

## ALTOFORNO 01 DA ARCELORMITTAL TUBARÃO: 20 MILHÕES DE TONELADAS \*

Luiz Augusto Wasem<sup>1</sup>  
José Antônio Pereira Novaes<sup>2</sup>  
Filipe Sathler<sup>3</sup>  
Estefan Campos Ribeiro<sup>4</sup>  
Leonardo Passos Perdigão<sup>5</sup>  
Claudio César da Costa<sup>6</sup>  
Fábio Dummer Silva<sup>7</sup>

### Resumo

O Alto Forno 01 da ArcelorMittal Tubarão apresenta como resultado a marca de 20 milhões de toneladas produzidas desde o reinício de operação em setembro de 2012. Consumo de combustíveis, produtividade e vida útil têm sido os principais parâmetros de avaliação da performance. Os baixos níveis de coque rate e fuel rate praticados no decorrer destes quase 6 anos de operação contínua tem sido responsáveis por grande parte da redução do custos que, aliadas a um aumento da produção e do controle dos equipamentos, convergem para importantes resultados. Desenvolvimentos essenciais para sustentar os resultados: controle de distribuição de carga, controles de processo e manutenção, gestão integrada das áreas com novo modelo mental, capacitação e desenvolvimento técnico das pessoas.

**Palavras-chave:**Alto Forno; Campanha; Produtividade; Coque Rate.

### ARCELORMITTAL TUBARAO BLAST FURNACE #1:20 MILLION TONS

#### Abstract

ArcelorMittal Tubarão Blast Furnace #1 achieved an important mark of 20 million tons of hot metal produced since blowin in September 2012. Fuel consumption, productivity and campaign extension have been the main parameters for evaluating performance. Operation with low coke rate and fuel rate during first 6 years of continuous operation have been responsible for a large part of costs reduction which, together with an increase in production and control of the equipment, converge to remarkable results. Essential developments to support the results: burden distribution control, process and maintenance controls, integrated management of areas with new mind set, training and technical development of people.

**Keywords:** Blast Furnace; Campaign; Productivity; Coke Rate.

<sup>1</sup> Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Administração – MBA Gestão Empresarial, Gerência de Área do AltoForno nº 1, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

<sup>4</sup> Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

<sup>5</sup> Engenharia Metalúrgica, Gerente da Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

<sup>6</sup> Engenharia Metalúrgica, Gerência de Área dos Altos Fornos nº 2 e 3, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil

<sup>7</sup> Engenharia Metalúrgica, Especialista de Altos Fornos, Unidade Técnica da Área de Redução, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão, antiga CST, foi criada em 1976 como uma joint-venture estatal, com as ações minoritárias pertencentes ao Grupo Kawasaki, do Japão, e ao Grupo Ilva (antiga Finsider), da Itália. Contudo, somente em novembro de 1983 o Alto Forno 1 iniciou sua primeira campanha. Devido aos esforços integrados da manutenção, operação e engenharia, o Alto Forno 1 atingiu a marca relevante de 28,4 anos de operação ininterrupta, com a marca de aproximadamente 94 milhões de toneladas de gusa produzidos na sua primeira campanha – considerado como a referência mundial em produção de gusa.

A sua segunda campanha teve início em 4 de setembro de 2012 com nova tecnologia no carregamento e outras melhorias que tornaram o AltoForno 1 de Tubarão um dos melhores do grupo ArcelorMittal, com uma alta performance operacional, alta produtividade e baixo consumo de combustível, atingindo a marca de 20 milhões de toneladas de gusa produzidas em junho de 2018.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 – Blow in

O Alto Forno 1 reiniciou a operação às 12h11 do dia 04 de setembro de 2012, onde os principais pontos de escopo da reforma estavam concentrados no forno próprio, topo, sistema de insuflação de ar, substituição do sistema de distribuição elétrica e sistema de controle digital [1]. Os principais itens estão a seguir:

- Substituição da carcaça exceto no cadinho e na zona das ventaneiras;
- Substituição dos blocos de carbono e refratários cerâmicos;
- Substituição dos staves de ferro fundido;
- Substituição do sistema de controle (nível 1);
- Substituição do computador de processo (nível 2);
- Substituição do sistema de distribuição de carga do topo do forno de duplo cone para bellless top, mantendo a alimentação de coque central (CCF);
- Substituição da tubulação principal de ar quente, câmara de mistura, anel de vento e conexões.
- Aumento do Volume Interno do forno de 4415 m<sup>3</sup> para 4540 m<sup>3</sup>.

Após 4 dias de operação, o Alto Forno apresentou fortes instabilidades operacionais[1] levando 17 dias para alcançar o volume de sopro nominal, focando a partir de então, na elevação da produção de gusa e na redução do consumo de combustíveis.

As principais características do Alto Forno 1 antes e após a reforma estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais especificações do Alto Forno 1 antes e após a reforma

Especificações	Antes da Reforma	Após Reforma
Start-up	30/11/1983	04/09/2012
Volume Interno	4415 m <sup>3</sup>	4540 m <sup>3</sup>
Volume de Trabalho	3707 m <sup>3</sup>	4111 m <sup>3</sup>
Diâmetro do Cadinho	14,0 m	14,1 m
Nº de Furos de Gusa	4	4
Nº de Ventaneiras	38	38
Refrigeração	Staves	Staves
Regeneradores	4 - Combustão Externa	4 - Combustão Externa
Temperatura de Sopros	1250°C	1250°C
Topo	Duplo Cone com armadura móvel	Bell-Less
Pressão de Topo	2,50 kg/cm <sup>2</sup>	2,50 kg/cm <sup>2</sup>
Sistema de carregamento	Correia Transportadora	Correia Transportadora
PCI – Moagem	94 t/h	94 t/h
TRT – Capacidade	20 MW	20 MW

## 2.2 – Fases Operacionais

Nestes 6 primeiros anos, a operação foi dividida em duas fases distintas onde foram focados diferentes aspectos:

### 2.2.1 – 1ª Fase – Consolidação Operacional

Nesta primeira fase de operação, após o blow in (e após a instabilidade operacional ocorrida pós blow in), a elevação de produção e redução de “coke rate” foram feitas de forma gradativa. Nos meses iniciais, o principal objetivo foi ajustar a distribuição de carga para manter a estabilidade operacional e em um segundo momento privilegiou-se a consolidação da produção e a redução do coque rate mantendo o Fuel Rate o mais baixo possível. Os resultados desta primeira fase, de janeiro de 2013 a agosto de 2014, podem ser visualizados nas figuras 1e2.

