

# MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DO D.I. 150/15 EM PILHA DE COQUE E SUA IMPLANTAÇÃO NA ROTA DE ABASTECIMENTO PARA OS ALTOS-FORNOS<sup>1</sup>

*Agenor Medrado da Silva*<sup>2</sup>

*Romero Cesar Carvalho de Barros*<sup>3</sup>

*Moacir Alves do Reis*<sup>4</sup>

*Antônio Carlos Corrêa Ribeiro*<sup>5</sup>

*João Andrade de Carvalho Júnior*<sup>6</sup>

## Resumo

Esse trabalho estabelece uma metodologia para estimar o Drum Index do coque diretamente na pilha, considerando o sucesso das correlações entre a densidade do coque e sua resistência mecânica. A metodologia desenvolvida evitará que a CSN receba embarques de coques adquiridos no exterior com resistência mecânica inferior àquela especificada em contrato e, por conseguinte, seu uso inadequado nos altos-fornos. Adicionalmente, esse estudo permitiu a determinação da resistência mecânica do coque na rota de abastecimento dos altos-fornos. A informação de cada batch (carga) contribuirá para subsidiar na análise de desempenho do processo operacional dos altos-fornos e permitirá a tomada de ações para minimização dos impactos das não-conformidades.

**Palavras-chave:** Coque; Alto-forno; Índice de resistência mecânica a frio.

## METHOD FOR DETERMINATION OF D.I. 150/15 (DRUM INDEX) IN COKE STOCKPILES AND IMPLEMENTATION IN THE ROUTE OF BLAST FURNACE PROVISIONING

## Abstract

This work establishes a methodology to estimate Drum Index directly in the stockpiles, considering the success of the correlation between the density of the coke and his own Drum Index. The methodology developed will avoid that CSN allows the loading of acquired cokes in other countries with lower Drum Index than those specified in contract and, therefore, the use in the blast furnace process. This study allowed the determination of the Drum Index in during supplying cokes for each blast furnace. The Drum Index information of each batch will become possible to take actions in the blast furnace process.

**Key words:** Coke; Blast furnace; Drum index

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

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

<sup>3</sup> *Técnico Metalúrgico – Gerência Geral de Processos Siderúrgicos – GGPS.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Elétrico - Engenheiro especialista em automação da GGAF.*

<sup>5</sup> *Analista do Laboratório Central da Metalurgia da Redução - GGPS*

<sup>6</sup> *Phd Prof. Titular e Coordenador do programa de Mestrado e Doutorado em engenharia Mecânica da Universidade Estadual de São Paulo – UNESP – Campus Guaratinguetá.*

## 1 INTRODUÇÃO

A CSN adquire no mercado internacional cerca de 500 mil toneladas de coque para complementar o consumo dessa matéria prima nos altos fornos e o processo de inspeção desse material antes do carregamento no porto de origem é visual, havendo risco de embarque de coque fora da especificação, principalmente no que se refere ao principal item de qualidade que é o Índice de Resistência Mecânica a Frio do coque (D.I.). Não existe referência de aplicação de mecanismos de determinação desse índice à não ser em escala laboratorial. A sua determinação em laboratório ocorre através da utilização de equipamentos específicos tais como: tambor rotativo, estufa, peneirador e balança eletrônica. Diante da necessidade da obtenção dessa característica de qualidade antes do carregamento do coque no porto de origem, foi desenvolvido uma metodologia que determina esse índice no local onde está formada a pilha.

Na CSN o resultado do D.I. do coque é emitido pelo laboratório central com uma periodicidade de 36 horas após o recebimento e formação das amostras e devido à grande importância desse item de qualidade para o processo dos altos-fornos, foi utilizado o mesmo princípio para a obtenção do D.I. na rota de abastecimento do coque na CSN.

## 2 HISTÓRICO

Em 2005 a CSN adquiriu um carregamento do coque colombiano seguindo o procedimento que consiste na avaliação visual do material no porto de embarque. Os Técnicos inspecionaram o coque e concluíram que o mesmo estava sem trincas e com pouca porosidade, ou seja, o aspecto visual demonstrava que o material estava adequado. Esse material foi embarcado e enviado à CSN. Após a descarga e caracterização desse material em Volta Redonda, verificou-se que os resultados do D.I.(150-15) do coque obtidos nas amostras coletadas na correia T-1 (correia de descarga no pátio de estocagem) se encontravam bem abaixo da especificação (D.I.  $\geq 85,0\%$ ), conforme mostrado no Gráfico da Figura 1.

