

REVESTIMENTO DE TRABALHO DE DISTRIBUIDORES: QUAL A MELHOR OPÇÃO?*

Adriana Mendes Corrêa¹

Elias Abrão Costa²

Ramon Fraga Resende³

Rodrigo Nazareth Borges⁴

Robson Arnaldo Dettogne do Nascimento⁵

Resumo

O distribuidor é o último equipamento revestido de refratários em contato com aço líquido e que pode afetar a qualidade do produto. Nesse equipamento, a massa de trabalho é responsável por proteger o revestimento de segurança e evitar a contaminação do aço. Apesar das preocupações em relação ao “pick up” de hidrogênio e consumo de gás, as massas “spray” tem sido uma tecnologia dominante para o revestimento de distribuidor na América do Sul. Nos últimos 20 anos, outras tecnologias entraram no mercado com o objetivo de reduzir a necessidade de água e de gás e aumentar a disponibilidade de distribuidor. Embora essas tecnologias apresentem algumas vantagens, quase 80% das usinas siderúrgicas da América do Sul ainda usam massas “spray”. Isso se deve principalmente aos benefícios como flexibilidade, baixo custo, baixo consumo e alto isolamento térmico. Este trabalho tem o objetivo de discutir as principais vantagens e desvantagens das massas disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo; Distribuidor; Massa de trabalho.

TUNDISH WORKING LINING: WHICH IS THE BEST OPTION?

Abstract

Tundish is the final equipment lined with refractory in contact with liquid steel which may possibly affect steel quality. In this equipment, the coating is responsible for protecting the safety lining while it avoids steel contamination. Despite the concerns about hydrogen pick up and excessive consumption of gas, spray mixes have been a dominant technology for tundish coating in South America. In the last 20 years other technologies came up to the market with the purpose of reducing the need for water and gas and increasing tundish availability. Although these new technologies present some advantages, almost 80% of steel plants in South America still use spray mixes. This is mainly due to benefits such as flexibility, low cost, low consumption and high thermal insulation. This paper aims to discuss the main advantages and disadvantages of the products available in the market.

Keywords: Continuous casting; Tundish; Tundish working lining.

¹ Pesquisador Sênior, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Magnesita Refratários S.A., Contagem, Minas Gerais, Brasil.

² Consultor Técnico, Gerência de Assistência Técnica, Magnesita Refratários S.A., Contagem, Minas Gerais, Brasil.

³ Especialista de Assistência Técnica, Gerência de Assistência Técnica, Magnesita Refratários S.A., Contagem, Minas Gerais, Brasil.

⁴ Especialista de Assistência Técnica, Assistência Técnica Global, Magnesita Refratários S.A., Contagem, Minas Gerais, Brasil

⁵ Gerente de Assistência Técnica, Gerência de Assistência Técnica, Magnesita Refratários S.A., Contagem, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O distribuidor de máquina de lingotamento contínuo funciona como um pulmão para evitar a interrupção do processo. Ele é responsável por receber o aço líquido da panela e direcionar para os veios de alimentação dos moldes, controlando a velocidade de vazamento através de dispositivos de controle de fluxo. A importância do distribuidor tem crescido ao longo do tempo e hoje em dia pode ser considerado um reator metalúrgico, no qual ainda se consegue realizar uma parte de refino do aço líquido com segurança e qualidade. O distribuidor é projetado para promover a flotação de inclusões, maximizar o tempo de residência, minimizar curtos-circuitos e zonas mortas, evitar perdas térmicas e propiciar homogeneização química, permitindo um resultado ótimo em termos de qualidade e produtividade [1]. Em função disso, a indústria de refratários teve que se antecipar à essa necessidade e desenvolver novos sistemas e produtos que melhor se adaptem às demandas do processo.

Atualmente, diferentes tipos de produtos são usados como massa de trabalho de distribuidor e é possível ao usuário decidir que tipo de material é o mais apropriado ao seu processo. Os tipos de produtos disponíveis hoje são as massas úmidas aplicadas por “spray”, as massas secas de pega quente e as massas secas de auto-endurecimento.

As massas secas chegaram ao mercado com o objetivo de minimizar o consumo de água e gás, entretanto, as massas spray continuam a ser uma tecnologia dominante na América do Sul.

O objetivo principal deste artigo é discutir as vantagens e desvantagens de cada tecnologia, considerando as reais necessidades de cada usina e entender amplamente as funcionalidades de cada tipo de massa de trabalho, dirimindo crenças infundadas.

2 MASSAS “SPRAY”

Durante a década de 1980 o uso de massa “spray” foi um grande avanço no desenvolvimento de revestimento refratário de trabalho para distribuidor de máquina de lingotamento contínuo [2]. Essa tecnologia utiliza aditivos especiais que levam a um produto com densidade muito baixa ($1,1 \text{ g/cm}^3$) e baixa condutividade térmica. Essas características adicionadas a uma fácil aplicação, boa flexibilidade para a instalação de “mobiliários”, bom desempenho e baixo custo tornaram essa tecnologia muito bem-sucedida.