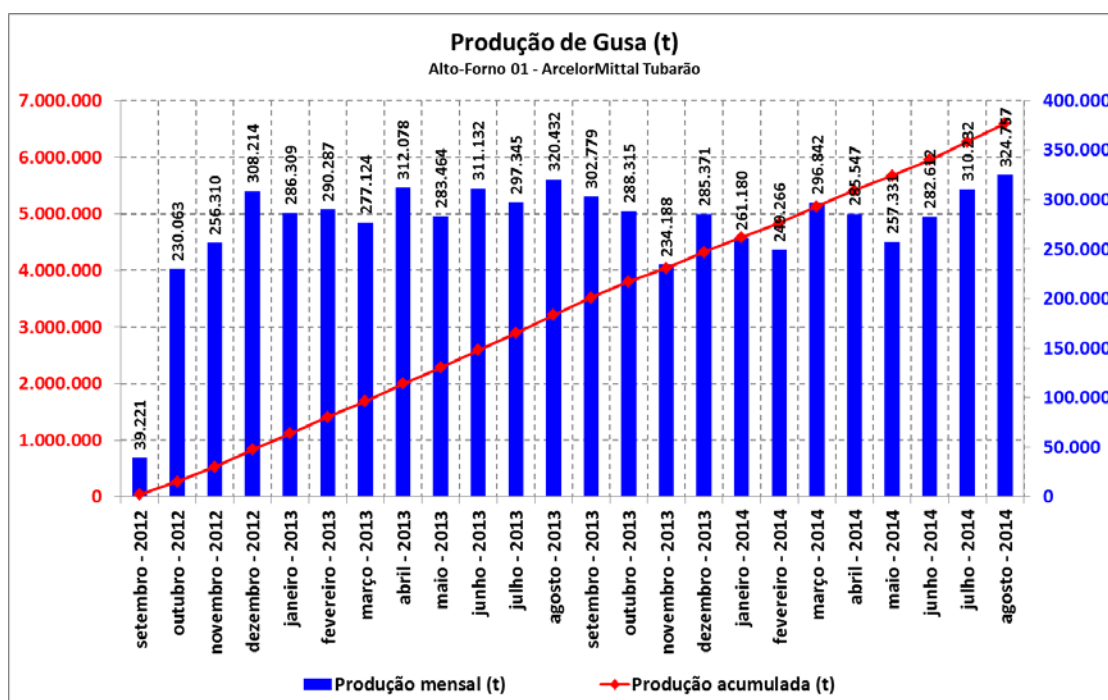


Figura 1. Produção de gusa na primeira fase de operação do AltoForno 1

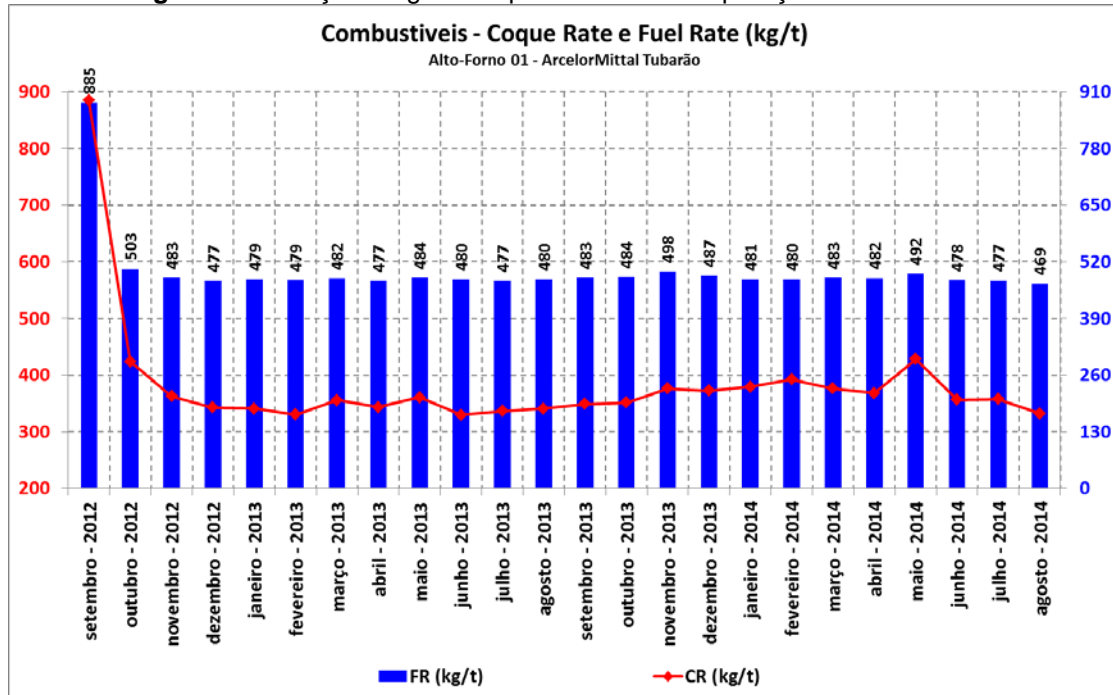


Figura 2. Coque Rate e Fuel Rate na primeira fase de operação do AltoForno 1

Para esta fase, foi adotada uma configuração de distribuição de modo que mantivesse certo fluxo gasoso periférico, mostrado na Figura 3 pelo valor da carga térmica das paredes do forno de modo a evitar formação de zonas inativas na parede (figura 3), principalmente devido à operação ainda não estar totalmente estável e estar em fase de equilíbrio das temperaturas do cadinho e estar na “curva de aprendizagem” da operação com o topo bellless top.

