

# UTILIZAÇÃO DE CASCA DE ARROZ COMO FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL NA ACIARIA ELÉTRICA<sup>1</sup>

*Renan Cesar Artilha<sup>2</sup>*

*Tiago Luis Oliveira<sup>3</sup>*

*Carlos Frederico Campos de Assis<sup>4</sup>*

*Paulo Santos Assis<sup>5</sup>*

## Resumo

Esse trabalho procura utilizar insumos agroindustriais nos processos de fabricação do aço, como fonte de energia renovável. Na aciaria elétrica, a casca de arroz (CA) pode ser um deles, devido sua abundância e alta capacidade calorífica. Além de ser um dos alimentos mais consumidos no mundo, o arroz é fonte de biomassa. Sua casca representa 20% do seu peso. Dos três milhões de toneladas de CA produzidas por ano no Brasil, a maior parte é descartada. Uma pequena parte é reciclada, porém esse processo libera dióxido de carbono e particulados, que são poluentes atmosféricos. O gás natural (GN) já é usado na aciaria para o melhoramento dos “pontos frios” dentro do forno, além de contribuir diretamente para substituição da energia elétrica por energia fóssil. Entretanto, ele apresenta algumas desvantagens em relação à CA, principalmente por tratar-se de um combustível fóssil, uma energia esgotável e poluente. Através da queima da CA, no lugar do GN, produzir-se-á energia elétrica de forma limpa e sustentável. Essa prática reduz o consumo de GN, a compra de energia elétrica das concessionárias e resolve o problema dos resíduos sólidos da rizicultura.

**Palavras-chave:** Aciaria elétrica; Termoelétrica; Biomassa; Casca de arroz.

## USE OF RICE HUSK AS RENEWABLE ENERGY RESOURCE IN ELECTRIC STEELMAKING

### Abstract

The main idea of this study is to use the biomass in the ironmaking process, as renewable energy resource. In the electric steelmaking, the Rice Husk (RH) can be one of them, due of its high productivity and considerable calorific value. The RR is one of the most consumed food all around the world and biomass source. The husk represents 20% of the rice weight. From the 3 million tons of RH produced in Brazil per year, the most is discarded. A small part is recycled, but this process releases carbon dioxy and fines, which are atmospheric pollutants. The Natural Gas (NG) is used nowadays in electric steelmaking to make better the "cold points" inside the oven, furthermore contributing to change electric energy for fossil fuel. However, it shows some disadvantages compared with EG, mainly, because it is a fossil fuel, finite and polluting. Through the RH burn (ICP = 3.300 kcal/kg), in the place of NG, will be produced electric energy in a clean and sustainable way. This practice decrease the NG consumption, the buying of electric energy from concessionaires and solve the solid waste from rice culture.

**Key words:** Electric ironmaking; Thermoellectrics; Biomass; Rice husk.

<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 a casca de arroz, cuja massa representa 20% de toda a massa do arroz. Ou seja, sua produção é grande, visto que o arroz é um dos alimentos mais consumidos no mundo, e muitas vezes desperdiçada.

## **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, o capim elefante, gerando, assim, energia e aço de forma limpa e renovável. Além de estudar qualitativamente a fumaça, que sai da caldeira, em aplicações na aciaria elétrica, como o preaquecimento da sucata, diminuição dos pontos frios e geração de escória espumante.

## **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 do gusa líquido.

### 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

Biomassa: 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.<sup>(1)</sup> A biomassa residual, 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, podem ter seu aproveitamento otimizado por meio da produção de briquetes. Sua produção simples se dá pela secagem e prensagem.<sup>(2)</sup>

Da produção de arroz, sua casca representa 20% de sua massa. Sendo o arroz um dos alimentos mais consumidos em todo o mundo, o resíduo de sua produção também é bastante significativo. Por isso a biomassa da casca de arroz não deve ser descartada como lixo, mas aproveitada como fonte de energia limpa e barata, sendo seu custo médio de R\$ 0,20/kg e seu PCI de 3.200 kcal/kg,<sup>(3)</sup> já na forma briquetada é da ordem de 3.800 kcal/kg, sendo seu preço R\$ 0,20/kg.<sup>(4)</sup>

O gás natural é um combustível fóssil constituído da mistura de hidrocarbonetos gasosos, originados da decomposição de matéria orgânica fossilizada 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>(5)</sup>

### 3.3 Conceitos Termodinâmicos

A Primeira 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.<sup>(6)</sup>

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>(7)</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. 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 vendê-la.

