

# AVALIAÇÃO DO EFEITO DO CARBONO EM FLUXANTES PARA LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇOS <sup>1</sup>

Maria Carolina Campello Bezerra<sup>2</sup>  
Cláudio Antônio Goulart Valadares<sup>3</sup>  
Jose Deodoro Trani Capocchi<sup>4</sup>

## Resumo

Os fluxantes são constituídos de um lado por óxidos ácidos como SiO<sub>2</sub> e de outro, por óxidos básicos como o CaO e MgO. A natureza do sistema vítreo do fluxante fundido corresponde na verdade a um líquido que, com a redução da temperatura durante o lingotamento, gera um material solidificado de altíssima viscosidade, que, apesar de assumir o aspecto sólido, não apresenta as propriedades físico-químicas básicas que caracterizam este estado. O carbono é também adicionado ao fluxante e, quando em quantidade e tipo adequados, possui efeito significativo na sua velocidade de fusão, tendência à sinterização, propriedades de isolamento térmico e formação do “slag rim”. Partículas de carbono são agentes que não se misturam às partículas das matérias-primas minerais ou sintéticas que compõem o fluxante, e as mantém separadas durante o processo de fusão do material. Quanto maior o teor de carbono, maior será o tempo requerido para o fluxante iniciar as suas reações de fusão, portanto, menor será a taxa de fusão do material. A determinação da taxa de fusão dos fluxantes é muito importante para garantir que haja fluxante líquido suficiente e disponível para alimentar o intervalo vazio existente entre a placa de solidificação e o molde, gerando o consumo específico eficiente do fluxante, mesmo em condições variadas de lingotamento. Neste trabalho será mostrada a influência da utilização de diferentes fontes de carbono para o controle da taxa de fusão de fluxantes através de análises térmicas e da utilização de um equipamento desenvolvido para execução deste estudo.

**Palavras-Chave:** Fluxante; Carbono; Lingotamento contínuo de aços.

## EVALUATION OF CARBON EFFECT ON MOULD FLUX FOR CONTINUOUS CASTING OF STEEL

### Abstract

Mould fluxes composition contain acid oxides such as SiO<sub>2</sub> and basic oxides such as CaO and MgO. The amorphous phase of molten mould flux generates a high viscosity material. Carbon is also added in the mould flux composition and, if in an adequate amount and type, it actuates on melting rate and on the control of sintering tendency, insulation properties and slag rim formation. Carbon particles act as a barrier between the raw materials grains keeping them separated. The higher is the carbon content, the lower is the melting rate. The mould flux melting control is very important to guarantee enough liquid flux generation to feed the gap between the solidifying shell and the mould wall, even in hard casting conditions. In this paper it is presented the behavior of different sources of carbon on melting rate evaluation, through thermal analysis and by using specific equipment specially developed for this study.

**Key words:** Mould flux; Carbon; Continuous casting of steel.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia, Engenheira de Produção Química, Diretora de Operações da Carbox Resende Química Ind Com Ltda, Resende, RJ.

<sup>3</sup> M.Sc, CQE/ASQ, Engenheiro Metalurgista, Diretor Técnico da Carbox Resende Química Ind Com Ltda, Resende, RJ.

<sup>4</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

# 1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960, os fluxantes são utilizados para lingotamento contínuo de aços, com o objetivo principal de lubrificar a interface existente entre a pele do aço em solidificação e o molde, além de controlar a taxa de transferência de calor através do filme de fluxante fundido posicionado nesta interface, proporcionar isolamento térmico, prevenção de oxidação da superfície do aço e absorção de inclusões. A Figura 1 ilustra as principais funções do fluxante no molde durante a solidificação do aço.

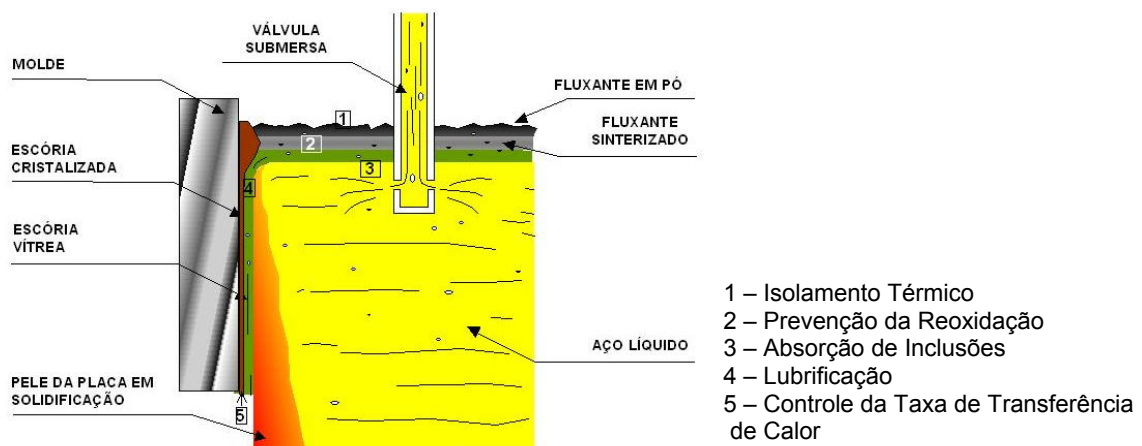


Figura 1. Funções do Fluxante no Lingotamento Contínuo de Aços<sup>(1)</sup>

Quando o fluxante *in natura* é adicionado sobre o aço líquido no molde, o mesmo é aquecido até a temperatura em que há o início da geração das reações de fusão do mesmo<sup>(2)</sup> formando uma piscina de fluxante líquido, a qual deve ser suficiente para alimentar o intervalo existente entre a pele do aço em solidificação e o molde, garantindo a lubrificação.