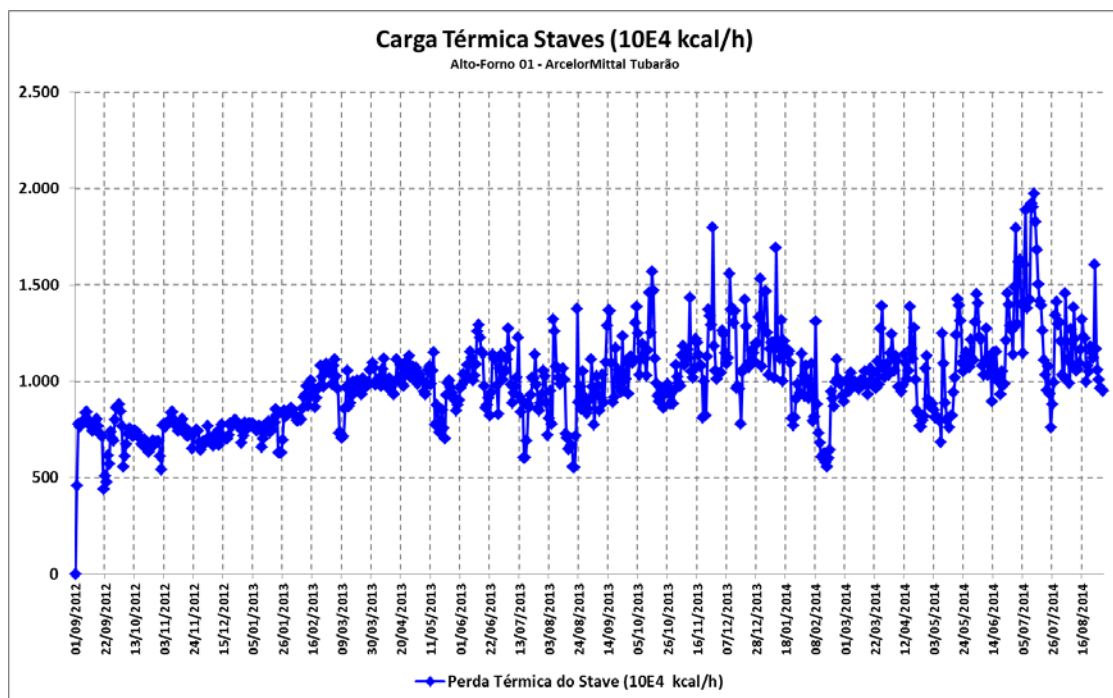


Figura 3. Carga Térmica dos staves na primeira fase de operação do Alto Forno 1

Neste período foi adotada a distribuição C↓o↓O↓ onde o batch o↓ era utilizado para o controle deste fluxo periférico (Figura 4).

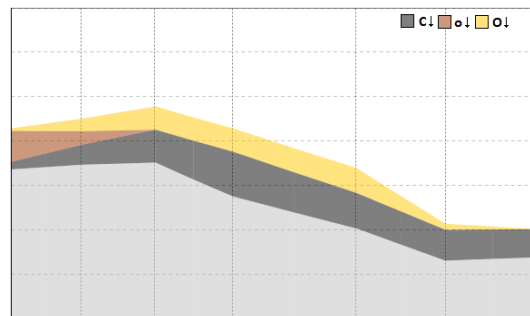


Figura 4. Perfil da Distribuição Carga na 1ª Fase de operação

Como pode ser visto na figura 5, após o início de operação as temperaturas do cadinho sobem gradualmente, sem aumentos repentinos. Isto significa que o fluxo central de líquido no cadinho está ocorrendo conforme esperado. Uma vez que o equilíbrio térmico é estabelecido, pode ser notado que a temperatura da parede mostra a mesma variação do fundo (temperatura dos níveis inferiores – nível 4), significando que não existe competição entre fluxo periférico e fluxo central de líquidos. Desta forma, as variações das temperaturas são atribuídas ao fluxo térmico dentro do cadinho. Isto ocorre basicamente devido à elevada estabilidade operacional, evitando descida irregular de carga e material não reduzido no cadinho o que diminui um fluxo periférico de líquidos nesta região.

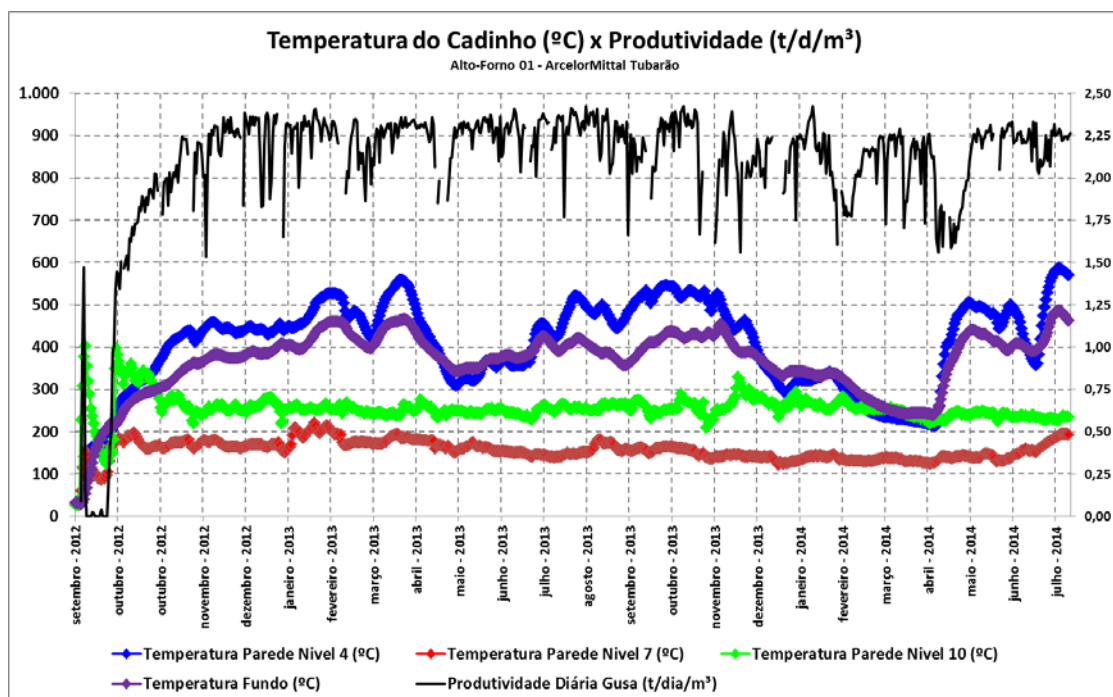


Figura 5. Temperaturas do Cadinho x Produtividade na 1ª Fase de operação

## 2.2.2 – 2ª Fase – Projeto 298

Durante o ano de 2014, com o retorno do Alto Forno 3 à operação, no 2º semestre, houve uma maior necessidade de redução de consumo de coque para redução dos custos operacionais e facilitar a logística. Com isso, foi realizado um benchmarking



técnico-operacional com empresas do grupo ArcelorMittal, permitindo a identificação de oportunidades de melhorias para buscar o processo de redução de coque rate(CR) até valores de 298 kg/tge aumento da taxa de injeção de carvão pulverizado (PCR) de forma sustentável.

