



## “STAMPING CHARGER COM AUTOMATISMO” - COMPACTAÇÃO DA MASSA DE CARVÕES - ESTUDO TEÓRICO E ANÁLISE PRÁTICA NA TKCSA\*

Yan Samuel Ferreira Junqueira<sup>1</sup>

Leonardo de Souza Pinto<sup>2</sup>

Robson Jacinto Coelho<sup>3</sup>

Jose Maria Clemente<sup>4</sup>

### Resumo

A Coqueria de uma usina siderúrgica é responsável pela produção de coque e produção de vapor para geração de energia usando como matéria-prima uma mistura de carvões, o coque produzido é utilizado como o principal combustível nos altos-fornos. A Coqueria da ThyssenKrupp CSA utiliza a tecnologia *Heat Recovery* com *Stamping Charger* para compactação e preparação da massa de carvões para enformamento e coqueificação. A tecnologia de compactação da massa de carvão agrega vários benefícios ao processo, tais como: aumento da densidade, homogeneidade e alinhamento da carga enformada, melhora no controle do processo de coqueificação e nos parâmetros de qualidade do coque, além de possibilitar a utilização de carvões de menor poder de coqueificação, reduzindo assim o custo de produção do coque e da geração de energia. Através do automatismo do *Stamping Charger* é possível avaliar e calcular a densidade da massa de carvões e o ganho de produtividade que este sistema proporciona.

**Palavras-chave:** *Stamping charger*, Densidade; Automatizado; Coqueria.

## “STAMPING CHARGER WITH AUTOMATIC” - COMPRESSION OF MASS OF COALS - THEORETICAL STUDY AND PRACTICE ANALYSIS AT TKCSA

### Abstract

The Coke Plant of a Steel Plant corresponds to the stage of transformation a blend of coal into coke for use in blast furnaces and steam to power generation. The coking plant of ThyssenKrupp CSA uses the Heat Recovery technology with Stamping Charger for compression and preparation the mass of coals for coking and charging. Compression technology of mass coal adds several benefits to the process, such as increased density, homogeneity and alignment of the load charged into the oven, as well as provides better control of the coking process, improves parameters of coke quality and allows coal blending with lower coking power, thereby reducing the cost of production of coke and power generation. Through the automation of Stamping Charger it is possible to evaluate and calculate the mass density of coal being put into the oven and the productivity gains this system provides.

**Keywords:** *Stamping charger*, Density, Automatic, Coke plant.

<sup>1</sup> Engenharia de Controle e Automação, Engenheiro de Automação Sênior, Coqueria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Técnico em Automação Industrial, Técnico Especialista em Automação, Coqueria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>3</sup> Mestrado em Engenharia de Materiais, Engenheiro Especialista em Redução, Unidade Técnica Coqueria, Thyssenkrupp CSA, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>4</sup> Pós Graduação em Gestão Empresarial, Especialista em Processos de Produção de Coque, Consultor de Empresas, Vitória, ES, Brasil.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação da técnica do *Stamping Charger* no processo de fabricação do coque busca conferir propriedades similares a massa de mistura de carvões com determinada distribuição granulométrica e umidade desejada, com o intuito de reduzir ao máximo o espaço vazio entre os grãos, conferindo integridade suficiente à mistura de carvões a fim de facilitar seu manuseio e enforamento.

O ganho imediato desta compactação/ homogeneização é o aumento da densidade de carga enforada ( $t/ m^3$ ) e conseqüente aumento da produção de coque. Os demais ganhos são o alinhamento da carga, melhor controle de combustão no forno e elevação de alguns parâmetros de qualidade, como exemplo, a resistência do coque após a reação ao  $CO_2$  - CSR. Este incremento de qualidade pode ser revertido em ganhos na redução de custo, pois possibilita utilização de carvões de qualidade inferior e a um custo mais baixo, sem prejuízo para a qualidade do coque e produtividade da bateria.

Iremos apresentar os estudos realizados para obtenção do aumento de produtividade utilizando o *Stamping Charger* da ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico – TKCSA através do seu automatismo, visando o aumento da densidade de carga, melhor controle do processo de coqueificação, aumento da qualidade do coque e redução do custo de produção com a possibilidade de utilizar carvões de qualidade inferior.

## 2 STAMPING CHARGER

### 2.1 Compactação via *Stamping Charger*

#### 2.1.1 Descrição do processo

O processo de compactação via *Stamping Charger*, visa garantir a máxima densidade e quantidade de carvão a ser enforado.

