



ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DE FUSÃO DAS ESCÓRIAS SINTÉTICAS SINTERIZADAS¹

José Flávio Viana²
Marcos Aparecidos dos Santos³
Darlan Lourenço⁴
Sayd Farage David⁵
José Roberto de Oliveira⁶

Resumo

As escórias sintéticas são utilizadas no refino secundário dos aços com o objetivo de favorecer a limpidez e reduzir os níveis de enxofre, além de proteger o arco elétrico durante o tratamento no forno panela e contribuir com teores de MgO, necessários para proteção do revestimento refratário da panela. Dentre os tipos de escórias disponíveis, a escória sinterizada se destaca por atingir estes objetivos com um ponto de fusão adequado à sua rápida dissolução e com baixos níveis de higroscopicidade. Neste trabalho a Tecnosulfur realizou a comparação de pontos de fusão calculados de diversas escórias aplicadas no mercado com medidas de laboratório realizadas pelo Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. Os resultados mostraram que os pontos de fusão estão de acordo com a previsão pelo programa de Termodinâmica Computacional e em um dos materiais houve divergência com o diagrama ternário.

Palavras chave: Escória sintética; Sinter

MELTING POINT STUDY OF CHEMICAL SINTERIZED SLAGS

Abstract

Chemical slags are used during the secondary refining to improve the steel cleanliness, to reduce the sulfur content, to ladle furnace electric arc protection and to improve de MgO slag content as a protection of the ladle refractory. Sinter slags have the advantage of low melting point, compared with the other types, which allow quickly dissolution during the ladle furnace treatment without hydrogen contamination. In this paper Tecnosulfur compared the calculated melting point of sinter slags supplied with laboratory measurements in Espírito Santo Federal Institute – IFES. The results showed that the melting point obtained has consistence with thermodynamic program and in one case, it was different from ternary diagram.

Key words: Chemical slag; Sinter

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2012, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Membro ABM, Engenheiro Metalurgista, MsC, Gerente de Processos, Tecnosulfur S/A

³ Membro ABM, Técnico Metalurgista, Gerente Técnico, Tecnosulfur S/A

⁴ Membro ABM, Técnico de Pesquisa e Desenvolvimento, Tecnosulfur S/A

⁵ Mestrando em Engenharia Metalúrgica do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES.

⁶ Prof. Dr. do Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.



1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1980 o refino secundário dos aços vem se desenvolvendo de forma contínua para atender à demanda de qualidade, sempre crescente. Este desenvolvimento está embasado no aprimoramento das escórias sintéticas, que têm como funções básicas a melhoria de limpidez, a dessulfuração e a proteção do revestimento refratário da panela. Para os tratamentos em fornos panela, a escória sintética também promove a cobertura do arco elétrico, reduzindo o consumo de eletrodos e a perda de energia por radiação, segundo Viana et al.⁽¹⁾

Existem basicamente quatro tipos de escórias sintéticas disponíveis no mercado, as mescladas, briquetadas, sinterizadas e pré-fundidas. As características e vantagens de cada uma delas são apresentadas na Tabela 1. Segundo Santos et al.,⁽²⁾ a escolha da melhor escória sintética vai depender da necessidade de cada tratamento em termos de composição química da escória, a influência do teor de hidrogênio no aço fabricado (higroscopicidade) e evidentemente, o custo da escória.

Tabela 1. Características das escórias sintéticas⁽¹⁾

Característica Tipo	Homogeneidade	Higroscopicidade	Composição química	Custo
Mesclada	Restrita	Alta	Sem restrições	Baixo
Briquetada	Sem restrições	Alta	Sem restrições	Médio
Sinterizada	Sem restrições	Baixa	Restrita	Médio
Pré-fundida	Sem restrições	Nenhuma	Muito restrita	Alto

A escória sintética sinterizada surgiu como uma alternativa para aproveitamento de resíduos de revestimentos refratários, conforme Costa et al.⁽³⁾ A partir desta aplicação, a Tecnosulfur desenvolveu a produção da escória sinterizada em escala industrial e ampliando sua aplicação a todos os tipos de tratamento de aço no refino secundário. A formação da escória final no tratamento do forno panela vai depender da velocidade de interação entre a escória sintética adicionada com a escória oriunda do processo anterior, convertedor ou forno elétrico. Desta forma, o ponto de fusão da escória sintética tem papel importante na velocidade de formação da escória final.