Construiu-se um plano detalhado, chamado de Projeto 298 [2], com ações para todas as áreas envolvidas e com acompanhamento de parâmetros (KPIs) que assegurassem esses resultados. Essas ações abrangeram tanto desenvolvimentos técnicos, capacitação de pessoas, definições de controles operacionais, estabilidade de equipamentos, controle de qualidade das matérias-primas e gestão de forma integrada. Desta forma, foi possível garantir a redução de CR e elevação de PCR. Os resultados obtidos especificamente no Alto Forno 1 foram melhores do que a meta planejada, conforme mostrado nas Figura 6 e 7.

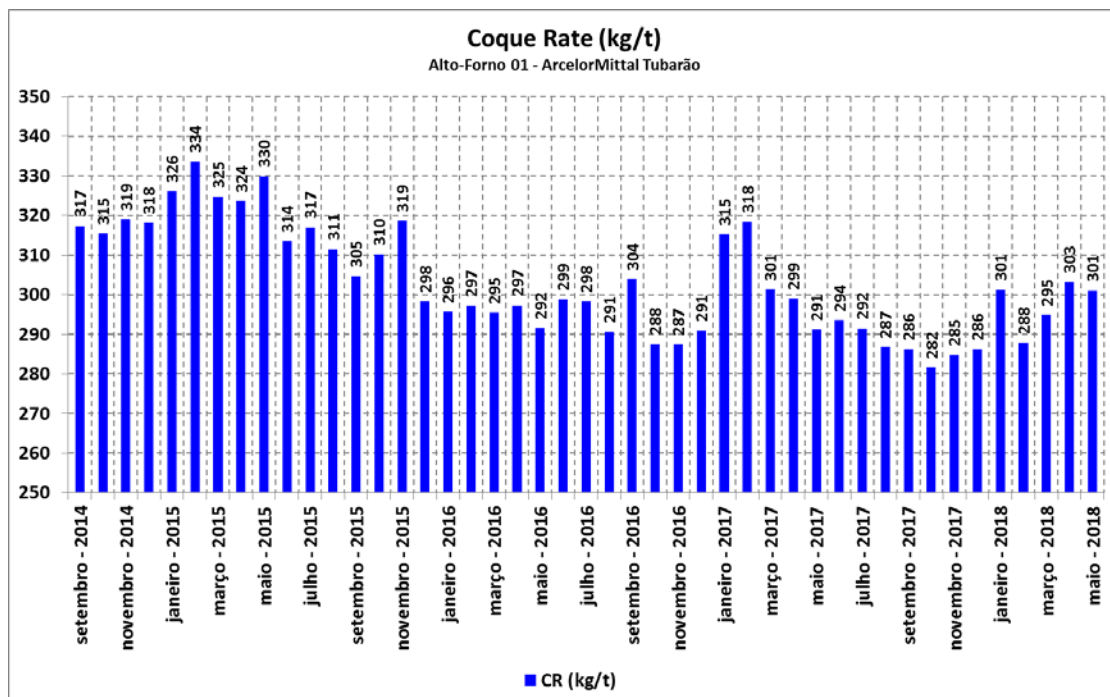


Figura 6. Coque Rate na segunda fase de operação do Alto Forno 1

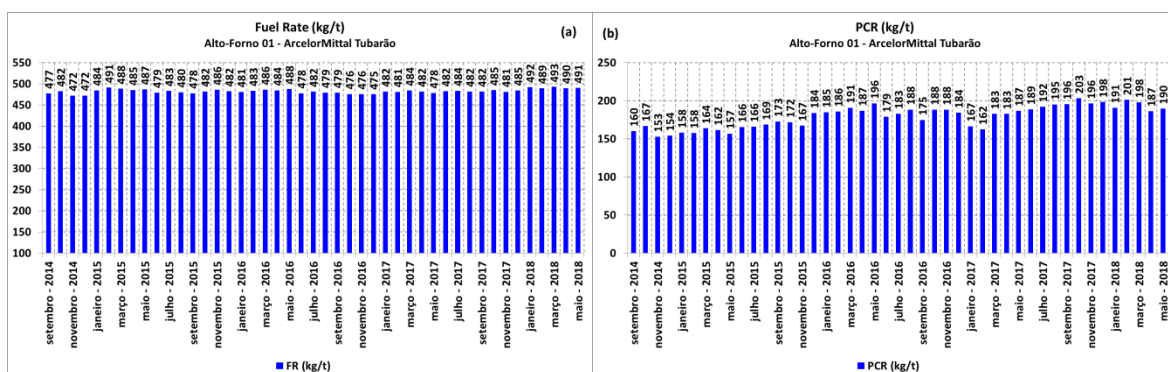


Figura 7. FuelRate (a) e PCR (b) na segunda fase de operação do Alto Forno 1

A meta era obter 298 kg/t em dezembro de 2016,mas um ano antes já foi possível atingir valores próximos, e em janeiro/2016, alcançou-se CR de 295,6 kg/t. Um fator importante foi que, apesar da redução de CR, não ocorreu incremento considerável

de FR (próximo a 490 kg/t), permitindo assim a sustentabilidade econômica do projeto com projeção de redução ainda maiores metas de CR (Figura 7).

Para alcançar os níveis de CR, FR e também de produtividade, onde uma projeção de 2018 indica patamares de 2,22 t/d/m<sup>3</sup> (volume interno), conforme Figura 8, foram tomadas diversas ações para atingir e perenizar estes resultados. Para altas taxas de injeção de carvão e baixo CR, há necessidade de, principalmente, melhorar a qualidade do coque, pois o carvão não consegue cumprir todas as funções do coque, principalmente de permeabilizar e suportar a coluna de carga, e que a partir de certos valores de PCR pode ocorrer diminuição da taxa de substituição do carvão causando elevação do combustível total (Fuel Rate - FR) e, por isso, deve-se avaliar o custo final desta operação [5,6,7,8,9].