Para avaliar o uso de cada tipo de massa de trabalho de distribuidor, foi realizado um estudo de mercado em 2016 nas 45 principais siderúrgicas da América do Sul, incluindo usinas integradas e elétricas. Essa pesquisa revelou que 78% das 38.500 toneladas de material de trabalho consumido em 2016 foram de massas “spray” (Figura 1 e 2).

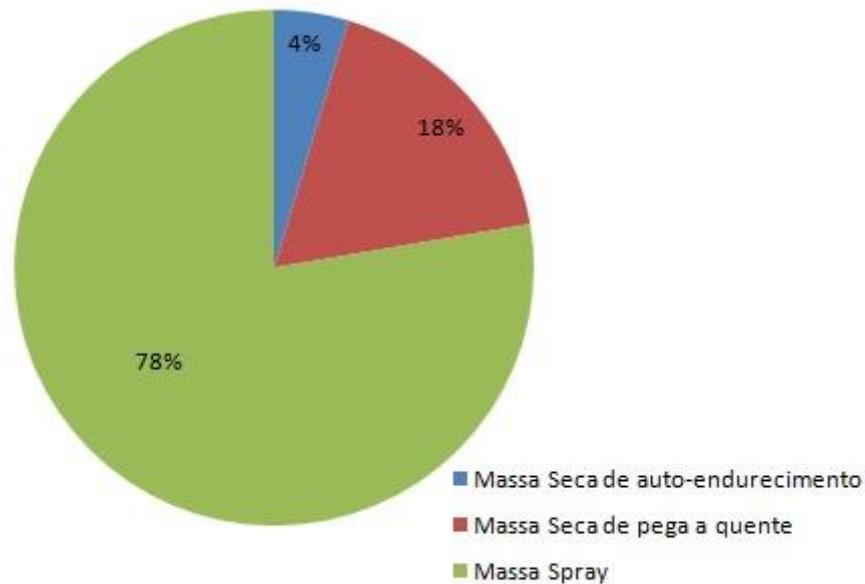


Figura 1. Distribuição por tipo de massas de trabalho para distribuidor na América do Sul em 2016.

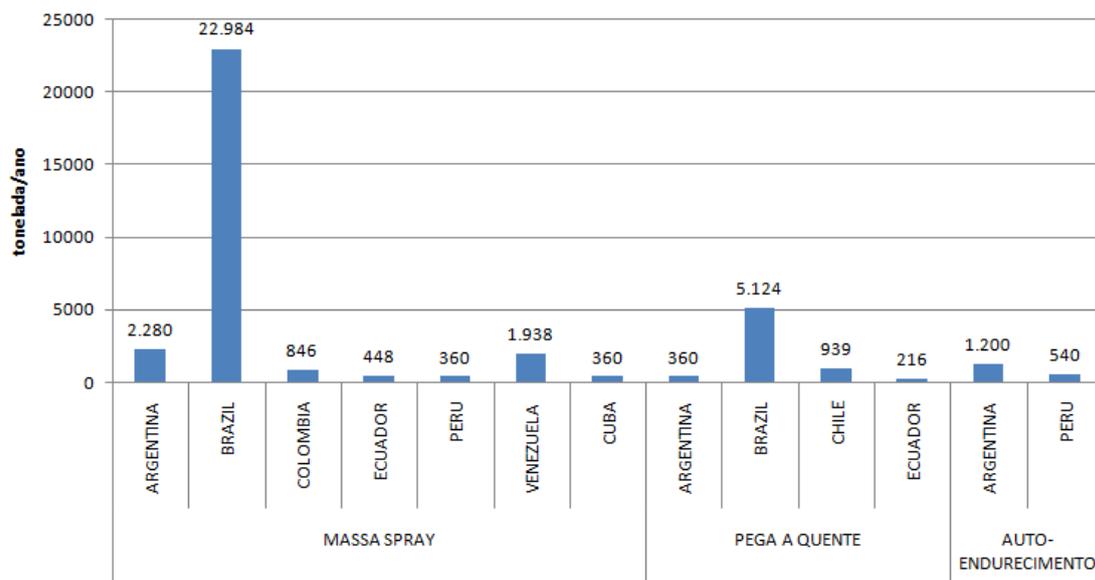


Figura 2. Mercado de massa de trabalho para distribuidor na América do Sul em 2016.

Apesar do grande consumo de massa “spray”, o fato de que aproximadamente 25% em peso de água é usada para aplicar esse material ainda é um ponto de preocupação.

O primeiro inconveniente relacionado com a quantidade de água utilizada para aplicação de massa “spray” é a necessidade de secar o revestimento, o que leva a um consumo de gás elevado. Esse tipo de material é normalmente seco a 550 °C durante pelo menos 3 horas para eliminar o teor de água. A Figura 3 mostra uma curva de secagem sugerida, que pode ser ajustada de acordo com as necessidades de cada usina siderúrgica.