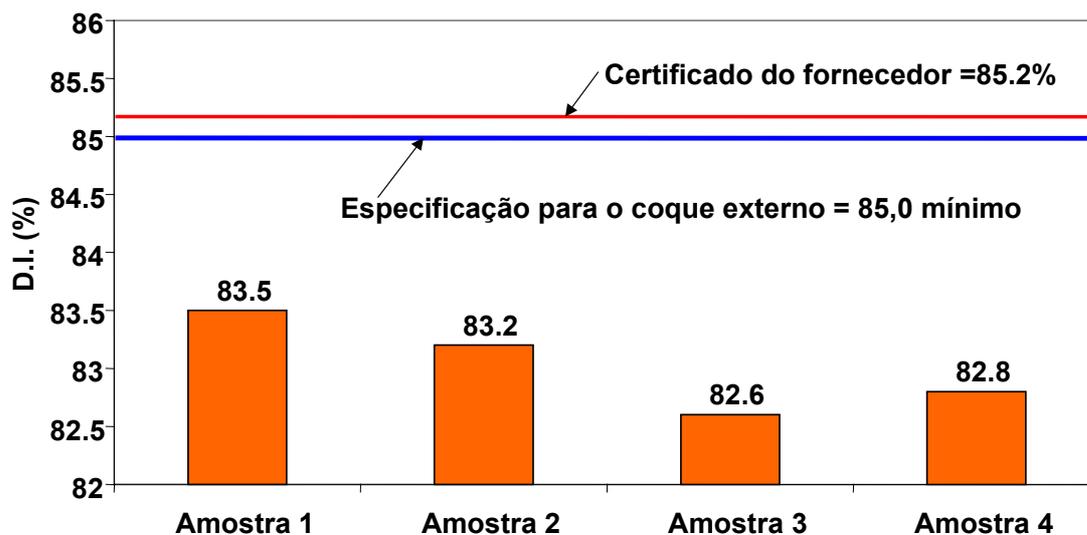


Figura 1 – Resultados obtidos no D.I. do coque Colombiano recebido.

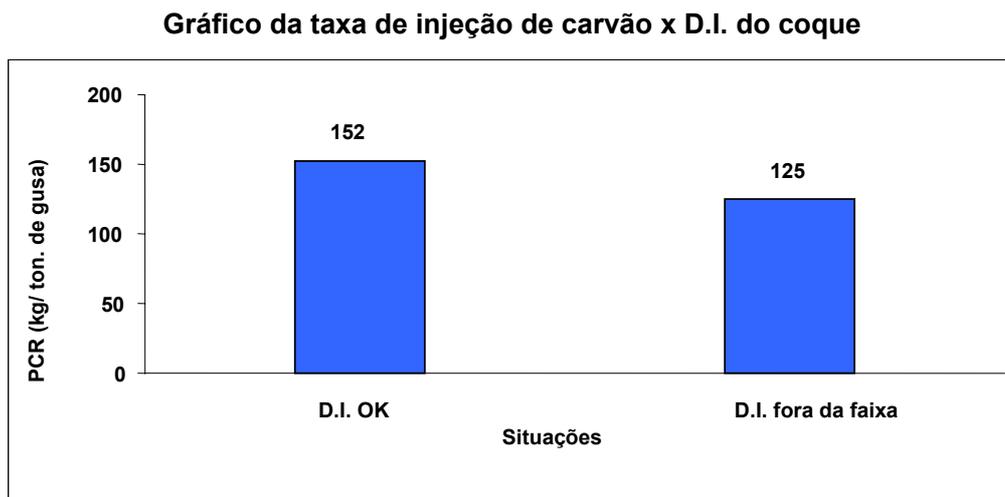
Após esse fato ocorrido, foi necessário desenvolver uma metodologia que permitisse a determinação desse item de qualidade (D.I.) fora do laboratório.

### 3 METODOLOGIA APLICADA NA SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Para a realização desse trabalho foi estabelecido o MASP (Metodologia para Análise e Solução de Problemas) como a melhor ferramenta a ser aplicada, iniciando-se com o levantamento das possíveis perdas e ganhos, seguindo com a observação no local para a determinação das características dos coques estocados nos pátios da CSN.

#### 3.1 Perdas e Ganhos

Verificamos que a utilização de um coque fora da especificação do D.I. poderia comprometer a produção dos altos-fornos, através da perda de permeabilidade da carga e comprometimento da marcha operacional do equipamento. O efeito colateral negativo seria nos custos, devido à redução na taxa de injeção de carvão para compensar a deficiência da qualidade do coque. Fato esse ocorrido em 2002 nos altos-fornos da CSN, quando o D.I. do coque atingiu níveis abaixo de 83,0 %, ocasião em que foi necessário reduzir a taxa de injeção de 152 para 125 kg/t.gusa, resultando numa perda de cerca de US\$ 30,000.00/dia conforme mostrado no Gráfico da Figura 2.