Além disso, com o aumento de PCR e redução do CR, ocorre o aumento do tempo de residência do coque ao longo do forno, havendo também maior degradação do coque (geração de finos), principalmente no cadinho e no homem morto, causando diminuição do comprimento Raceway e distúrbios à circulação de líquidos e gás, devido menor fração de vazios [6,10,11]. Para maiores taxas de PCR, verifica-se ainda menor eficiência de combustão do carvão e, portanto, impacto na permeabilidade do forno devido a maior presença de finos de carvão não queimados (char) e sua circulação ao longo do forno, causando também incremento da taxa do pó do coletor e até riscos de formação de zonas inativas na parede [6,12,13,14].

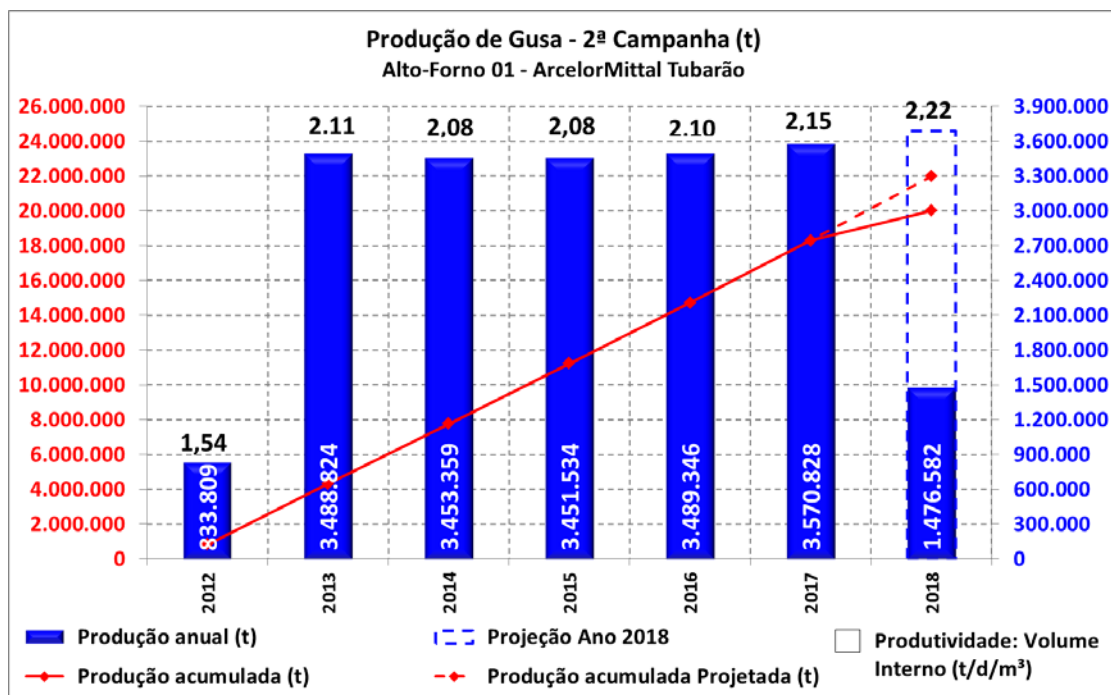


Figura 8. Produção Mensal, Acumulada e Produtividade na 2ª Campanha do Alto Forno 1

Em suma, as ações realizadas para atingir as metas foram [2]:

- Elevação da Qualidade do Coque: para altas taxas de PCI, o coque precisa manter boas propriedades até o cadinho e, portanto, elevada resistência a frio (DI:85% a 88%) e resistência após reação (CSR: 64% a 68%) [5,6,7,8,10,11,15];

- Redução do Volume de Escória: proporciona menor distúrbio à permeabilidade no cadinho (circulação de líquidos), logo, objetiva-se menor %SiO<sub>2</sub> dos minérios, maior %Fe do sinter (56 a 58%), menor %cinza dos combustíveis (menor que 12,0%)[5,6,12,15];
- Espessura da Zona de Coesão: aumentar a temperatura de amolecimento/fusão da carga metálica (controle de redutibilidade), menor delta de temperatura entre início e final de amolecimento/fusão, estabilidade das janelas de coque [5,6];
- Abastecimento: diminuir variações de qualidade química e física pelo controle do abastecimento no pátio de estocagem, da blendagem e do manuseio das matérias-primas [5];
- Peneiramento: reduzir a entrada de finos no alto forno, permitindo maior controle de permeabilidade e estabilidade operacional (redução de 1% na fração menor que 5mm pode representar redução de 0,5% no CR) [5];
- Controle de Álcalis e Zinco: input de álcalis limitado à máximo de 2,0 kg/t e zinco menor que 0,150 kg/t, deste modo, diminuir probabilidade de formação de zonas inativas [5,9,10]
- Maior Taxa de substituição do carvão: aumento do teor de carbono fixo, com matéria volátil do blend de carvão entre 15 a 25% [5];
- Maior Eficiência de Combustão: menor umidade de sopro (10 - 15 g/Nm<sup>3</sup>), aumento de Temperatura de Sopro (1250 a 1300°C), distribuição homogênea da Temperatura de Chama ao redor do forno (controle do PCI), utilização de dupla lança de PCI, diferentes tipos de lança, aumento de Enriquecimento de Oxigênio (EO<sub>2</sub>) [5, 6,10,14];
- Controle de Processo: definição dos parâmetros de sopro, controle da velocidade do sopro, controle do volume de gás (balanço entre volume de sopro e EO<sub>2</sub>) [5,6,10];
- Distribuição de Carga: ajustes para reduzir desvios de permeabilidade, aumentar rendimento de gás, estabilidade da marcha central, controle de zonas inativas e perdas térmicas [5,6,10];
- Menor teor de silício do gusa: maior pressão de topo, menor atividade da sílica na escória (menor input via carga metálica, cinza do coque e carvão) [5];
- Tecnologias: câmara do topo, câmara de ventaneira, modelos de distribuição, modelo matemático de processo [5,15,16].