O objetivo deste trabalho é analisar os pontos de fusão de três tipos de escórias sintéticas sinterizadas utilizadas no refino secundário através de análise pelos diagramas ternários obtidos no Slag Atlas,⁽³⁾ pelo programa de termodinâmica computacional Thermocalc e o comportamento das escórias em forno de indução a 1.500°C.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas:

- Preparação das escórias sintéticas;
- determinação da temperatura de fusão, das fases presentes e da porcentagem de líquido nas escórias através de termodinâmica computacional;
- determinação da temperatura de fusão através dos diagramas disponíveis no Slag Atlas;⁽⁴⁾ e
- aquecimento das escórias até a temperatura de 1.500°C em forno de resistência.



2.1 Preparação das Escórias Sintéticas

Foram preparadas três tipos de escórias sintéticas sinterizadas na planta piloto da Tecnosulfur conforme as composições químicas apresentadas na Tabela 2. Antes da sinterização as matérias primas são preparadas em um moinho de martelos e depois passam por um misturador para adição de umidade.

Tabela 2. Composição das amostras de escórias sintéticas sinterizadas

Amostra / Composto	Al ₂ O ₃	CaO	CaF ₂	MgO	SiO ₂
1	17,5	34,6	6,7	13,3	27,9
2	-	40,5	33,4	10,2	15,9
3	-	65,4	18,1	11,5	5,0

2.2 Determinação da Temperatura de Fusão, das Fases Presentes e da Porcentagem de Líquido nas Escórias Através de Termodinâmica Computacional

Nesta etapa foi utilizado o programa Thermocalc, com o banco de dados Slag 3.

2.3 Determinação da Temperatura de Fusão Através do Slag Atlas⁽⁴⁾

Nesta etapa foram utilizados os diagramas Al₂O₃-CaF₂-CaO-SiO₂ (10% Al₂O₃) para a amostra de escória 1 e o CaF₂-CaO-SiO₂ para as amostras 2 e 3.

2.4 Aquecimento das Escórias Até a Temperatura de 1.500°C em Forno de Resistência

Esta etapa foi feita para se confirmar os dados gerados pelo Thermocalc. A temperatura de aquecimento foi limitada pela capacidade do forno. Um esquema do forno utilizado é mostrado na Figura 1.

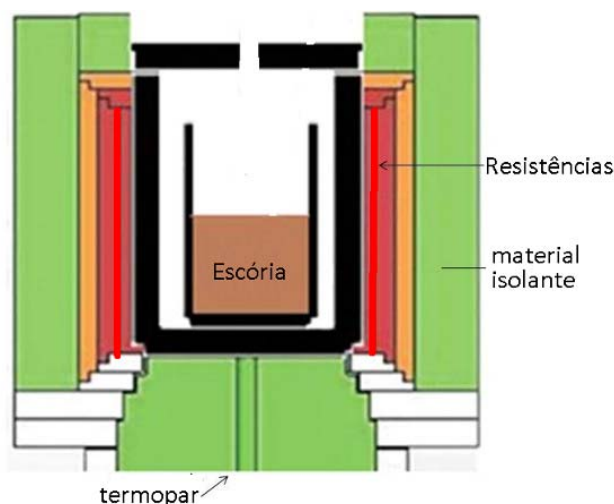


Figura 1. Desenho esquemático do forno utilizado nas fusões da escória.