O sistema de compactação utiliza uma pressão de 13 MPa, que considerando a umidade e granulométrica na faixa ótima, a taxa de compressão do carvão poderá chegar a aproximadamente 35%.

O controlador posiciona o *hopper* nas posições pré-definidas para as prensas comprimirem o carvão, a fim de garantir a densidade de  $1,12 t/ m^3$ .

A compactação será concluída quando três camadas forem espalhadas e compactadas, conforme observado na Figura 1.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

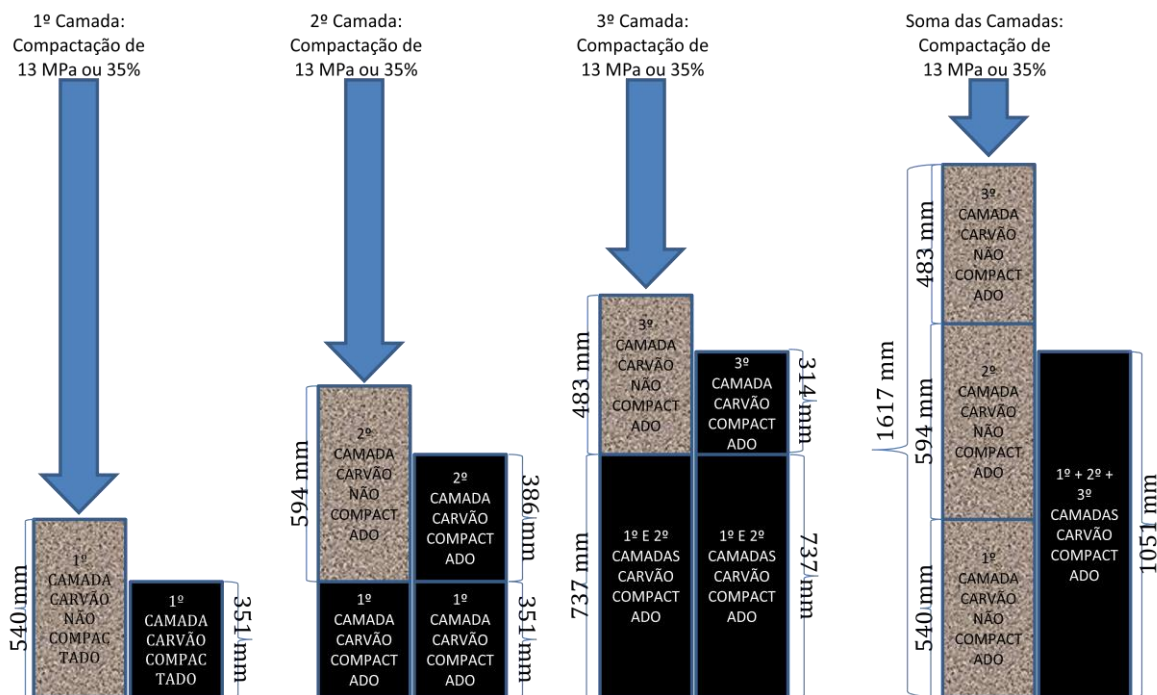


Figura 1. Ilustração do processo de espalhamento e compactação da mistura de carvões.

### 2.1.2 Influência da umidade no processo de compactação

Ralph Proctor (1933) desenvolveu um ensaio dinâmico para determinação do ponto de compactação máxima no qual se obtém a umidade ótima de compactação. A Figura 2 ilustra os testes realizados para sólidos em geral. A água umidifica as partículas e facilita o arranjo destas, ocorrendo por esta razão um acréscimo de massa específica seca ( $\text{kg/m}^3$ ). Entretanto, com elevação do percentual de umidade a água amortiza a compactação e começa a ter mais água que sólido, e assim há um decréscimo da massa específica seca.