A redução na taxa de injeção de 152 para 125 kg/t.gusa, resultou na perda de **US\$ 30.000,00/dia**

**Figura 2** – Resultados da taxa de injeção de carvão para a condição do D.I. dentro e fora da especificação.

Os ganhos previstos serão:

- Melhorar o processo de avaliação do coque, garantindo o seu recebimento dentro da especificação;
- Permitir a identificação de problemas operacionais das baterias e contaminação na mistura de carvão;
- Permitir aos Operadores dos altos-fornos tomar ações preventivas caso houver uma diminuição no valor do D.I., evitando a ocorrência de perda de produção de gusa devido à instabilidade operacional dos altos-fornos;
- Melhorar o sistema de distribuição de carga nos altos-fornos, visto que atualmente o valor utilizado é a densidade média do coque para o cálculo do tempo de distribuição da carga no interior dos altos-fornos;

→ Manter o consumo reduzido de coque pelos altos-fornos com uma maior utilização do carvão injetado (PCI). A utilização de um coque com índice de resistência mecânica D.I. abaixo da especificação, resulta na redução da taxa de injeção de carvão pulverizado nos altos-fornos e, conseqüentemente, no aumento do custo de produção do ferro-gusa devido à elevação no consumo de coque que tem seu custo maior do que o carvão.

### 3.2 Observação

No processo de observação, foi constatado que os coques estocados no pátio, tanto o colombiano (baixo D.I.) quanto o coque chinês (com elevado D.I.) não possuíam trincas e tinham pouca porosidade. A Figura 3 mostra o comparativo entre as pedras do coque colombiano e do coque chinês.



Figura 3 – Comparativo do coque A (colombiano) e coque B (chinês)

Foram coletadas as amostras desses coques e enviadas para o laboratório central da metalurgia da redução, onde verificou-se que as mesmas tinham massas diferentes. A determinação da densidade das pedras de coque foi feita através do uso de um béquer com água e de uma balança de precisão. Os resultados comparativos da densidade indicaram uma forte influência dessa variável na resistência mecânica a frio do coque. Foram feitas varias determinações da densidade das pedras de coque nas granulometrias de 75, 50, 40 e 25 mm, e os resultados estão mostrados na Tabela 1 A confirmação da forte influência da densidade do coque no D.I. direcionou para o desenvolvimento de uma metodologia que permitisse a determinação do D.I. do coque em campo, ou seja, independente do laboratório.

Tabela 1 – Dados da densidade das pedras de coque em função do D.I.

Origem do coque	Malha (mm)	Peso (g)	Volume (mm <sup>3</sup> )	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	D.I. (%)
China	50 – 75	151	120	1.258	87,0 – 88,0
CSN	50 - 75	143	130	1.021	85,0 – 85,5
Colômbia	50 - 75	92	100	920	82,0 – 83,5

### 3.3 Ações Realizadas

Para a determinação do D.I. do coque em laboratório são utilizados os seguintes equipamentos: peneirador, estufa para secagem, tambor rotativo e balança.

O ensaio é determinado pesando-se 11 kg de coque distribuído de acordo com as frações granulométricas (indicadas abaixo), esse coque após a secagem é peneirado novamente para a retirada de finos adsorvidos na superfície das pedras. A amostra é colocada no tambor e submetida a 150 voltas, onde após o término o coque é retirado e peneirado na peneira de 15 mm. A massa retida é pesada e calculado o D.I. através da equação 1.

$$\rightarrow 100 - 75 \text{ mm} / \rightarrow 75 - 50 \text{ mm} / \rightarrow 50 - 40 \text{ mm} / \rightarrow 40 - 25 \text{ mm}$$
$$D.I, \% = \frac{\text{Massa retida}}{\text{Massa Inicial}} \dots (1)$$

Após a constatação da forte influência da densidade no D.I. do coque, foi estabelecido uma metodologia para a determinação da densidade, obedecendo toda a seqüência aplicada na determinação do D.I. do coque realizada em laboratório, conforme mostrado abaixo.