A determinação da velocidade de fusão dos fluxantes é muito importante para garantir que haja fluxante líquido suficiente para alimentar o intervalo vazio existente entre a placa de aço em solidificação e o molde,<sup>(3,4,5,6)</sup> mesmo em condições variadas de lingotamento.<sup>(7)</sup> Possui grande interferência na formação de um filme de fluxante líquido homogêneo que lubrifica, controla a taxa de transferência de calor entre o aço e o molde, e ainda tenha quantidade de fluxante líquido tal que absorva inclusões do aço líquido.

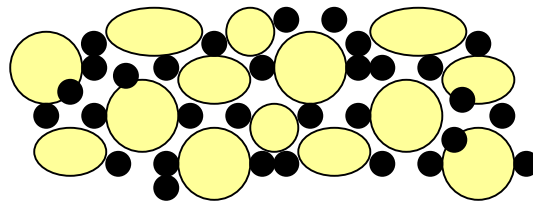
Segundo Pradhan et al.,<sup>(8)</sup> uma espessura mínima de fluxante sobre o aço líquido no molde ,deve ser definida de modo a:

- Garantir o fornecimento de fluxante líquido na interface existente entre a placa e o molde, durante o movimento de descida do molde referente à amplitude de oscilação, isto é, durante o tempo de estripamento negativo do molde. Assim, recomenda-se que a espessura de fluxante líquido seja no mínimo maior que a somatória da amplitude total e do comprimento do pico das ondas de variação do aço líquido do molde.
- Evitar arraste de escória.
- Evitar o contato do aço líquido com a zona de fluxante líquido enriquecida com carbono, gerando possível incremento de carbono no aço, principalmente naqueles com controle acentuado de carbono como os ultra baixo carbono e aços para fins elétricos.

Por outro lado, o fluxante líquido em excesso, é considerado problemático em virtude de:

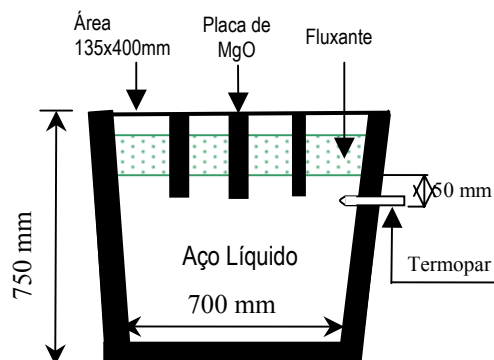
- a. Possível ocorrência excessiva da borda de fluxante sinterizada, “slag rim” na região em que o fluxante está em contato com a parede resfriada do molde, gerando uma obstrução da alimentação de fluxante líquido no intervalo placa em solidificação e o molde;
- b. Possível ocorrência de solidificação da superfície de aço líquido.

A taxa de fusão é dependente das matérias-primas que constituem o fluxante, e suas respectivas temperaturas de fusão, tamanho e forma dos grãos, além do tipo de quantidade de carbono. O carbono é adicionado ao fluxante e, quando em quantidade e tipo adequados, possui efeito significativo na sua velocidade de fusão, tendência à sinterização, propriedades de isolamento térmico e formação do cordão de escória.<sup>(9)</sup> Partículas de carbono são agentes que não se misturam às partículas de minerais e as mantém separadas durante o processo de fusão do material. Quanto maior o teor de carbono, maior será o tempo requerido para o fluxante iniciar as suas reações de fusão, portanto, menor será a taxa de fusão do material. A Figura 2 ilustra os glóbulos de matérias-primas do fluxantes e partículas de carbono.



**Figura 2** – Diagrama esquemático de glóbulos das matérias-primas do fluxante separados por partículas de carbono. (Adaptado da ref. 10)

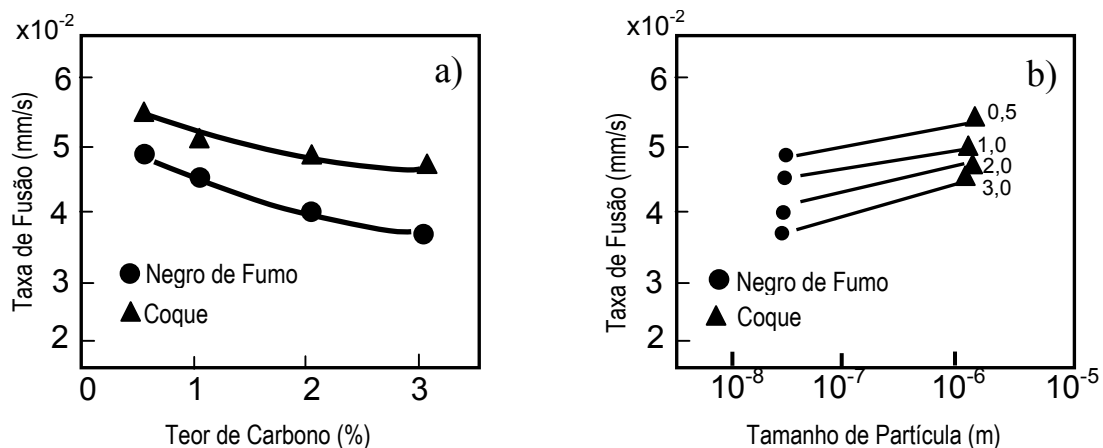
Existem vários métodos citados na literatura relacionando empiricamente a taxa de fusão com os teores de carbono presentes no fluxante e a temperatura de fusão do fluxante. No estudo efetuado por Kawamoto et al.,<sup>(5)</sup> foi desenvolvido um método específico para avaliação da taxa de fusão, que consiste na medida da alteração da espessura de fluxante líquido gerada sobre o aço líquido inicialmente a temperatura de 1.550° C. Na superfície do aço líquido em uma panela refratária com capacidade de 1t, foi efetuada a separação com placas de MgO em quatro partes, conforme ilustra a Figura 3. Em cada parte, com área de 135 x 400 mm, foi avaliada uma amostra de cada tipo de fluxante diferente. A variação da espessura de escória líquida foi efetuada através do método de imersão do conjunto de três arames.



