

# ESTUDO DA APLICAÇÃO DA BIOMASSA NAS MISTURAS DE CARVÕES UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE COQUE NAS BATERIAS DA COMPANHIA SIDERURGICA NACIONAL<sup>1</sup>

*Agenor Medrado da Silva<sup>2</sup>  
Miguel Angelo Bentes<sup>3</sup>  
Swami Botelho Medrado<sup>4</sup>  
Pedro Magalhães Sobrinho<sup>5</sup>  
João Andrade de Carvalho<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Esse trabalho tem como objetivo estudar as alternativas de misturas de carvões minerais com biomassa e a sua influência na qualidade do coque produzido em escala piloto e industrial. Foram selecionadas 20 misturas de carvões com percentuais de biomassa variando de 2,0 a 6,0 e caracterizadas 7 tipos de biomassas sendo as mesmas identificadas como BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO5, BIO6 e BIO7. A caracterização dos materiais foi feita no laboratório central da metalurgia da redução. Nos testes realizados em escala piloto com as misturas mostraram a redução no teor de enxofre e na fluidez com o aumento da participação da biomassa. O teor de cinzas aumentou 5% na mistura quando foi utilizado a BIO04 no nível de 6,0 %. Quanto ao F.S.I. (Índice de Inchamento do carvão), não houve alteração significativa nos resultados obtidos. A participação em percentagens de até 4,0 não afetou a resistência mecânica a frio do coque (D.I. 150/15), o mesmo não aconteceu para a reatividade do coque que aumentou com as biomassas BIO2, BIO3 e BIO7. Em relação ao tamanho médio do coque houve elevação de 16,0 mm. quando utilizou 6,0% da BIO4 na mistura de carvão. Os resultados de qualidade do coque obtidos nos testes em escala industrial ficaram compatíveis com os resultados obtidos no forno piloto.

**Palavras-chave:** Biomassa; Carvão; Coque; Reatividade; Coqueria; Forno teste.

## **STUDY OF THE BIOMASS APPLICATION IN THE COAL BLENDS USED IN THE CSN COKE PRODUCTION**

### **Abstract**

That work has as objective to study the alternatives of mixtures with coal blend and biomass and its influence in the coke quality produced in industrial and lab scale. Where selected 20 blends with biomass participation between 2 to 6 % and seven types of the biomass that were selected being the same identified as BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO5, BIO6 and BIO7. The characterization of that material was made in the central laboratory of the iron making department. In the tests accomplished in pilot scale the results showed that the sulfur content and fluidity decreased with the biomass participation in the blend increased. The ash content raised 5.0% in the coal blend with the 6.0% of the BIO4 utilization and the F.S.I. (free swelling index) not change significant. The participation in percentage up to 4.0 we didn't observe significant effects in the Drum index, the same not happening with the reactivity that went up in case of the BIO2, BIO3 and BIO7. The coke average size raised 16.0 mm. when utilized 6.0% of the biomass BIO4 in the blend. The results of the coke quality obtained in the industrial tests were compatible with the results obtained in the pilot tests.

**Key words:** Biomass; Coal; Coke; Reactivity; Coke plant; Pilot oven.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXXVII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Metalúrgico, MSc. - Especialista em redutores da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – GGPS/CSN.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalúrgico, MSc.- Especialista - Gerência Geral de Pesquisa e Desenvolvimento – GGPD/CSN.*

<sup>4</sup> *Engenheira Química – Coordenadora dos Laboratórios da GGPS/CSN.*

<sup>5</sup> *Phd Prof. Titular do curso de Mestrado e Doutorado em engenharia Mecânica da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP – Campus Guaratinguetá.*

# 1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica produzida pelas plantas através da fotossíntese é fonte energética de quase todos os seres vivos. Graças a grande cadeia alimentar, onde a base primária são os vegetais, essa energia é repassada para os animais, diretamente para os herbívoros e destes para os carnívoros primários e secundários. Plantas, animais e seus derivados são biomassas. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre e biogás são formas de biomassas utilizadas como combustíveis.<sup>(1)</sup>

A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO<sub>2</sub> e água nos hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando oxigênio, desta forma a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo.<sup>(1)</sup>

A biomassa pode ser utilizada em diversas formas e estado para obtenção das mais variadas formas de energia, sejam por conversão direta ou indireta. Como vantagens da utilização da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis pode-se citar a menor poluição atmosférica global e localizada e a estabilidade do ciclo de carbono. Em relação a outros tipos de energias renováveis, a biomassa, sendo energia química, se destaca pela alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte.<sup>(2)</sup>

A redução de custos de produção e a utilização de novas matérias-primas advindas de fontes renováveis vem sendo uma busca constante nas indústrias. Esse estudo tem como objetivo a substituição parcial do carvão mineral, que é uma fonte de energia não renovável e poluidora utilizado como combustível no processo de produção de coque e na injeção em altos-fornos.