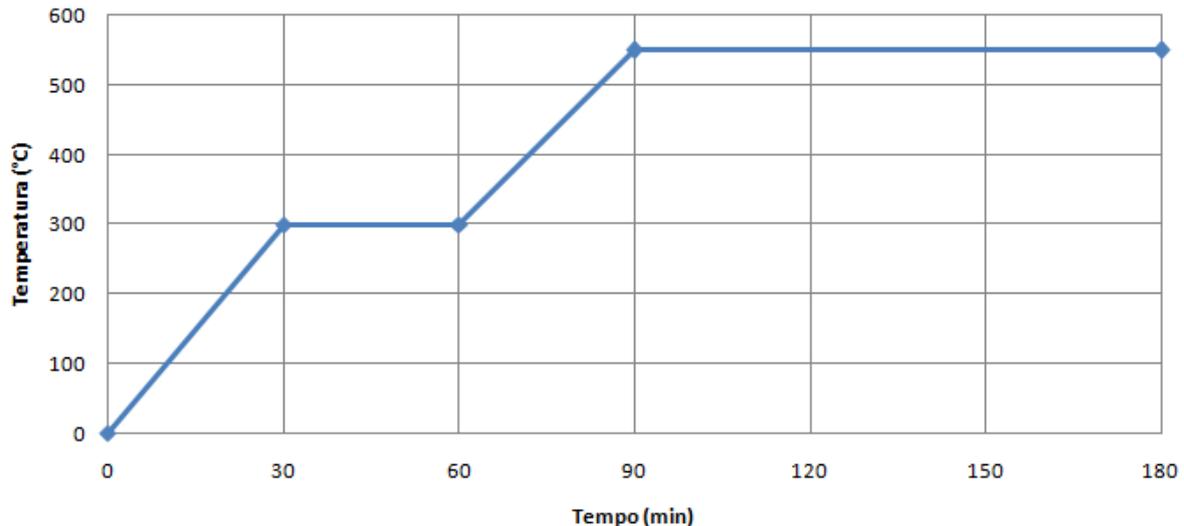


Figura 3. Curva de secagem de distribuidor sugerida quando se utiliza massa “spray”.

O segundo ponto de preocupação com relação à quantidade de água é a possibilidade de “pick up” de hidrogênio. A presença deste elemento no aço é considerada nociva e é uma causa de defeitos como trincas e fragilização [3].

Há numerosas fontes de hidrogênio durante o refino primário e secundário do aço e durante o lingotamento. Essas fontes incluem sucata, ferro gusa, gases de agitação, carburantes, ligas úmidas, adições no forno panela e a atmosfera. Acredita-se que o revestimento de trabalho também possa ser uma fonte de hidrogênio [4]. O vapor de água presente nos poros do material refratário pode dissociar-se quando em contato com o aço líquido de acordo com a Equação 1 e o hidrogênio atômico formado pode ser facilmente incorporado no aço durante o seu processo de produção. Isso acontece por causa da grande mobilidade do hidrogênio na rede cristalina de ferro, já que seu raio atômico é aproximadamente oito vezes menor que o raio atômico do ferro ($r_H = 25\text{pm}$; $r_{Fe} = 140\text{ pm}$) [5].



Para verificar o potencial de contaminação do aço pela água utilizada na aplicação das massas “spray”, foram realizados ensaios em diferentes usinas siderúrgicas para monitorar a secagem do distribuidor. Durante esses testes foram instalados três termopares na interface entre o revestimento permanente e o revestimento de trabalho. As temperaturas em cada um dos termopares foram medidas em função do tempo de secagem (Figura 4). Os dados obtidos mostraram que todos os pontos monitorados atingiram temperaturas acima de 100°C após um período de estabilidade térmica. Esse período de temperatura estável corresponde ao calor latente durante a qual a energia fornecida ao sistema é consumida para a mudança de fase. Quando a temperatura atinge valores superiores a 100°C , significa que toda a umidade no revestimento de trabalho foi transformado em água gasosa e facilmente removido através dos poros do revestimento. Assim, pode-se concluir que uma curva de secagem adequada garante a remoção completa da água, e, dessa forma, o revestimento em “spray” não será fonte de hidrogênio para o aço. É importante notar que a curva de secagem é apenas suficiente para remover a água livre do sistema. Acredita-se que a quantidade de água ligada não seja considerável, uma vez que o distribuidor é normalmente seco logo após a aplicação e não há tempo suficiente para a formação de brucita. No entanto, se ocorrer formação de brucita, a água de hidratação será eliminada durante o aquecimento do distribuidor.

