

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CARVÃO MINERAL NA FABRICAÇÃO DO COQUE NA COQUEIRA DA CSN

Agenor Medrado da Silva ¹

Miguel Angelo Bentes ²

Swami Botelho Medrado ³

Pedro Magalhães Sobrinho ⁴

João Andrade de Carvalho Júnior ⁴

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 escalas piloto e industrial. Foram selecionados e caracterizados sete tipos de biomassas, identificados como BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO5, BIO6 e BIO7 e 20 misturas com percentuais de biomassa variando de 2% a 6%. A caracterização dos materiais foi feita no laboratório central da metalurgia da redução. Nos testes realizados em escala-piloto os resultados mostraram que, à medida que aumentou a participação da biomassa nas misturas, houve a redução no teor de enxofre e na fluidez. O teor de cinzas aumentou significativamente com a utilização da BIO4. Quanto ao F.S.I. (Índice de Inchamento do Carvão), praticamente não houve alteração. A participação em percentagens em até 4,0 não afetou a resistência mecânica a frio do coque (D.I. 150/15); o mesmo não aconteceu com a reatividade do coque que sofreu elevação. Em relação ao tamanho médio do coque houve elevação de 16,0 mm quando se utilizaram 6,0% da BIO4 na mistura de carvão. Os resultados de qualidade do coque obtidos nos testes em escala industrial são compatíveis com os resultados obtidos no forno-piloto.

Palavras-chave: Biomassa; Carvão mineral; Coque.

STUDY OF THE BIOMASS APPLICATION IN PARTIAL SUBSTITUTION IN THE COAL BLENDS USED IN THE CSN COKE PRODUCTION

Abstract

That work has the objective to study the alternatives of mixtures with coal blend and biomass and its influence in the coke quality produced in industrial and lab scales. Seven types of the biomass that were selected being the same identified as BIO1, BIO2, BIO3, BIO4, BIO5, BIO6 and BIO7. The characterization of those materials 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 increased with the BIO4 utilization in the coal blend 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 coke medium size there were alteration when utilized 6.0% of the biomass BIO4 in the blend. The results of the coke quality obtained in the industrial tests are compatible with the results obtained in the pilot tests.

Key words: Biomass; Coal; Coke.

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica produzida pelas plantas através da fotossíntese é fonte energética de quase todos os seres vivos. Graças à 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

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 vegetais, gás pobre e biogás são formas de biomassas utilizadas como combustíveis.⁽¹⁾

¹Engenheiro Metalúrgico, Dr.- Especialista em Redutores da Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – GGPS/CSN. Rod. BR 393 – Lucio Meira Km 5.001 - s/no. Volta Redonda – RJ. ams@csn.com.br

²Engenheiro Metalúrgico, MC - Eng. Especialista do Centro de Pesquisas da CSN. Rod. BR 393 – Lucio Meira Km 5.001 s/no. Volta Redonda – RJ.

³Engenheira Química – Coordenadora dos Laboratórios da GGPS/CSN. Rod. BR 393 – Lucio Meira Km 5.001 s/no. Volta Redonda - RJ. smedrado@globom.com

⁴PhD Prof. Titular do Curso de Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual Paulista – UNESP. Av Prof. Ariberto Pereira da Cunha, 333. 12516-410 – Guaratinguetá, SP. joao@feg.unesp.br e sobrinho@feg.unesp.br

A renovação na biomassa dá-se pelo chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ 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.⁽¹⁾

A biomassa pode ser utilizada em diversas formas e estados para obtenção das mais variadas formas de energia, seja por conversão direta ou indireta. Como vantagens da utilização da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis podem-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, destaca-se pela alta densidade energética e pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte.⁽²⁾

A redução nos custos de produção e a utilização de novas matérias-primas advindas de fontes renováveis vêm sendo uma busca constante nas indústrias. Este 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 da emissão de CO₂ para a atmosfera.⁽³⁾ Este resultado, em função do Protocolo de Kyoto, tem efeito adicional à geração de créditos de carbono.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS

2.1 Caracterização das Biomassas

A primeira etapa deste estudo foi a caracterização dos materiais recebidos no Centro de Pesquisas da CSN, na qual foram consideradas e adicionadas 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).

Na Tabela 1 encontram-se os resultados obtidos na caracterização das biomassas BIO1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Para a produção dos carvões oriundos da biomassa, 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 apresenta algumas etapas da construção e operação do forno de carbonização para o processamento de biomassas.