A mistura de carvão obtida com base em material orgânico (biomassa), resultará na redução do consumo de carvão mineral e na emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.<sup>(3)</sup> Este resultado, em função do Protocolo de Kyoto, tem como efeito adicional à geração de créditos de carbono.<sup>(4)</sup>

## 2 MATERIAIS

### 2.1. Caracterização das Biomassas

A primeira etapa desse estudo foi a caracterização dos materiais recebidos no Centro de Pesquisas da CSN, na qual foram considerados e adicionados aos carvões minerais as biomassas designadas por BIO1 (casca de soja in natura) , BIO2 (casca de coco calcinada), BIO3 (casca de macadâmia in natura), BIO4 (casca de arroz calcinada) e BIO5 (casca de arroz in natura), BIO6 (casca de grão de café in natura) e BIO7 (carvão vegetal).

Segue na Tabela 1 os resultados obtidos na caracterização das biomassas BIO1, 2, 3, 4, 5,6 e 7.

**Tabela 1** – Caracterização de qualidade das biomassas.

Material	Matéria Volátil (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)	Carbono Fixo (%)	Fluidez (log ddpm)	F.S.I.
BIO1-Casca de soja (in natura)	63,5	8,9	0,34	27,7	N.D.	N.D.
BIO2-Casca de coco (calcinação)	50,9	7,2	0,07	41,9	N.D.	N.D.
BIO3-Casca de macadâmia (in natura)	76,5	2,5	0,21	21,0	N.D.	1,0
BIO4- Casca de arroz (calcinação)	6,3	90,7	0,01	3,0	N.D.	N.D.
BIO5-Casca de arroz (in natura)	13,0	44,9	0,01	42,1	N.D.	N.D.
BIO6- Casca de grão de café (in natura)	70,7	8,5	0,22	20,8	N.D.	1,0
BIO7- Carvão vegetal	27,5	3,3	N.D.	69,2	N.D.	N.D.

Para a produção do carvão com a BIO2, foi necessário o desenvolvimento de um forno de carbonização autógena no Centro de Pesquisas da CSN. As amostras após passarem pela estufa para uma secagem inicial foram cortadas em seções iguais e acondicionadas no forno de carbonização, sendo processadas até o estágio de carvão. A Figura 1 mostra algumas etapas da construção e operação do forno de carbonização para o processamento de biomassas.



**Figura 1** – Forno experimental Alvenaria refratária em construção.

Após a queima (autógena) do material no forno de combustão, foram enviadas amostras para análise estrutural no MEV (microscópio eletrônico de varredura), com ampliação de 100 a 500 vezes. As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram a estrutura desse

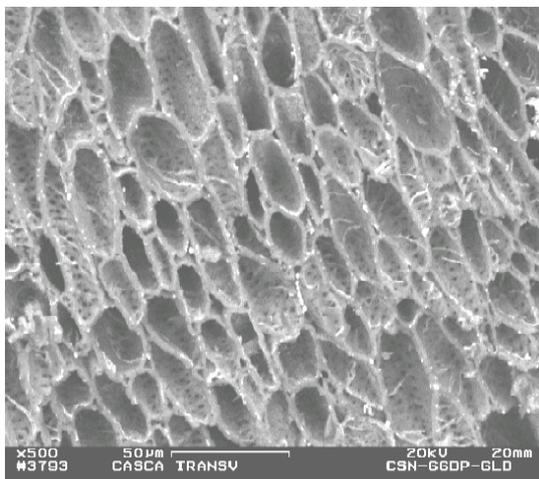
carvão produzido da biomassa (casca de coco).