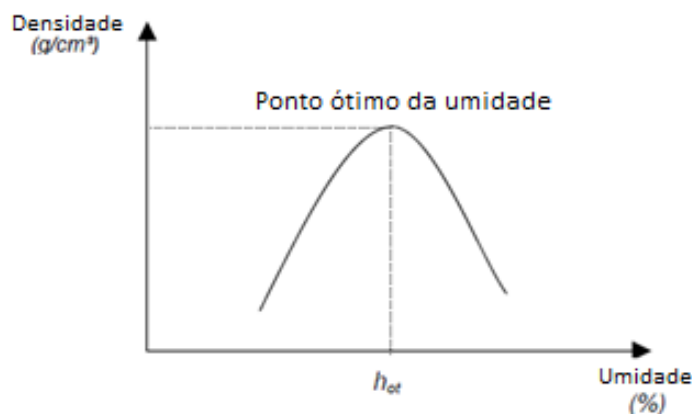


Figura 2. Umidade versus densidade

Vários sistemas de compactação diferentes são empregados em baterias *Heat Recovery* e *By Products* e ou estão em estudo. A densidade obtida nestes processos pode chegar a  $1,14 \text{ t/m}^3$ , o que significa elevação de cerca de 54% na densidade da massa enfiada, quando comparado com enfiamento sem compactação de carga.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



O sistema instalado na TKCSA, embora a especificação de projeto é de uma densidade da massa entre 1,05 e 1,10 t/ m<sup>3</sup>, em testes realizados no início de operação apontam para valores mais altos em torno de 1,12 t/ m<sup>3</sup>.

Na TKCSA a fração granulométrica menor que 3,35 mm da mistura de carvão enfiada é controlada na faixa de 81 a 89%.

Na Figura 3, é apresentado o aumento da taxa de compressão na prensa piloto da TKCSA, mantendo-se constante a granulometria da amostra, com umidade variando de 8,3% e 9,2%.

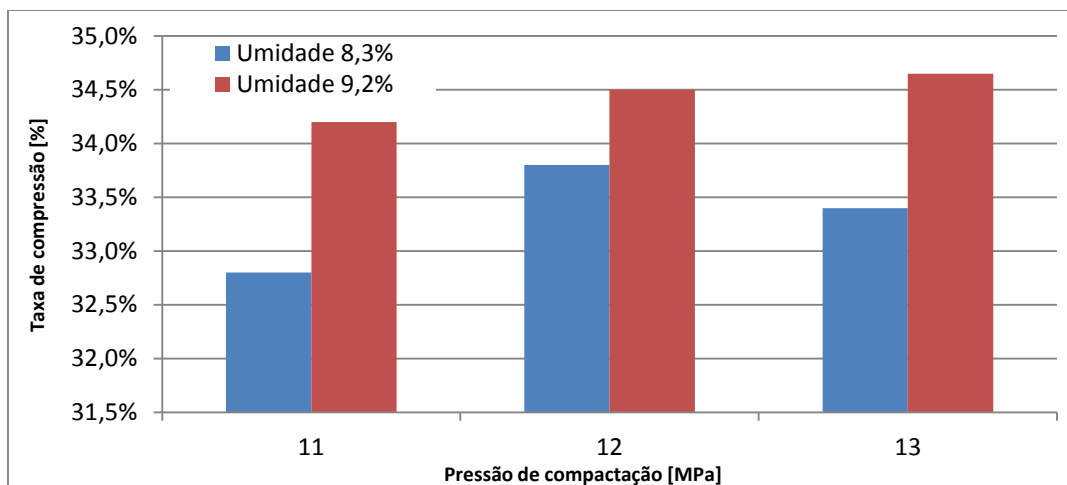


Figura 3. Correlação da pressão de compactação, umidade e taxa de compressão da prensa piloto da TKCSA

Mantendo-se constante a granulometria da amostra e a umidade em 9,2%, a densidade da mistura de carvões compactada aumenta de forma exponencial. A partir de certo ponto o aumento da pressão de compactação não surte efeito no aumento da densidade de carga. A Figura 4 mostra essa relação encontrada na prensa piloto da TKCSA.