Inicialmente, foram pesadas 100 gramas de cada escória. Depois estas escórias foram carregadas em cadinhos de grafite-argila (Figura 2). As dimensões do cadinho usado são: diâmetro interno superior: 7 cm; diâmetro interno inferior: 5 cm; altura: 12 cm.



Figura 2. Cadinhos de Grafite - Argila usados na fusão das escórias.

Os cadinhos foram colocados no forno, e após a temperatura se estabilizar em 1.500°C, foram mantidos por 40 minutos nestas temperatura. Depois desse tempo os cadinhos foram retirados e deixados para resfriar ao ar.

Foi então separado a parte que fundiu das escórias 2 e 3 e pesadas as partes fundidas e não fundidas para calcular a porcentagem de escória que realmente fundiu na temperatura de 1.500°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação da Temperatura de Fusão, das Fases Presentes e da Porcentagem de Líquido nas Escórias Através de Termodinâmica Computacional

As Figuras 3, 4 e 5, mostram os gráficos gerados pelo programa ThermoCalc assim como as fases presentes. O eixo y -NPM(SLAG)-mostra a fração de líquido na escória em função da temperatura, ou seja a escória estará completamente líquida quando a curva atingir o valor de NPM(SLAG) igual a 1. Isto ocorreu somente para a escória 1 na temperatura de aproximadamente 1.500°C, que é a temperatura na qual a escória estará completamente líquida , ou seja esta é a temperatura de fusão desta escória. Abaixo desta temperatura, haverá escória líquida e sólidos, como a fase MgO.Al₂O₃ (Figura 3).

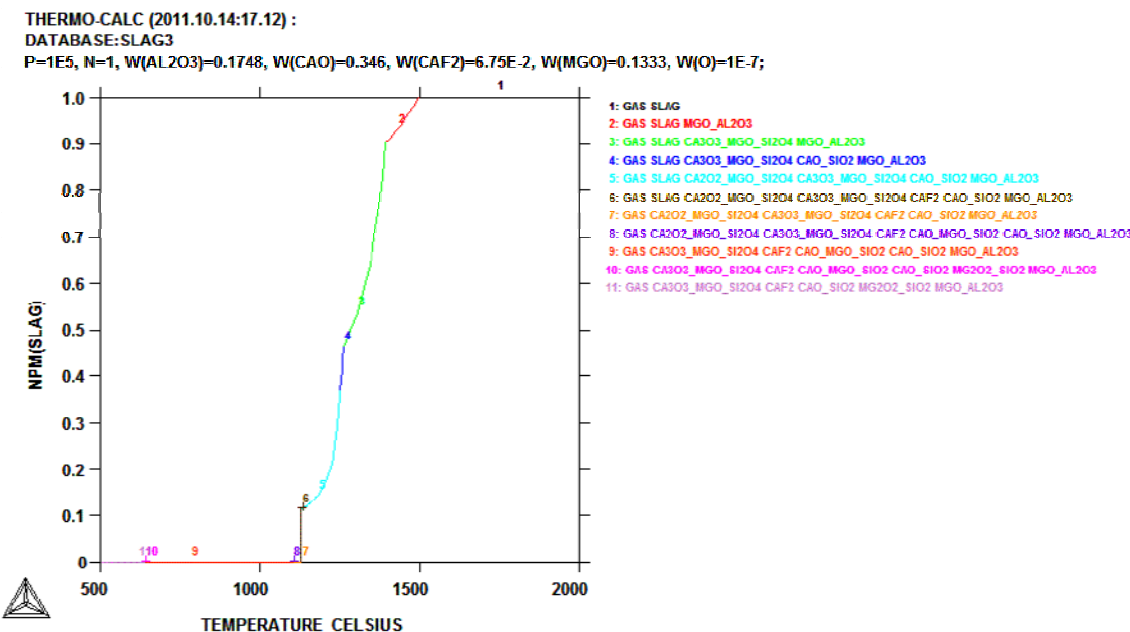


Figura 3. Gráfico mostrando a temperatura de fusão da escória, porcentagem de escória líquida, e as fase presentes em função da temperatura para a escória 1.