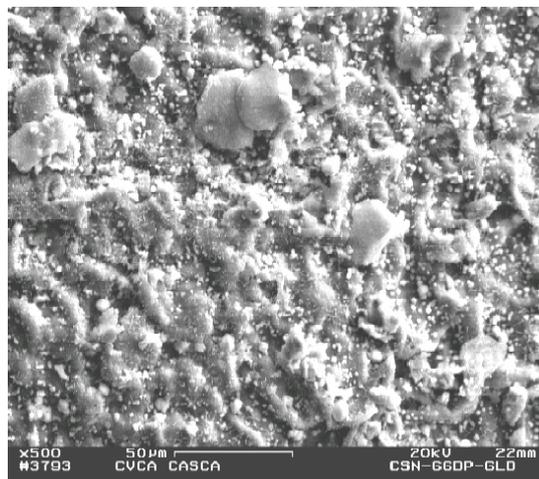
**Figura 2-** Ampliação de 100 vezes



**Figura 3-** Ampliação de 500 vezes



**Figura 4 –** Ampliação de 500 vezes



**Figura 5 –** Ampliação de 500 vezes

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Forno Piloto de Coqueificação (Laboratório de Redução da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – CSN)

Foram selecionadas 20 misturas contendo o carvão mineral do tipo médio teor em matéria volátil e biomassa com participação de 2 a 6%. Foi estabelecido o nível de 6,0% como percentagem máxima de participação nas misturas devido ao baixo nível de qualidade que esses materiais apresentaram pois é necessário que seja mantido os parâmetros de qualidade do coque dentro da especificação estabelecida pelos técnicos dos altos fornos.

A caracterização da qualidade das misturas utilizadas assim como do coque produzido no forno piloto foi feita no laboratório de redução da GGPS, tendo sido utilizado os seguintes equipamentos:

- Analisador Termogravimétrico LECO – TGA – 501;
- Analisador Automático de Enxofre total LECO – SC 132;
- Plastometro YOSHIDA modelo YM1092-F;

- Forno elétrico PRIZE (F.S.I.);
  - Forno elétrico analógica NA 3400 (determinação do índice de reatividade);
  - Tambor Rotativo (determinação do índice de resistência mecânica a frio).
- Para a produção do coque utilizado como referência nos testes realizados no forno piloto, foi selecionado um carvão do tipo médio teor em matéria volátil.

Condições dos testes realizados no forno teste:

- Temperatura das paredes = 980 °C;
- Densidade da carga = 789,1 (kg/m<sup>3</sup>);
- Velocidade de coqueificação = 36 (mm/h)
- Teor de umidade da carga = 5,5 %.

A Figura 6 mostra o isométrico do forno piloto de coqueificação do laboratório central da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos.