Além disto, ao longo do tempo, foram realizadas revisões de padrões operacionais, com controles de processo mais rígidos de acordo com os parâmetros operacionais definidos para acompanhamento. Além desses ajustes e do melhor controle de matérias-primas, ajustes de distribuição também foram necessários para permitir o controle do rendimento de gás do alto forno (ETA CO) e redução de CR. Objetivou-se aumento do ETA CO e estabilização do fluxo de gás mediante o equilíbrio entre fluxo central (alimentação de coque no cadinho e retirada de finos) e fluxo periférico (controle de permeabilidade, rendimento e formação de zonas inativas).

Para isso, foi alterado o modo de distribuição de carga, passando de C↓o↓O↓ para C↓O↓O↓ (Figura 9), onde o peso dos minérios foi dividido igualmente em dois batch's, distribuindo a carga de modo a obter um perfil intermediário entre o "V invertido" e o "W", que foi denominado internamente de "Small W", onde obtemos as melhores propriedades dos dois perfis, onde [3][4]:



- Não há perdas térmicas elevadas pela parede (carga térmica), como é de se esperar em um “perfil W”;
- Não há formação de zonas inativas na parede do forno, como é de se esperar em um perfil “V invertido” ou problemas com conjuntos de insuflação devido à descida da raiz da zona de coesão;
- Não há elevação demasiada das pressões internas do forno (pressão de sopro e pressão da cuba) como acontece com o “perfil W”, devido ao fechamento parcial do fluxo central do forno, mantendo assim a permeabilidade local e global;
- Redução das perdas na eficiência do gás (ETA CO) como acontece no perfil “V invertido”, possibilitando então a redução do CR com manutenção do FR e elevação da produtividade;

Podemos perceber que com esta nova forma de distribuição, aliadas à todas as ações mencionadas anteriormente, resultaram em um perfil de temperatura e de ETA CO (Figura 10) medidos na lança móvel do topo (3,70 metros abaixo do nível de carga) que possibilitou alcançar e melhorar a meta estabelecida no Projeto 298.

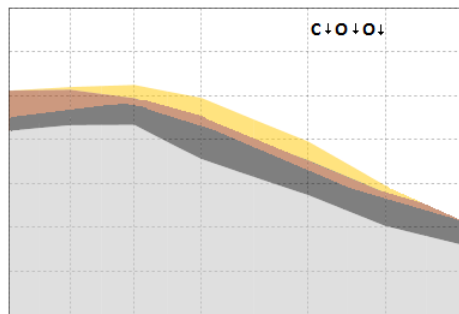


Figura 9. Perfil da Distribuição Carga na 2ª Fase de operação

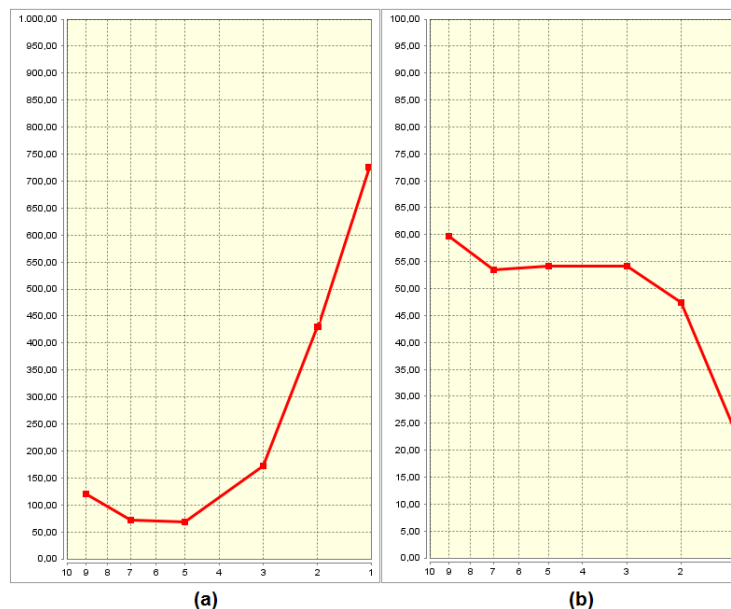


Figura 10. Distribuição do Perfil de Temperatura (a) e ETA CO (b) na 2ª fase de Operação

Como era esperada, com os ajustes realizados, a carga térmica dos staves se elevou, mas dentro dos parâmetros aceitáveis de operação, sem grandes perdas de energia para a parede e ao mesmo tempo evitando a formação de zonas inativas.