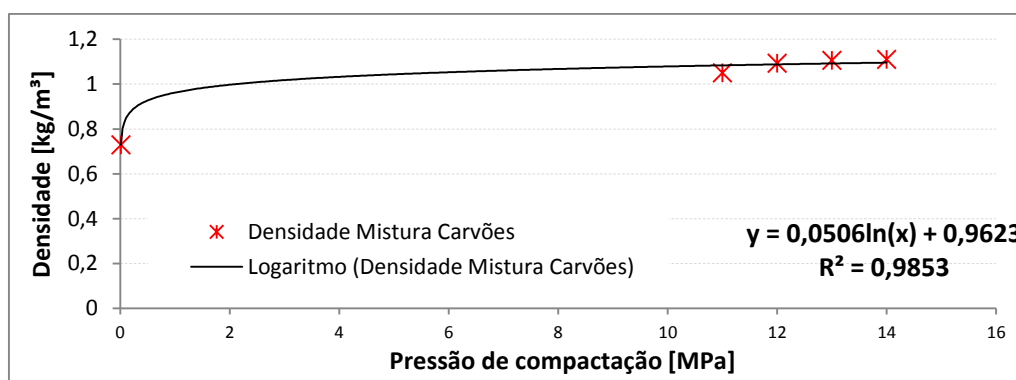


Figura 4. Correlação da densidade com a pressão de compactação da prensa piloto da TKCSA.

### 2.1.3 Sistema compactação

O sistema de compactação da TKCSA utiliza um silo de armazenamento de carvão, um posicionador para controle da altura de espalhamento do carvão e duas prensas para compactação. Esse sistema possui instrumentos para medição das posições das prensas, laser para posicionamento do *hopper* e medição de pressão para garantir a pressão de compactação na massa.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 2.2 Metodologia

O estudo foi iniciado com testes na prensa piloto no laboratório da TKCSA utilizando granulometria e umidade dentro dos parâmetros especificados.

Utilizando a prensa piloto foram realizados teste de densidade para varias pressões de compactação.

Após testes realizados em laboratório, foram realizados testes nas máquinas de compactação buscando repetibilidade da taxa de compressão do laboratório em escala industrial para uma mesma pressão de compactação.

### 2.2.1 Cálculos de densidade

A densidade da massa compactada é calculada utilizando o volume da bandeja e a densidade aparente da mistura de carvões blendado.

O volume da massa de carvão não compactado é dado pela base e comprimento da bandeja, que são 3,45 e 12,9 metros respectivamente, a altura da massa é dada pelo posicionamento do espalhamento, sendo estes 540 milímetros na primeira camada. A Figura 5 representa o volume da massa de carvão compactada.

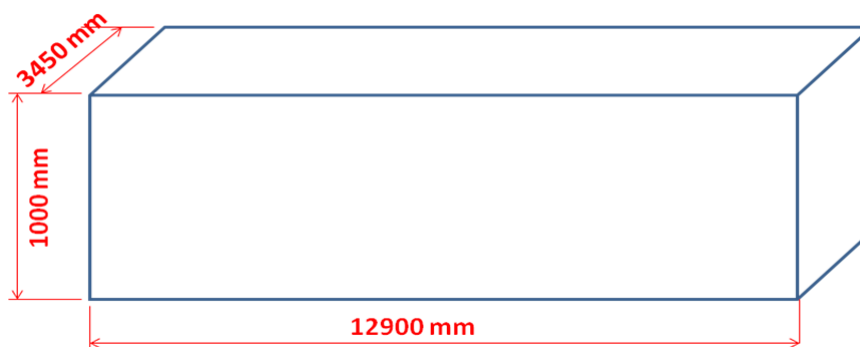


Figura 5. Dimensões da massa de carvão compactada.

A densidade aparente da mistura de carvões é definida em 0,73 t/ m<sup>3</sup>.

Utilizando o sistema de compactação com 35% de compressão temos a altura da massa compactada (Equação 1).

$$\begin{aligned} \text{Altura}_{\text{Compactado}} &= (\text{Altura}_{\text{Espalhamento}} - \text{Altura}_{\text{Base}}) * (1 - \text{Taxa}_{\text{compressão}}) \quad (1) \\ \text{Altura}_{\text{Compactado}} &= (540 - 0) * (1 - 0,35) \\ \text{Altura}_{\text{Compactado}} &= 351 \text{ mm} \end{aligned}$$

O cálculo da densidade final da mistura compactada é feito utilizando a Lei de Lavoisier (1743) que diz “Numa reação química a massa se conserva porque não ocorrem criação nem destruição de átomos. Os átomos são conservados, eles apenas se rearranjam”. Utilizando esta lei sabemos que a massa inicial será igual a massa final (Equação 2) e assim a densidade da massa compactada pode ser calculada (Equação 3).

