

Escórias de Refino Secundário de Aços Especiais com Vistas à Limpeza Inclusionária

Leticia Gabriela Winck; Vinícius C. da Rocha; Wagner V. Bielefeldt; Antônio C. F. Vilela

Introdução

O interesse pela fabricação de aços nobres, denominados *clean steels*, aumentou consideravelmente com o avanço da tecnologia. Esse conceito está relacionado ao conteúdo de inclusões não-metálicas presentes no aço. As inclusões são inerentes ao processo de fabricação e sua formação é uma consequência inevitável das reações físico-químicas que ocorrem durante as etapas de refino do aço.

Um das formas de remoção de inclusões é sua absorção pela escória. Essa remoção se dá através de três etapas: flotação da inclusão até a interface aço/escória, separação do aço líquido – inclusão rompe a tensão superficial do aço e passa para a interface, e dissolução na escória – inclusão é incorporada pela escória.

Além da composição química da escória, outros parâmetros, apesar de não estarem diretamente ligados à formação e remoção de inclusões, podem ser utilizados no controle inclusionário. Entre eles, pode-se citar: o tipo de desoxidante utilizado, teor de oxigênio no aço, tempo de agitação do banho metálico e reoxidação do desoxidante com o ar atmosférico.

Objetivo

Relacionar parâmetros da escória e do aço com a composição química e densidade de inclusões presentes, a fim de se entender como a limpeza inclusionária é influenciada.

Metodologia

Foram utilizados dados de amostras de três corridas do aço TL4227 (C1, C2 e C3), retiradas no momento após a desgaseificação a vácuo e durante o lingotamento contínuo, no distribuidor. A Figura 1 apresenta a sequência de retirada das amostras de aço e da amostra de escória.



Figura 1: Fluxograma esquemático da retirada das amostras de aço e de escória.

Amostras foram submetidas à análise de MEV/EDS a fim de se obter o grau de limpeza inclusionária. A representação dos resultados foi feita utilizando uma planilha MS Excel, que realizou a classificação das inclusões através de critérios sobre composição química, e gerou, para cada classificação, um grupo de inclusões, que determinou o sistema ternário que melhor se adequou às inclusões presentes.

As amostras de escória tiveram sua composição química determinada pela técnica de fluorescência de raios-x.

Essa composição foi simulada no *software* FactSage, versão 6.4, com os bancos de dados FactPS e FToxid, na temperatura de 1600°C, para a determinação das fases (frações e composição) sólida e líquida da escória.

Resultados e Discussão

Caracterização de Inclusões

A Figura 2 apresenta a densidade de inclusões das amostras x1 e x2 de aço, obtida através da análise de MEV/EDS, e a fração líquida da escória, na prova y1, simulada no *software* FactSage.