Já a escória 2 na temperatura de 1.500°C tem aproximadamente 70% de líquido, ou seja ela não fundiu completamente. Pode-se observar também que nesta temperatura além da escória líquida existem as fases 3CaO.SiO₂, CaO e MgO sólidos (Figura 4). Pelo Gráfico pode se observar também que a temperatura de fusão desta escória é em torno de 1.900°C .

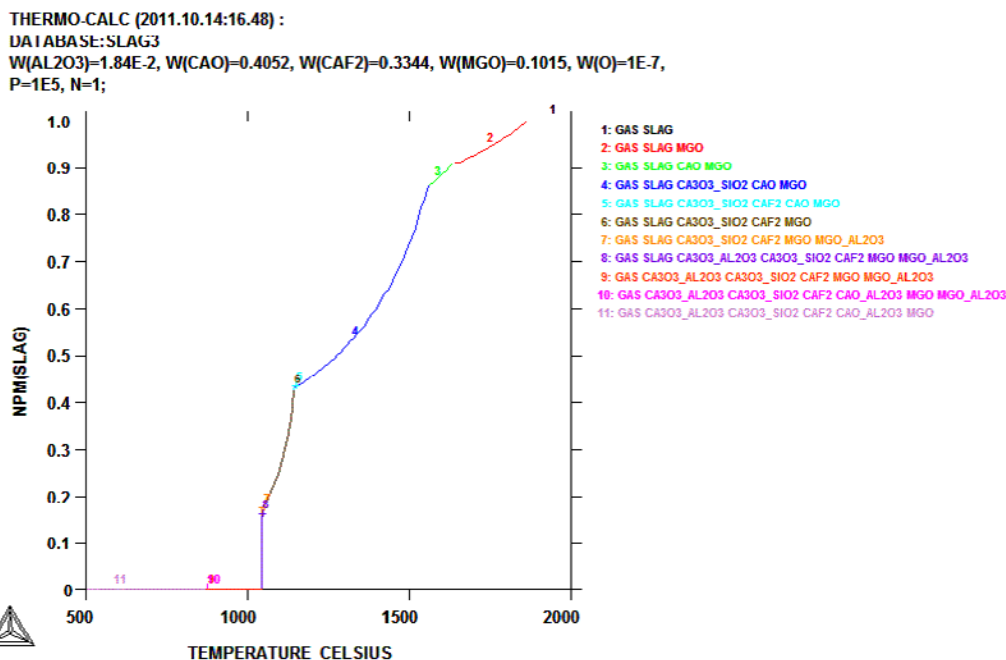


Figura 4. Gráfico mostrando a temperatura de fusão da escória , porcentagem de escória líquida, e as fases presentes em função da temperatura para a escória 2.

Para a escória 3 na temperatura de 1.500°C tem aproximadamente somente 30% de líquido. Pode-se observar também que nesta temperatura além da escória líquida existem as fases CaO e MgO sólidos (Figura 5). Pelo Gráfico pode se observar também que a temperatura de fusão desta escória é em torno de 2.200°C.