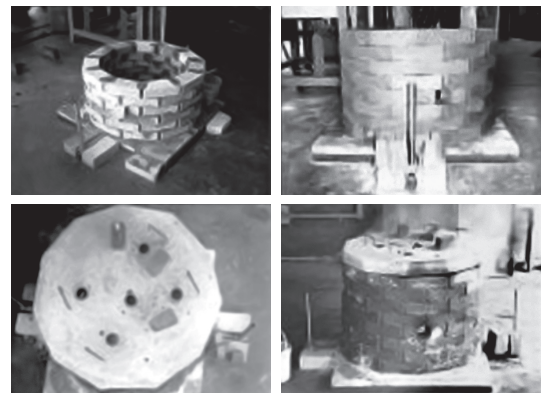


Figura 1. Forno construído no centro de pesquisas da CSN.

Após a queima (autógena) do material no forno de combustão, foram enviadas amostras para análise estrutural no MEV, com ampliação de 100 a 500 vezes. As Figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam a estrutura desse carvão produzido da biomassa (casca de coco).

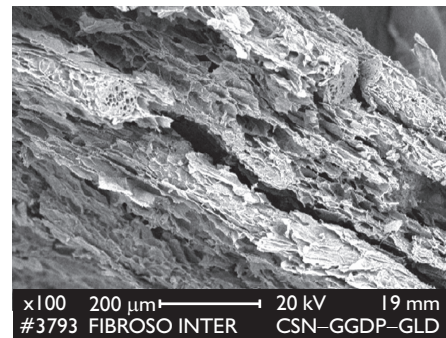


Figura 2. Estrutura do carvão da casca do coco analisada no MEV (ampliação de 100x).

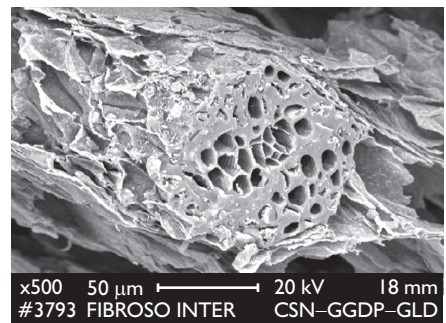


Figura 3. Detalhe da estrutura do carvão da casca do coco analisada no MEV (ampliação de 500x).

Tabela 1. Caracterização de qualidade das biomassas.

Material	Matéria volátil (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)	Carbono fixo (%)	Fluidez (ddpm)	F.S.I.
BIO1-Casca de soja (<i>in natura</i>)	63,5	8,9	0,34	27,7	N.D.	N.D.
BIO2-Casca de coco (calcinada)	50,9	7,2	0,07	41,9	N.D.	N.D.
BIO3-Casca de macadâmia (<i>in natura</i>)	76,5	2,5	0,21	21,0	N.D.	1,0
BIO4- Casca de arroz (calcinada)	6,3	90,7	0,01	3,0	N.D.	N.D.
BIO5-Casca de arroz (<i>in natura</i>)	13,0	44,9	0,01	42,1	N.D.	N.D.
BIO6- Casca de grão de café (<i>in natura</i>)	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.

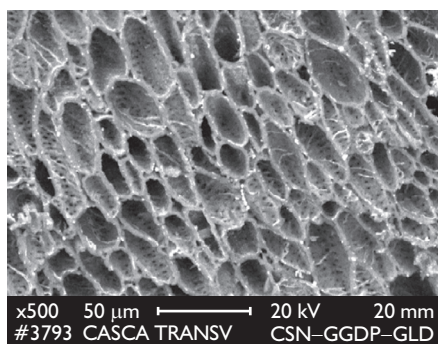


Figura 4. Detalhe da seção transversal do carvão da casca do coco analisada no MEV (ampliação de 500x).

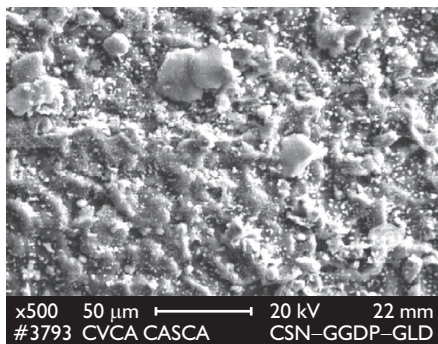


Figura 5. Detalhe da superfície do carvão da casca do coco analisada no MEV (ampliação de 500x).

A estrutura do carvão produzido da casca de coco é porosa, o que contribui para a redução da pressão de coqueificação desenvolvida no processo de coqueificação. O controle dessa pressão em uma bateria de fornos é fundamental, sendo ela um dos principais fatores que determina a vida útil dos fornos da bateria.

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 sejam mantidos 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 utilizados 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 analógico NA 3400 (determinação do índice de reatividade); e
- 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. São as seguintes as condições dos testes realizados no forno teste:

- Temperatura das paredes = 980°C;
- Densidade da carga = 789,1 kg/m³;
- Velocidade de coqueificação = 36 mm/h; e
- Teor de umidade da carga = 5,5%.