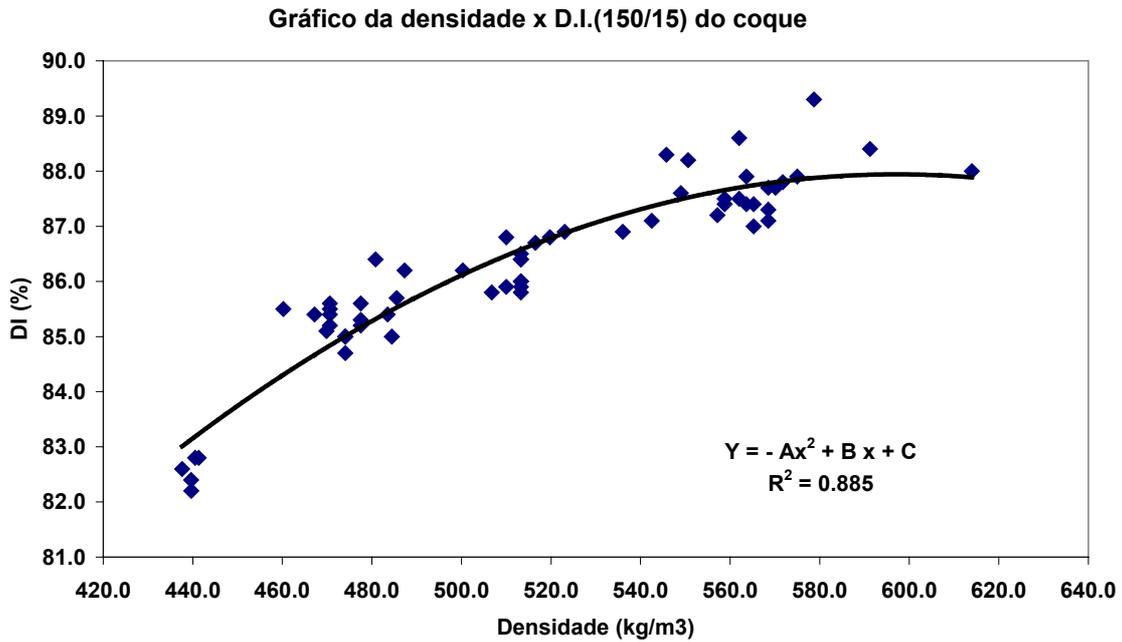
- Utilizar um recipiente com dimensões padronizadas e verificar o peso máximo de coque permissível no seu interior;
- Aplicar o mesmo percentual de distribuição granulométrica para a amostra do coque a ser colocada no interior da caixa;
- Completar a caixa com o coque e pesar a mesma;
- Secar a amostra na estufa;
- Peneirar a amostra do coque para a retirada dos finos na superfície das pedras;
- Colocar a amostra no tambor rotativo e determinar o D.I. da amostra de coque.

Os resultados obtidos das massas, densidades e D.I.(150-15) foram registrados em planilha eletrônica. A Tabela 2 mostra a origem do coque, os valores médios e os desvios obtidos.

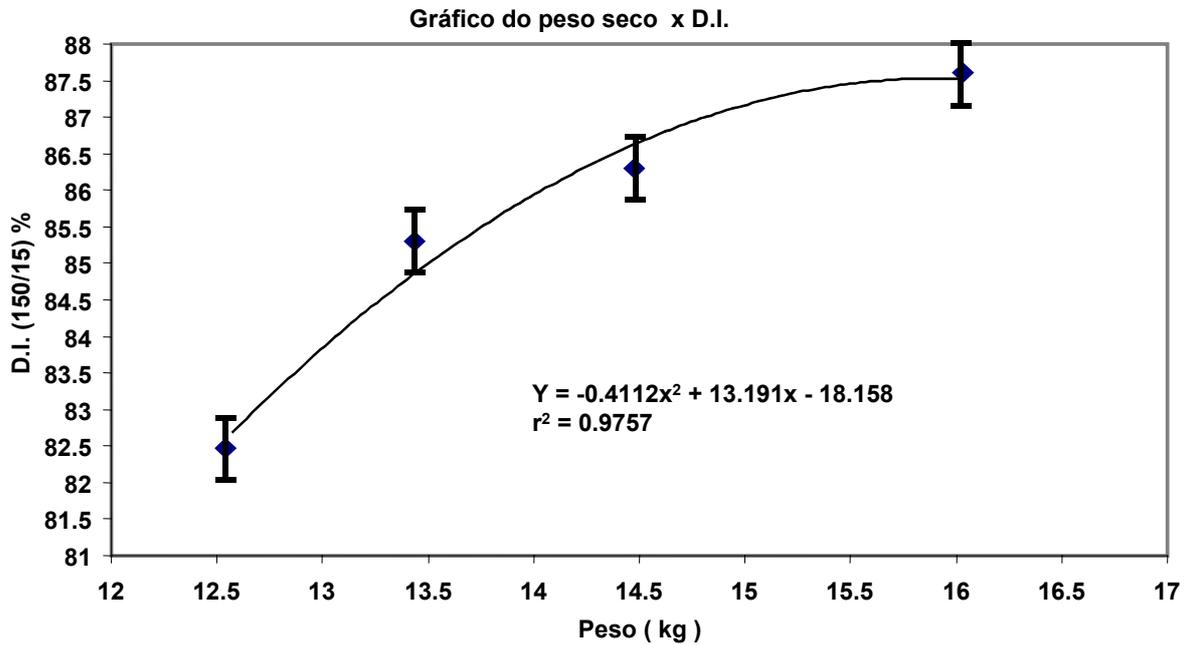
**Tabela 2** – Dados dos ensaios realizados nos coques sob investigação