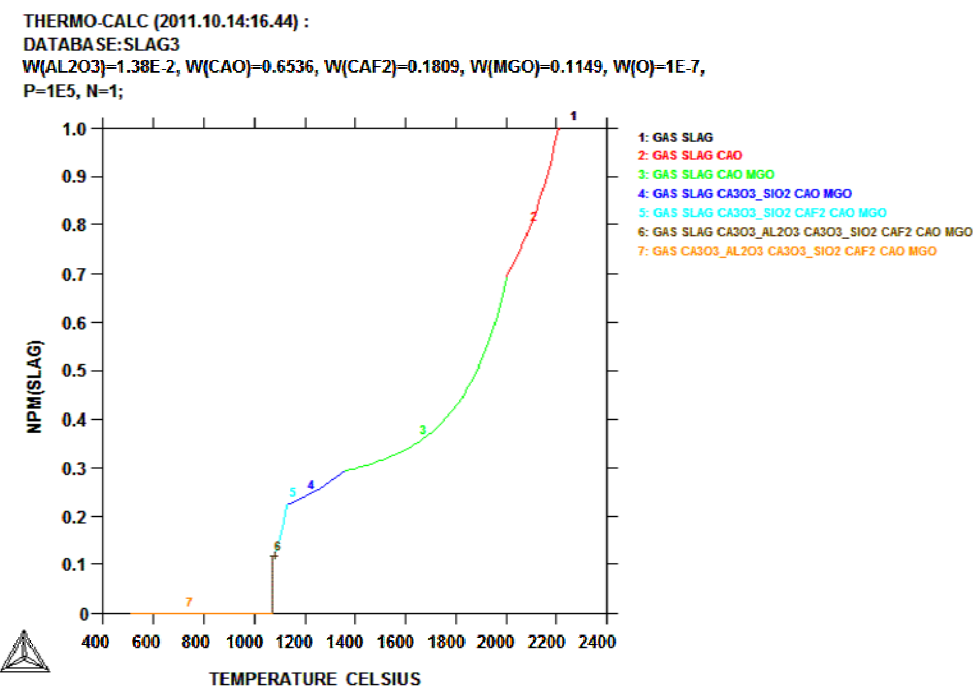


Figura 5. Gráfico mostrando a temperatura de fusão da escória, porcentagem de escória líquida, e as fases presentes em função da temperatura para a escória 3.



3.2 Determinação da Temperatura de Fusão Através do Slag Atlas⁽⁴⁾

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os diagramas ternários retirados do Slag Atlas⁽⁴⁾ e com a composição química das escórias 1, 2 e 3 respectivamente.

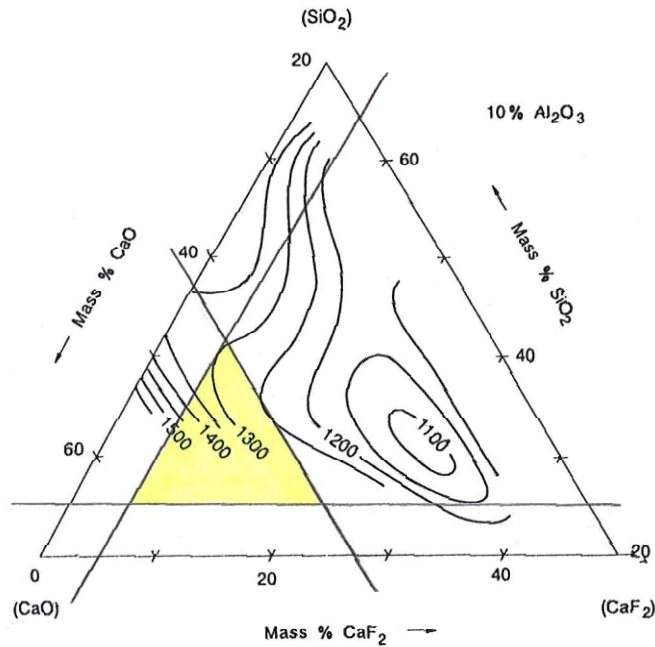
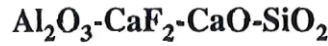


