

## Estudo da Viscosidade de Escórias Fundidas Através da Termodinâmica Computacional

MARIANA B. NETTO; WAGNER V. BIELEFELDT; ANTÔNIO C. F. VILELA

### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Escórias siderúrgicas são formadas por parte líquida e sólida. Ambas influem na sua viscosidade e, assim, na sua capacidade de capturar inclusões e impurezas, na participação do refino do aço ou na proteção do refratário. Para desempenhar essas funções de forma adequada, é de suma importância ter conhecimento das frações sólida e líquida da escória e sua composição.

A viscosidade é a mais importante das propriedades da escória. Ela condiciona tanto as interações entre escória e metal (como a separação adequada entre eles ou transferência de massa) quanto interações entre escória e refratário e é fortemente influenciada pela sua temperatura e composição.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é utilizar o software FactSage 6.4 e seus bancos de dados para estudar o comportamento de escórias de refino secundário quanto à sua viscosidade, analisando os principais fatores que influenciam essa propriedade. Além disso, obter informações sobre as fases presentes no processo, ponto de saturação de MgO e viscosidade efetiva.

A partir desses resultados, busca-se estabelecer uma relação entre a viscosidade efetiva e o nível de inclusões presentes nos aços.

### 2. METODOLOGIA

Foram utilizados dados de composição química de escória de 175 corridas do aço DIN 20 MNCR 5 MOD. Nas simulações, foi utilizada a média da composição ao longo de 3 etapas específicas do processo: a prova A da tabela 1 corresponde ao momento da chegada do aço ao forno-panela, a prova B foi retirada no momento em que o aço saiu do forno-panela e a prova C foi colhida da retirada do aço do desgaseificador a vácuo.

A composição química da escória é explícita na tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da escória das provas do aço (% em massa).

|         | Prova | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO   | SiO <sub>2</sub> | BAS  | CaF <sub>2</sub> | FeO  | MnO  |
|---------|-------|--------------------------------|-------|-------|------------------|------|------------------|------|------|
| Médias  | A     | 10,45                          | 46,76 | 14,19 | 22,40            | 2,16 | 0,59             | 1,22 | 2,25 |
| Desvios | A     | 2,32                           | 4,08  | 2,60  | 3,31             | 0,58 | 1,97             | 0,97 | 1,53 |
| Médias  | B     | 10,39                          | 50,78 | 13,09 | 21,10            | 2,44 | 0,85             | 1,03 | 0,50 |
| Desvios | B     | 2,18                           | 3,43  | 2,61  | 2,35             | 0,34 | 1,82             | 0,52 | 0,27 |
| Médias  | C     | 9,84                           | 46,90 | 13,35 | 21,70            | 2,18 | 3,67             | 0,76 | 0,40 |
| Desvios | C     | 1,86                           | 2,84  | 2,65  | 1,98             | 0,24 | 2,86             | 0,22 | 0,13 |

**3.1. Plotagem dos Diagramas Pseudoternários:** Foram plotados os diagramas pseudoternários com valores fixos de alumina em 10%, mantendo-se também a temperatura constante (1550, 1600 e 1650) e traçando as linhas de isobasicidade para prever por quais áreas do diagrama as provas devem passar, à medida que se adiciona MgO à composição. Foi utilizado o programa FactSage 6.4, no módulo Phase Diagram com os bancos de dados FactPS e FToxid.

**3.2. Simulação de Frações Sólida e Líquida:** Foi fixado a porcentagem de alumina em 10%, com basicidade binária de 1.5, 2.0 e 2.5, nas temperaturas de 1550°C, 1600°C e 1650°C. Para se observar a influência do MgO na escória o valor deste foi variado entre 0 e 35%. Foi utilizado o módulo Equilib do FactSage 6.4, com os bancos de dados FactPS e FToxid.

**3.3. Cálculo da Viscosidade:** Utilizou-se somente a composição da fração líquida (já calculada) no módulo Viscosity do software FactSage 6.4 com o banco de dados Melts. A partir dos resultados, foi calculada a viscosidade efetiva da escória.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Diagramas Pseudoternários para o sistema CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

A figura 1 representa o Diagrama Pseudoternário plotado à temperatura de 1600°C e a figura 2 representa o diagrama ternário plotado somente com a fase líquida nas 3 temperaturas estudadas.

