

# **Estudo Reológico de Polpa de Bauxita da Região Nordeste do Pará**

**Mônica Silva Araújo**

Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Metalúrgica, UFRJ

**Sílvia Cristina Alves França**

Orientadora, Eng<sup>a</sup>. Química, D. Sc.

**Carla Napoli Barbato**

Co-orientadora, Eng<sup>a</sup>. Química, M. Sc.

## **Resumo**

A bauxita é composta por uma mistura impura de minerais de alumínio - sendo os mais importantes a gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), o diásporo ( $\text{AlO}(\text{OH})$ ) e a boehmita ( $\text{AlO}(\text{OH})$ ) – utilizada principalmente na produção de alumínio. Para aperfeiçoamento e otimização do transporte de polpas de bauxita através de minerodutos, se faz necessário um estudo reológico detalhado destas polpas, para estudar a influência da concentração de sólidos, da distribuição de tamanho de partículas e da temperatura na sua viscosidade. Verificou-se que a viscosidade das polpas aumentou exponencialmente com o aumento da concentração de sólidos e que a quantidade de partículas finas na polpa também aumenta a viscosidade, mantendo-se constante a concentração de sólidos. Também foi estudado o efeito da temperatura, onde uma variação de 25 para 45°C promoveu uma redução na viscosidade da polpa em torno de 8%.

## **1. Introdução**

A rocha bauxita compõe-se de uma mistura impura de minerais de alumínio sendo os mais importantes a gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), o diásporo ( $\text{AlO}(\text{OH})$ ) e a boehmita ( $\text{AlO}(\text{OH})$ ). Esses minerais são conhecidos como oxihidróxidos de alumínio, e suas proporções na rocha variam muito entre os depósitos, inclusive o tipo e a quantidade das impurezas do minério, tais como: óxidos de ferro, argila, sílica, dióxido de titânio, entre outras. A maioria das bauxitas economicamente aproveitável possui um conteúdo de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) entre 50 e 55% (Sampaio *et al.*, 2005).

A bauxita pode ser utilizada na fabricação do alumínio- quando é chamada de bauxita metalúrgica- por meio de dois processos químicos subsequentes: o processo Bayer, que consiste na lixiviação da rocha em soda cáustica, na qual é obtida a alumina, e o processo Hall-Heroult, no qual a alumina é então dissolvida em uma solução de sais fundentes, a 970°C, e convertida em alumínio, por meio de eletrólise.

No estado do Pará está em operação o primeiro mineroduto de polpa de bauxita do mundo. Esse mineroduto foi concebido para transportar a polpa de minério de alumínio da usina de beneficiamento, localizada em Paragominas (PA), até a planta química de produção de alumina, situada no município de Barcarena (PA), num percurso de 244 km de extensão.

É importante prever o comportamento da polpa durante o seu transporte através de dutos. Para isto é necessário

estudar o comportamento reológico dessa polpa e ter um entendimento da influência das suas propriedades no bombeamento. Uma propriedade reológica importante no processo de bombeamento e transporte de polpas é a viscosidade dinâmica, que é um parâmetro fundamental para a definição e escolha das bombas que serão utilizadas.

A viscosidade de uma suspensão varia com os seguintes fatores: distribuição do tamanho de partículas, formato das partículas, concentração de sólidos, temperatura, pH, presença de sais e outros aditivos. Como a grande maioria das suspensões concentradas não possui comportamento Newtoniano, a viscosidade também sofre variação com a taxa de cisalhamento, o que significa que a viscosidade varia com a vazão aplicada no bombeamento (Nascimento e Sampaio, 2007).

## **2. Objetivo**

O presente trabalho tem por finalidade estudar o comportamento reológico da polpa de bauxita do Nordeste do Pará, verificando a influência da concentração de sólidos, da distribuição granulométrica e da temperatura na viscosidade.

## **3. Materiais e Métodos**

A bauxita utilizada neste trabalho é proveniente do Nordeste do Pará e é constituída, basicamente, pelos minerais gibbsita e caulinita (Silva *et al.*, 2009).