Figura 6. Diagrama $Al_2O_3-CaF_2-CaO-SiO_2$ (amostra 1).⁽⁴⁾

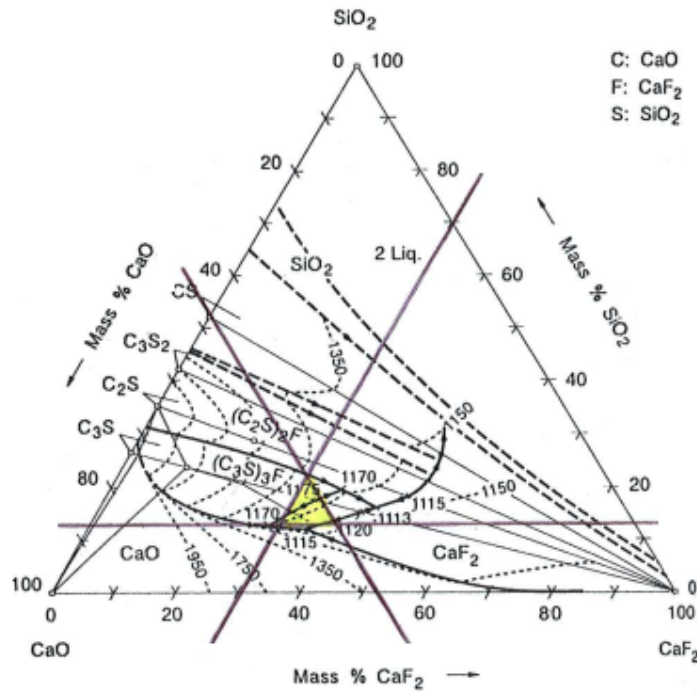


Figura 7. Diagrama $CaF_2-CaO-SiO_2$ (amostra 2).⁽⁴⁾



CaF₂-CaO-SiO₂

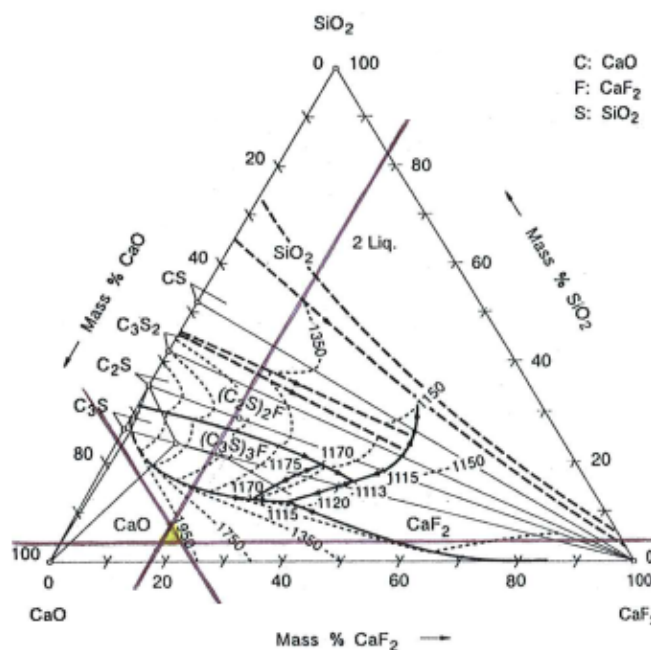


Figura 8: Diagrama CaF₂-CaO-SiO₂ (amostra 3).⁽⁴⁾

Pode-se notar que as escórias 1 e 3 tiveram o ponto de fusão estabelecido pelo Thermocalc coincidindo com o estimado pelos diagramas ternários e o ensaio no forno de indução. Na escória 2 o ponto de fusão previsto pelo diagrama ternário seria em torno de 1.200°C. Entretanto os resultados pelo Thermocalc, mostram uma temperatura de fusão de 2.200°C. A fusão da escória mostrou que esta apresentava aproximadamente 30% de líquido, confirmando o que foi determinado pelo Thermocalc. Ou seja o experimentos de fusão da escória, mostrou que a temperatura de fusão determinada pelo Thermocalc está correta, e não a determinada pelo Slag Atlas.

3.3 Aquecimento das Escórias Até a Temperatura de 1.500°C em Forno de Resistência

A Figura 9 mostra o aspecto das escórias depois de aquecidas até 1.500°C e resfriadas ao ar.