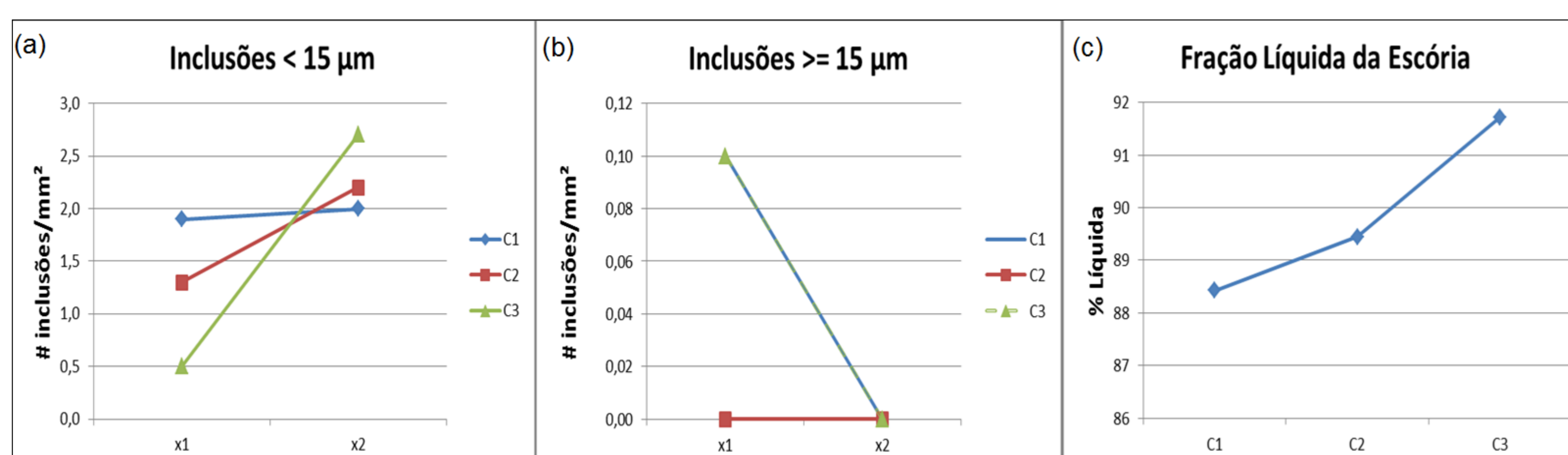


Figura 2: Densidade de inclusões para (a) inclusões menores que 15 µm; (b) inclusões maiores que 15 µm; e (c) fração líquida da escória.

Para as três corridas estudadas notou-se um aumento da densidade de inclusões menores que 15 µm na amostra x2, retirada no distribuidor do lingotamento contínuo. Esse aumento pode ser devido a alguma reoxidação ou à diminuição da temperatura da amostra x2, em relação à amostra x1, com um decréscimo médio de 1610°C para 1561°C.

A corrida C3 apresentou a maior fração líquida da escória (91,72%), entretanto, foi a corrida com maior densidade de inclusões menores que 15 µm na amostra x2. Isso evidencia que a escória, apesar de estar atrelada a remoção de inclusões, não é o único fator determinante para a limpeza inclusionária.

Observou-se, também, que as inclusões maiores que 15 µm foram totalmente removidas na prova x2, para todas as corridas. Isso está de acordo com a literatura, que afirma que as inclusões maiores possuem maior inércia para imersão na escória e possuem maior taxa de remoção.

Composição Química e Morfologia das Inclusões

A partir da composição química das inclusões, realizou-se o posicionamento das mesmas nos diagramas ternários, conforme Figura 3. Foi escolhida apenas a corrida C2, por melhor representar o comportamento geral de todas as outras.