### **3.1. Estudos Reológicos**

Os estudos reológicos foram realizados no reômetro da TA modelo Ares, com a geometria cilindro coaxial. Foi estudada a influência dos seguintes fatores na reologia das polpas de bauxita: concentração de sólidos, distribuição do tamanho de partículas e temperatura.

#### **3.1.1. Influência da Concentração de Sólidos**

As concentrações de sólidos estudadas foram 47, 50, 53 e 60%, em peso, mantendo-se fixa a distribuição do tamanho de partículas e temperatura de 25°C. Os valores de concentração de sólidos foram determinados com base nas condições industriais de transporte no mineroduto de bauxita, localizado no estado do Pará. A concentração de sólidos da polpa transportada está compreendida no intervalo de 47 a 52% (Gandhi *et al.*, 2008). Os valores de viscosidade foram obtidos por meio de duas programações: a) 100 s<sup>-1</sup> por 300 s e b) 200 s<sup>-1</sup> por 300 s;

#### **3.1.2. Influência da Distribuição do Tamanho de Partícula**

Foram estudadas duas polpas de bauxita, com distribuição granulométrica distintas, em que os produtos A e B foram obtidos por meio de diferentes tempos de moagem. Na Tabela 1, pode-se observar as distribuições granulométricas estudadas. Manteve-se fixa a temperatura em 25°C e a concentração de sólidos em 47, 50, 53 e 60%.

As distribuições de tamanho de partículas utilizadas na preparação das polpas foram estabelecidas com base nas condições industriais de transporte no mineroduto de bauxita. A distribuição granulométrica da polpa transportada é: 6% retido em 0,208 mm e 40 a 47% passante em 0,043 mm (Gandhi *et al.*, 2008).

Tabela 1 – Distribuição granulométrica das polpas de bauxita.

Abertura da Peneira (mm)	Distribuição Granulométrica A	Distribuição Granulométrica B
	Passante (%)	Passante (%)
0,589	100,0	100,0
0,417	98,37	100,0
0,295	91,84	100,0
0,208	72,32	95,43
0,147	61,95	88,36
0,104	52,88	76,49
0,074	46,06	65,98
0,053	40,52	58,20
0,043	37,50	53,73
0,037	34,44	49,29

Os valores de viscosidade foram obtidos por meio da seguinte programação: 100 s<sup>-1</sup> por 300 s;

### 3.1.3. Influência da Temperatura

Obteve-se a medida da viscosidade da polpa de bauxita com 50% de sólidos nas temperaturas de 25 e 45°C. Não houve interesse em verificar a influência da temperatura em valores mais elevados, pois o objetivo do estudo é o transporte de polpas em dutos e, nesses casos, a temperatura máxima não ultrapassa os 45°C. A programação utilizada foi: 100 s<sup>-1</sup> por 300 s.

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Estudo Reológico

#### 4.1.1. Influência da Concentração de Sólidos

As Figuras 1 e 2 ilustram a variação da viscosidade das polpas de bauxita (distribuição granulométrica B) com o tempo, obtidas a diferentes taxas de cisalhamento: 100 e 200 s<sup>-1</sup>, respectivamente. Verificou-se que há aumento da viscosidade com o aumento da concentração de sólidos. Isto ocorre porque há diminuição da camada de lubrificante (água) entre as partículas, na medida em que há o aumento da concentração de sólidos, o que favorece as interações e o atrito entre as partículas (Barbato, 2009).

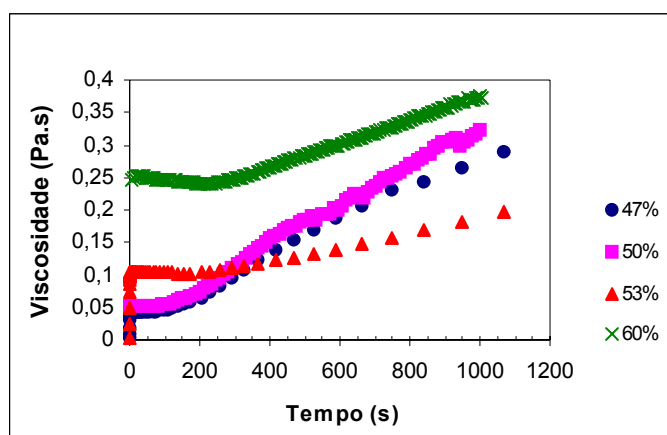


Figura 1. Curva de viscosidade *versus* tempo para as polpas de bauxita com 47, 50, 53 e 60% de sólidos.  $\gamma = 100 \text{ s}^{-1}$ .