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.





$$Massa_{Inicial} = Massa_{Final} \quad (2)$$

$$Massa = Densidade * Volume \quad (3)$$

$$Densidade_{inicial} * Volume_{inicial} = Densidade_{final} * Volume_{final}$$

$$Densidade_{inicial} * 3,45 * 12,9 * 0,540 = Densidade_{final} * 3,45 * 12,9 * 0,351$$

$$0,73 * 24,0327 = Densidade_{final} * 15,621255$$

$$Densidade_{final} = (0,73 * 24,0327) / 15,621255$$

$$Densidade_{final} = 1,123 \frac{t}{m^3}$$

Os cálculos das outras três camadas podem ser feitos utilizando a mesma fórmula. A Figura 1, item 2.1.1, apresenta de forma ilustrativa o carvão espalhado e o carvão compactado considerando uma taxa de compressão de 35%.

### 2.2.2 Cálculos de produção

A produção de coque depende de dois fatores, número de desenformamentos e carga média de coque por forno.

A produção da coqueria é o somatório da quantidade de coque produzido em cada forno (Equação 4).

$$\sum_{n=1}^{Total \text{ Desenformamentos}} CargaCoque_{Forno \ n} \quad (4)$$

Para simplificar os cálculos da produção utilizamos a carga média de coque por forno multiplicado pela quantidade de fornos desenformados (Equação 5).

$$Produção = N^o \text{ Fornos} * Carga \ Coque_{média} \quad (5)$$

O aumento da produção ocorre a partir do maior número de desenformamentos ou da elevação da carga média de coque por forno.

Ao atingir o limite máximo de desenformamentos, uma das possibilidades para aumento da produção é a elevação da densidade da massa.

Devido a não existência de balança para pesar a massa enformada, a carga média teórica é calculada utilizando-se: o volume da bandeja, a altura da massa compactada em 1 metro, a densidade do carvão compactado em 1,123 e a umidade em 9,2% (Equação 6).

$$CargaCarvão_{Forno} = Volume_{bandeja} * Densidade_{Final} * (1 - Umidade) \quad (6)$$

$$CargaCarvão_{Forno} = 3,45 * 12,9 * 1 * 1,123 * (1 - 0,092)$$

$$CargaCarvão_{Forno} = 45,38 \text{ t}$$

Considerando um rendimento de 0,73 para o coque/ carvão podemos calcular a carga média de coque teórico produzido por forno (Equação 7).

$$CargaCoque_{Forno} = CargaCarvão_{Forno} * Rendimento \quad (7)$$

$$CargaCoque_{Forno} = 45,38 * 0,73$$

$$CargaCoque_{Forno} = 33,12 \text{ t}$$

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Elevação da Produção de Coque

Utilizando o *Stamping Charger* em modo automático verificou-se uma elevação na quantidade de carvão consumido e conseqüentemente aumento na carga média de coque produzido. Este aumento de carga de coque por forno deve-se a maximização da densidade da massa de carvão que o *Stamping Charger* em automático proporciona.

A Figura 6 representa o aumento da carga de coque por forno e a quantidade de fornos compactados em automático nos últimos seis meses, foi considerada 29,73 t de coque por forno para referencia de 100%. No período de janeiro até meados de março o sistema de compactação em automático estava em testes e sendo otimizado, desde então é verificado um aumento na carga de coque por forno.