**Figura 3** – Diagrama esquemático do equipamento utilizado. (Adaptado da ref. 5)

No estudo efetuado por Kawamoto et al.,<sup>(5)</sup> as seguintes conclusões foram obtidas:

- A taxa de fusão do fluxante é independente da sua temperatura de fusão, já que quatro fluxantes denominados 1-1, 1-2, 1-3 e 1-4, com diferentes temperaturas de fusão foram avaliados e apresentaram resultados muito semelhantes de taxa de fusão;
- Foi efetuado um estudo para comparação do comportamento da utilização do fluxante e coque na taxa de fusão dos fluxantes. Amostras de fluxantes com 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0% em massa de negro de fumo e outras quatro amostras com os mesmos teores de carbono, porém com adição de coque foram avaliadas. Foi verificado que a taxa de fusão dos fluxantes diminui à medida que o teor de carbono aumenta, e que a taxa de fusão dos fluxantes contendo negro de fumo é menor que fluxantes que contem coque, conforme ilustra a Figura 4a. Além disso, foi efetuada a comparação entre tamanhos de grão de fonte de carbono. A taxa de fusão dos fluxantes diminui com o uso de grãos mais finos de fonte de carbono, em comparação a utilização de grãos mais grossos, com teores em massa de 0,5, 1,0, 2,0 e 3,0% de carbono, conforme ilustra a Figura 4b;



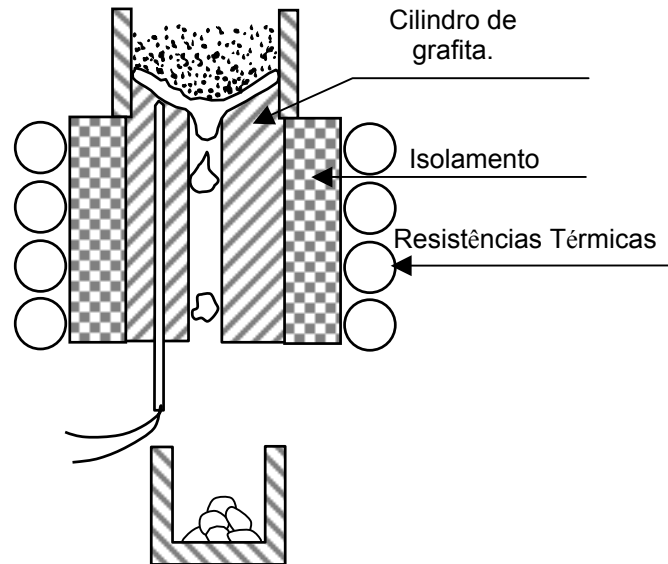
**Figura 4** – Efeito do teor de carbono (a) e do tamanho de partícula das fontes de carbono (b) na taxa de fusão de fluxantes (Adaptado da ref. 5)

- O efeito da densidade na taxa de fusão dos fluxantes também foi avaliado. Foi verificado que a taxa de fusão aumenta à medida que a densidade do fluxante diminui;
- Na avaliação da influência dos carbonatos na taxa de fusão, foi verificado que a taxa de fusão aumenta à medida que o teor total de carbonatos no fluxante também aumenta. Foi considerado que este fenômeno é devido ao aumento da condutividade térmica verificado com o aumento da agitação da camada de fluxante devido à decomposição dos carbonatos, conforme as reações abaixo. A influência dos carbonatos segue a seguinte ordem de maior para menor influência: MgCO<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, BaCO<sub>3</sub>.  

$$\text{MxCO}_3 + \text{C} \longrightarrow \text{MxO} + 2\text{CO}(\text{g})$$

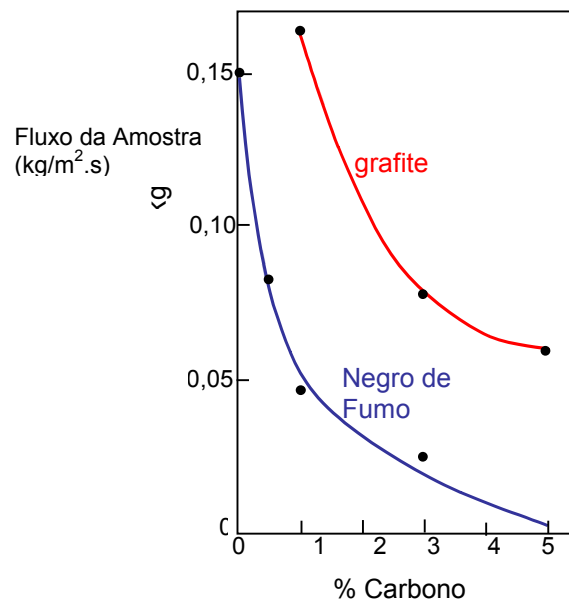
$$\text{MxCO}_3 + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{MxO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CO}_2(\text{g})$$
M = Li, Na, K, Mg, Ca, Ba etc.