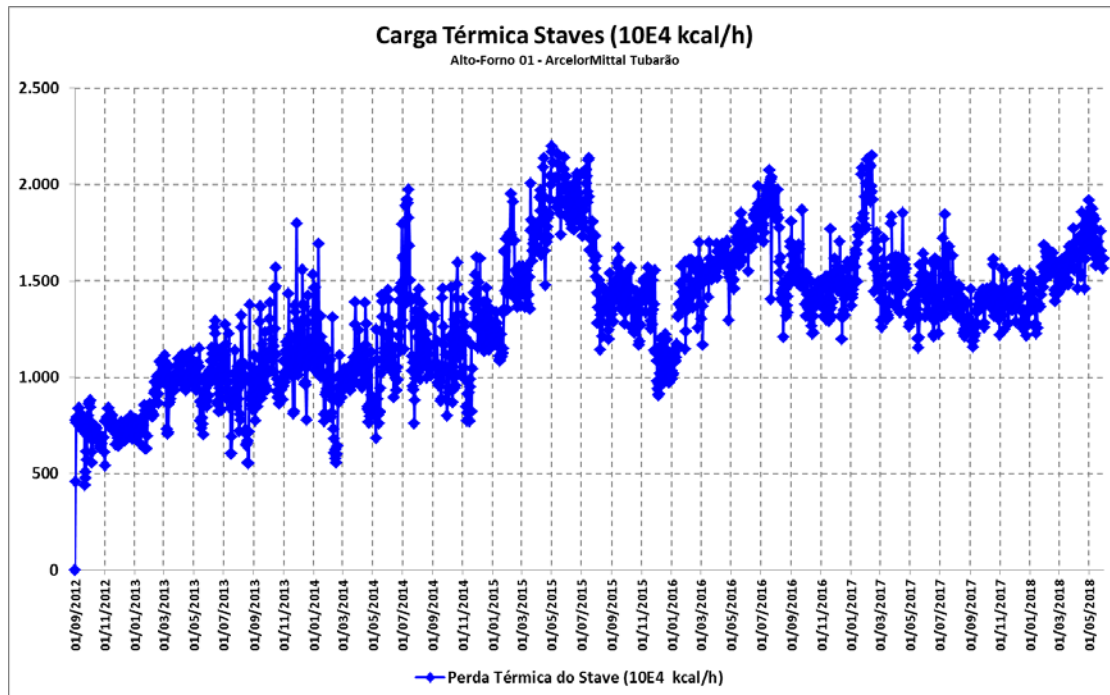


Figura 11. Carga Térmica dos staves na segunda fase de operação do AltoForno 1

Além disso, as temperaturas do cadinho, em função do aumento de produtividade e da elevação da taxa de injeção de carvão, tenderam a se elevar, mas se estabilizando logo em seguida em patamares aceitáveis de modo que não ocorra desgaste nos refratários do cadinho (Figura 12).

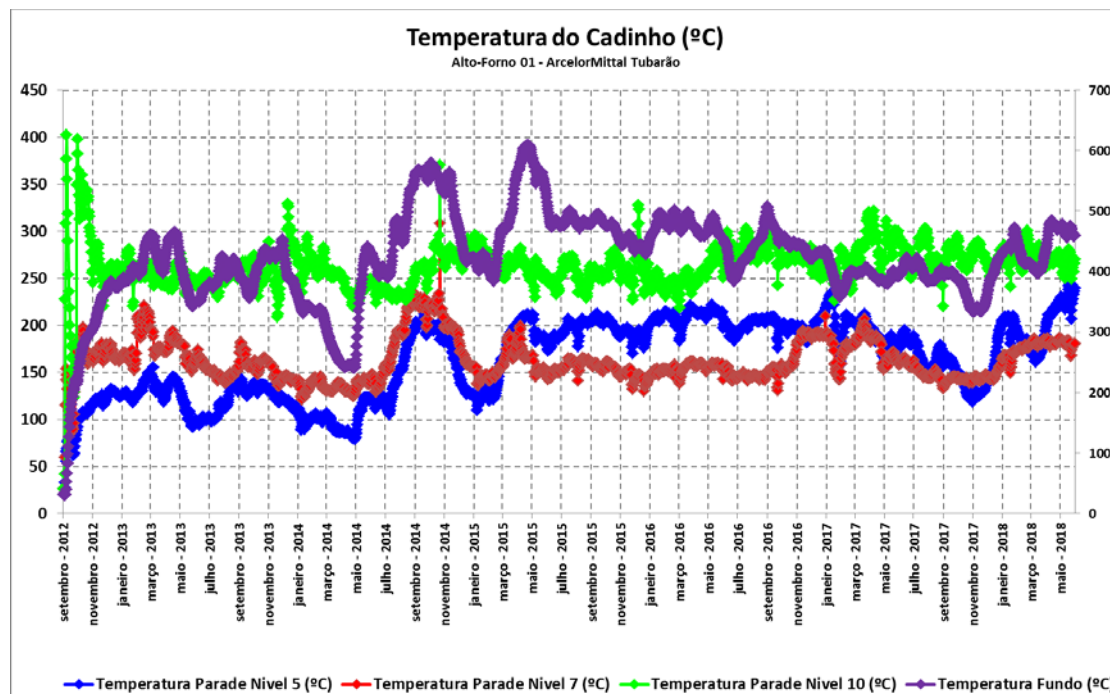


Figura 12. Temperaturas do Cadinho na 2ª Fase de operação

A Figura 13 mostra o ETA CO em toda a 2ª Fase de operação do Alto Forno 1, onde pode-se perceber que, mesmo com a redução do CR, elevação do PCR, manutenção dos patamares de FR e elevação da produtividade, o ETA CO

permaneceu com variações pouco significativas, permanecendo entre valores de 49,5 a 50,5%, o que permitiu assim sustentar os resultados do Projeto 298.

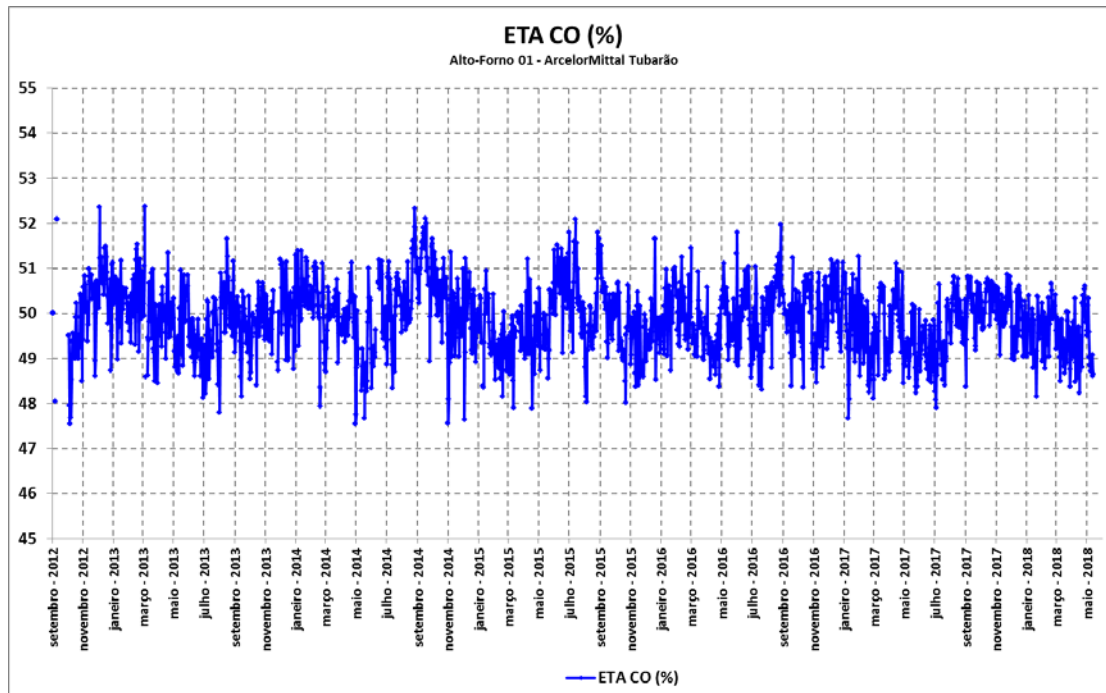


Figura 13. ETA CO do Alto Forno na 2ª Fase de operação

Na tabela 2 estão listados os recordes do Alto Forno 1 na primeira e na segunda campanha.

