

# EXPERIÊNCIA DA APERAM ACERCA DE DEFEITO SUPERFICIAL EM CHAPA DE AÇO CARBONO<sup>1</sup>

*Henrique de Castro Rodrigues*<sup>2</sup>

*João Geraldo Alves*<sup>3</sup>

*Marcio Aurélio Gomes Fernandes*<sup>4</sup>

*Vagner Macedo de Carvalho*<sup>5</sup>

*Valdeci Paula Alvarenga*<sup>6</sup>

## **Resumo**

Foi efetuada melhoria no processo de elaboração de aços médio e baixo carbono e desenvolvido novo pó fluxante para o lingotamento contínuo da Aciaria da Aperam. Este desenvolvimento permitiu melhorias significativas na qualidade superficial das placas e, conseqüentemente, na qualidade superficial das chapas. A qualidade interna dos aços produzidos usando este desenvolvimento permaneceu inalterada, atendendo a todas as exigências especificadas para os produtos.

**Palavras-chave:** Pó fluxante; Qualidade superficial; Chapa; Lingotamento contínuo.

## **APERAM'S EXPERIENCE ABOUT SURFACE DEFECT IN CARBON STEEL PLATE**

## **Abstract**

Improvement was made in the preparation of medium and low carbon steels and developed new flux powder for continuous casting of Aperam. This development has enabled significant improvements in quality surface of the slabs and plates. The internal quality of steel produced using this development remained unchanged, meeting all specified requirements for products.

**Keywords:** Casting powder; Surface quality; Plate; Continuous casting.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 44º Seminário de Aciaria – Internacional, 26 a 29 de maio de 2013, Araxá, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro, Mecânico e Mestre em Metalurgia pela UFMG. - Coordenador da Metalurgia de Carbono, Gerência Executiva de Laminação de Tiras a Quente, Aperam South America, Timóteo MG.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico. Mestrando de Engenharia Metalúrgica da UFMG e Metalurgista do Lingotamento Contínuo da Aperam South America, Timóteo MG.*

<sup>4</sup> *Técnico Metalúrgico. Técnico de Controle de Processo da Laminação de Tiras a Quente, Aperam South America, Timóteo MG.*

<sup>5</sup> *Técnico Metalúrgico. Técnico de Controle de Processo da Laminação de Tiras a Quente, Aperam South America, Timóteo MG.*

<sup>6</sup> *Engenheiro Mecânico. Mestrando de Engenharia de Materiais da UFOP e Metalurgista dos produtos Carbonos da Aperam South America, Timóteo MG.*

## 1 INTRODUÇÃO

O controle do processo de produção de aços constitui o item mais crítico para as usinas siderúrgicas, pois depende do acerto da composição química, teores residuais (P, S, N) e do tamanho e distribuição das inclusões não-metálicas que são vitais para a qualidade e competitividade dos produtos no mercado.

O fluxo de elaboração dos aços Carbono e ligados (Figura 1) foi desenvolvido para atender os rigorosos requisitos de composição química. O fluxo de produção conta com o PTG (Pré-Tratamento de Gusa) - que é utilizado sempre que o teor de enxofre no gusa estiver acima de 70 ppm, o que acontece quando o gusa é produzido via coque. Já para o gusa produzido via carvão vegetal não existe a necessidade de dessulfuração, dependendo do nível de enxofre exigido.