Lidefelt e Hasselström<sup>(11)</sup> desenvolveram um outro tipo de equipamento para avaliação da taxa de fusão de fluxantes, conforme ilustra a Figura 5, o qual foi desenvolvido para simular as condições da região da superfície do aço no molde, durante a operação de lingotamento contínuo de aços. Neste ensaio, as amostras são aquecidas a uma temperatura de 1400 ou 1500°C. A base cônica do cadinho permite que o fluxante, após a sua fusão, goteje para fora do forno em um frasco que é pesado continuamente. A taxa de fusão  $Q$  do fluxante foi calculada.



**Figura 5** – Diagrama esquemático do equipamento utilizado para avaliação da velocidade de fusão de fluxantes. (Adaptado da ref 11)

No estudo efetuado por Lidefelt et al.,<sup>(11)</sup> foi efetuada a comparação de fluxantes sintéticos com a adição de carbono proveniente de Negro de Fumo e Grafite, conforme ilustra a Figura 6.



**Figura 6** – A influência do tipo e teor de carbono na avaliação do fluxo das amostras de fluxantes (Adaptado da ref. 11)

Foi verificado que o fluxo da amostra fundida com adição de Negro de Fumo é bastante inferior às amostras com a adição de grafite. Foi efetuado também o estudo para comparação de diferentes tamanhos de grão de minerais com a mesma quantidade e tipo de carbono. Não foi verificada diferença no fluxo das amostras. <sup>(11)</sup>

Xie et al. <sup>(12)</sup> utilizaram o mesmo equipamento e a mesma sistemática desenvolvida por Lidfelt et al. <sup>(11)</sup> para avaliação da taxa de fusão e encontraram resultados similares quando compararam os tipos de fonte de carbono disponíveis na China para controle da taxa de fusão de fluxante.

Os resultados descritos anteriormente estão de acordo também com os obtidos por Takeushi et al. <sup>(13)</sup>

Outros métodos também são encontrados na literatura, como os dois testes citados por Branion et al., <sup>(3)</sup> onde o tempo necessário para a fusão de um botão de fluxante ou do cone de Seger é verificado, a temperatura de 1150°C.

Em estudo recente realizado por Supradist et al., <sup>(14)</sup> foi verificado o perfil de variação do teor de carbono em um fluxante colocado em um tubo de quartzo transparente que foi aquecido em sua base inferior a temperatura superior a 1000°C, e na parte superior a temperatura se manteve na ordem de 150°, simulando a diferença de temperatura do molde de lingotamento contínuo. Depois do tempo definido, o tubo de quartzo foi removido, e resfriado a temperatura ambiente, e o perfil do carbono no fluxante foi determinado, demonstrando que existe um teor de carbono elevado na posição próxima a base do cadinho, que seria uma faixa enriquecida de carbono, em seguida o teor de carbono reduz em uma espessura de fluxante, gerando novamente uma camada onde o teor de carbono vai subindo novamente até a superfície superior do cadinho de quartzo.

Estudos têm sido efetuados de modo a reduzir ou eliminar o carbono de fluxantes. Terada et al. <sup>(15)</sup> encontraram bons resultados durante a avaliação do uso de agentes oxidantes para acelerar a oxidação do carbono, do uso de nova fonte de carbono através materiais carbonáceos com queima rápida e avaliaram a substituição de carbono por materiais cerâmicos, como nitretos, boretos e silicetos. Quanto ao uso de materiais cerâmicos, os melhores resultados foram obtidos com o uso de Nitreto de Boro, resultado também obtido por Takeushi et al. <sup>(13)</sup>

Com base no teste desenvolvido por Lidfelt e Hasselstrom, <sup>(11)</sup> foi desenvolvido um equipamento para avaliação da velocidade de fusão em escórias, onde a amostra sólida é colocada no interior de um cadinho afunilado, com furo na parte inferior, e que é aquecida a altas temperaturas, controlando-se a taxa de aquecimento. O cadinho, com a amostra, fica suspenso em uma célula de carga. À medida que ocorre perda de massa, a célula de carga vai registrando os dados relacionando-os com a temperatura. Trata-se de um ensaio comparativo.

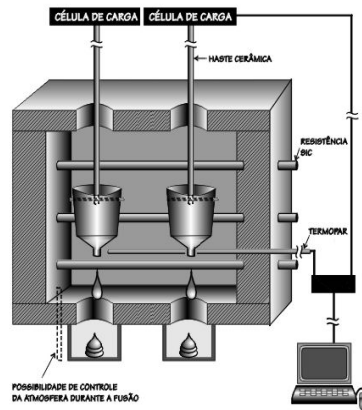
O objetivo deste trabalho é apresentar o equipamento desenvolvido para avaliação da velocidade de fusão de duas amostras simultaneamente, garantindo que ambas sejam submetidas às mesmas condições de ensaio.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho foi conduzido através da avaliação de uma base de fluxante sem carbono, utilizado para lingotamento de aço baixo carbono.

O equipamento utilizado consiste de um forno elétrico de resistência fabricado sob encomenda da Carboox, que contém doze elementos para aquecimento de carvão de silício, posicionados seis de cada lado da câmara. Na parte externa e superior do forno, são posicionadas duas células de carga para controlar o peso de

cada um dos cadinhos utilizados. Os cadinhos cerâmicos são suspensos por meio de hastes cerâmicas e pendentas da célula de carga. O termopar é posicionado entre os dois cadinhos. Os dados de temperatura e massa obtidos do termopar e da célula de carga, respectivamente, são transferidos para o sistema de aquisição de dados. O cadinho posicionado a esquerda refere-se ao Processo 1, e o cadinho posicionado a direita, ao Processo 2. A Figura 7 ilustra o equipamento.