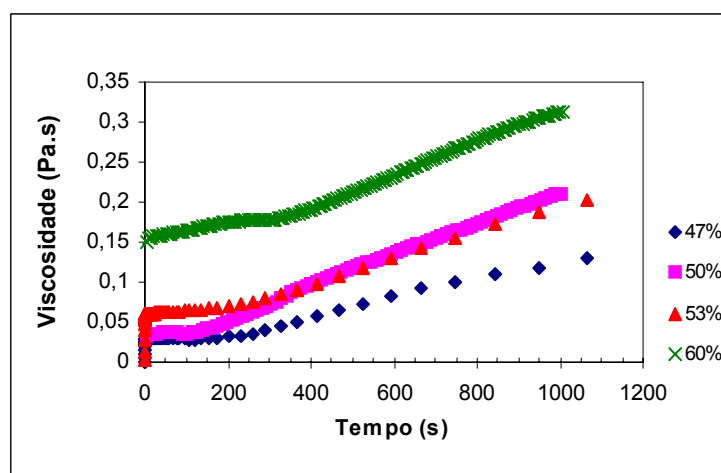


Figura 2. Curva de viscosidade *versus* tempo para as polpas de bauxita com 47, 50, 53 e 60% de sólidos.  $\gamma = 200 \text{ s}^{-1}$ .

Observou-se, também, nas Figuras 1 e 2, que mantendo fixa a concentração de sólidos, a viscosidade aumenta após certo tempo. Este aumento está relacionado, provavelmente, à sedimentação das partículas no fundo do recipiente, o que dificulta a movimentação do rotor e aumenta o torque necessário para manter o cilindro interno em posição de repouso. À medida que se aumentou a concentração de sólidos na polpa, o aumento na viscosidade foi observado em intervalos de tempo maiores, devido às menores velocidades de sedimentação dessas polpas, proporcionadas por maior interação entre as partículas, correspondente ao efeito de população (França e Casqueira, 2008).

Na Figura 3 são apresentados os resultados da variação da viscosidade da polpa de bauxita com a concentração de sólidos. Verificou-se que a viscosidade da polpa aumenta exponencialmente com o aumento da concentração de sólidos; esse mesmo comportamento foi observado por He *et al.* (2006), para uma polpa de limonita, sob taxas de cisalhamento na faixa de 190 a 1200  $\text{s}^{-1}$ .

A Equação 1 representa o comportamento da viscosidade da polpa frente a variações na concentração de sólidos. Na equação  $\eta$  é a viscosidade aparente,  $k_1$  e  $k_2$  são parâmetros e  $\phi$  é a concentração de sólidos (% em massa). Os parâmetros foram estimados por meio do ajuste da equação aos dados experimentais.