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 dois a seis. A Tabela 2 mostra os resultados de qualidade obtidos no laboratório central da CSN. As Figuras 6 e 7 mostram o comportamento da qualidade das misturas utilizadas nos testes realizados no forno-piloto de coqueificação.

Tabela 2. Qualidade das misturas testadas no forno-piloto de coqueificação.

(log dom)	*F.S.I.	Misturas volátil (%)		Matéria cinzas	
		Enxofre (%)	(%)	Fluidez (%)	(%)
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

*FSI (Free Swelling Index) é o índice que mede o poder coqueificante do carvão.

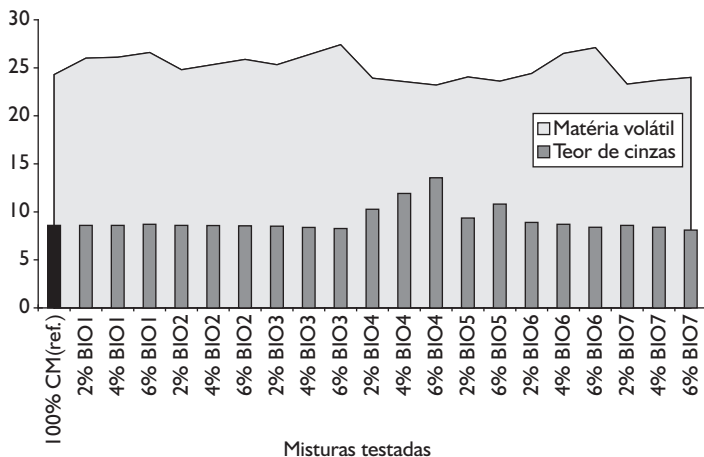


Figura 6. Características de matéria volátil e cinzas do carvão mineral (referência) e das misturas de carvão mineral com biomassa.

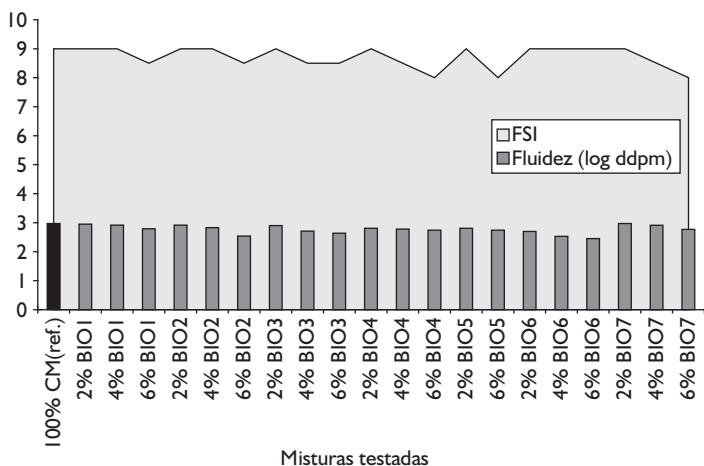


Figura 7. Características de fluidez e F.S.I do carvão (referência) e misturas de carvão mineral com biomassa.

O efeito da adição da biomassa BIO4 e BIO5 em percentuais de até 6,0% provocaram a alteração significativa no teor de cinzas das misturas, fato já esperado devido à composição das cinzas desse material ser praticamente 100% de SiO_2 . Em relação ao índice de expansão livre das misturas (F.S.I.) 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.

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 do índice de Resistência Mecânica a Frio do coque (D.I.), pois o aumento do tamanho médio do coque não reduziu esse parâmetro de qualidade.

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 biomassa nas misturas, sendo a variação mais expressiva para as biomassa BIO1, BIO2, BIO3 e BIO7.

Esses materiais, por serem muitos 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 significativa nesse parâmetro de qualidade devido à composição da casca de arroz ser composta por 90% de óxido de silício. O comportamento em relação ao teor de enxofre ocorreu conforme esperado, ou seja, houve a redução em todos os coques produzidos.

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam as características de qualidade dos coques produzidos no forno-piloto com as respectivas misturas com o carvão mineral médio volátil e as biomassa.

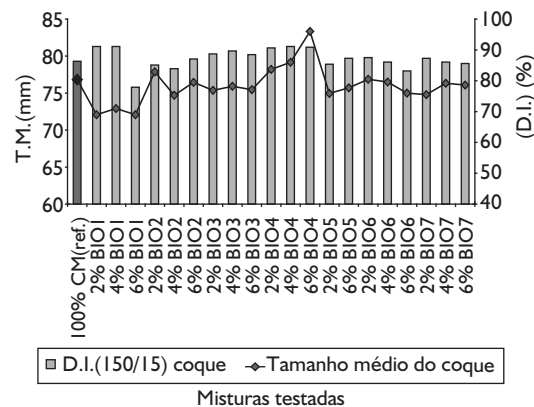


Figura 8. Características do drum index e tamanho médio do coque com 100% de carvão mineral (referência) e com blend de carvão com biomassa.