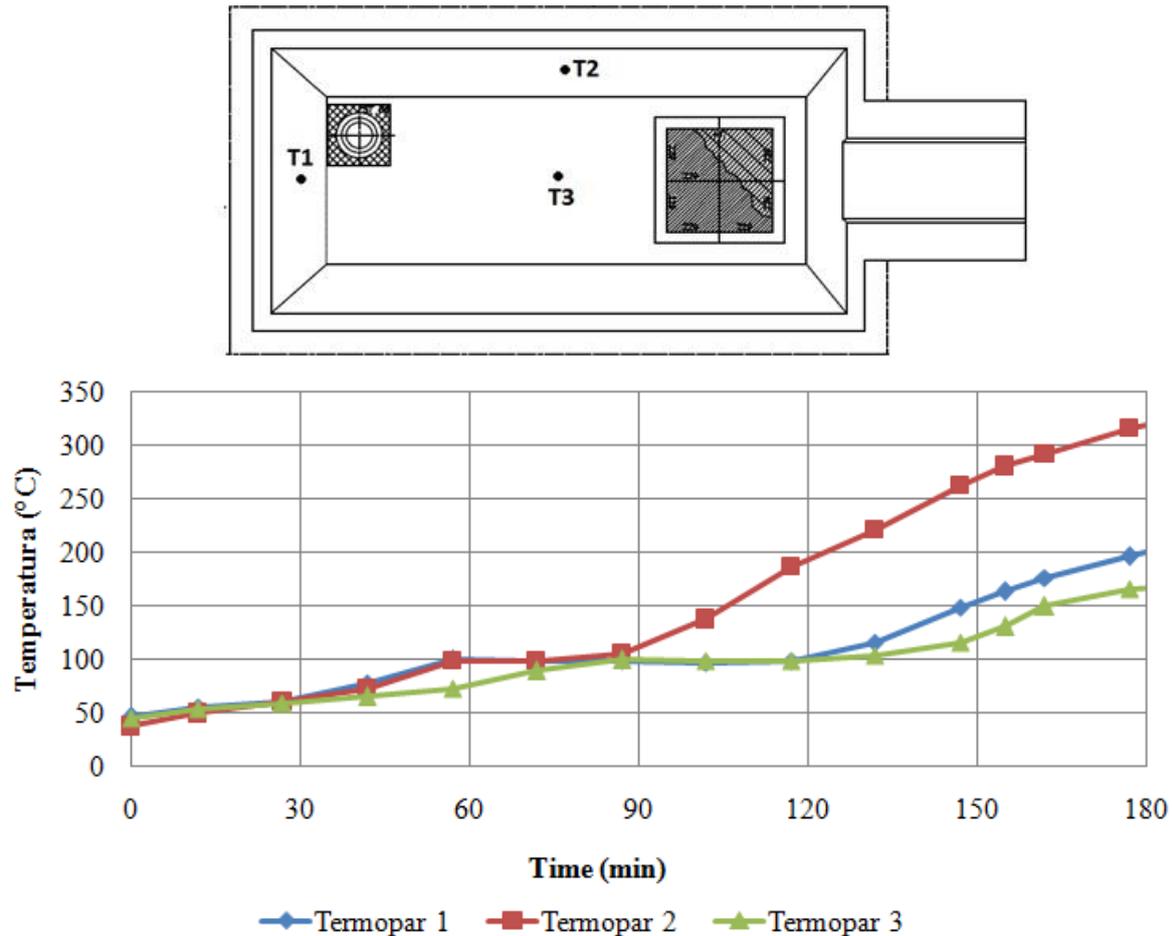
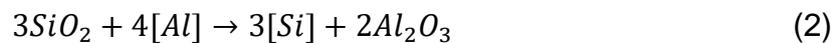


Figura 4. Registros de temperaturas durante a secagem de distribuidor.

Outra preocupação relacionada com a massa “spray” é a possibilidade de geração de inclusões de alumina no aço devido à presença de sílica na sua composição. A Equação 2 mostra que a sílica livre contida na massa de trabalho é reduzida pelo alumínio dissolvido no metal, o que leva à formação de uma quantidade adicional de inclusões de alumina [6]. Esta reação ocorre espontaneamente uma vez que, de acordo com o diagrama de Ellingham, a energia livre para formar o óxido Al_2O_3 é menor do que para formar SiO_2 .



Apesar dessa preocupação com a presença de sílica livre na massa “spray”, um estudo prévio mostrou que o aumento na quantidade de oxigênio pela redução de SiO_2 é desprezível em comparação com a reoxidação devido ao contato com o ar ambiente e ao oxigênio trazido pela redução de Fe_2O_3 presente no material refratário, como mostrado na Figura 5 [7]. Para minimizar o efeito do Fe_2O_3 , foram desenvolvidos produtos que usam matérias-primas de alta pureza e oferecidos às usinas siderúrgicas que precisam eliminar esta fonte de contaminação.