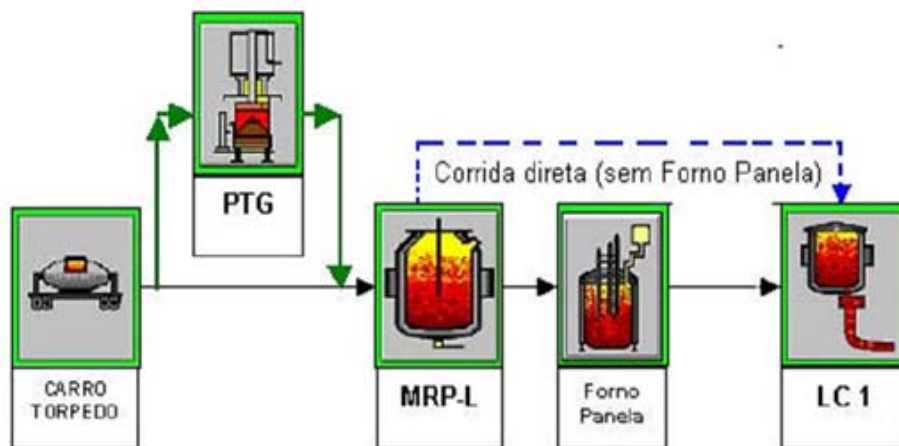
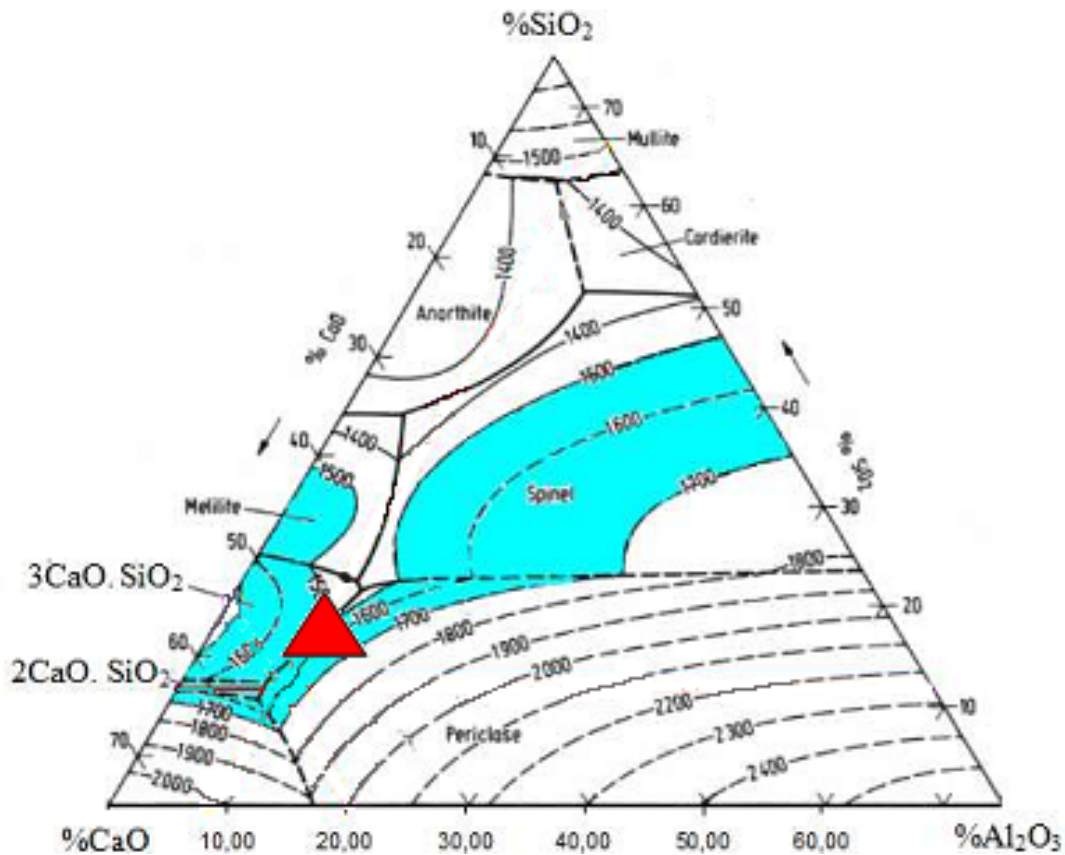


Figura 1 – Fluxo de produção para os aços Carbono e ligados.<sup>(1)</sup>

No processo de refino primário no convertedor MRP-L (*Metal Refining Process with Lance*), é realizada a conversão de gusa líquido em aço com a adição de sucatas e fundentes, usando o sopro de Oxigênio por uma lança de topo. Nesse processo, o teor de Carbono é reduzido de aproximadamente 4% para valores entre 0,01% e 0,70%, dependendo do tipo de aço a ser produzido.