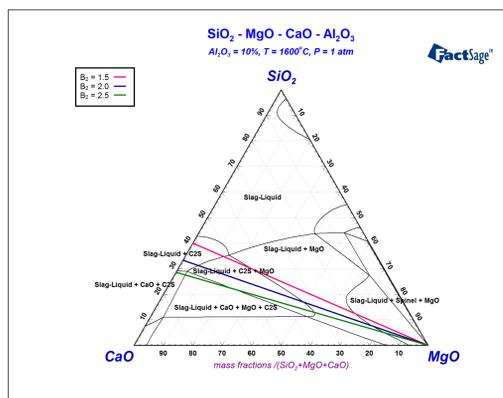


Figura 1: Diagrama Pseudoternário a 1600°C.

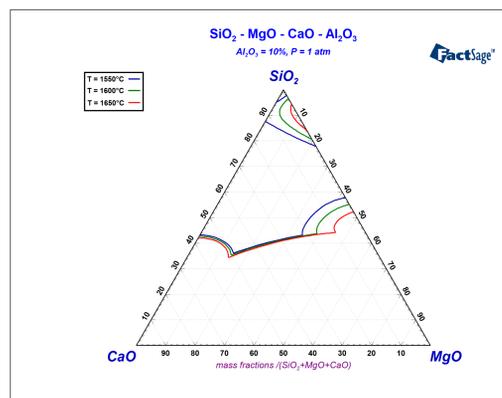


Figura 2: Diagrama Pseudoternário à 1550, 1600 e 1650°C.

Examinando os diagramas, nota-se que as linhas de isobasicidade passam praticamente pelas mesmas regiões de formação de sólidos. Pode-se prever que o aumento da basicidade provoque um aumento da fração sólida da escória, pois a linha de isobasicidade se afasta da chamada área líquida do diagrama. Também espera-se que o aumento de temperatura aumente a fração líquida da escória, pois as linhas de isobasicidade passam por regiões mais próximas da isoterma que demarca o começo da área totalmente líquida.

Na temperatura de 1650°C, a linha de isobasicidade referente à basicidade binária igual a 1.5 passa próximo ao ponto em que 100% da escória é líquida, então espera-se que exista uma certa faixa de MgO, mesmo pequena, em que a fração sólida seja praticamente zero.

#### 3.2. Fração de Fases e Viscosidade para Basicidade binária 1.5

A figura 3 apresenta o gráfico de fração sólida para escória de basicidade 1.5 nas temperaturas de 1550°C, 1600°C e 1650°C. A figura 4 mostra a viscosidade dessa escória, nas mesmas temperaturas.

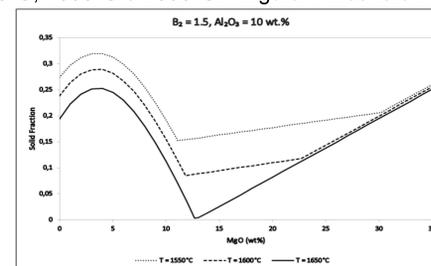


Figura 3: Frações sólidas em função da concentração de MgO para a escória de B<sub>2</sub> = 1.5

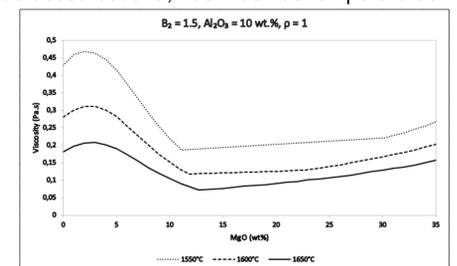


Figura 4: Variação da viscosidade efetiva da escória com B<sub>2</sub>=1.5 em função da concentração de MgO

Observa-se que a fração líquida decresce à medida que sólidos de 2CaO.SiO<sub>2</sub> são dissolvidos e começa a crescer no momento em que sólidos de MgO começam a se formar, ponto conhecido como ponto de saturação de MgO. A viscosidade efetiva acompanha a fração sólida, tendo seu ponto mínimo coincidindo com o ponto de saturação de MgO nas três temperaturas. Esse ponto se encontra em 11,09, 11,83 e 12,69% de MgO para T = 1550, 1600 e 1650°C, respectivamente.

#### 3.3. Fração de Fases e Viscosidades para Basicidade binária 2.0

A figura 5 apresenta o gráfico de fração sólida da escória de basicidade 2.0 nas três temperaturas estudadas e a figura 6 mostra a viscosidade efetiva da escória em função da concentração de MgO.