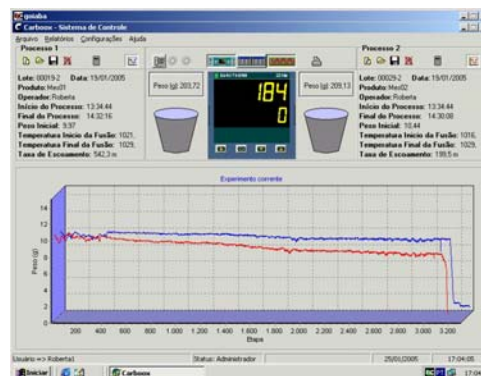
**Figura 7** Diagrama esquemático do equipamento para avaliação da taxa de fusão

A massa das amostras colocadas dentro dos cadinhos é de 10 g. À medida em que há o aumento da temperatura, os dados de perda de massa são registrados pela célula de carga. No momento em que o material começa a fundir, dá-se o gotejamento da amostra fundida. As gotas são coletadas por um recipiente posicionado na parte externa e inferior do forno.

Para execução das avaliações, foi definido o seguinte regime de aquecimento: até a temperatura de 600°C, o forno é aquecido com a potência total das resistências e com a taxa de aquecimento de aproximadamente 100°C/min. A partir desta temperatura, a taxa de aquecimento é de 20°C/min.

Os cadinhos utilizados foram desenvolvidos especialmente para este ensaio. Trata-se de cadinhos de porcelana, afunilados, com diâmetro externo superior de 32,0mm e diâmetro da extremidade inferior para vazamento de 5,0mm.

Um “software” específico para tratamento dos dados de temperatura e variação de massa foi desenvolvido de modo a facilitar a verificação da temperatura em que ocorre a primeira gota de material fundido, da temperatura em que ocorre o término da fusão e da taxa de escoamento do fluxo fundido. São gerados gráficos de massa (g) (ordenada) versus temperatura (°C) (abscissa). A Figura 8 ilustra a tela típica de apresentação dos dados gerados no ensaio.



**Figura 8.** Exemplo da tela de apresentação dos resultados

A amostra considerada base neste ensaio, consiste de uma mistura de matérias-primas típicas para formulação de fluxante, a saber: carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), fluorita, ( $\text{CaF}_2$ ) e wollastonita, ( $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ).

A composição química da amostra base e suas principais propriedades estão descritas a seguir, na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química (porcentagem em massa), viscosidade e “break temperature” da amostra 1 (considerada base neste ensaio)

SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F <sup>-</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	C livre	Ct	ppc(*)
34,0	24,5	4,3	11,80	0,15	8,60	1,09	7,17	0,0	1,98	8,44

(\*) perda por calcinação

Obs.: O teor de carbono encontrado refere-se ao carbono proveniente de carbonato.

Viscosidade a 1300°C: 0,91Poise

“Break Temperature”: 971,7°C (temperatura na qual ocorre um aumento brusco da viscosidade durante o resfriamento).

A partir da composição acima, foi efetuada adição de carbono para avaliar a sua influência na taxa de fusão. As fontes de carbono utilizadas neste trabalho foram negro de fumo e coque, cujas composições químicas e tamanhos de partícula estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição química (porcentagem em massa) das fontes de carbono utilizadas

	Coque	Negro de Fumo
Materiais Voláteis	3,39	2,63
Carbono Fixo	95,87	96,70
Cinzas	0,62	0,51
Tamanho de partícula (*)	46,30µm	3,02µm
% material retido na # 200 (<74µm)	2,0	0,0

(\*) Tamanho de partícula determinado pelo equipamento Mastesizer S long bed Ver. 2.19, fabricado pela Malvern Instrumentos

Foram preparadas composições com variação de 1,0 a 8,0% de carbono proveniente de coque e de negro de fumo.

Foram realizadas as análises térmica diferencial utilizando-se o equipamento Analisador Termodiferencial Perkin Elmer DTA7, com taxa de aquecimento de 10°C/min, seguido de isoterma a 1300°C por 0,5min e resfriamento de 1300°C a 600°C, com taxa de 20°C/min, sempre com fluxo de ar sintético de 20mL/min.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A amostra 1, sem carbono, foi considerada referência neste projeto. Em todos os ensaios realizados, a mesma foi colocada no cadinho da esquerda (Processo 1). A Tabela 3 mostra as médias e os respectivos desvios-padrão da temperatura inicial de gotejamento, da temperatura final de gotejamento e da taxa de escoamento de 10 ensaios feitos com a amostra padrão (Amostra 1).

**Tabela 3.** Resultados obtidos na avaliação da Amostra 1, utilizada como referência em cada ensaio realizado.

	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Taxa de Escoamento (mg/s)
Média	1011	1028	356
Desvio Padrão	3,5	4,8	43,1



Após a avaliação dos resultados de média e desvio padrão, considerou-se que a variação encontrada nos permite efetuar a comparação direta dos resultados obtidos das amostras com adição de carbono. Os resultados ainda demonstraram que o equipamento desenvolvido possui elevada repetitividade de resultados.