No refino secundário do aço – que abrange o vazamento no MRP-L até o início de lingotamento contínuo - requer-se uma escória redutora na panela para permitir dessulfuração e desoxidação do banho. Porém, a escória de refino primário que passa para a panela contém óxidos facilmente redutíveis que implicam num menor rendimento das ligas adicionadas.

Visando adequar a escória da panela de vazamento e contribuir para melhorar ainda mais a dessulfuração do aço, foi desenvolvido durante o vazamento no convertedor, o uso de escória sintética, conforme Alvarenga,<sup>(1)</sup> que possibilita trabalhar com teores de alumina da ordem de 10 a 15% o que contribui para melhorar a capacidade de absorção de inclusões de alumina, como apresentado na Figura 2.



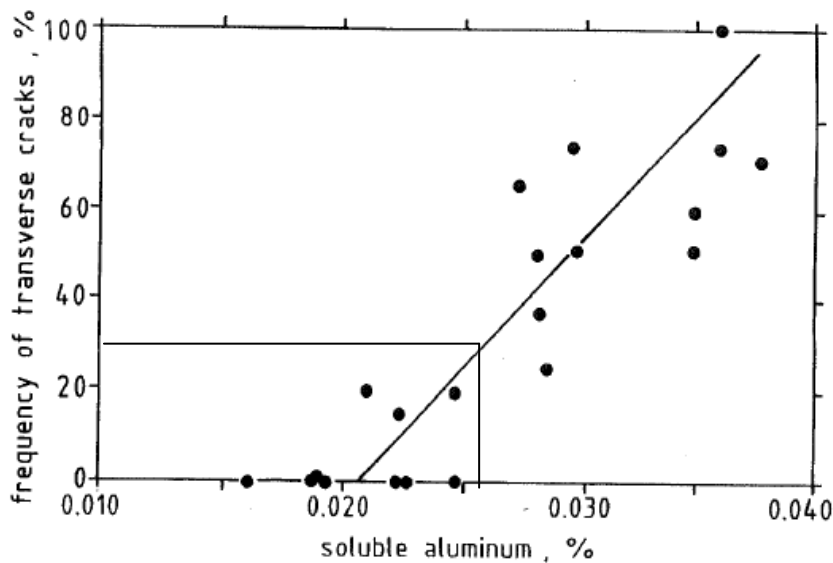
**Figura 2** – Diagrama CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 10% de MgO para temperatura de 1.600°C.<sup>(2,3)</sup>

Após desenvolvimento da escória sintética na metalurgia secundária, utilização de gusa com redutor proveniente do carvão vegetal no Alto-forno nº 2 (a partir de julho de 2011), conseguiu-se trabalhar com valores baixos de enxofre final e o problema de obstrução de válvula submersa no lingotamento contínuo foi solucionado. Este problema era uma das causas do defeito superficial na chapa. Qualquer outra ação não seria suficientemente eficaz sem antes resolver o problema de obstrução de válvula submersa no lingotamento.

Nesta etapa foi otimizado também a desoxidação do aço modificando o teor de Alumínio para valores menores que 0,020%, que anteriormente era da ordem de 0,025%.

Conforme Figura 3, para valores menores que 0,02% a possibilidade de trincas transversais são minimizadas.

Além da utilização de escória sintética e ajuste no teor de Alumínio do aço, para solucionar o defeito cavidades que é um defeitos superficial com profundidade maior que 1 mm foram tomadas algumas ações. O presente trabalho irá descrever a experiência adquirida pela Aperam durante estudo proveniente de reclamação de cliente originada a partir da detecção do defeito cavidade no produto final.



**Figura 3** – Efeito do Alumínio na formação de trincas transversais.<sup>(4)</sup>

## 2 METODOLOGIA

O corrente projeto se iniciou após a consolidação da utilização de escória sintética e ajuste no teor de Alumínio nos aços Carbono. Após estas ações foi avaliada a qualidade interna e solucionado o problema de obstrução de válvula submersa no lingotamento contínuo.