Tabela 2. Recordes do Alto Forno 1 antes e após a reforma

Recordes	1ª Campanha		2ª Campanha	
CR mês (kg/tg)	320,4	Fev/2005	281,5	Out/2017
CR Ano (kg/tg)	332,3	2006	294,04	2017
CR mínimo Carregado (kg/tg)	314,0	Fev/2005	276,0	Ago/2017
Large CR mês (kg/tg)	243,8	Fev/2005	233,8	Out/2017

### 3 CONCLUSÃO

A primeira campanha do Alto Forno 1 que alcançou a relevante marca de 28,4 anos ininterrupta de operação com mais de 94 milhões de toneladas de gusa produzido, foi garantida a partir de um planejamento de prolongamento da vida útil associado a diversos fatores como a estabilidade do processo obtida através do controle rígido das matérias-primas, controle de distribuição de carga e excelência nas práticas de manutenção assim como postergação da reforma de maneira segura.

Assim como na primeira, nesta segunda campanha a ArcelorMittal Tubarão mantém o mesmo desafio: aumentar a produtividade, reduzir o custo de produção, produzindo com segurança e sustentabilidade. O primeiro passo já foi realizado, mediante a consecução do plano de ação do projeto CR298, pois não somente o Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão realizou a elevação das taxas de injeção de carvão PCI, com conseqüente redução de Coque Rate para valores históricos e melhores do que o planejado, mas esse plano se estendeu também aos Altos Fornos 2 e 3 que também atingiram resultados igualmente excelentes. Vários fatores

foram determinantes para estes resultados, tais como: estruturação de novo modelo mental de operação, processo, manutenção e gestão nas áreas envolvidas de forma integrada; desenvolvimento técnico e capacitação das pessoas; cumprimento de premissas técnicas; garantia de estabilidade no processo dos altos fornos. Todos estes fatores somados às experiências adquiridas na primeira campanha serão a base de sustentação para conseguir atingir os melhores resultados no mundo de maneira segura e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- 1 Costa CC, Ruy D, Belonia Filho ES, Silva FA, Novaes JAP, Perdigão LP, Wasem LA. 1ª Campanha do Alto Forno 1 da ArcelorMittal Tubarão: Histórico, Reforma, Novas Tecnologias, Primeiros Resultados da 2ª Campanha e Perspectivas Futuras. 45º Ironmaking. Rio de Janeiro: 2015. p. 697-709.
- 2 Sathler F, Nascimento Junior RC, Perdigão LP, Ribeiro EC, Wasem LA. Projeto CR298: Altas Taxas de Injeção de Carvão PCI com Baixo Fuel Rate nos Altos Fornos da Arcelormittal Tubarão. 47º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-Primas. São Paulo: 2017.
- 3 Geerdes M, Chaigneau R, Kurunov I, Lingiard O, Ricketts J. Modern Blast Furnace Ironmaking: An Introduction. 3ª Edition. Amsterdam: IOS Press; 2015.
- 4 The Iron and Steel Institute of Japan. Blast Furnace Phenomena and Modelling. New York: Elsevier Applied Science Publishers Ltd; 1987.
- 5 Liu ZJ, Zhang JI, YANG TI. Low Carbon Operation of Super-Large Blast Furnaces in China. ISIJ International. 2015; 55 (6): 1146-1156.
- 6 Zhang S, Bi X, Theoretical consideration of problems relating to high coal rate injection into blast Furnaces. Ironmaking and Steelmaking. 2003; 30(6): 467-474.
- 7 Ariyama T, Sato M, Nouchi T, Takahashi K. Evolution of Blast Furnace Process toward Reductant Flexibility and Carbon Dioxide Mitigation in Steel Works. ISIJ International. 2016; 56(10):1681-1696.
- 8 Ishii, K. Advanced Pulverised Coal Injection Technology and Blast Furnace Operation, Pergamon, publishers. 2000
- 9 Sathler F. Estudo descritivo sobre os principais fundamentos teóricos e práticos do procedimento de Blowdown de Altos Fornos. Dissertação (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória. 2013.
- 10 Chung JK, Hur NS. Tuyere Level Coke Characteristics in Blast Furnace with Pulverized Coal Injection. ISIJ International. 1997; 37(2):119-125.
- 11 An JY, Seo JB, Choi JH, Lee JH, Kim H. Evaluation of Characteristics of Coke Degradation after Reaction in Different Conditions. ISIJ International. 2016; 226-232.
- 12 Lungen HB, Noldin Jr JH, Schmöle P. Trends in Iron-Making given the New Reality of Iron Ore and Coal Resources. METEC & 2nd ESTAD. Dusseldorf. 2015.
- 13 Matsui Y, Tanaka M, Sawayama M, Kitano S, Imai T, Goto A. Analyses on dynamic solid flow in blast furnace lower part by deadman shape and raceway depth measurement. ISIJ International. 2005; 45(10):1445-1451.
- 14 Oliveira RP, Manetta H, Cruz JG, Maia MES, Gomes DA, Monteiro MR, Costa GB. Operação dos Altos-Fornos da V&M do Brasil com altas taxas de injeção de carvão pulverizado. Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo. 2008; 5(2): 105-110.
- 15 Bilik J, Kret J, Beer H. Application of the Simulation mathematical models for decreasing of the Blast Furnace Fuel Rate. Acta Metallurgica Slovaca. 1998; 2: 61-70.
- 16 Gomes FSV, Langa HS, Wasem LA, Fraga BV, Alcoforado GNG. Monitoração de Perfil de Carga Baseada em Radares Instalados na Carcaça do Alto Forno nº1 da Arcelormittal Tubarão. Anais do 68º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. São Paulo: 2013. v. 01. p. 1816-1821