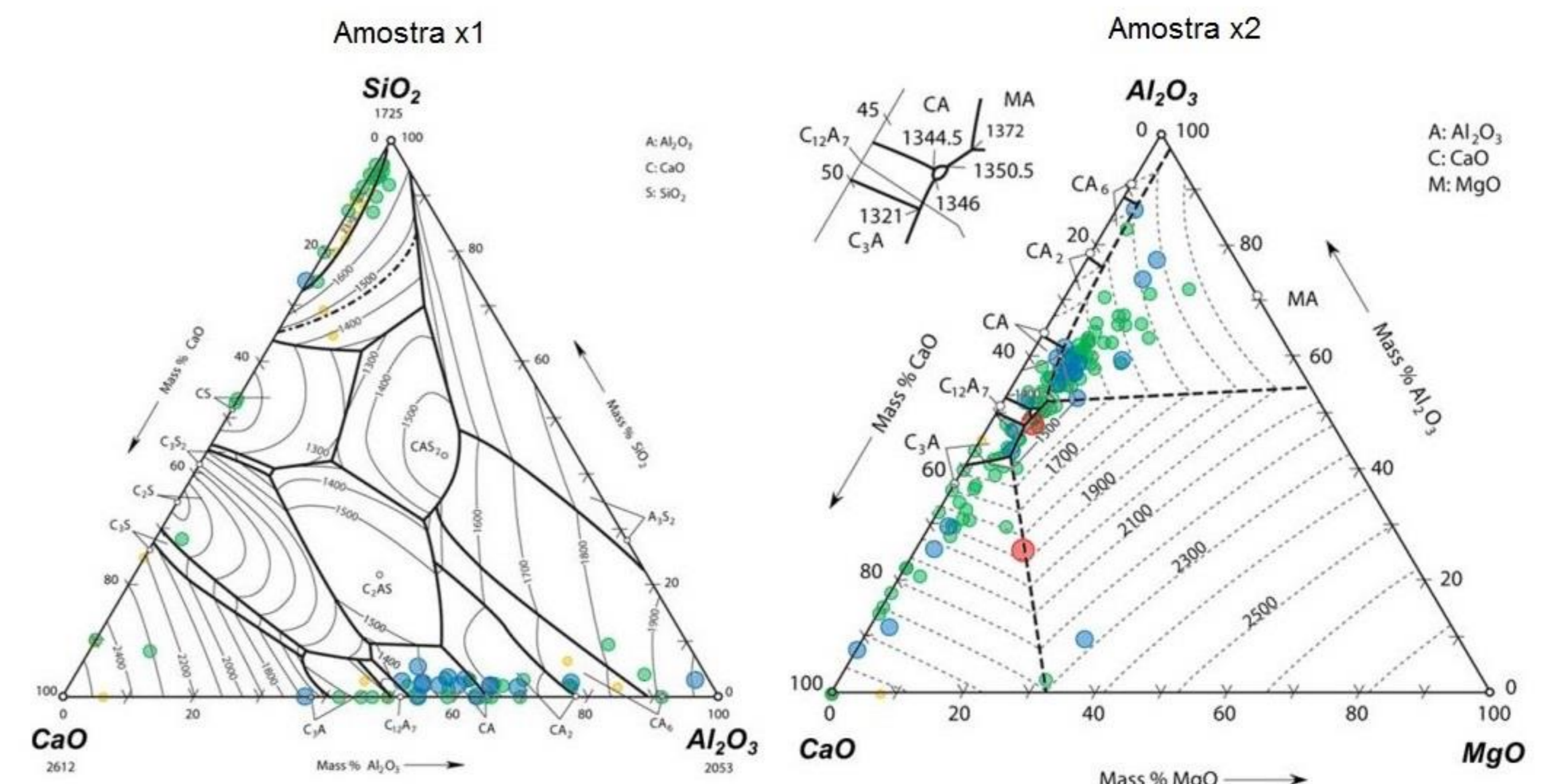


Figura 3: Diagramas ternários da corrida C2 para as amostras x1 e x2.

No final do processo de desgaseificação a vácuo (amostra x1) as inclusões são predominantemente constituídas de cálcio-aluminatos e sílica. Nessa etapa do processo ocorre grande interação da escória com o banho, o que pode ocasionar transferência de elementos como cálcio e magnésio para o banho. No distribuidor de lingotamento contínuo as inclusões presentes encontram-se numa região de cálcio-aluminatos.

A presença de cálcio-aluminatos, na amostra x2, é oriunda do ajuste da composição química do aço. Após o vácuo, é adicionado alumínio ao banho, que reage com o oxigênio presente no banho, formando inclusões de alumina. Essas inclusões são facetadas ou angulosas, e podem causar maiores defeitos no produto final, além de serem sólidas e formarem aglomerados (*clusters*) na válvula submersa, que podem levar ao *clogging*, e consequentemente, a interrupção da alimentação dos moldes de lingotamento. A fim de se modificar essas inclusões de alumina, adiciona-se cálcio-silício. O cálcio reage com o alumínio, formando inclusões de cálcio-aluminatos, que são arredondadas e menos prejudiciais às propriedades do aço. A adição de CaSi auxilia na formação de inclusões líquidas, evitando o fenômeno de *clogging*.

Análise de Oxigênio Total

Um dos métodos de análise indireta mais utilizado industrialmente para verificação da quantidade de inclusões é a quantidade de oxigênio total. A diminuição da quantidade de oxigênio total representa diminuição da quantidade de inclusões.

A Figura 4 apresenta a quantidade de oxigênio total nas amostras x1 e x2.