$$\eta = k_1 \exp(k_2 \cdot \phi) \quad (1)$$

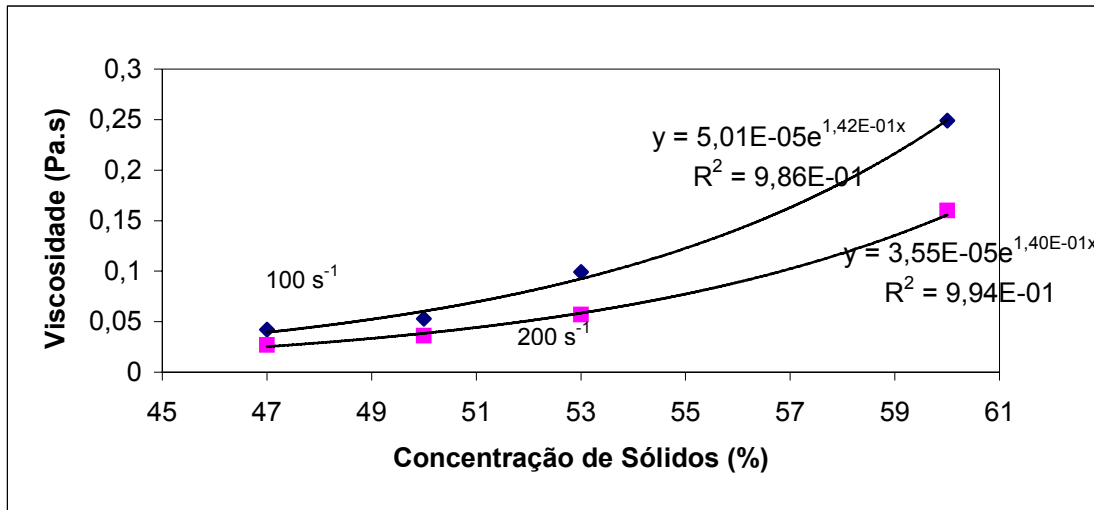


Figura 3. Curva de viscosidade *versus* concentração de sólidos para as polpas de bauxita, sob diferentes taxas de cisalhamento.

#### 4.1.2 Influência da Distribuição Granulométrica

A Figura 4 mostra a influência da distribuição de tamanho de partículas na viscosidade da polpa de bauxita, para diferentes taxas de cisalhamento.

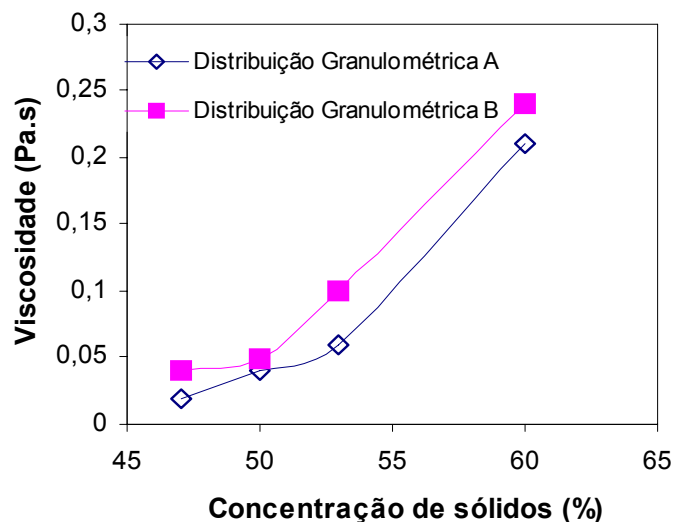


Figura 4. Curva de viscosidade *versus* distribuição do tamanho de partículas da polpa de bauxita -  $\gamma = 100 \text{ s}^{-1}$ .

A polpa de bauxita que possui distribuição granulométrica B, mantendo-se fixa a concentração de sólidos, é mais viscosa quando comparada à que possui distribuição granulométrica A, pois apresenta maior quantidade de finos (cerca de 15% a mais), aumentando, assim, sua viscosidade. Este fato pode ser explicado pela maior área superficial das partículas finas, que favorece as interações de *van der Waals*, inclusive com maior probabilidade de ocorrer a formação de aglomerados, nos quais as partículas primárias estão unidas e aprisionam água em seu interior. Como esta água não está disponível para o fluxo, a suspensão se comporta como se a fração volumétrica de sólidos fosse maior, o que aumenta a viscosidade. (He et al, 2006).

#### 4.1.3 Influência da Temperatura

O resultado da influência da temperatura na viscosidade da polpa de bauxita, com 50% de sólidos, pode ser visualizado na Figura 5. A viscosidade da polpa de bauxita diminuiu cerca de 8,0%, quando da elevação da temperatura de 25 para 45°C. A partir de 50 s, notou-se um aumento na viscosidade da polpa, provavelmente favorecido pela sedimentação das partículas.