Foi efetuada inspeção visual das placas destinadas à fabricação de chapas grossas, coletadas amostras do defeito, além de terem sido realizadas análises via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e feito estudo das características do pó fluxante utilizado.

Para avaliar a viabilidade técnico-econômica do trabalho proposto foram realizadas 30 corridas experimentais, com aplicação final para chapa grossa.

Todo este trabalho foi desenvolvido usando a norma interna da empresa regulamentada pela Área de Melhoria Contínua.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O defeito cavidade, conforme Figura 4, possui as seguintes características:

- ocorre aleatoriamente na face superior da placa/chapa;
- profundidade maior que 1mm;
- maior intensidade nas bordas superiores das placas; E
- maior frequência nas corridas produzidas na máquina de lingotamento contínuo nº 1.

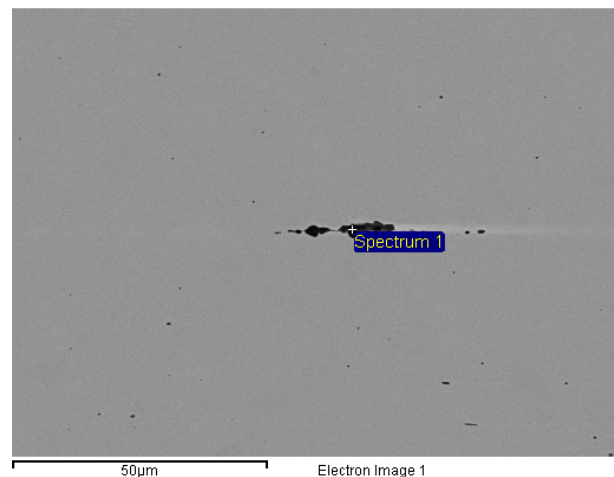


**Figura 4** – Caracterização do defeito cavidade.

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise via Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), da situação anterior e posterior à utilização da escória sintética.

**Tabela 1** – Análise do MEV – Situação anterior a utilização da escória Sintética

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| O K     | 39.08   | 59.76   |
| Na K    | 0.36    | 0.39    |
| Mg K    | 0.50    | 0.51    |
| Al K    | 11.13   | 10.09   |
| Si K    | 14.96   | 13.03   |
| Ca K    | 7.65    | 4.67    |
| Mn K    | 5.14    | 2.29    |
| Fe K    | 21.17   | 9.27    |



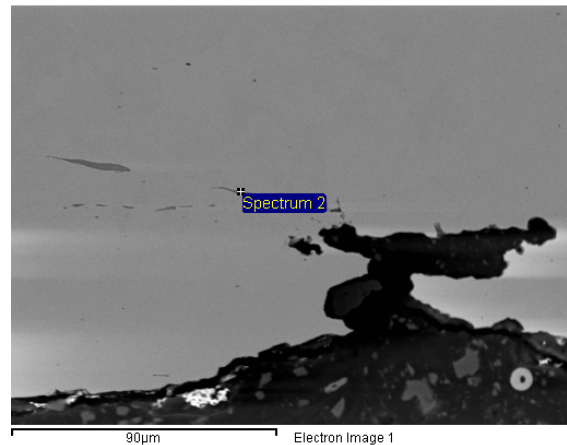
A Tabela 1 evidencia a presença de macro-inclusões complexas de Alumínio, Silício, Cálcio e sódio, com origem na elaboração do aço líquido e do pó fluxante utilizado. A presença de Magnésio é devido a reação com o Alumínio. O Magnésio e sódio, normalmente, tem origem em componentes do lingotamento contínuo.<sup>(5)</sup> A implementação da escória sintética e modificação no pó fluxante solucionou este problema.

Na Tabela 2 após a implementação da escória sintética e modificação do pó fluxante não foram mais encontradas macro-inclusões complexas. Entretanto, sazonalmente,

era encontrado o defeito cavidade e, na análise do MEV ,foi identificado penetração de óxidos.