Origem	Número de ensaios	Média e Desvio	Peso do coque úmido (g)	Peso do coque seco (g)	Densidade de peso seco (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade de peso úmido (kg/m <sup>3</sup> )	D.I. (%)
<b>Colombia</b>	14	Média Desvio	13190 21	12454 39	440 1,4	469 5,8	82,6 0,26
<b>CSN Brasil</b>	17	Média Desvio	13669 238	13396 233	474 6,7	483 8,4	85,3 0,28
<b>Japão</b>	17	Média Desvio	15735 401	14476 369	511 13,4	556 14	86,3 0,41
<b>China</b>	29	Média Desvio	17463 502	16153 550	566 16	617 18	87,7 0,57

Com os resultados obtidos foram levantadas as correlações conforme mostram os Gráficos das Figuras 4 e 5.

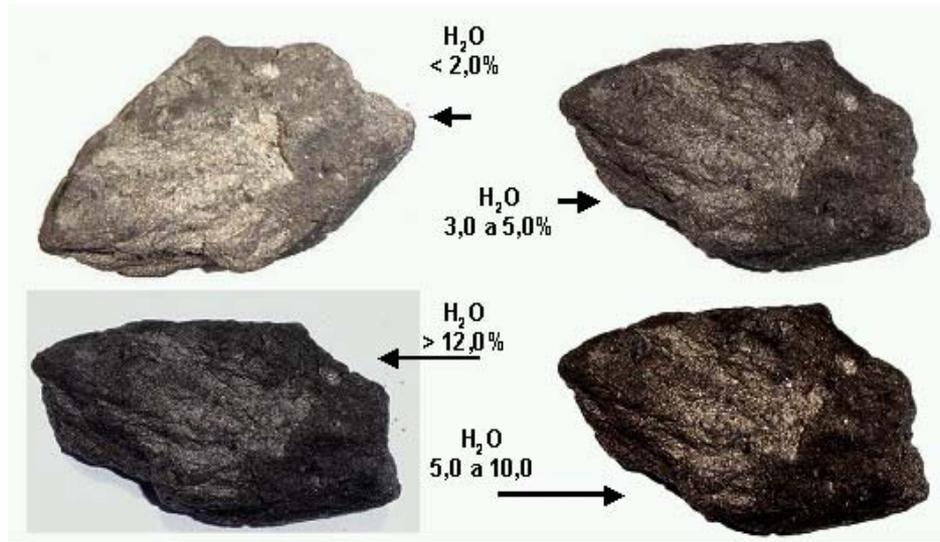


**Figura 4** – Contém a regressão do D.I. x densidade do coque.



**Figura 5** – Regressão do D.I. x Peso seco do coque.

Ainda dentro do plano de ação buscou-se uma alternativa para a identificação do teor de umidade do coque na pilha, através da simulação em laboratório do teor de umidade da pedra de coque em função da sua tonalidade. A Figura 7 mostra a relação entre a tonalidade do coque e o seu teor de umidade.



**Figura 7** – Comparativo da tonalidade do coque com o teor de H<sub>2</sub>O.

Os resultados obtidos no laboratório permitiram o desenvolvimento da metodologia para a determinação do índice de resistência mecânica a frio do coque na pilha (Figura 8), a qual é composta por:

→ Caixa de acrílico com dimensões padronizadas conforme norma ASTM; → Molde com as dimensões das telas do peneiramento; → Pincel; → Balança; → Calculadora; → Tabela com a indicação da umidade do coque; → Equações de conversão para a obtenção do D.I.



**Figura 8** – Componentes para a determinação do D.I. na pilha de coque.

A constatação da predominância da densidade no índice de resistência mecânica a frio do coque, possibilitou o desenvolvimento do sistema de determinação do D.I. do coque da produção na rota de abastecimento dos altos-fornos da CSN.

Primeiramente foi selecionado o local para a implantação do sistema que determinará o índice de resistência mecânica do coque produção para o Alto-Forno N<sup>o</sup> 2, sendo esse, os silos das Balanças 10 e 20 da Stock-House N<sup>o</sup> 2.