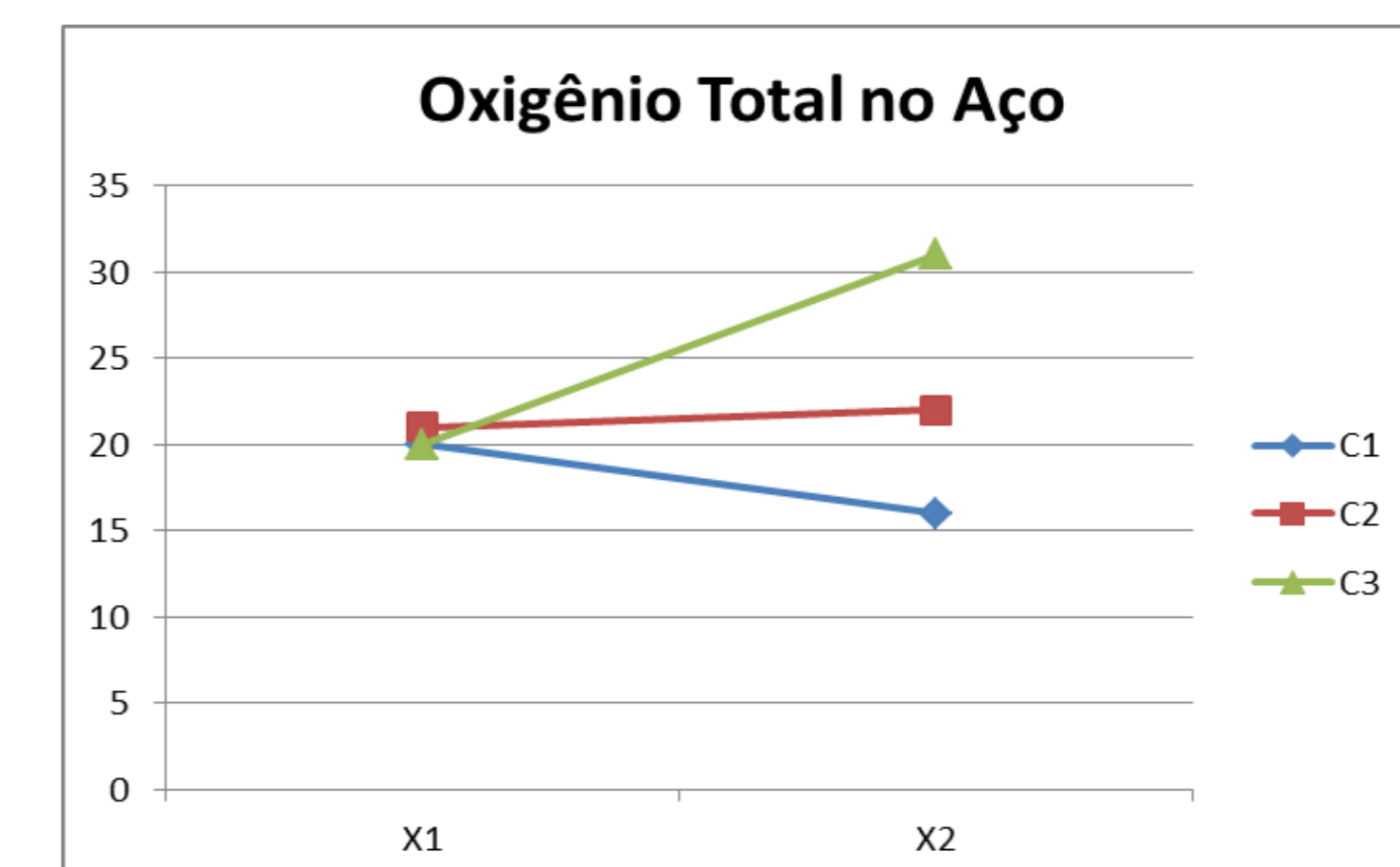


Figura 4: Teor de oxigênio total no aço (em ppm) para as provas x1 e x2.

Apesar de não diminuir a densidade de inclusões, para inclusões menores que 15 µm da corrida C1, observou-se o menor aumento (0,1 inclusão/mm²) entre todas as corridas, o que corresponde ao esperado de acordo com o teor de oxigênio total. Já a corrida C3, que apresentou maior oxigênio total, foi também a corrida que apresentou maior densidade de inclusões na amostra x2.

Conclusões

No contexto de limpeza inclusionária, pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- I. Inclusões maiores que 15 µm foram removidas em maior proporção.
- II. O aço estudado não apresentou inclusões maiores que 15 µm na amostra x2, retirada durante o lingotamento contínuo. Isto é, o aço possui bom nível de limpeza inclusionária, já que inclusões maiores são mais prejudiciais ao produto final.
- III. A corrida C3 apresentou maior densidade de inclusões na amostra x2, mesmo possuindo escória com maior fração líquida.
- IV. Fatores como reoxidação e variação de temperatura são fundamentais no controle de geração de novas inclusões.
- V. A adição de cálcio-silício após o vácuo ocasionou a formação de inclusões de cálcio-aluminatos, evitando a formação de *clusters* de alumina na válvula submersa.
- VI. Maior teor de oxigênio total no banho representou maior densidade de inclusões, o que era esperado.