**Tabela 2** – Análise do MEV – Situação posterior a utilização de escória sintética e modificação do pó fluxante

| Element | Weight% | Atomic% |
|---------|---------|---------|
| O K     | 18.48   | 44.17   |
| Mn K    | 1.70    | 1.19    |
| Fe K    | 79.81   | 54.64   |



A Figura 5 mostra o pó fluxante anterior e posterior, utilizados na APERAM, sendo o pó fluxante “A” substituído pelo pó fluxante “B”. As principais diferenças entre eles estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3** – Principais diferenças entre os pós fluxantes utilizados na APERAM para os aços carbonos peritéticos destinados a chapa grossa

| Característica          | Pó fluxante “A” | Pó fluxante “B” |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| (CaO/SiO <sub>2</sub> ) | 1,15            | 1,27            |
| Viscosidade (Poise)     | 1,21            | 1,41            |
| Granulação              | Fina            | Esférica        |

Existem diversas teorias que explicam que a trinca longitudinal se forma no molde de lingotamento, sendo assim, todas as variáveis de processo que se relacionam com o molde afetam a sua ocorrência. Dentre as variáveis estudadas, a que mais tem sido divulgada e que possui forte efeito sobre a ocorrência de trinca é a extração de calor no molde.<sup>(6)</sup>

Os aços com teores de Carbono na faixa de 0,10 a 0,17%, possuem maior redução de volume durante a solidificação, devido a acontecer a reação peritética, ou seja,  $\delta + L \rightarrow \gamma$ . Essa reação é caracterizada por grande contração volumétrica devido às diferentes densidades das fases, e apresenta maior tendência à formação mais acentuada do “gap” entre a placa e o molde, diminuindo a extração de calor. Por isso, faz-se necessário a utilização de um pó fluxante que suavize a extração de calor da placa no molde, diminuindo assim a tendência à formação das trincas longitudinais. Diversos estudos têm mostrado que o aumento da basicidade diminui a transferência de calor no molde.<sup>(6)</sup>

Conforme Tabela 3, a basicidade do pó fluxante foi ligeiramente aumentada, com a intenção de suavizar a extração de calor no molde e, conseqüentemente, diminuir a probabilidade da formação de trincas longitudinais. Outra alteração importante foi o pequeno aumento na viscosidade do pó fluxante, realizada com o objetivo de obter um filme de pó fluxante mais uniforme em todo o perímetro do molde, pois os aços



lingotados possuem uma forte contração e a viscosidade menor pode gerar discontinuidades na distribuição do pó fluxante ao longo do molde, gerando maior tendência à formação de trincas longitudinais.

Um ganho adicional foi a alteração da granulação do pó fluxante. Conforme Figura 5, o pó fluxante “A” possui granulação “fina”, o que causava grandes transtornos ambientais, poluindo a plataforma de lingotamento. Com o desenvolvimento do fluxante “B, na forma “esférica”, esse problema foi resolvido.



Na Figura 6 observa-se a situação anterior, onde existia ocorrência de trinca longitudinal e transversal nas placas , conforme ilustram as fotos (a) e (b). Estas trincas manifestavam-se com maior intensidade na parte superior das placas e chapas (sentido lingotamento). Estes defeitos são denominados cavidades, conforme fotos (c) e (d).



(a) trinca longitudinal-placa



(b) trinca transversal na placa



(c) Cavidades na chapa



(d) Cavidades na chapa

**Figura 6** – Situação das placas e chapas antes da implementação do projeto.

Durante análise foi observado o defeito nas bordas das chapas na mesma localização das trincas das placas.

Na Figura 7, após implementação das ações de eliminação da obstrução de válvula submersa (escória sintética e otimização do Al), da modificação do pó fluxante e do esmerilhamento das bordas superiores não houve mais manifestação do defeito.