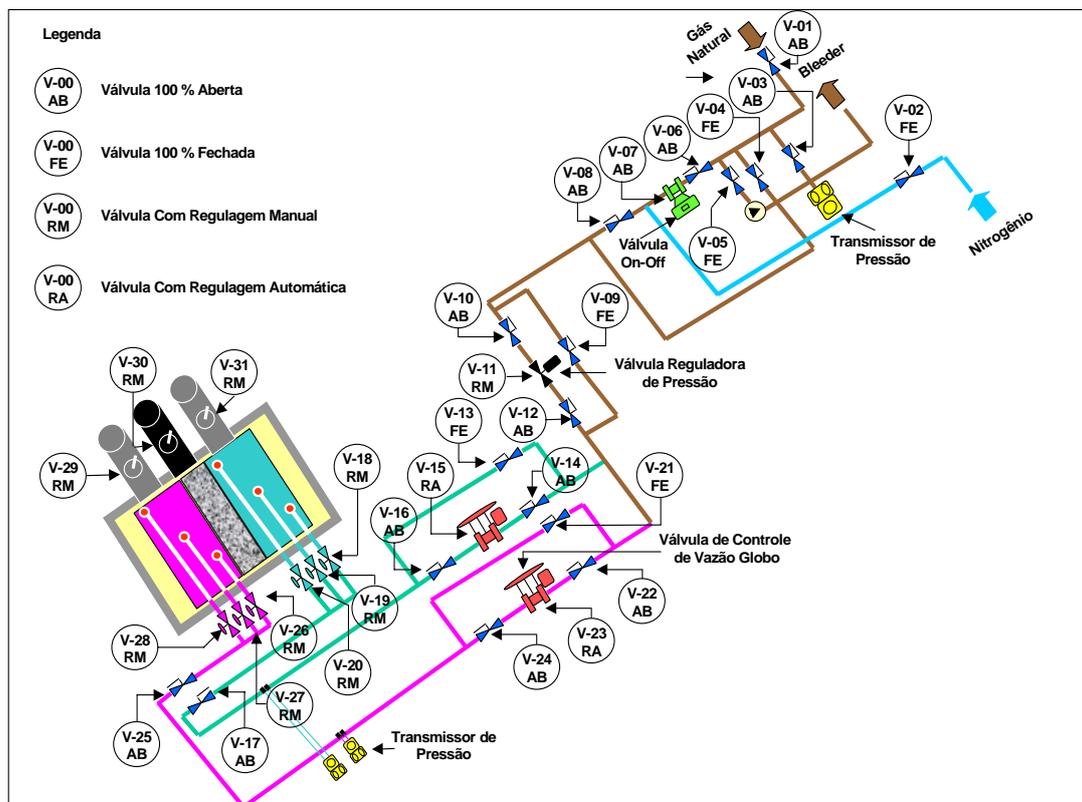


Figura 6 – Contém o isométrico do forno piloto de coqueificação.

## 4 RESULTADOS OBTIDOS E COMENTÁRIOS

### 4.1 Resultados Obtidos na Caracterização das Misturas Aplicadas na Produção do Coque em Escala Piloto

Foram preparadas e caracterizadas 20 misturas contendo o carvão mineral do tipo médio teor em matéria volátil e as biomassas com percentual variando de 2 a 6. A Tabela 2 mostra os resultados de qualidade obtidos no laboratório central da CSN. As Figuras 7 e 8 mostram o comportamento da qualidade das misturas utilizadas nos testes realizados no forno piloto de coqueificação.

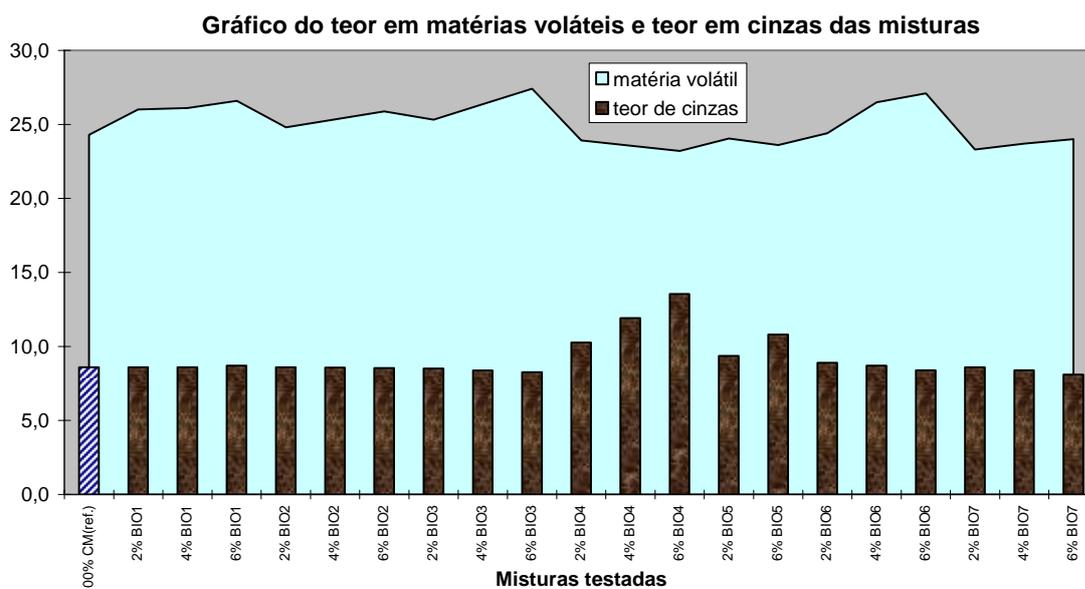
O efeito da adição da biomassa BIO4 e BIO5 em percentuais de até 6,0% provocou a alteração significativa no teor de cinzas das misturas, fato esse já esperado devido à composição das cinzas desse material ser praticamente óxido de silício. Em

relação ao índice de expansão livre das misturas (FSI) ficou evidenciado que a biomassa praticamente não afetou esse parâmetro de qualidade.