A implantação do sistema teve início na rota de abastecimento do coque para o Alto-Forno N<sup>o</sup>2 através da coleta de 20 amostras do coque CSN e 10 amostras do coque chinês, identificando o peso da carga e o teor de umidade. As amostras foram envi-

adas ao laboratório central para a determinação do D.I. e as informações do peso e do teor de umidade foram utilizadas para a determinação da densidade do coque no interior dos silos de pesagem.

Para a determinação do volume útil do silo, foi necessário construir uma régua graduada de 3 metros de comprimento. Com essa régua, o Operador da Stock-House Nº 2 fez as medições das alturas livres no interior dos silos contendo o coque. Aplicando as equações de volume para a geometria do silo, foi determinado o volume não ocupado no interior do silo em função da altura, ou seja, a equação ficou  $V_{\text{vazio}} = X f(h)$ . O volume do coque no interior do silo ficou sendo:

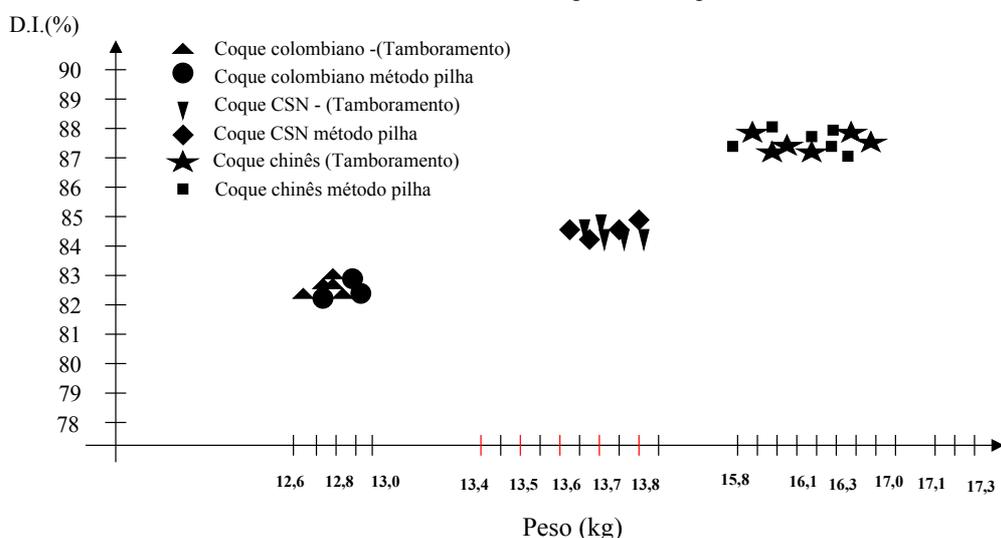
$$V_{\text{ocupado}} = V_{\text{total}} - V_{\text{vazio}} \quad \dots(2)$$

A Tabela 3 mostra o comparativo entre os resultados obtidos nas pilhas e no laboratório. A eficiência do sistema foi consolidada com realização dos ensaios nas pilhas, conforme mostra o Gráfico da Figura 9.

**Tabela 3** – Dados comparativos do D.I. do coque.

Resultados comparativos do D.I. do coque			
Origem do coque	Coque Colombiano	Coque CSN	Coque Chinês
D.I. na pilha	82,1 a 83,2	84,0 a 84,7	87,2 a 87,6
D.I. no tambor	82,2 a 83,5	84,7 a 85,7	86,3 a 89,3
Desvio Observado	0,1 a 0,3	0,7 a 1,0	0,6 a 1,7

Resultados comparativos entre o D.I. obtido no laboratório e o D.I. obtido na pilha de coque



O Gráfico da Figura 10 mostra a equação de regressão obtida, com coeficiente de correlação  $r$  de 0,81. A instalação da sonda-radar nos silos permitirá obter os valores  $h_1$  e  $h_2$  no computador de processo da sala de controle do Alto-Forno Nº 2 e, juntamente com os valores de umidade e do peso, será possível obter o valor da densidade do coque automaticamente. Como a equação do D.I. é função da densidade, os valores do D.I. serão obtidos automaticamente.