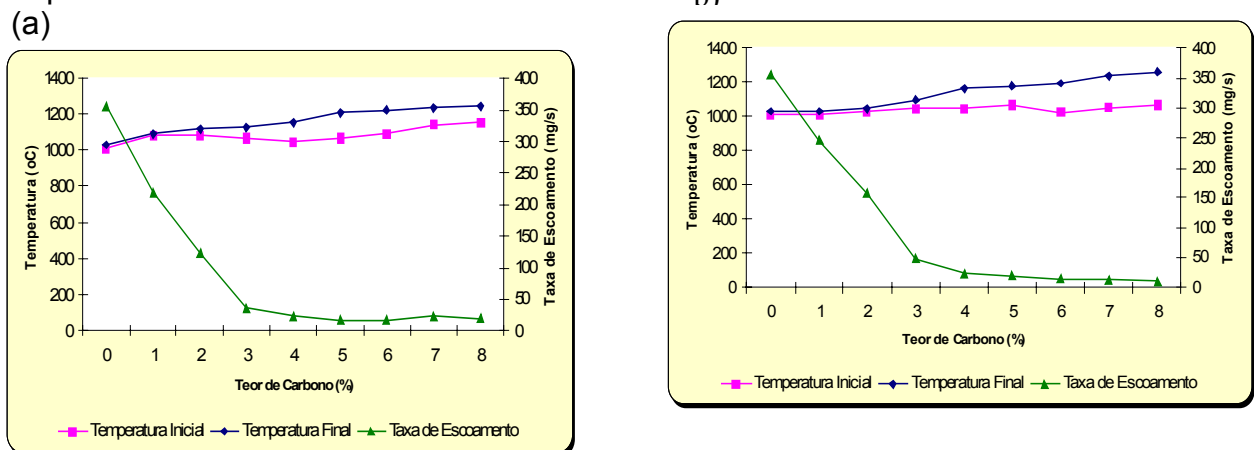
A Tabela 4 mostra os resultados obtidos nas amostras com adição de carbono através do negro de fumo e os resultados das amostras com adição de coque.

**Tabela 4.** Resultados obtidos na avaliação da Amostra 1 com adições de carbono através de Negro de Fumo e do Coque.

Teor de Carbono (%)	Adições de Negro de Fumo			Adições de Coque		
	Temp. Inicial (°C)	Temp. Final (°C)	Taxa de Escoamento (mg/s)	Temp. Inicial (°C)	Temp. Final (°C)	Taxa de Escoamento (mg/s)
0(*)	1011	1028	356,0	1011	1028	356,0
1	1080	1092	219,0	1007	1031	245,0
2	1083	1117	122,0	1026	1045	157,0
3	1068	1130	35,0	1045	1094	48,0
4	1049	1155	23,9	1045	1160	22,7
5	1072	1205	16,2	1065	1177	18,1
6	1093	1223	16,6	1021	1195	14,8
7	1145	1236	22,3	1053	1239	11,8
8	1155	1248	19,3	1070	1256	10,8

(\*) Os resultados obtidos com a amostra contendo 0% de carbono, refere-se ao resultado médio do teor de carbono obtido na Amostra 1.

A Figura 9 demonstra (a) curva dos resultados descritos na Tabela 4 com adições de negro de fumo e (b) curva dos resultados da Tabela 4 com adição de coque.



**Figura 9.** Gráfico demonstrando os resultados obtidos com (a) adição de carbono através do Negro de Fumo e (b) através do Coque na avaliação da velocidade de fusão.

A taxa de escoamento das amostras avaliadas foi gradativamente reduzida, e as temperaturas de início e final de fusão subiram gradativamente em virtude da adição de carbono tanto pelo coque quanto pelo negro de fumo, devido à função que o carbono possui em manter os grãos cobertos da mistura de fluxante atuando como uma barreira para fusão.

Pode-se perceber que, a adição de negro de fumo apresentou maior influência no retardamento desta taxa que a adição de coque.

O negro de fumo trata-se de um material carbonáceo finamente dividido, produzido através da decomposição térmica controlada de hidrocarbonetos aromáticos. É muito utilizado na fabricação de borrachas e plásticos onde uma de suas vantagens é o excelente poder de tingimento.<sup>(16)</sup>

Para o caso dos fluxantes, esta característica é explorada de modo a garantir que os grãos dos materiais isentos de carbono sejam perfeitamente recobertos de modo a controlar de maneira mais efetiva a taxa de fusão.

Foi efetuada também a avaliação das amostras de coque e de negro de fumo puros, conforme mostra a Figura 10.



Figura 10 - Avaliação da amostra de Negro de Fumo (NM1172) e Coque (NM1109) puros.

A amostra de negro de fumo iniciou a sua perda de massa a uma temperatura inferior (323°C), quando comparado a amostra de coque metalúrgico (533,8°C). A taxa em que a perda de massa ocorre, (taxa de escoamento), foi mais elevada na amostra de negro de fumo (2,0mg/s) em comparação a amostra de coque (1,5mg/s).

A Figura 11 apresenta o resultado da análise térmica diferencial da amostra isenta de carbono. As Figuras 12a e b mostram os resultados das análises térmicas da amostra 1 contendo 2 e 8% de carbono fornecido pelo coque (CQ), e as Figuras 13a e b mostram os resultados dos mesmos teores fornecidos pelo negro de fumo (NF).