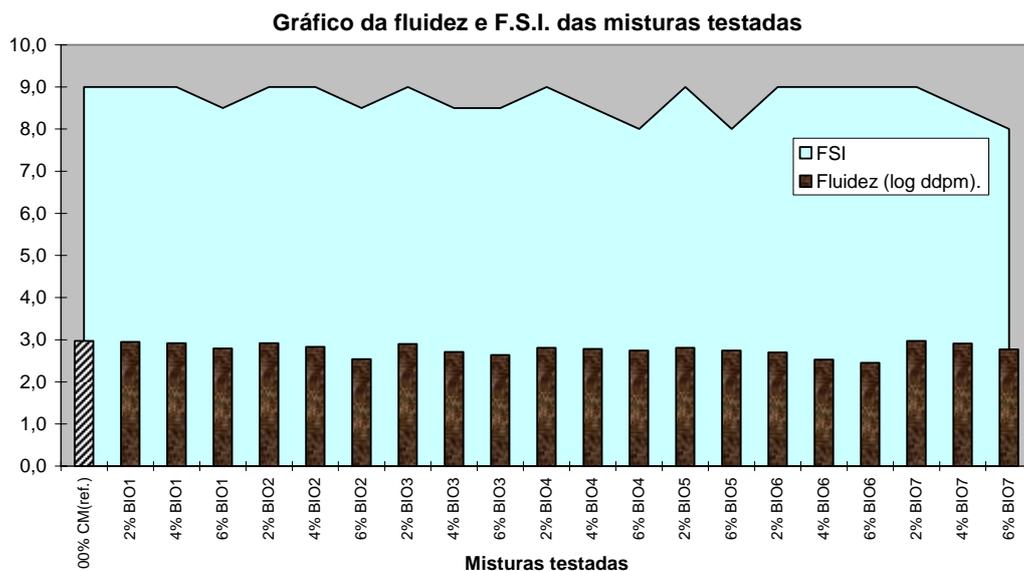
Quanto ao teor de enxofre houve redução em todas as misturas, visto que em todas as biomassa testadas o teor de enxofre foi menor do que o enxofre do carvão mineral.

**Tabela 2** – Contém os dados da qualidade das misturas testadas.

Misturas	Matéria Volátil (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)	Fluidez (log dpm)	F.S.I.
Referência (CM)	24,3	8,6	0,67	2,97	9,0
98%CM+2%BIO1	26,0	8,6	0,66	2,95	9,0
96%CM+4%BIO1	26,1	8,6	0,65	2,92	9,0
94%CM+6%BIO1	26,6	8,7	0,65	2,79	8,5
98%CM+2%BIO2	24,8	8,6	0,66	2,92	9,0
96%CM+4%BIO2	25,3	8,6	0,65	2,83	9,0
94%CM+6%BIO2	25,9	8,5	0,63	2,54	8,5
98%CM+2%BIO3	25,3	8,5	0,66	2,90	9,0
96%CM+4%BIO3	26,4	8,4	0,65	2,71	8,5
94%CM+6%BIO3	27,4	8,3	0,64	2,64	8,5
98%CM+2%BIO4	23,9	10,3	0,66	2,81	9,0
96%CM+4%BIO4	23,6	11,9	0,64	2,78	8,5
94%CM+6%BIO4	23,2	13,6	0,63	2,74	8,0
98%CM+2%BIO5	24,1	9,4	0,66	2,81	9,0
94%CM+6%BIO5	23,6	10,8	0,64	2,74	8,0
98%CM+2%BIO6	24,4	8,9	0,62	2,75	9,0
96%CM+4%BIO6	26,5	8,7	0,63	2,70	9,0
94%CM+6%BIO6	27,1	8,4	0,62	2,60	9,0
98%CM+2%BIO7	23,3	8,6	0,61	2,97	9,0
96%CM+4%BIO7	23,7	8,4	0,58	2,91	8,5
94%CM+6%BIO7	24,0	8,1	0,58	2,77	8,0



**Figura 7** – Características de matéria volátil e cinzas do carvão mineral (referência) e das misturas de carvão mineral com biomassa.



**Figura 8** - Características de fluidez e F.S.I. do carvão (referência) e misturas de carvão mineral com biomassas.

A Tabela 3 mostra os resultados de qualidade obtidos na caracterização do coque produzido no forno piloto. Foram verificadas alterações significativas no tamanho médio do coque com a adição da casca de arroz calcinada no carvão mineral, fato esse ocorrido devido ao efeito aglomerante do óxido de silício no processo de coqueificação, efeito esse também benéfico para a manutenção da Resistência Mecânica a Frio do coque (D.I.), pois o aumento do tamanho médio do coque não reduziu esse parâmetro de qualidade.