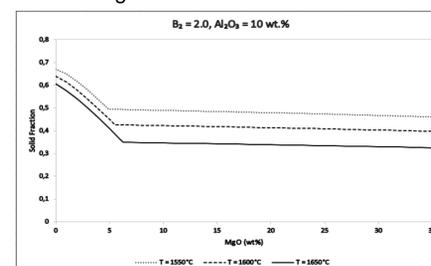


Figura 5: Frações sólidas em função da concentração de MgO para a escória de B<sub>2</sub> = 2.0

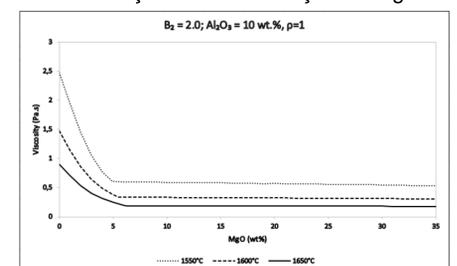


Figura 6: Variação da viscosidade efetiva da escória com B<sub>2</sub> = 2.0 em função da concentração de MgO

Nesta basicidade, não se observa a ascensão da curva de fração sólida após o ponto de saturação de MgO, pois à medida que a fase sólida de MgO é formada, a fase sólida de 2CaO.SiO<sub>2</sub> é dissolvida, não ocorrendo a dissolução total deste em nenhuma das temperaturas. A viscosidade efetiva também decresce com a diminuição da fração sólida até o ponto de saturação de MgO e se mantém constante após o mesmo. O ponto de saturação de MgO se encontra em 4,90% na temperatura de 1550°C, 5,53% na temperatura de 1600°C e 6,28% na temperatura de 1650°C. A viscosidade efetiva foi a maior no ponto de saturação de MgO dentre as basicidades simuladas.

#### 3.4. Fração de Fases e Viscosidades para Basicidade binária 2.5

A figura 7 apresenta o gráfico de fração sólida da escória de basicidade 2.5 nas três temperaturas estudadas e a figura 8 mostra a viscosidade efetiva da escória em função da concentração de MgO.

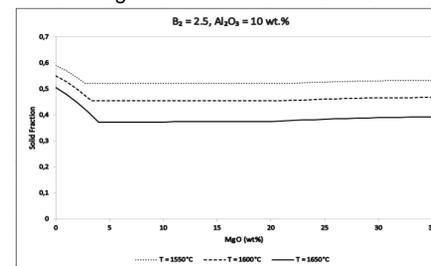


Figura 7: Frações sólidas em função da concentração de MgO para a escória de B<sub>2</sub> = 2.5

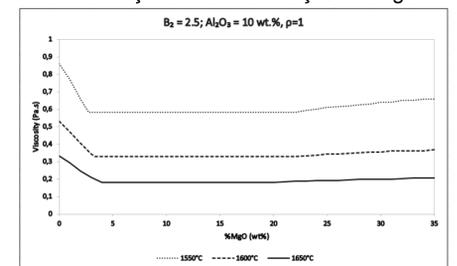


Figura 8: Variação da viscosidade efetiva da escória com B<sub>2</sub> = 2.5 em função da concentração de MgO

Observa-se um comportamento similar com o de basicidade 2.0: ausência da ascensão da curva de fração sólida e de aumento considerável de viscosidade efetiva após o ponto de saturação de MgO (devido à dissolução incompleta de 2CaO.SiO<sub>2</sub>). Os pontos de saturação de MgO são os menores dentre as basicidades estudadas, o que é esperado ao analisar os diagramas pseudoternários, sendo 2,74%, 3,30% e 4,01% nas temperaturas de 1550, 1600 e 1650°C, respectivamente.

### 4. CONCLUSÕES

O aumento da basicidade binária promove um aumento na fração sólida após o ponto de saturação de MgO nas amostras de basicidade 1.5, mas a fração sólida se mantém constante após esse ponto nas outras basicidades.

A viscosidade efetiva tem tendência a aumentar com o aumento da basicidade, devido à maior presença de fração sólida.

As viscosidades efetivas das basicidades binárias 2.0 e 2.5 se mostraram equivalentes depois do ponto de saturação de MgO, divergindo somente com concentrações bem altas de MgO.

O ponto de saturação em MgO das escórias cai de forma bastante acentuada com o aumento da basicidade.

Observou-se que os valores de MgO utilizados pela indústria estão bastante acima dos valores de saturação da escória calculados.

A fração sólida contida nas escórias para esta qualidade de aço é bem grande em todas as temperaturas e basicidades simuladas, provocando uma viscosidade efetiva bastante elevada.