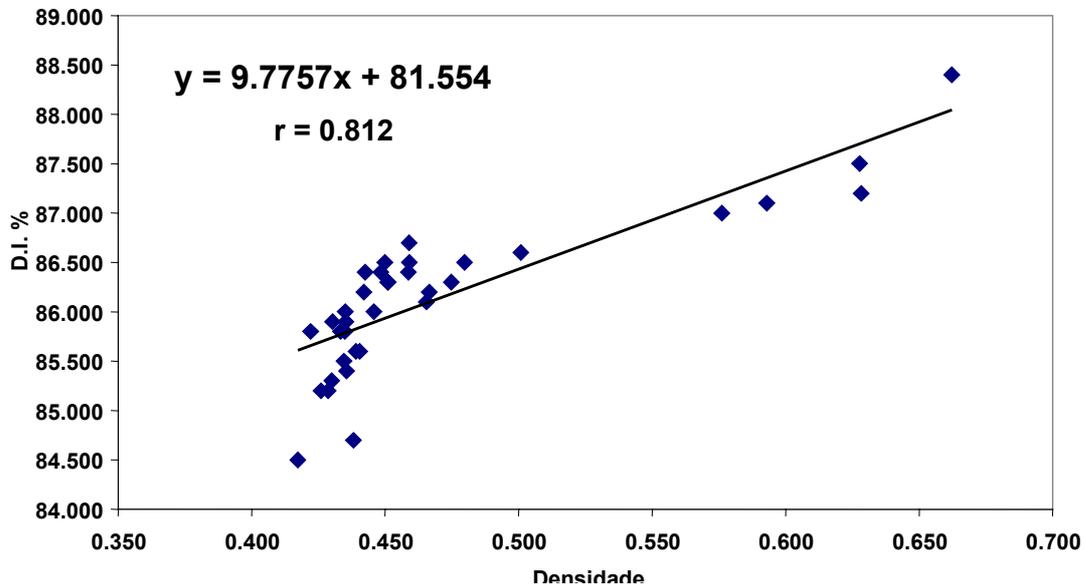


Figura 10– Correlação do D.I. x densidade do coque obtido na rota de abastecimento do coque para o Alto-Forno.

A Figura 11, ilustra o processo de determinação do D.I. do coque produção na rota de abastecimento do Alto-Forno Nº 2

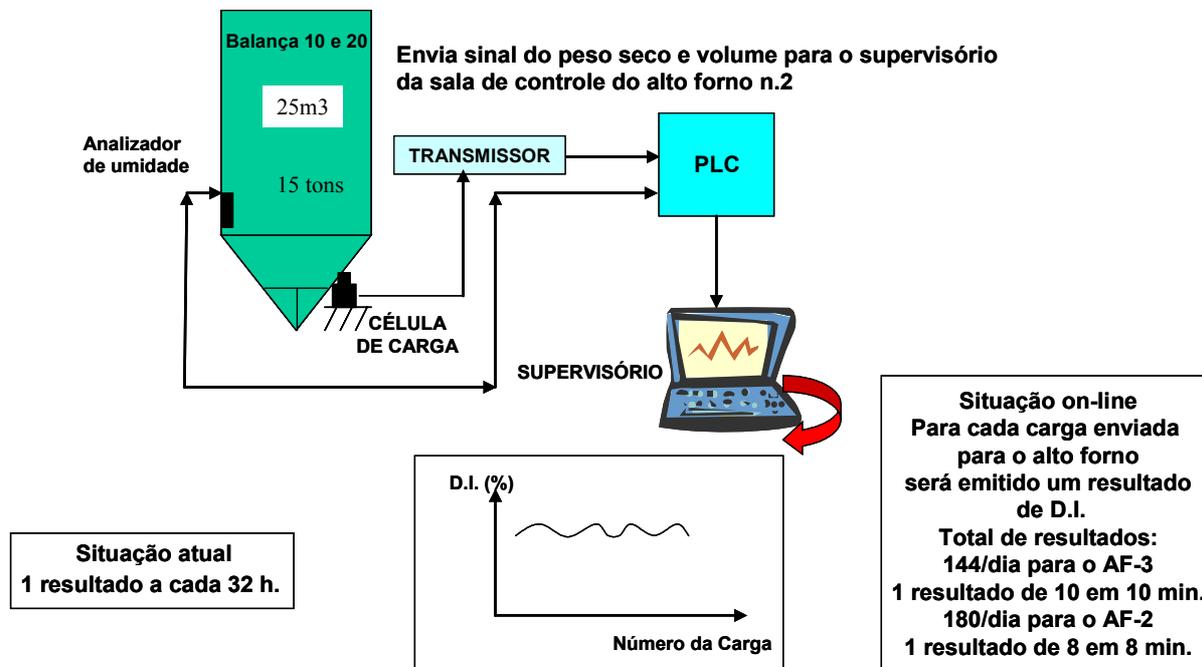


Figura 11 – Ilustração do sistema de determinação do D.I.do coque produção na rota de abastecimento do Alto-Forno Nº 2 da CSN.