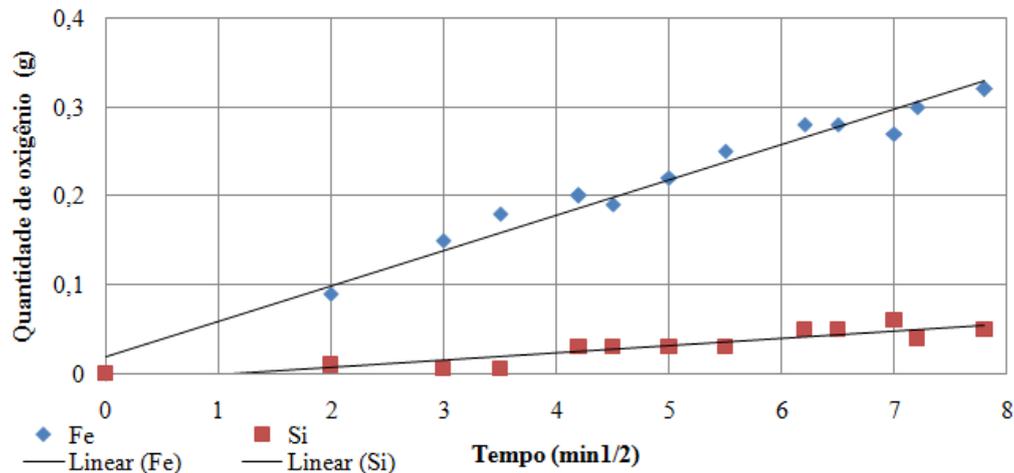


Figura 5. Evolução da quantidade de oxigênio pela redução de Fe_2O_3 e SiO_2 em função da raiz quadrada do tempo em que o metal esteve em contato com o refratário [7].

Portanto, ao selecionar a melhor massa para um tipo de aplicação e processo, o “pick up” de hidrogênio pela presença de água e inclusões de alumina pela presença de sílica não devem ser motivos para descartar o uso das massas “spray”.

3 MASSAS SECAS DE PEGA A QUENTE

As massas secas surgiram no mercado com o objetivo de reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de água e gás e aumentar a disponibilidade do distribuidor. De fato, a utilização desse tipo de material reduz substancialmente o consumo de gás, uma vez que a sua aplicação ocorre sem a presença de água. Nesse tipo de material, o gás é utilizado somente para aquecer o molde até 300°C aproximadamente (Figura 6) e promover a polimerização do ligante (resina ou glucose).

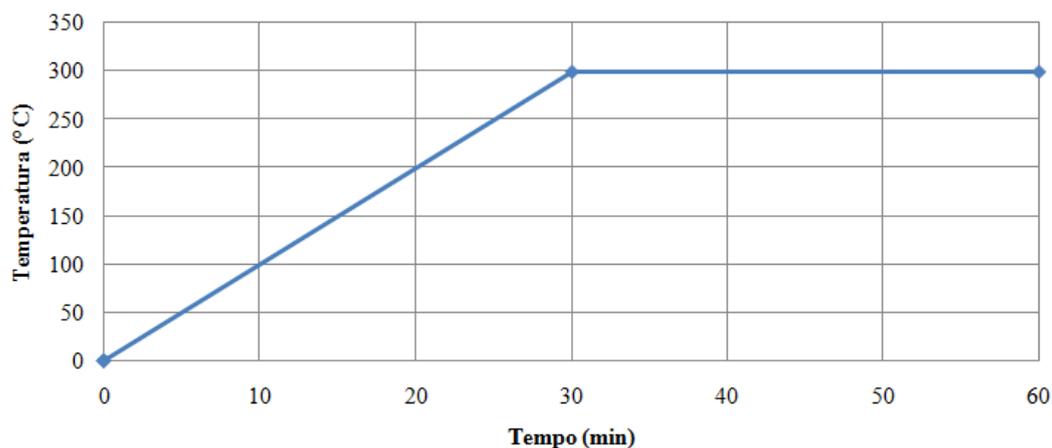


Figura 6. Curva sugerida para polimerização do ligante quando se utiliza massa seca de pega a quente.

Além disso, o uso de massa seca de pega a quente pode aumentar substancialmente a disponibilidade de distribuidor. Os dados de diferentes plantas na América do Sul, onde foram utilizados mais de um tipo de massa de trabalho, foram coletados durante a montagem de distribuidor. Esses dados foram compilados e são mostrados na Tabela 1. Como pode ser visto, os passos de preparação são

diferentes para cada tipo de produto utilizado e o distribuidor fica pronto 70 minutos mais rápido quando se utiliza o material seco. Considerando uma planta que monta quatro distribuidores por dia, por exemplo, isto representa uma economia de 131 horas por mês.

Tabela 1. Tempo gasto para montagem de distribuidores.

	Massa “spray”	Massa seca
Tempo de aplicação 2 ton (min)	60	40
Secagem (min)	180	-
Polimerização do ligante (min)	-	60
Resfriamento para remoção do molde (min)	-	60
Remoção do molde (min)	-	10
Total (min/distribuidor)	240	170

Apesar do fato das massas secas de pega a quente reduzirem o consumo de gás e o tempo de preparação do distribuidor, esse tipo de produto está sendo usado apenas em algumas usinas na América do Sul. Uma delas escolheu a massa seca devido ao alto preço do gás natural. Duas outras esperavam que a massa seca fosse melhor em termos de qualidade do aço e por isso escolheram esse tipo de massa. Porém, não foi comprovado que a massa “spray” não atenderia aos requisitos de qualidade dessas usinas.