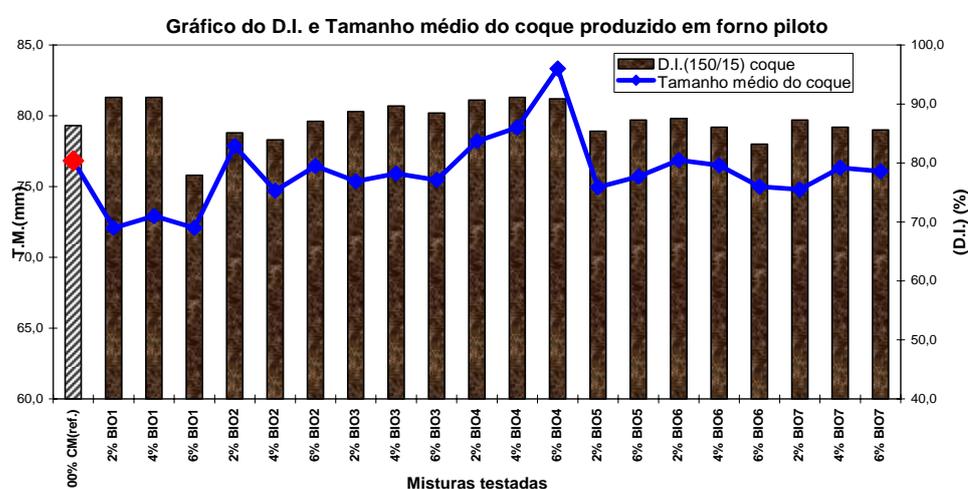
**Tabela 3**– Contém os dados de qualidade do coque produzido no forno piloto de coqueificação.

Misturas	Tamanho Médio (mm)	D.I. (150-15) (%)	C.R.I. (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)	Carbono Fixo (%)
Referência (CM)	80,4	79,3	24,5	11,4	0,63	87,9
98%CM+2%BIO1	69,0	81,3	24,0	11,5	0,61	87,4
96%CM+4%BIO1	71,0	81,3	24,5	12,1	0,59	86,7
94%CM+6%BIO1	69,0	75,8	29,4	12,9	0,51	86,0
98%CM+2%BIO2	82,9	78,8	23,9	11,5	0,62	87,9
96%CM+4%BIO2	75,3	78,3	28,9	11,2	0,59	87,9
94%CM+6%BIO2	79,5	79,6	31,5	12,0	0,57	87,2
98%CM+2%BIO3	76,9	80,3	25,7	11,0	0,61	88,6
96%CM+4%BIO3	78,2	80,7	26,9	11,0	0,60	88,4
94%CM+6%BIO3	77,1	80,2	29,5	10,9	0,59	88,5
98%CM+2%BIO4	83,7	81,1	22,5	13,5	0,60	87,4
96%CM+4%BIO4	86,0	81,3	23,5	14,2	0,57	86,9
94%CM+6%BIO4	96,0	81,2	25,4	18,7	0,53	85,2
98%CM+2%BIO5	75,9	78,9	24,1	12,0	0,59	87,1
94%CM+6%BIO5	77,7	79,7	17,5	14,0	0,52	85,2
98%CM+2%BIO6	80,5	79,8	24,0	11,7	0,60	87,6
96%CM+4%BIO6	79,6	79,2	25,0	11,5	0,59	87,9
94%CM+6%BIO6	76,0	78,0	25,0	11,4	0,58	88,0
98%CM+2%BIO7	75,5	79,7	22,8	10,8	0,58	87,0
96%CM+4%BIO7	79,2	79,2	26,3	10,6	0,57	87,2
94%CM+6%BIO7	78,6	79,0	29,3	10,5	0,56	87,6

