), Akif (Tunaboylu), Dogan (Ertas) New Generation in Preheating Technology for Electric Arc Furnace Steelmaking. Iron&Steel Technology, vol10, No1, pg.90-96, January 2013.
- 7 Electric Arc Furnace Scrap Preheating, published by the EPRI Center for Materials Production.
- 8 COSTA E SILVA, André Luiz V. Elaboração do Aço em Forno Elétrico a Arco. 45f. ABM-FEI pós Graduação. 2006
- 9 STOCKL, Indústria de briquetes. Disponível em: <<http://stocklbriquetes.com.br>>. Acesso em: dezembro de 2012.
- 10 MALHEIRO, S. Estudo de Viabilidade de Instalações Energéticas. Seminário Internacional – A Biomassa Florestal, Energia e o Desenvolvimento Rural-UCP. Dez., 2005.
- 11 Wylen, G.J.V. Sonntag, R.E. Borgnakke, C. Fundamentos da Termodinâmica Clássica. 4 ed. São Paulo: Editora Blucher, 1995. 585 p.
- 12 Silva, A.L.V.C. Elaboração do Aço em Forno Elétrico a Arco. ABM-FEI Pós Graduação. 2006.
- 13 MAZZARELLA, V.N.G. Capim Elefante Como Fonte de Energia no Brasil: Realidade Atual e Expectativas. Prêmio FINEP Inovação Tecnológica, Instituições de Pesquisa, 2002. BNDES, Rio de Janeiro. Dez. 2007
- 14 Poder Calorífico Inferior. Disponível em: <<http://www.caldeirasagricola.com.br/produtos/combustiveis%20alternativos.pdf>>. Acesso em: 18 de Janeiro de 2013.
- 15 AGÊNCIA BRASIL. Preço alto do gás natural no Brasil reduz a competitividade da indústria nacional. Disponível em: <[http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/12/13/internas\\_economia,267191/preco-alto-do-gas-natural-no-brasil-reduz-a-competitividade-da-industria-nacional.shtml](http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/12/13/internas_economia,267191/preco-alto-do-gas-natural-no-brasil-reduz-a-competitividade-da-industria-nacional.shtml)>. Arquivo capturado em 25 de jan. 2013

- 16 JORNAL A CIDADE. Termoelétrica funciona só com bagaço de cana. {online}. Disponível em: <[http://www.ecoeacao.com.br/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=5061](http://www.ecoeacao.com.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=5061)>. Arquivo capturado em 18 de jan. 2013