Algumas desvantagens apresentadas pelas massas secas as tornam pouco atraente e justificam o baixo percentual de usinas que utilizam esse tipo de revestimento. A primeira desvantagem das massas secas de pega a quente está relacionada com o sistema de ligante. A resina fenólica é o ligante original usado nesta tecnologia e existem várias desvantagens em relação ao seu uso. O alto preço e o odor de amônia durante a polimerização, bem como os problemas causados por “pick up” de carbono no aço são características negativas [4]. O aumento do teor de carbono no aço *Interstitial Free* (IF), por exemplo, não é desejável, uma vez que afeta fortemente a qualidade do aço e as suas características de conformabilidade [8].

Sistemas alternativos de ligante ecológico foram desenvolvidos. No entanto, o custo mais elevado e o problema de “pick up” de carbono persistiram. Krausz et al compararam diferentes revestimentos de distribuidor (Figura 7) e verificaram que o pick-up de carbono de massas “spray” foi consideravelmente menor do que de massas secas [9]. Esse resultado indica as limitações desse material seco para o lingotamento de aços *Ultra Low Carbon* (ULC), por exemplo.

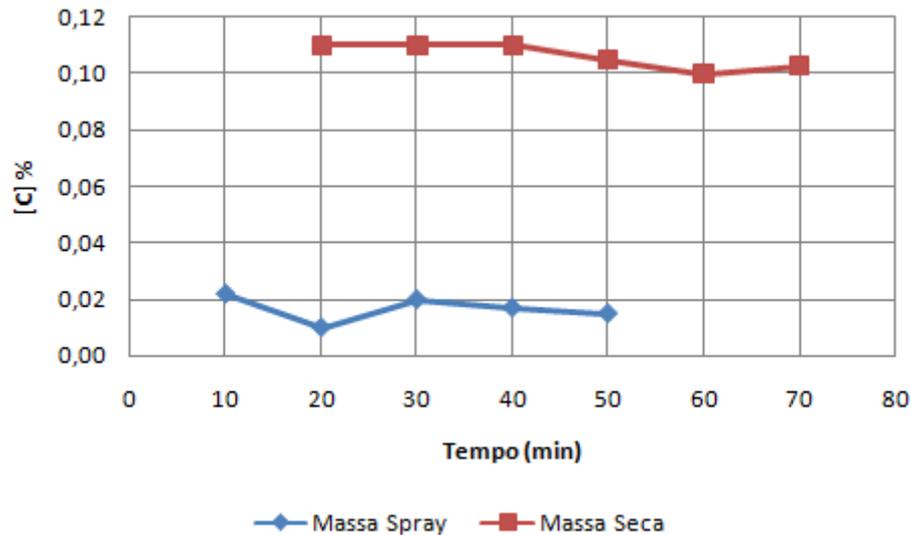


Figura 7. Teor de carbono do aço em função do tempo de amostragem [9].

Outra desvantagem das massas secas está relacionada à maior densidade ($1,7 \text{ g/cm}^3$) em relação ao material “spray” ($1,1 \text{ g/cm}^3$), o que leva a um maior consumo considerando a mesma espessura aplicada. Os dados de usinas siderúrgicas no Brasil mostraram um aumento de aproximadamente 30% no consumo ao substituir as massas “spray” por massas secas.

Tendo em conta o preço mais elevado devido ao ligante e o maior consumo devido à maior densidade, existe um aumento de custo de aproximadamente 56% para preparar um distribuidor utilizando massas secas em comparação com as massas “spray”, como pode ser visto em Tabela 2.

Tabela 2. Comparação relativa de preço e consumo entre massas “spray” e massas secas

	Preço (R\$/ton)	Consumo (ton/dist.)	Total (R\$/dist.)
Massas Spray	100%	100%	100%
Massas Secas	120%	130%	156%

Além da maior densidade, o consumo também aumenta durante a campanha do revestimento de segurança (Figura 8). À medida que o revestimento de segurança desgasta, o espaço entre este e o molde cresce, aumentando também o consumo de massa. Mesmo o uso de um molde ajustável não é suficiente para manter o consumo constante durante a campanha. Dados de clientes no Brasil revelaram que o consumo pode duplicar no final da campanha do revestimento permanente. Há casos em que é preferível encerrar prematuramente a campanha do revestimento de segurança do distribuidor do que ter esse aumento no consumo do revestimento de trabalho.