(a) Placa esmerilhada (200 mm espessura)



(b) Teste de líquido penetrante na placa



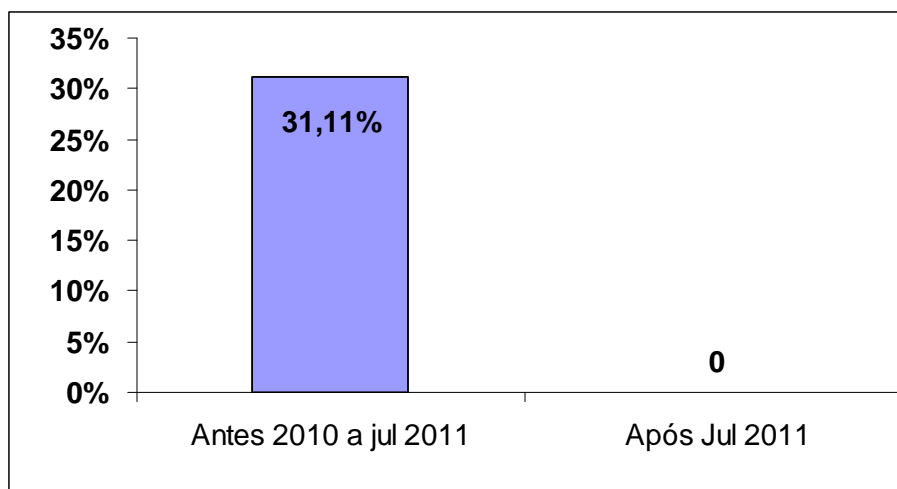
(c) Chapa (150mm espessura)



(d) superfície da chapa isenta do defeito

**Figura 7**– Situação das placas e chapas após implementação do projeto.

A Figura 8 apresenta os resultados após implementação das ações de: utilização de escória sintética, otimização do Al, modificação do pó fluxante e no tipo do esmerilhamento na face superior das placas no sentido de lingotamento.



**Figura 8** – Indicador do defeito cavidade após implementação do projeto.



Observa-se na Figura 8 que não houve mais ocorrência do defeito após implementação das ações, elas foram padronizadas para fabricação do produto.

## 5 CONCLUSÕES

Após implementação da utilização de escória sintética, otimização do teor de Alumínio do aço e melhoria no indicador de obstrução de válvula submersa no lingotamento contínuo, implementação da prática de esmerilhamento na face superior e desenvolvimento de novo pó fluxante foi equacionado o problema de cavidade em chapas de aço Carbono na Aperam.

As modificações na basicidade e na viscosidade do pó fluxante permitiram melhorias na qualidade superficial das placas e chapas, sendo evidenciado através de testes com líquido penetrante. Além disso, o pó fluxante padronizado possui a forma de granulado esférico, o que contribui para menor consumo e diminui a poluição na plataforma do lingotamento contínuo.

Após implementação das ações não ocorreram mais reclamação de clientes devido ao defeito cavidade.

Como próximo passo será necessário elaborar um estudo para eliminar o esmerilhamento das placas, diminuindo assim a complexidade na elaboração das chapas grossas.

## REFERÊNCIAS

- 1 ALVARENGA, V.P. **Utilização de Mistura e Fundentes Briquetada em substituição à adição de Cal dolomítica, CaF<sub>2</sub> e CaC<sub>2</sub> na produção de aços carbonos e ligados**, Belo Horizonte, ABM, 2012.
- 2 **SLAG ATLAS**, Verlag Sthaleisen GMBH, Slag Atlas, Dusseldorf, Setembro 1995, Segunda Edição.
- 3 WANG, H.; LI, G. “**CAS-OB Refining Ladle Slag Modifying with CaO-CaF<sub>2</sub>**”, 17th IAS Steelmaking Conference, 2009, Buenos Aires, Argentina.
- 4 KLAUS, SCHWERDTFEGER. **Curse on quality control in continuous casting**, Belo Horizonte, 2004.
- 5 CHIAVERINY, V. **Aços e Ferros Fundidos**, São Paulo, ABM, 1970.
- 6 VALADARES, C, A, G. **Análise do Mecanismo e das Principais Causas de Ocorrências de Trincas em Placas de Lingotamento**, ABM, 2002, Santos, SP, Brasil .