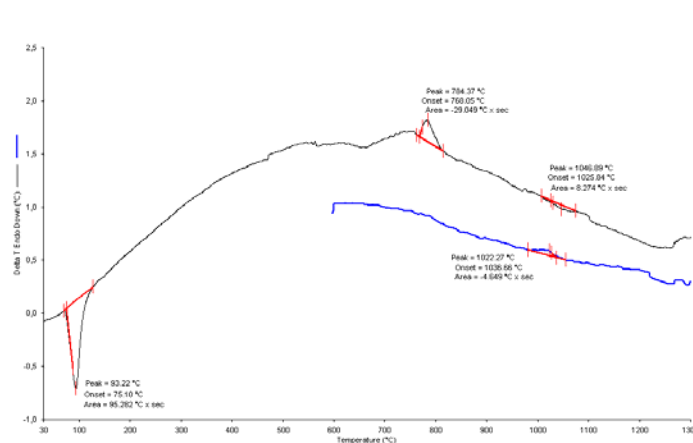
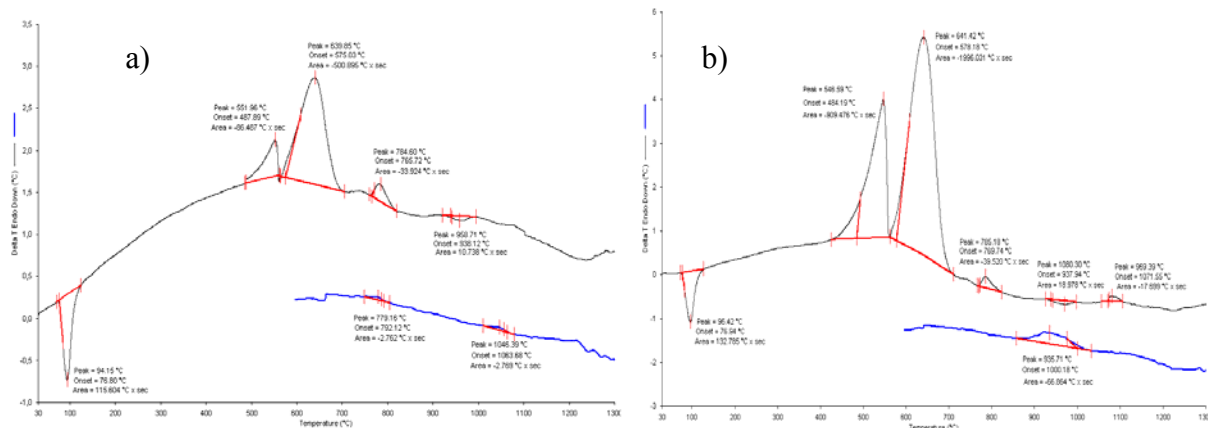
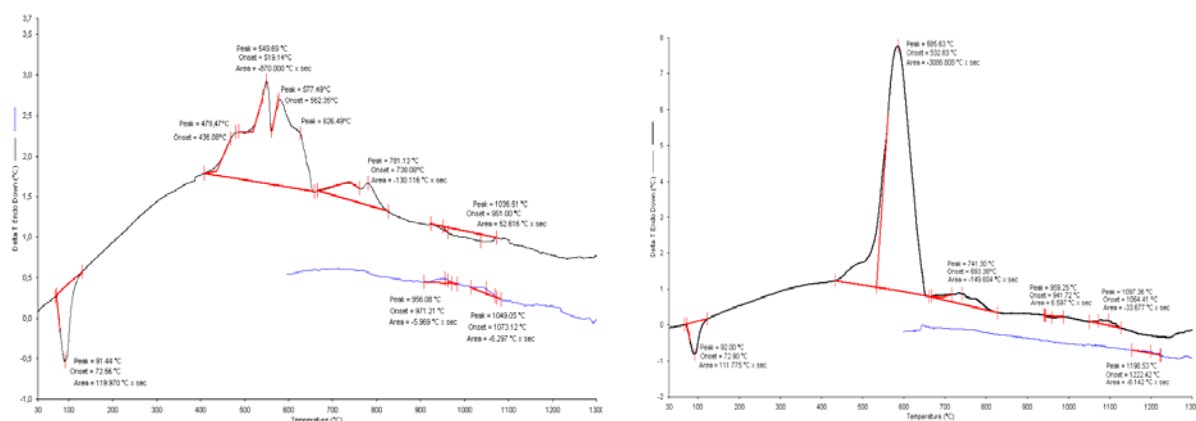


Figura 11 – Resultado da análise térmica diferencial da Amostra isenta de carbono



**Figura 12** – Resultado da análise térmica diferencial da amostra a) CQ:2,0% b) CQ:8,0%



**Figura 13** – Resultado da análise térmica diferencial da amostra a) NF:2,0% b) NF:8,0%

Verifica-se que a amostra isenta de carbono, Figura 11, não apresentou os picos característicos da queima de carbono proveniente de coque: Figuras 12a e 12b, e provenientes do negro de fumo: Figuras 13a e 13b. À medida que houve o aumento do teor de carbono, houve um aumento da intensidade do pico característico. O carbono proveniente pelo coque reagiu na faixa de temperatura de 546 a 641°C, as quais são superiores a faixa de temperatura dos picos referentes queima do negro de fumo está na ordem de 479 a 626°C.

Com os resultados obtidos na Figura 10, seria esperado que as temperaturas de início de fusão das amostras contendo negro de fumo fossem mais baixas que as amostras contendo coque, porém os resultados encontrados foram contrários.

Conforme verificado por Kawamoto et al.,<sup>(5,6)</sup> Sridhar et al.,<sup>(7)</sup> Pradhan et al.,<sup>(8)</sup> Liefert et al.<sup>(11)</sup> e Xie et al.,<sup>(12)</sup> à medida em há o aumento do teor de carbono, há a redução da taxa de fusão do fluxante. E a eficiência do negro de fumo é superior a do coque. Os resultados encontrados neste trabalho confirmam os resultados obtidos na literatura. A diferença do tamanho de grão do negro de fumo (3,02µm) que é muito menor que a do coque (46,30µm) justifica a melhor cobertura dos grãos, dificultando a queima do negro de fumo em relação ao coque, justificando o motivo de, mesmo com temperatura de queima inferior ao do coque, o negro de fumo possuir maior influência na redução da taxa de fusão dos fluxantes. Assim, adições de menores teores de negro de fumo podem apresentar o mesmo desempenho a adição de maior teor de coque.