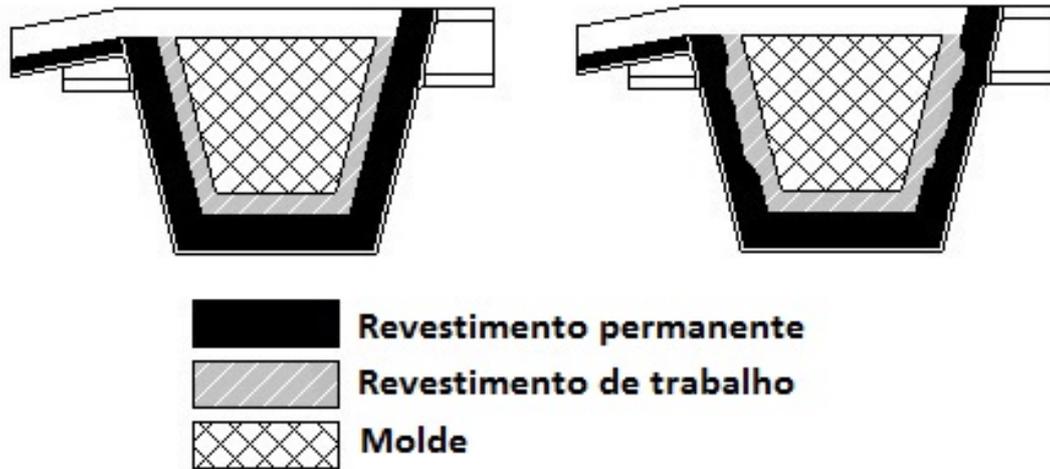


Figura 8. Perfil mostrando o aumento de consumo de massa seca em função do desgaste do revestimento de segurança.

O uso de massas secas, apesar do seu maior custo e maior consumo, é indicado em duas situações. Em primeiro lugar, quando não há disponibilidade de carcaças e o tempo de preparação do distribuidor tem um impacto considerável sobre a produção de aço. Em segundo lugar, quando o número de corridas em uma sequência de lingotamento é muito grande e tem conseqüentemente uma extensa duração. O maior grau de empacotamento das partículas que compõem a massa seca confere uma estrutura mais fechada e de maior densidade se comparada com as massas “spray”, e isso inibe infiltrações, principalmente de escória, acarretando menores taxas de desgaste do revestimento de trabalho. Dados de uma usina siderúrgica no Brasil indicam que a taxa de desgaste do material seco é de aproximadamente 0,016mm/min contra 0,025mm/min das massas “spray”. É importante destacar que restrições no fornecimento de energia elétrica em horário de pico, em algumas usinas, forçam a interrupção do lingotamento impedindo utilização do distribuidor por tempo mais prolongado. Nesse caso, mesmo apresentando um desgaste menor, não há vantagens em se utilizar massa seca. Além disso, experiências de campo mostram que as massas “spray” podem suportar satisfatoriamente uma sequência de 30 horas, desde que uma espessura de camada adequada seja aplicada.

4 MASSAS SECAS DE AUTO-ENDURECIMENTO

A contínua necessidade de diminuir o consumo de energia e aumentar a disponibilidade de distribuidor, levou ao desenvolvimento de massas de auto endurecimento. Esse material utiliza uma solução de silicato de sódio como ligante combinado com um éster, utilizado como catalisador. Os dois líquidos são continuamente misturados com o material seco no momento da aplicação e despejados no espaço entre o revestimento de segurança e o molde.

Para a aplicação desse tipo de revestimento é necessário uma máquina mais complexa (em comparação com a utilizada na massa de pega a quente) contendo um sistema de bombeamento e dosagem para os líquidos e uma unidade de mistura. Isso torna o investimento para utilização de massas de auto-endurecimento muito maior do que para as tecnologias anteriores.

Neste sistema, o éster reage com a solução de silicato de sódio, removendo Na_2O do sistema. Isto aumenta a razão $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, formando uma fase viscosa responsável pelo endurecimento do produto à temperatura ambiente. Embora seja

utilizado um ligante líquido para aplicar o material, a água presente na solução do ligante é consumida durante a reação de endurecimento. Assim, não é necessário secar o material após a aplicação e o consumo de gás é totalmente eliminado.

A não utilização de gás é o fator mais importante que leva ao uso deste material. As massas secas de auto-endurecimento são tecnicamente mais interessantes onde não há disponibilidade de gás ou seu preço é proibitivo. Isso pode ocorrer principalmente durante o inverno em alguns países como Argentina e Chile.

A promessa de menor tempo para a preparação de distribuidor não é realmente uma vantagem desta tecnologia. O distribuidor é montado 60 min mais rápido do que as massas secas de pega a quente (ausência de curva de aquecimento para a polimerização do ligante). Entretanto, é indicado, para uma aplicação segura da massa seca de auto-endurecimento, esperar que o revestimento de segurança esfrie abaixo de 40 °C. Isso ocorre porque temperaturas acima de 40°C aumentam muito a cinética da reação e o material tende a entrar em colapso. Assim, o tempo economizado na montagem é gasto esperando o revestimento de segurança esfriar.