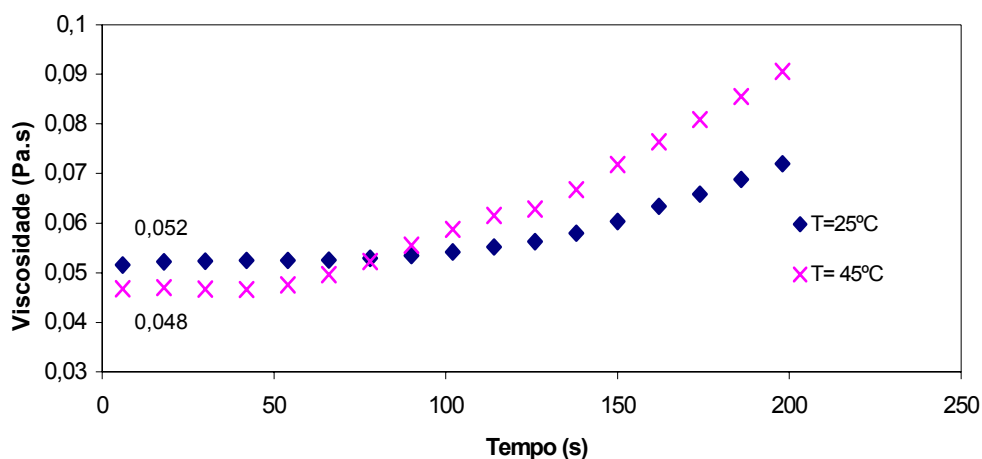


Figura 5. Curva viscosidade versus tempo, para duas temperaturas diferentes. Polpa de bauxita com 50% de sólidos.

## 5. Conclusões

Com base nos estudos efetuados neste trabalho podemos concluir que:

- a viscosidade da polpa de bauxita aumenta exponencialmente com o aumento da concentração de sólidos;
- quanto maior a quantidade de partículas finas na polpa, maior a viscosidade desta, mantendo-se fixa a concentração de sólidos;
- o aumento da temperatura de 25 para 45°C acarretou aumento da viscosidade em 8% da polpa de bauxita com 50% de sólidos.

- O conhecimento do comportamento reológico de polpas minerais possibilita monitorar as variáveis de bombeamento, e auxiliar na previsão das respostas do processo frente à variações de vazão e distribuição granulométrica da alimentação, prevendo, ainda, variações da pressão de bombeamento e possíveis efeitos de sedimentação no duto.

## 6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pela estrutura laboratorial fornecida durante a execução deste trabalho; ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica – DMM/EP/UFRJ; e ao CNPq pelo apoio financeiro através da concessão da bolsa.

## 7. Referências Bibliográficas

BARBATO, C.N., **Estudo Reológico da Polpa de Bauxita**, 2009. Exame de Qualificação ao Doutorado - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

GANDHI, R., WESTON, M., TALAVERA, M., BRITTES, G. P. & BARBOSA, E. Design and Operation of the World's First Long Distance Bauxite Slurry Pipeline. **Light Metals**, 2008, p. 95-100.

FRANÇA, S.C.A e CASQUEIRA, R.G. Ensaio de Sedimentação. In: Tratamento de Minérios – Práticas Laboratoriais. SAMPAIO, J.A. et al (Eds). CETEM/MCT, 2007, pp.393-410.

HE, M., WANG, Y. & FORSSBERG, E. Parameter Studies on the Rheology of Limestone Slurries. **International Journal of Mineral Processing**. 78, 2006, p.63-77.

NASCIMENTO, C. R. Reologia e Reometria Aplicadas ao Estudo de Polpas Minerais. **Séries Rochas e Minerais Industriais**. v.11, Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCT, 2008, 53p.

ORTEGA, F.S., PANDOLFELLI, V.C., RODRIGUES, J.A. e SOUZA, D.P.F. Artigo Revisão: Aspectos da Reologia e da Estabilidade de Suspensões Cerâmicas. Parte II: Mecanismo de Estabilidade Eletrostática e Estérica. **Cerâmica**. Vol.43. pp.77-83. 1997.

SAMPAIO, J. A., ANDRADE, M. C. e DUTRA, A. J. B., Bauxita. In: Rochas e Minerais Industriais. LUZ, A.B. e LINS, F.A.F (Eds). 1ª ed., CETEM/MCT, 2005, pp.279-304.

SILVA, F. A. N. G., MEDEIROS, M. E., SAMPAIO, J. A., SANTOS, R. D., CARNEIRO, M. C., COSTA, L. S., GARRIDO, F. M. S. Technological Characterization of Bauxite from Pará-Brazil. **Light Metals**, 2009, p. 139-144.