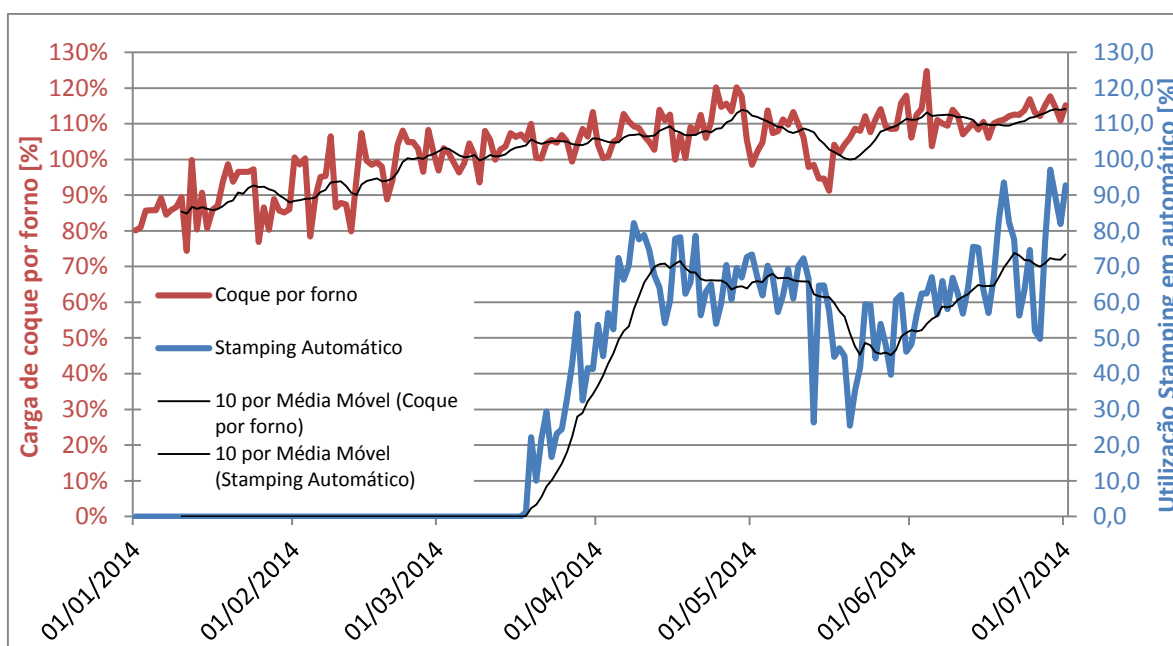


Figura 6. Carga de coque por forno e porcentagem das compactações em automático.

O planejamento de produção anual da coqueria é baseado em número de desenformamentos. A produção total será afetada diretamente pela densidade de carga, uma vez que a mesma afeta a carga de coque por forno. A Tabela 1 representa a carga média em cada mês para a mesma referencia de 29,73 t como 100%, produção de coque anual para 50.442 desenformamentos e a porcentagem de fornos enformados com *Stamping Charger* em automático.

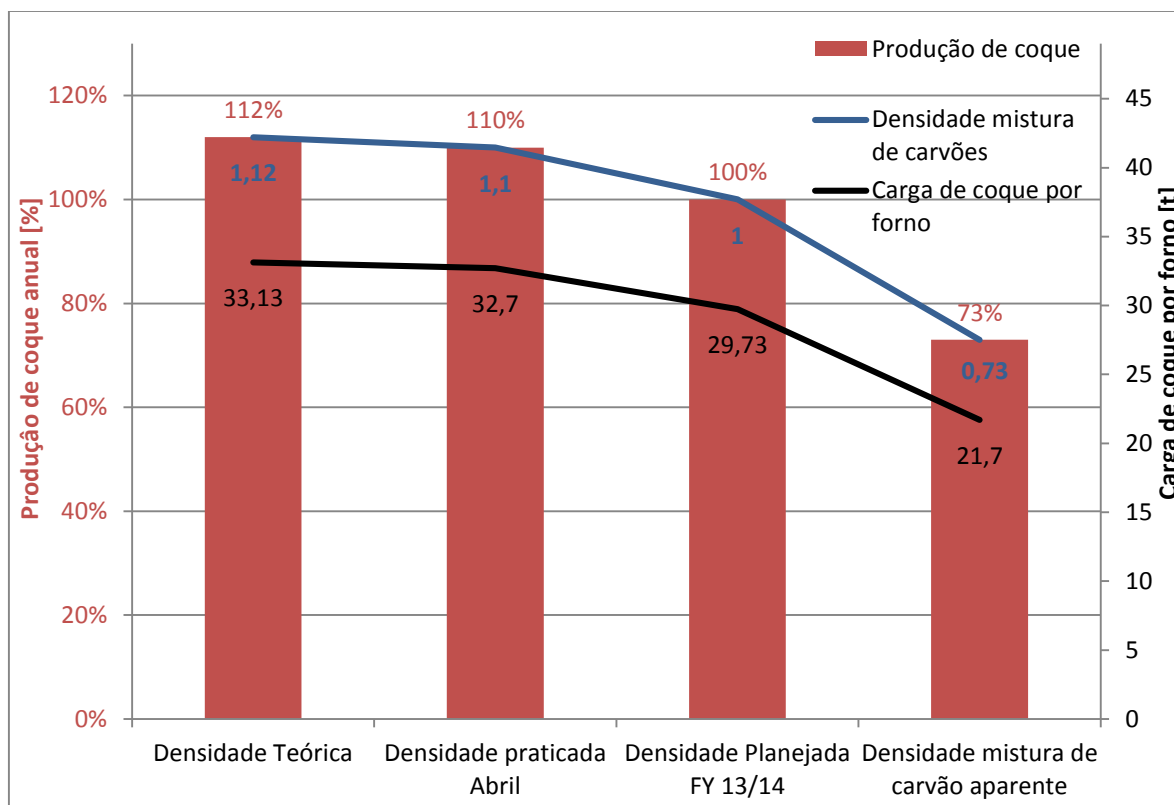
Tabela 1. Produção de coque e *Stamping Charger* em automático