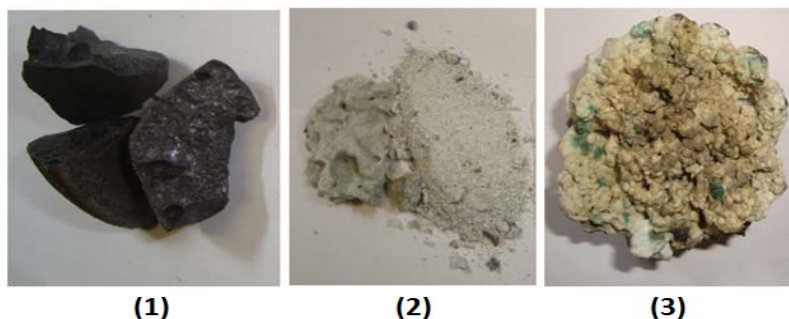


Figura 9. Aspectos das escórias após aquecimento e resfriamento ao ar.⁽⁵⁾

Pela análise do aspecto das escórias foi constatado, que a escória 1 estava completamente fundida, e que as escórias 2 e 3 não fundiram completamente. Estes resultados confirmam os obtidos pelo Thermocalc



Foi então separado a parte que fundiu das escórias 2 e 3 e pesado as partes fundidas e não fundidas para calcular a porcentagem de escória que realmente fundiu na temperatura de 1.500°C. Estes resultados foram comparados com os obtidos pelo Thermocalc.

A porcentagem de líquido determinada pelo Thermocalc e através da fusão das escórias são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Porcentagem de líquido determinada pelo Thermocalc através da fusão das escórias

Escória	1	2	3
% de líquido Thermocalc	100	70	30
% de líquido Fusão	100	75	37
Temperatura de fusão (°C)	1500	1900	2200

Pela Tabela 3, nota-se que houve uma pequena diferença pelos resultados obtidos pelo Thermocalc e pela pesagem das fases.

Isto pode ser explicado pelo fato da separação da fase sólida da líquida não ter sido 100% eficiente. Porém os resultados são próximos, validando os obtidos pelo Thermocalc.

4 CONCLUSÕES

Pelas condições usadas neste trabalho e considerando como temperatura de fusão da escória a temperatura na qual a escória está 100% líquida, pode-se concluir que:

- As temperaturas de fusão das escórias 1, 2 e 3 são respectivamente 1.500°C, 1.900°C e 2.200°C;
- na temperatura de 1.500°C as porcentagens de líquido das escórias 1, 2 e 3, são respectivamente 100%, 70% e 30%; e
- as fases presente nas escórias 1, 2 e 3, a 1.500°C são respectivamente:
 - líquido;
 - líquido, 3CaO.SiO₂, CaO e MgO sólidos; e
 - líquido, CaO e MgO sólidos.

Como a temperatura de fusão de uma escória sintética é importante para determinação de seu comportamento durante a aplicação no tratamento do aço, a termodinâmica computacional, através do Thermocalc se apresenta como ferramenta simples e eficiente para este objetivo.

REFERÊNCIAS

- 1 Viana, J.F. et al: "Characteristics and application of sinterized chemical slag in steel shops", (2009), 17 Conferencia de Acería, Campana, Argentina.
- 2 Santos, M.A. et al: "Aplicação de escória sintética sinterizada Tecnosulfur TECSLAGFLUID2277 à base de CaO para redução de H₂ no aço durante o refino secundário", (2009), 40 Seminário de Aciaria da ABM, São Paulo.
- 3 Costa, S.L.S. et al: "Desenvolvimento de escória sintética a partir de rejeitos industriais para tratamento de aços", (1999), 30 Seminário de Aciaria da ABM, Belo Horizonte.
- 4 Einsenhuttenleute, V.D.: "Slag Atlas", (1981), Verlag Stahleisen M.B.H. Dusseldorf.