### 3.4 Aciaria Elétrica

Processo de transformação de sucata e gusa sólido em gusa 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. Geralmente o FEA é utilizado apenas para a fusão do metal, sendo o refino do gusa líquido feito no forno panela. O FEA é um instrumento 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, é eficiente em termos energéticos.<sup>(8)</sup>

De acordo com Knut, Akif e Dogan,<sup>(9)</sup> a Figura 1 representa os custos com a energia elétrica em uma pequena siderúrgica que produz barras de aço para construção civil.

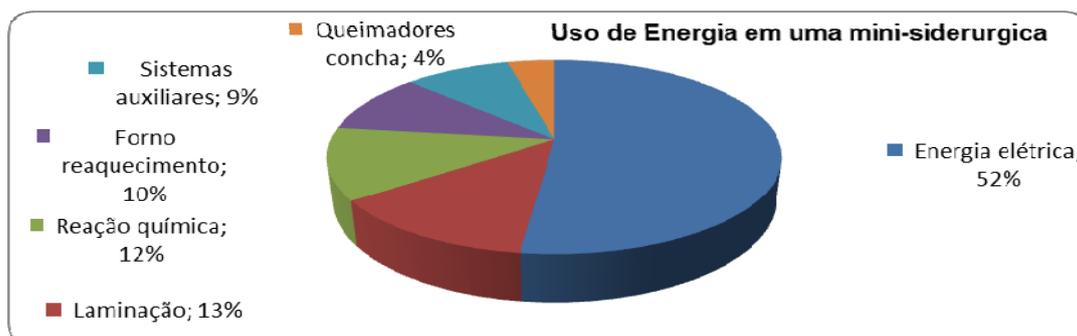


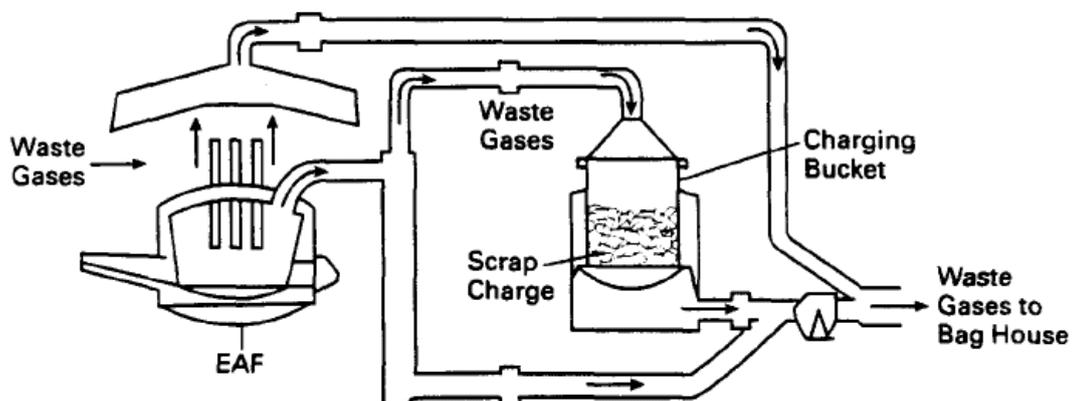
Figura 1. Uso de energia em uma mini-siderurgica.<sup>(9)</sup>

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>(9)</sup>

**Tabela 1.** Características entre os fornos de Aciaria elétrica<sup>(9)</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	400 kWh/t	360 kWh/t	335 kWh/t	290 kWh/t
Gás conservado	6 Nm <sup>3</sup> /t	3 Nm <sup>3</sup> /t	6 Nm <sup>3</sup> /t	3 Nm <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
Tremer	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>(10)</sup>

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Já as fumaças, oriundas da queima direta da biomassa dentro da caldeira, poderão ser utilizadas no aumento da temperatura do forno elétrico, além de gerar uma escória espumante, reduzindo assim o gasto de energia elétrica produzindo 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. Estas informações podem ser visualizadas na Figura 1.