Mês	Carga Coque Média	Produção Anual para 50.442 fornos	Utilização <i>Stamping Charger</i> em automático
Jan/14	88%	1.313.510 t	0,00%
Fev/14	97%	1.455.756 t	0,00%
Mar/14	104%	1.553.614 t	12,80%
Abr/14	110%	1.634.321 t	65,90%
Mai/14	106%	1.596.489 t	55,60%
Jun/14	112%	1.675.683 t	68,10%

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



A Figura 7 apresenta a influencia da densidade da mistura de carvões no aumento da produção de coque para 1 metro de altura da massa enforada com um número de desenforamentos ano de 50.442 e rendimento coque/ carvão de 73%.



**Figura 7.** Variação da produção anual devido aumento da densidade da mistura de carvões para massa compactada a um metro.

### 3.2 Meio Ambiente

No momento do enforamento ocorre emissão de particulado na atmosfera devido à pressão e temperatura do forno, para minimizar este impacto ambiental existe um sistema de exaustão para não deixar que essas partículas atinjam a atmosfera.

O *Stamping Charger* em automático contribui com o sistema de exaustão, pois garante que toda a massa de carvão está compactada não deixando carvão “solto” na massa, ou seja, a compactação em automático garante consistência à massa de carvão enforada, contribuindo para minimizar emissões de particulado.

### 3.3 Qualidade

A utilização do *Stamping Charger* melhora os parâmetros de qualidade do coque e permite a utilização de carvões de qualidade inferior (*Alternative C*) para compor a mistura, proporcionando a produção de coque a um custo mais baixo.

Esta tecnologia permitiu atingir a utilização do carvão *Alternative C* em patamares acima de 25% mantendo-se o CSR dentro da especificação de qualidade. A Figura 8 representa a manutenção do CSR dentro dos limites de controle versus o aumento do percentual de utilização do *Alternative C* na mistura de carvões.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



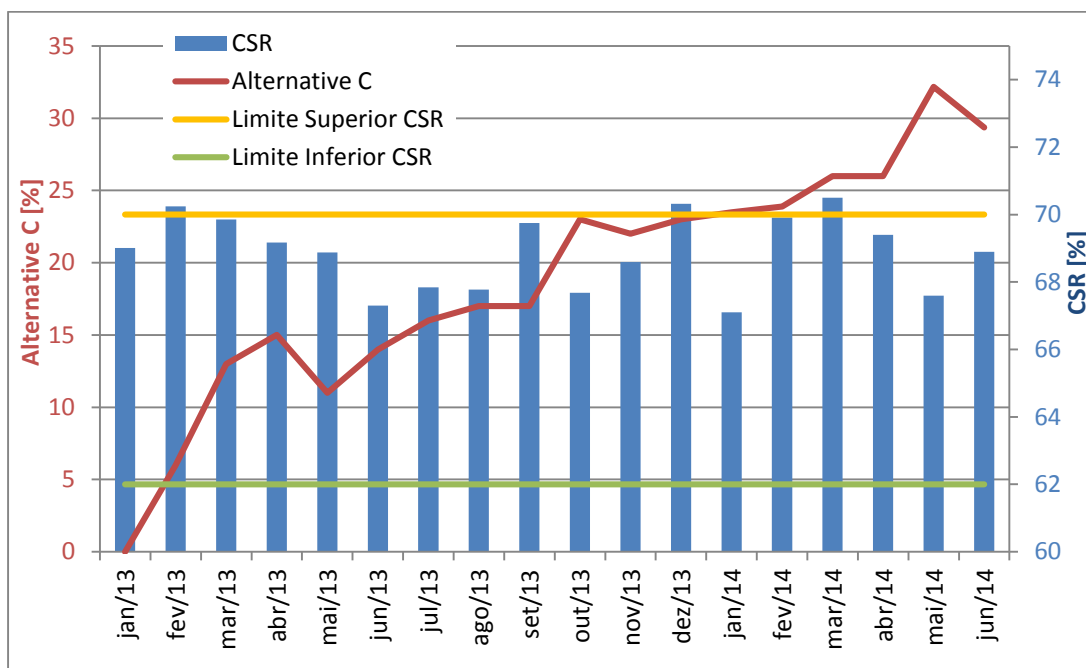
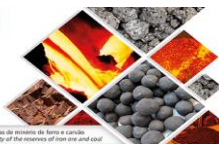


Figura 8. Manutenção do CSR versus aumento da participação do *Alternative C* na mistura de carvões.