### 3.4 Verificação

Após o término do desenvolvimento das equações de regressão passou-se para a etapa de validação dos resultados.

A aplicação da nova metodologia de determinação do D.I. do coque foi feita nas pilhas de coque colombiano e chinês existentes no pátio de estocagem da CSN. A Figura 12 mostra as etapas de coleta e seleção das amostras de acordo com a sua granulometria.



Figura 12 – Fotografias da coleta do coque nas pilhas.

O sistema de determinação do D.I. na rota de abastecimento do coque produção para o Alto Forno N<sup>o</sup> 2 foi checado através da coleta de amostras do coque nos Silos Balanças 10 e 20 e confrontados com os valores obtidos no sistema. O Gráfico da Figura 13 mostra esse comparativo.

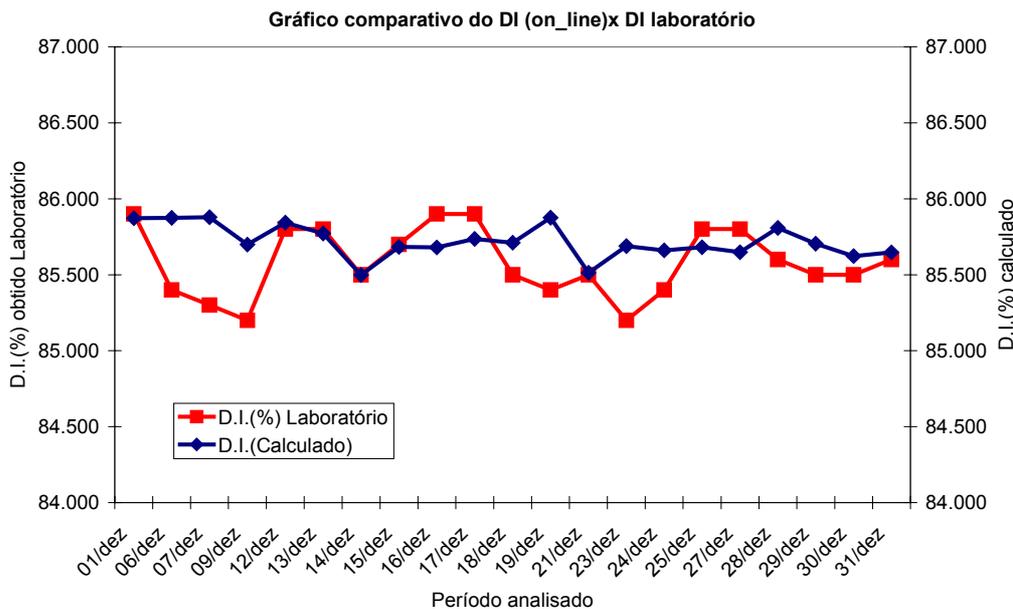


Figura 13 – Comparativo entre os resultados obtidos na rota de abastecimento do Alto-Forno N<sup>o</sup> 2 e os resultados obtidos no laboratório.

### **3.5 Padronização**

Foi elaborado o manual para o treinamento dos técnicos que fazem a vistoria do coque nos portos de embarque e está sendo padronizado o sistema de determinação do D.I. na rota de abastecimento do coque produção para o Alto-Forno N°2.

### **4 CONCLUSÃO**

O trabalho desenvolvido pela Gerência Geral de Processos Siderúrgicos em conjunto com a Gerência Geral dos Altos-Fornos para a determinação do Índice de Resistência Mecânica a Frio do coque (D.I.) fora do laboratório atendeu às expectativas. A análise dos resultados permitiu concluir os seguintes tópicos:

- 1- A metodologia para a determinação do D.I. em pilha atendeu aos objetivos desejados, ou seja, obter o D.I. no local da pilha antes do material ser embarcado para a CSN;
- 2- A aplicação desse método nos portos de carregamento dos coques, irá melhorar o processo de avaliação dessa matéria prima;
- 3- A utilização do sistema de determinação do D.I. na rota de abastecimento do coque da produção irá monitorar todo o coque produzido e abastecido nos altos-fornos, de forma que, qualquer irregularidade apresentada permitirá haver tempo hábil para as tomadas de ações sem a perda da estabilidade de processo dos altos-fornos.

### **Referências**

- 1 ASADA, S.; M. NISHIMURA “ The Mechanism of Formation of Density – Distribution in Lump Coke Made from Wet Coal Charge” Cokemaking International, Vol.5 1/1993, pp.23-27.
- 2 JIS K 2151:2004 – Coke – Testing methods – Japanese Industrial Standard.
- 3 LOISON, R., FOCH,P., and BOYER, A. – El Coque – IRSID – 1970.