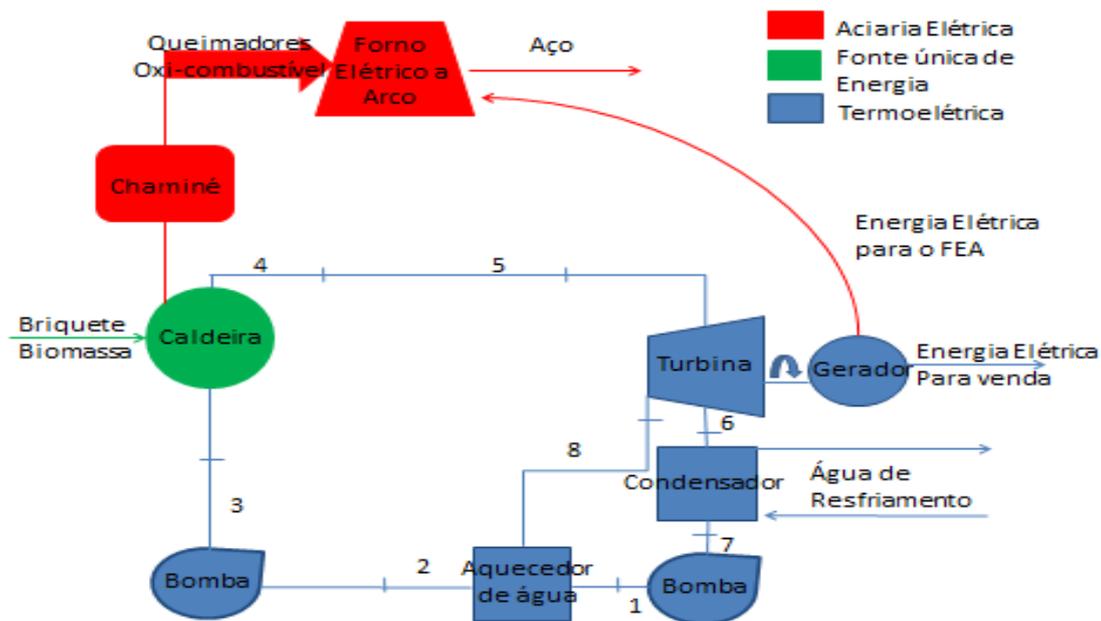


Figura 3. Fluxograma da produção de energia elétrica via cogeração.

Neste estudo, foi utilizado o briquete de casca de arroz para combustão na caldeira. Sua vantagem está no elevado PCI, de 3.800 kcal/kg<sup>(4)</sup> em relação à casca *in natura*, menor umidade e maior densidade, favorecendo o armazenamento e transporte.<sup>(2)</sup> Esse material será queimado em uma termoeletrica que opera segundo o Ciclo de Rankine, com um rendimento de 33%.<sup>(11)</sup> Para cálculo da quantidade de biomassa utilizada na caldeira foi usada a seguinte equação, retirada do Sonntag:<sup>(6)</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); e
- $\eta$  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 (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, para efeito de comparação têm-se também os do gás natural.

**Tabela 2.** Informações para a produção de energia elétrica com queima da Casca de Arroz e do Gás Natural

Dados	Unidades	Casca de Arroz		Gás Natural	
		Valores	Fonte	Valores	Fonte
PCI do briquete	MJ/kg	15,9	[2]	35,95	[1]
Densidade do briquete	kg/m <sup>3</sup>	120	[13]	0,60	[13]
Custo do briquete no mercado	R\$/kg	0,20	[2]		
Rendimento térmico do ciclo	-	0,33	[9]	0,33	[9]
Pot. Média necessária (1 ton de aço)	MJ/h	1800	[11]	2880	[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 custo do briquete no mercado da casca de arroz, para manter a base de cálculo, foi multiplicado pelo inverso do PCI, pelo valor do dólar e pela relação MJ por MMBTU, encontrando-se um valor de 6,05 USD por MMBTU e PCI, que foi o PCI do briquete multiplicado pela relação MJ por MMBTU e pela densidade do mesmo, de 8,74 MMBTU por m<sup>3</sup>.

Para que haja a combustão completa da casca de arroz, 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>(6)</sup> Assim para se encontrar o excesso, tem-se os dados da análise elementar do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas na Tabela 3.

Esta casca de arroz foi homogeneizada, quartiada, pulverizada e classificada na granulometria abaixo de 200#, usando para isso adaptação da norma europeia EN 14780<sup>(14)</sup> (biocombustíveis sólidos - A preparação da amostra) e preparado no Laboratório de Tratamento Minério do Departamento de Minas Universidade Federal de Ouro Preto. No caso da análise química elementar foi adaptada da norma EN 15104<sup>(15)</sup> e EN 15289<sup>(16)</sup> e a análise do poder calorífico da norma EN 14918.<sup>(17)</sup>

**Tabela 3.** Análise química elementar da casca de arroz

Elemento	Análise Elementar (% massa)	MM (g/mol)	Número de moles (para 100g)
C	35,4	12	2,95
H	5,23	2	2,62
O	38,39	32	1,20
N	0,66	28	0,02
S	0,12	32	0,004

Tendo que para este material haja três reações, a de combustão do enxofre, do carbono e do hidrogênio.