Além disso, as massas de auto endurecimento têm as mesmas desvantagens das massas secas de pega a quente quando comparadas com as massas “spray”: maior densidade, maior consumo e maior custo. É devido a essas desvantagens que o consumo deste tipo de material na América do Sul é ainda pequeno quando comparado com as massas “spray”, como pode ser visto na Figura 1 e 2.

5 SUMÁRIO

O objetivo principal deste trabalho foi discutir as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de massa de trabalho de distribuidores. Em geral, as três tecnologias são capazes de suportar a produção e requisitos de qualidade padrão e podem ser usadas tanto para a partida a frio, quanto para a partida a quente. Cada tecnologia tem suas vantagens e desvantagens específicas que estão resumidas no Tabela 3.

Tabela3. Comparação entre as três tecnologias de massa de trabalho de distribuidor.

Aplicação	Massa “spray” “Spray” com 25% de água	Massa seca de pega a quente Aplicado completamente seco	Massa seca de auto-endurecimento Aplicado com 5% de ligantes líquidos
Secagem/Cura	3h x 550°C	1h x 300°C	1h x Temperatura ambiente
Consumo de gás	Alto	Médio	Nenhum
Densidade	Baixa	Alta	Alta
Isolamento térmico	Bom	Médio	Médio
Tempo de preparo (min)	240	170	110
Disponibilidade de distribuidor	Médio	Alta	Médio
Sequencia de lingotamento	Até 30 horas	Mais de 30 horas	Mais de 30 horas
Investimento em equipamento	Baixo	Médio	Alto
Custo	Baixo	Médio	Alto
Consumo do produto	Baixo	Alto	Alto
Qualidade de aço	Possibilidade de pick up de [H]	Possibilidade de pick up de [C]	-

As três tecnologias estão disponíveis no mercado e a decisão de qual produto deve ser usado depende das necessidades da usina.

No início, a ausência de água nas massas secas instigou a curiosidade do mercado. Em algumas usinas, a utilização desse tipo de produto mostrou-se interessante devido à necessidade de reduzir ou eliminar o consumo de gás. Em alguns países, especialmente durante o inverno, a disponibilidade de gás natural é baixa e o preço é muito alto. Outra ocasião em que as massas secas podem ser indicadas é quando o tempo de preparação de distribuidor tem um impacto considerável na produção de aço ou quando o sequencial de lingotamento é muito longo.

Apesar das vantagens das massas secas, o mercado continua a ser dominado por massas “spray”. A compreensão desse cenário requer o conhecimento do processo de cada usina e as reais necessidades de cada uma.

Em geral, o custo total do investimento e do produto são pontos-chave para determinar o tipo de revestimento de trabalho de distribuidor a ser adotado. Neste caso a massa “spray” é a tecnologia mais vantajosa. Além do baixo custo, baixo investimento e baixo consumo, este tipo de produto tem melhores propriedades de isolamento térmico do que as outras tecnologias apresentadas e atende em qualidade de aço se propriamente seco. Além disso, a maioria das usinas na América do Sul tem disponibilidade suficiente de distribuidores, um tempo de sequencial de lingotamento relativamente baixo e a possibilidade de usar gás de alto-forno ou de coqueria, o que reduz a necessidade de massas secas, quando o objetivo é economia de gás.

A principal conclusão é que as massas “spray” são mais adequadas para o cenário operacional da maioria das usinas siderúrgicas na América do Sul e as massas secas tem vantagens importantes para algumas plantas e processos específicos.

REFERÊNCIAS

- 1 Tassot P., Turrel Ch. Actual trends for the tundish refractory lining. Refractories Wordforum 3.; 2011.; p. 93-98.
- 2 Helmus D, Bross R., Fechner R, Ratto J.G., Ratto, J.C. Tundish wear lining: Taylor made dry vibratable material concepts and lining instalation technologies, 2nd Refractory Material Seminar, IAS, 2013.
- 3 Zorzato M. Análise Termodinâmica da Incorporação de Hidrogênio pelo aço líquido através da escória de refino secundário // Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas; Porto Alegre; 2013.
- 4 Tassot P., Reichert N., Willoughby C., Turrel C. The tundish as a metallurgical reactor. Stahl und eisen 132; 2012.
- 5 Correia C.Q. Fragilização por Hidrogênio em aço AISI 8740; Volta Redonda; 2015.
- 6 Bross R, Fechner R., Goedecke M., Pawlig O., Ratto G., Braß H.G., Niggemeier M. Dry vibrating mixes versus wet gunning mixes: New material concepts and lining technologies with respect to clean steel; 2009.
- 7 Lehmann J, Boher M., Kaerlé M.C. An experimental study of the interactions between liquid steel and a MgO-based tundish refractory. CIM Bulletin, September, 1997.
- 8 Palai P, Tripathy P.K., Ranjan R., Roy T.K., Mahashabde V.V. Carbon pick-up reduction in IF steel en-route RH and Constinuous Casting, METEC, Düsseldorf, 2015.
- 9 Krausz I., Tassot P., Turrel Ch. Element pick up in liquid steel from tundish lining refractories. UNITCR, Salvador, 2009.