### 3.4 Controle, Relatórios e Confiabilidade

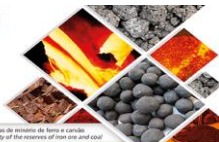
O processo de compactação é controlado pelo CLP da máquina. O sistema de controle possui funções que monitoram e identificam cada prensagem a fim de gerar informações sobre o processo. Essas informações geradas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Relatório de compactação.

RELATÓRIO 31C						12/13/2013 5:28:54 AM
DETALHES						
Cam.	Altura Espalham.	Altura Acabam. Meta	Altura Acabam. Real/Média	Taxa Compress. Meta	Taxa Compress. Real	
1 <sup>a</sup>	540	351	371	35	31.30 %	
2 <sup>a</sup>	945	737	707	22	25.19 %	
3 <sup>a</sup>	1220	1049	1026	14	15.90 %	

A taxa de compressão apresentada no relatório é de grande valor para mensurar a eficiência do sistema de compactação e calcular o peso da massa enforada. Os instrumentos e posicionadores que compõem o sistema de controle possuem um erro de 10 mm, a medição da posição das prensas possui um erro de 1 mm. São gerados relatórios de cada carga preparada, facilitando assim o monitoramento da taxa de compressão, a qual se constitui em um indicador importante na avaliação da performance do sistema *Stamping Charger*. Há potenciais, ainda não explorados, no processo de automação do sistema de compactação que certamente terão outros benefícios nas práticas operacionais da produção de coque.

\* Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



## 4 CONCLUSÕES

A umidade da mistura de carvão em 9,2% e pressão de compactação em 13 MPa proporcionaram a melhor taxa de compressão da mistura, em torno de 35% e densidade de 1,12 t/ m<sup>3</sup>. Na escala industrial obtivemos densidade de 1,10 t/ m<sup>3</sup>, indicando uma taxa de compressão muito próxima a taxa obtida no laboratório.

O controle automático da preparação da carga a ser enforcada no *Stamping Charger* proporciona atingir os objetivos e metas de carga enforcada por forno com desvios menores que quando se opera em manual, maximizando a densidade da mistura de carvões e o conseqüente aumentando a produção de coque.

A qualidade do coque manteve-se estável mesmo com o aumento da participação do carvão *Alternative C* de qualidade inferior e custo mais baixo, este efeito é atribuído parcialmente ao *Stamping Charger*.

O ajuste de altura de carga por forno pode ser individualizado, visando uma meta estabelecida para o tempo líquido de coqueificação, que pode ser utilizado para maximizar a produtividade e/ou mitigar perdas em paradas programadas.

## Agradecimentos

Agradecemos ao consultor Paulo Buaiz pela orientação e apoio ao longo da execução do trabalho, a equipe da Unidade Técnica da coqueria pelo imenso conhecimento compartilhado e apoio na inscrição do trabalho na ABM, a equipe de Laboratório, Operação e Manutenção nos testes laboratoriais e industriais e a todos as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização do trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Coelho RJ. Modelos de previsão de qualidade metalúrgica do coque a partir da qualidade dos carvões individuais e do coque obtido no forno piloto de coqueificação da CST. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais, 2003.
- 2 Abel F, Rosenkranz J, Kuyumcu HZ. Stamped coal cakes in cokemaking technology. Part 1 – A parameter study on stampability, *Ironmaking and Steelmaking*, 2009a; 36(5):321-326.
- 3 Abel F, Rosenkranz J, Kuyumcu HZ. Stamped coal cakes in cokemaking technology. Part 2 – The investigation of cake strength, *Ironmaking and Steelmaking*, 2009b; 36(5):327-332.
- 4 Kuyumcu HZ, 1990. Cokemaking by stamp charging, in *Proceedings of the 6th International Iron and Steel Congress*, Nagoya, Japan: ISIJ.

\* *Contribuição técnica ao 44<sup>o</sup> Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*