Com este método e materiais poderíamos 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 e preaquecimento da sucata, além de ser útil para a formação de escoria espumante.

## 5 RESULTADOS

Com o fornecimento de informações da Tabela 3, montou-se a Tabela 4, onde se fez a estequiometria das reações de combustão, achando-se então 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 4.** Relação ar/combustível da casca de arroz

Reações de combustão		
0,0038 S +	0,0038 O <sub>2</sub> =	0,0038 SO <sub>2</sub>
2,6150 H <sub>2</sub> +	1,3075 O <sub>2</sub> =	2,6 H <sub>2</sub> O
2,9500 C +	2,9500 O <sub>2</sub> =	3,0 CO <sub>2</sub>
4,2613 kmol de O <sub>2</sub> necessários/100 kg de combustível		
-1,1997 kmol de O <sub>2</sub> no combustível/100 kg de combustível		
3,0616 kmol de O <sub>2</sub> do ar /100 kg de combustível		
ACteórico = 4,2218 kg de ar/ kg de combustível		
Para 30% de excesso kg de ar/ kg de combustível		
AF = 5,4884 kg de ar/ kg de combustível		

Com a realização dos cálculos com a Equação 1 e os dados das Tabela 2, junto com o resultado da Tabela 4, foram encontrados 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 5, para a Casca de Arroz e na Tabela 6, para o Gás Natural.

**Tabela 5.** Vazão e Custo da Casca de Arroz para 1800MJ/h<sup>(12)</sup>

Casca de Arroz		
Resultados	Unidades	Valores
Vazão mássica de briquete	kg/h	343,05
Vazão volumétrica de briquete	m <sup>3</sup> /h	4,57
Vazão de ar para combustão	m <sup>3</sup> /h	1945,31
Custo (1 ton de aço)	R\$	<b>68,61</b>

**Tabela 6.** Vazão e Custo do Gás Natural para 1800MJ/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>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>(5)</sup> a projeção deste acabar aqui no Brasil será em alguns anos (Figura 4).

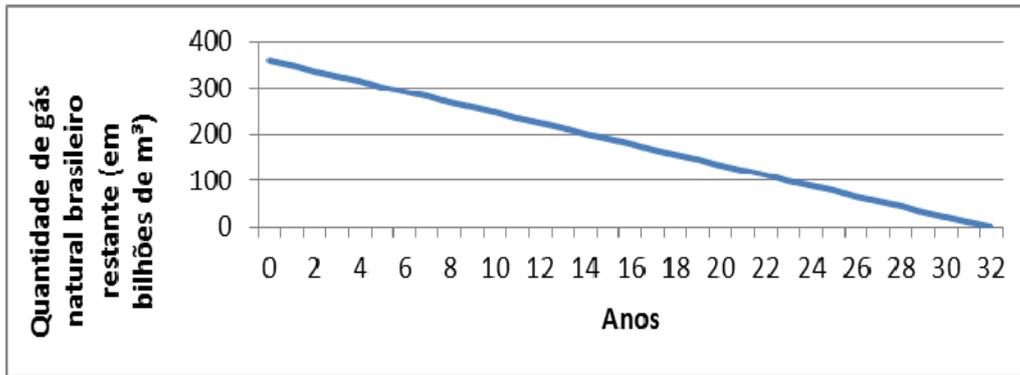


Figura 4. Gráfico da quantidade de anos para o uso total do gás natural brasileiro.

Assim o conceito de usar biomassa esta sendo não só muito pesquisado, como já implementado. Um exemplo é em Ribeirão Preto, na PIE-RPTermoelétrica S/A, com capacidade de instalação de 27,8 MW e consome de média de 1.300 toneladas de bagaço de cana por dia, com custo de trinta milhões de reais entre 2002 e 2004.<sup>(18)</sup> Mas a propósito se diferencia pela implementação de uma usina de cogeração, uma termoeletrica que gerasse energia elétrica pra a manutenção do forno elétrico a arco (Figura 3).

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 ferro em uma hora, percebendo-se que há uma enorme vantagem no uso de biomassa de capim elefante (Figura 5). Apesar de seu poder calorífico inferior ao do gás natural, seu custo muito inferior o torna uma excelente alternativa.