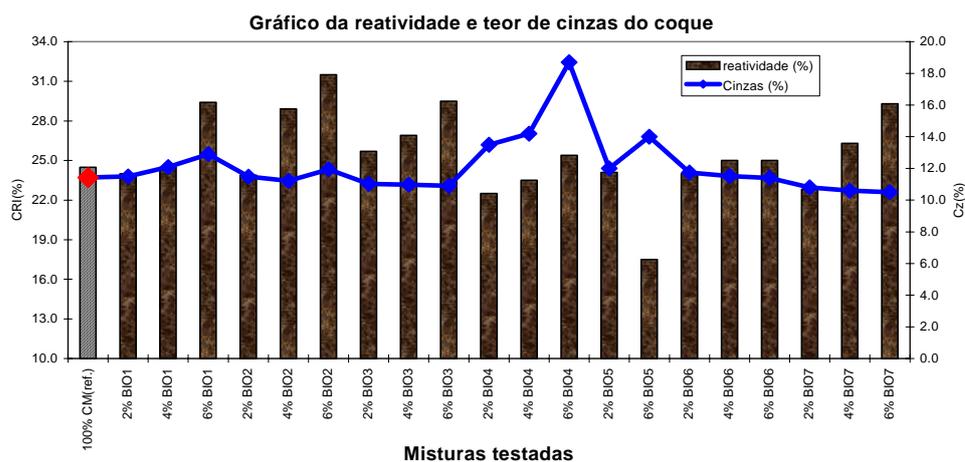
Foi constatado também o efeito negativo da casca de soja no D.I. do coque, ou seja, a adição de 6,0% dessa biomassa produziu uma redução de 3,5 % nesse parâmetro de qualidade. A reatividade do coque apresentou forte variação com a adição de 6,0 % das biomassas nas misturas, sendo a variação mais expressiva para as biomassas BIO1, BIO2, BIO3 e BIO7.

Esses materiais por serem muito reativos inviabilizam as suas aplicações em percentuais elevados nas misturas utilizadas na produção de coque. Quanto ao teor de cinzas, a adição da casca de arroz produziu uma elevação de 7,3 % nesse parâmetro de qualidade devido a presença predominante de óxido de silício na casca de arroz. O comportamento em relação ao teor de enxofre ocorreu conforme esperado, ou seja, houve a redução em todos os coques produzidos.

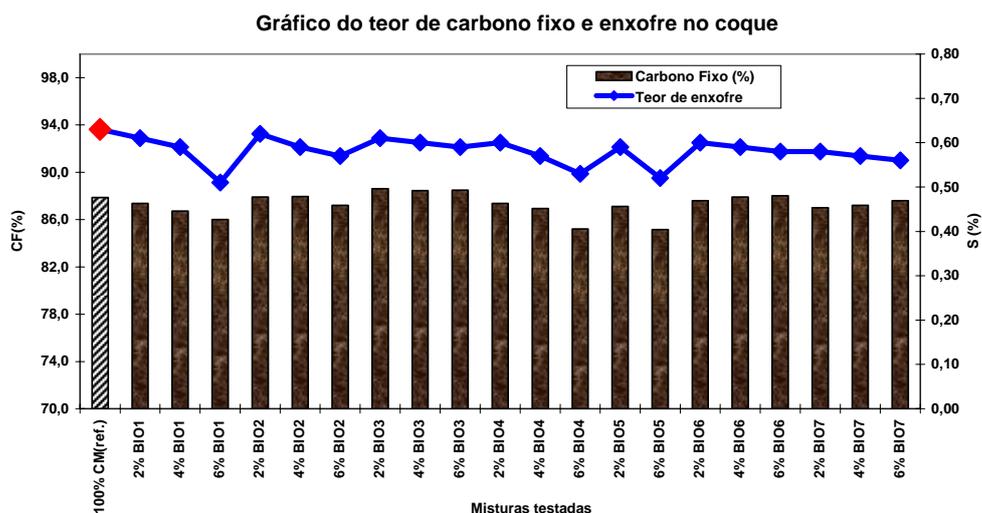
As Figuras 9,10 e 11 mostram as características de qualidade dos coques produzidos no forno piloto com as respectivas misturas com o carvão mineral médio volátil e as biomassas.



**Figura 9**– Características do *Drum Index* e Tamanho Médio do coque com 100% de carvão mineral (ref.) e com *blend* de carvão com biomassas.



**Figura 10** Características de Cinzas e Reatividade do coque com 100% de carvão mineral (ref.) e com *blend* de carvão mineral com biomassas.



**Figura 11** – Características de Enxofre e Carbono fixo do coque com 100% de carvão mineral (ref.) e com o *blend* de carvão mineral com biomassa.