Como se verifica na prática industrial, para lingotamento contínuo de placas de aço ultra baixo carbono, onde há um controle quanto a ocorrência de contaminação

de carbono no aço, efetua-se a adição de carbono em teores menores através do negro de fumo somente, e se obtém as mesmas características de fusão no molde dos fluxantes com adição de misturas de coque e negro de fumo.

Como o negro de fumo possui grãos com tamanhos muito menores que os grãos de coque, a cobertura dos grãos da amostra 1, foi mais eficiente nas amostras contendo negro de fumo, justificando as temperaturas mais elevadas.

#### 4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos:

1. O equipamento desenvolvido apresentou resultados satisfatórios para ser utilizado como uma ferramenta confiável para avaliação das temperaturas de início e término de fusão, bem como a taxa de escoamento de fluxantes para lingotamento de aços;
2. Nos ensaios realizados no equipamento desenvolvido, verificou-se que a adição de carbono tanto proveniente do coque quanto do negro de fumo, refletiu no aumento das temperaturas de início e término da fusão dos materiais e na redução da taxa de escoamento. A adição de carbono através do negro de fumo apresentou efeitos mais evidentes;
3. Pôde-se verificar que os resultados obtidos nas análises térmicas diferenciais durante o aquecimento, apresentaram coerência de proporção do teor de carbono, e obtenção dos picos exotérmicos característicos. O pico exotérmico referente as amostras com adição de negro de fumo ocorreu sempre a temperaturas inferiores a dos picos correspondentes a adição de coque;
4. Os resultados obtidos permitem que se cogite a formulação de fluxantes sem a utilização de coque, empregando-se como fonte de carbono apenas a adição de negro de fumo para controlar a temperatura de início, término de fusão e taxa de escoamento.

#### REFERÊNCIAS

- 1 BRANION R.V.; Mould Flux for Continuous Casting. Proceeding of Steelmaking Conference (1986), Vol 69, pp 95-106.
- 2 PINHEIRO, C.A.; SAMARASEKERA, I.V.; BRIMACOMBE, J.K.; Mould flux for continuous casting of steel – Part X – Iron and Seelmaker (USA), Vol. 22, No.7,pp 41-43, July 1995.
- 3 BRANION R.V.; Mould Flux for Continuous Casting. Course sponsored by ISS ( Iron and Steel Society), King of Prussia, Pensylvania, United States, Published by ISS, October 1994.
- 4 KROMHOUT J.A.; LUDLOW V.; McKAY S.; NORMANTON S.; THALHAMMER M.; ORS F.; CIMARELLI T.; Physical properties of mould fluxes for slab casting. Ironmaking and Steelmaking, 2002 no 3, pp 191-193.
- 5 KAWAMOTO M.; NAKAJIMA K.; KANAZAWA T.; NAKAI K.; Melting mechanism of mold powder for continuous casting. Steelmaking Conference Proceedings, 1992, pp 389-396.
- 6 KAWAMOTO M.; NAKAJIMA K.; KANAZAWA T.; NAKAI K .; Design principles of mold powder for high speed continuous casting. ISIJ International, Vol 34, (1994), No 7, pp 593-598.

- 7 SRIDHAR S.; MILLS K.C.; MALLABAND S.T.; Powder consumption and melting rates of continuous casting fluxes. *Ironmaking and Steelmaking*, (2002), Vol 29, No 3, pp 194-198.
- 8 PRADHAN N.; GHOSH M.; BASU D.S.; MAZUMBAR S.; Prediction of slag pool thickness in continuous casting mould. *ISIJ International*, Vol 39, (1989), No 8, pp 804-808.
- 9 MOORE J.A.; PHILLIPS R.J.; GIBBS T.R.; An overview for the requirements of continuous casting mold fluxes. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1991, pp 615-621
- 10 MILLS, K. Mold powder for continuous casting. Course sponsored by IAS,(Instituto Argentino de Siderurgia), San Nicolas, Argentina, published by IAS, August 2003.
- 11 LIDEFELT H.; HASSELSTRÖM P.; Characterization of the functional properties of mould powders for continuous casting of steel. 4th International Iron and Steel Congress Proceedings, October 1982, London, Sponsored by The Metals Society.
- 12 XIE B.; Wu J. YONGNIAN G.; Study on amount and scheme of carbon mixed in cc mold fluxes. *Steelmaking Conference Proceedings*, 1991, pp 647-651.
- 13 TAKEUCHI H.; MORI H.; NISHIDA T.; YANAI T.; MUKUNASHI K.; Development of a carbon-free casting powder for continuous casting of slabs. *Transactions ISIJ*, Vol 19, 1979, pp 274-282.
- 14 54 SUPRADIST M.; CRAMB A.W.; SCHWERDTFEGER K.; Combustion of carbon in casting powder in a temperature gradient. *ISIJ International*, Vol 44 (2004), No 5, pp 817-826.
- 15 TERADA S.; KANEKO S.; ISHIKAWA T.; YOSHIDA Y.; Research on substitution for carbon (Development of Mold Fluxes for ultra low carbon). *Steelmaking Conference Proceedings*, 1991, pp 635-638.
- 16 A PHELPS DODGE INDUSTRIES COMPANY. Disponível em: [www.columbianchemical.com.br/plástico.asp](http://www.columbianchemical.com.br/plástico.asp). Acesso em: 25 fev 2005