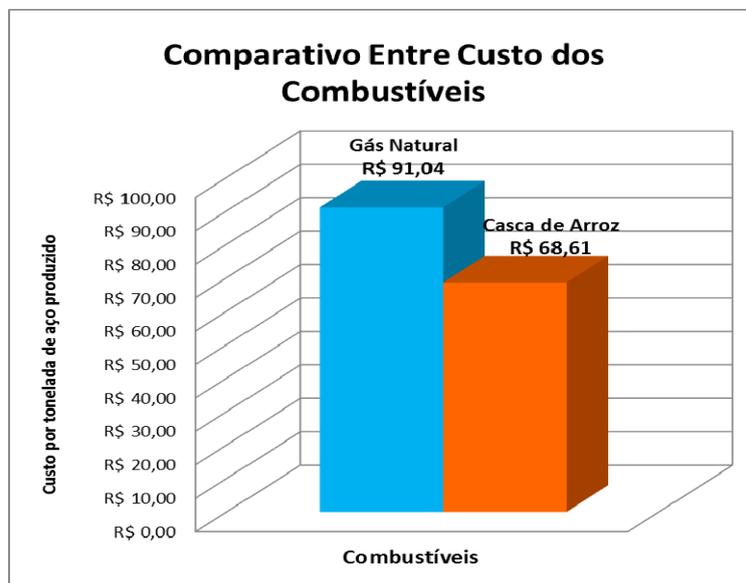


Figura 5. Gráfico comparativo entre custo dos combustíveis.

## 7 CONCLUSÃO

De acordo com a pesquisa, apesar de não obter dados experimentais, pode-se notar que no futuro empresas termoeletricas necessitarão de biomassas para operar, devido à queda da produção de gás natural. Com isso, combinando uma indústria siderúrgica e termoeletrica, com uma única fonte combustível, forma-se uma empresa sustentável com reduzido custo de operação.

É importante observar, que esta pesquisa está no começo por isso não possui dados/experimentos para a utilização na injeção em fornos elétricos, via queimador oxí-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, em trabalhos futuros, misturar as biomassas com gás natural, para então obter-se dados experimentais e reais do poder calorífico da mistura, fabricando então energia elétrica para a fabricação do aço e 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 PORTAL BRASIL. Energia: biomassa. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/matriz-energetica/bioenergia-biomassa/>>. Acesso em 03/12/12.
- 2 STOCKL, Indústria de briquetes, Disponível em: <<http://stocklbriquetes.com.br>>. Acesso em: dezembro de 2012.
- 3 ABEPRO, Associação Brasileira de Engenharia de Produção. Artigo disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP1997\\_T6505.PDF](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP1997_T6505.PDF)>. Acesso em: dezembro de 2012.
- 4 Poder Calorífico Inferior. Disponível em: <<http://www.caldeirasagricola.com.br/produtos/combustiveis%20alternativos.pdf>>. Acesso em: 18 de Janeiro de 2013.
- 5 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
- 6 SONNTAG *et al.*, Fundamentos da Termodinâmica, EUA, Ed. Blusher, 2009.
- 7 SONEGHETI, M. C.; Geração Termoelétrica, Projeto de Graduação, UFES, 2001
- 8 BAJAY, Sérgio Valdir. Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico (2025): Eficiência Energética na Siderurgia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009 (Nota Técnica).
- 9 Knut, R.; Akif T.; Dogan E. New Generation in Preheating Technology for Electric Arc Furnace Steelmaking. Iron&Steel Technology, Published by AIST USA, vol10, No1, p.90-96, January 2013.
- 10 Electric Arc Furnace Scrap Preheating, published by the EPRI Center for Materials Production.
- 11 MALHEIRO, Salvador. A Biomassa Florestal, Energia e o Desenvolvimento Rural. 2005, UCP

- 12 COSTA E SILVA, André Luiz V. Elaboração do Aço em Forno Elétrico a Arco. 45f. ABM-FEI pós Graduação. 2006
- 13 O ESTADO DE MINAS. Preço alto do gás natural no Brasil reduz a competitividade da indústria nacional. 13 DEZ. 2011. 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)>.  
Acesso em: 25 jan. 2013
- 14 AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE - ÖNORM. Solid biofuels — Sample preparation, EN 14780. Austria, 2011. 5 p.
- 15 AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE - ÖNORM. Solid biofuels — Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen — Instrumental methods, EN 15104. Austria, 2011. 4 p.
- 16 AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE - ÖNORM. Solid biofuels — Determination of total content of sulfur and chlorine, EN 15289. Austria, 2011. 4 p.
- 17 AUSTRIAN STANDARDS INSTITUTE - ÖNORM. Solid biofuels — Determination of calorific value, EN 14918. Austria, 2010. 4 p.
- 18 JORNAL A CIDADE. Termoelétrica funciona só com bagaço de cana. {online}. Disponível em:  
<[http://www.ecoacao.com.br/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=5061](http://www.ecoacao.com.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=5061)>.  
Acesso em: 18 jan. 2013