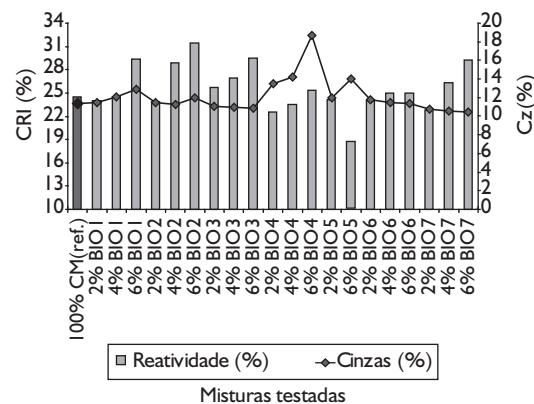


Figura 9. Características de cinzas e reatividade do coque com 100% de carvão mineral (referência) e com blend de carvão mineral com biomassa.

Tabela 3. Dados da qualidade do coque produzido no forno-piloto de coqueificação.

Misturas	Tamanho médio (mm)	D.I. (150-15) (%)	Reatividade (%)	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
6%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

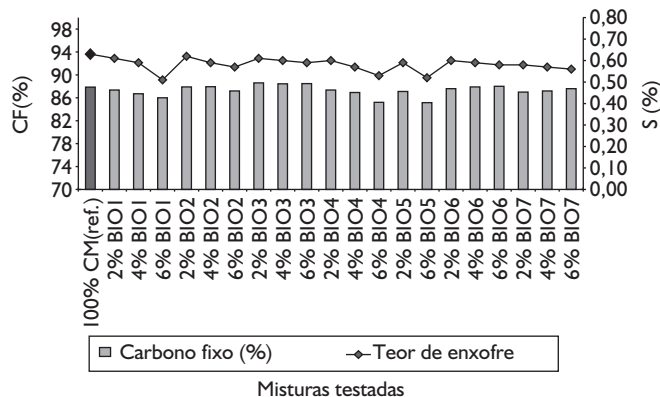


Figura 10. Características de enxofre e carbono fixo do coque com 100% de carvão mineral (referência) e com o blend de carvão mineral com biomassa.

4.2 Resultados Obtidos nos Testes Realizados em Escala Industrial (Bateria nº 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 nº 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 apresenta os dados relativos aos fornos enformados na Bateria nº 1.

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

Número do forno	Peso (t)	Tcoqueificação (h)	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 várias 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 verificado nos testes em escala-piloto. Quanto ao teor de cinzas, já era esperada uma elevação significativa devido à presença predominante do óxido de silício (SiO_2) na casca do arroz. A Tabela 5 apresenta 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 nº 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)	69,50	83,00
D.I. (150-15) (%)	84,70	85,00
Reatividade (%)	21,00	21,00
Teor de enxofre (%)	0,60	0,49
Teor de cinzas (%)	9,50	15,30

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no estudo da substituição parcial do carvão mineral por biomassa permitem 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), em que 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; e
- 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.; CLUA, E.W.G. Perspectivas do uso da biomassa para a geração descentralizada de energia no Mercosul. Trabalho submetido ao Prêmio Mercosul de Ciência e Tecnologia, 2006. Disponível em: <http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/publicacoes-cientificas/artigos-sobre-biocombustiveis-energia-renovaveis-e-indicadores-ambientais/TrabalhoIntegracao21.pdf/view>. Acesso em: 21 ago 2008.
- 2 OVEREND, R.P. Research and development of biomass feedstocks for non-energy multiple uses. In: SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL: OS PRÓXIMOS VINTE ANOS, 2002, Campinas, SP. [S.n.t.]
- 3 SEABRA, S.H.F. Agglomerated biomass char: a chance to reduce greenhouse gas emission in iron and steel industries. In: INTERNATIONAL STEEL CONFERENCE ON NEW DEVELOPMENTS IN METALLURGICAL PROCESS TECHNOLOGIES, 3., 2007, Dusseldorf, Germany. Düsseldorf, Steel Institute VDEh, 2007.
- 4 SHIREY, G.; AKERS, D.; MARONDE, C. Production of a composite fuel from coal and biomass. In: INTERNATIONAL TECHNICAL CONFERENCE ON COAL UTILIZATION & FUEL SYSTEMS, 28., 2003, Clearwater, FL. Gaithersburg, MD.:Coal Technology Association, 2003.

Recebido em: 27/11/07

Aceito em: 23/07/08

Proveniente de: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS PRIMAS, 37., 2007, Salvador, BA. São Paulo: ABM, 2007.