## 4.2 Resultados Obtidos nos Testes Realizados em Escala Industrial (Bateria n.1)

A elevação do Tamanho Médio do coque obtido no forno piloto sem a diminuição da Resistência Mecânica a Frio com a utilização da mistura de carvão e casca de arroz calcinada foi o principal motivo para a realização do teste em escala industrial. Primeiramente foi produzido o coque referência nos fornos da bateria n.1 utilizando 100 % do carvão médio volátil (mesmo carvão utilizado na produção do coque referência no forno piloto). Após a produção e a caracterização desse coque, foram preparadas no pátio de estocagem 155 toneladas da mistura composta por 94% do carvão médio volátil e 6% de casca de arroz calcinada. A Tabela 4 mostra os dados relativos aos fornos enforçados na Bateria n.1.

**Tabela 4** – Condições operacionais dos fornos com a mistura de carvão e biomassa BIO4.

Número do forno	Peso (t.)	Tcoqueificação (hs)	Temperatura (°C)
45	17,1	17:43	1300
50	17,2	17:40	1324
55	16,7	17:33	1330
60	16,9	17:33	1313
65	16,5	17:25	1323
70	17,4	17:24	1325
75	17,6	17:21	1439
02	17,9	17:21	1318
07	17,9	17:56	1344

Os coques produzidos nos fornos indicados na tabela 4 foram descarregados na rampa de coque, onde foram coletadas varias amostras e enviadas ao laboratório para a caracterização da qualidade. Os resultados mostraram uma melhora significativa no tamanho médio e no teor de enxofre do coque, fato esse verificado nos testes em escala piloto. Quanto ao teor de cinzas, já era esperado uma elevação significativa devido a presença predominante do SiO na casca de arroz. A Tabela 5 mostra o comparativo da qualidade entre o coque referência e o coque produzido com a participação da biomassa.

**Tabela 5** – Comparativo da qualidade do coque produzido na bateria n.1.

Parâmetros de qualidade do coque	Coque da Rampa (produzido com 100% do carvão médio volátil)	Coque da Rampa (produzido com 94% do carvão médio volátil e 6,0% de casca de arroz)
Tamanho médio (mm)	69,5	83,0
D.I. (150-15) (%)	84,7	85,0
Reatividade (%)	21,0	21,0
Teor de Enxofre (%)	0,60	0,49
Teor de Cinzas (%)	9,5	15,3

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no estudo da substituição parcial do carvão mineral por biomassa permitiram as seguintes conclusões:

- Entre as biomassas testadas a que apresentou melhor resultado na qualidade do coque foi a BIO1 (casca de farelos de soja crua), onde permaneceu praticamente inalterada a Resistência Mecânica a Frio e a Reatividade para as misturas com até 4,0% de utilização;
- Todas as misturas com 6,0% de biomassa produziram variações na reatividade do coque, sendo mais significativa para as biomassas BIO1, BIO2, BIO3 e BIO7;
- A mistura com a participação de 6% da BIO4 (palha de arroz calcinada) produziu uma elevação significativa no tamanho médio (+16 mm), mantendo a resistência mecânica a frio do coque inalterada. O efeito negativo da palha de arroz calcinada foi a elevação no teor de cinzas no coque.
- Os testes em escala industrial confirmaram os resultados obtidos em escala piloto principalmente em relação ao tamanho médio do coque que aumentou em 13,5 mm.

## REFERÊNCIAS

- 1 ALMEIDA, S. C. A e CLUA, E. W.G. “ Perspectivas do uso da Biomassa para a Geração descentralizada de energia no Mercosul”. Trabalho submetido ao Premio Mercosul de Ciência e Tecnologia, 2006.
- 2 RALPH P. OVEREND “Research and Development of Biomass Feedstocks for Non-Energy Multiple Uses” National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 80401- USA.
- 3 SAULO HENRIQUE FREITAS SEABRA. “Agglomerated biomass char: A chance to reduce greenhouse gas emission in iron and steel industries”. 3<sup>rd</sup> International Steel Conference on New Developments in Metallurgical Process Technologies, 11 – 15 June 2007- Dusseldorf, Germany,.
- 4 SHIREY, G; AKERS, D; MARONDE CARL “ Production of a Composite Fuel From Coal and Biomass” Energy International Agency – Fev. 2003.