

# Efeito da Aditivção nas Propriedades Reológicas e nas Características de Sedimentação da Polpa de Bauxita – I Ensaios Preliminares

Diego Goyannes de Araújo  
Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UFRJ

Christine Rabello Nascimento  
Orientadora, Engenheira Química, D. Sc

## Resumo

O efeito da presença de diferentes classes de aditivos nas propriedades reológicas da polpa de bauxita foi estudado. Considerando o interesse na otimização do processo de transporte da polpa através de minerodutos, as propriedades estudadas foram a viscosidade e a reopexia, sendo essas determinações feitas em reômetro rotacional, numa faixa de taxas de cisalhamento usual para processos de bombeamento. Os aditivos utilizados foram o Flotigan EDA (eteramina com radical decila), o SDS (dodecil sulfato de sódio), o NaHMP (hexametáfosfato de sódio), o PEO (poli(óxido de etileno)) e o PVAI (poli(álcool vinílico)), sendo que este último promoveu o efeito desejado de queda da viscosidade e da tendência à reopexia. A variação da tensão relativa ao processo de coesão do material sedimentado em função do tempo foi acompanhada com o reômetro, utilizando o rotor *vane*. Pôde-se observar que os aditivos SDS e PEO aumentaram a coesão do material sedimentado ao passo que o aditivo PVAI diminuiu a coesão, quando comparado com o material sem aditivo.

## 1. Introdução

O escoamento da produção mineral por meio de minerodutos é uma opção atraente para o transporte de grandes quantidades de minério. Sob o ponto de vista econômico e ambiental, é interessante que a polpa seja transportada com a maior concentração possível, evitando assim a necessidade de operações com grandes volumes de água. Contudo, aumentar o teor de sólidos na polpa implica na obtenção de altos valores de viscosidade, o que dificulta seu bombeamento. Além disso, o comportamento reopéxico que algumas polpas concentradas podem apresentar é altamente indesejável ao processo, visto que a reopexia pode ocasionar em entupimento da linha e no aumento contínuo do gradiente de pressão no decorrer do bombeamento (Cooke & Spearingt, 1993; Klein & Hallbom, 2002).

No caso do bombeamento de polpas com tendência à sedimentação, que é o caso das polpas minerais, a ocorrência e compactação do *plug*<sup>a</sup> é um problema comum que ocorre numa parada do processo e que pode dificultar consideravelmente o reinício do bombeamento (Carvalho, 2003). Desta forma, conjuntamente com a viscosidade e a reopexia, a coesão do *plug* formado é uma matéria de grande interesse da reologia de polpa de minério com aplicação voltada ao processo de bombeamento em dutos. Sendo assim, foi desenvolvida no

---

<sup>a</sup> Sedimento compacto de minério que se forma dentro da tubulação no caso de interrupção do bombeamento.

CETEM uma metodologia na qual a variação desta coesão ao longo do tempo de sedimentação pode ser acompanhada mediante medidas reológicas. Esta metodologia consiste numa adaptação de ensaios reológicos utilizados para a determinação da tensão limite de escoamento ( $\tau_0$ ).

É comum na indústria de minérios a aplicação de diversos aditivos orgânicos e inorgânicos nos processos de beneficiamento tais como a moagem, flotação, espessamento, entre outros. Grande parte destes aditivos interage com a superfície do minério ou atua como coadjuvante nos processos como, por exemplo, ocorre no caso dos coletores e espumantes usados na flotação. Neste trabalho foram estudados aditivos neutros, catiônicos e aniônicos que, muitas vezes, já são empregados industrialmente para diversas finalidades (Tabela 1). Esta opção baseou-se no fato da bauxita ser formada por uma mistura heterogênea de minerais, predominantemente composta pela gibsita, hematita e caulinita e, portanto, possuir sítios superficiais ativos com carga tanto positiva como negativa. Buscou-se, assim, avaliar de forma preliminar o efeito desses aditivos, os quais poderiam interagir com a superfície das partículas, alterando as propriedades reológicas da polpa e a coesão do sedimento formado pela polpa em repouso. É sabido que o pH tem influência na adsorção de vários compostos na superfície do minério, contudo, essa variável não foi estudada nesta fase do trabalho.

Tabela 1. Aditivos reológicos.

Sigla	Nome / Características relevantes	Estrutura	Aplicação convencional
Flotigan EDA	Alquil eteamina neutralizada / 100% iônico	$R-O\left[CH_2CH_2\right]_nNH_3^+$ n=3	Coletor catiônico
SDS	Dodecil sulfato de sódio	$Na^+O^-S(=O)_2O\left[CH_2CH_2\right]_nCH_3$ n = 5	Surfatante aniônico
NaHMP	Hexametáfosfato de sódio	$Na^+O^-P(=O)(O^-)O^-P(=O)(O^-)O^-P(=O)(O^-)O^-P(=O)(O^-)O^-P(=O)(O^-)O^-P(=O)(O^-)O^-Na^+$	Dispersante aniônico
PEO	Poli(óxido de etileno) / alta massa molecular	$HO\left[CH_2CH_2O\right]_nCH_2OH$	Floculante neutro
PVAI	Poli(álcool vinílico) / baixa massa molecular, 87 – 89% hidrolisado	$HO\left[CH_2CH(OH)\right]_m\left[CH_2CH(OOCH_3)\right]_nOH$ m >> n	Dispersante / ligante neutro

## 2. Materiais e métodos

Neste trabalho foi utilizada uma amostra de polpa de bauxita 50% (p/p) proveniente do estado do Pará, sendo que para alguns ensaios esta concentração foi elevada para 55%, mediante a adição de sólidos à polpa. O pH da polpa é 6,8.

Os reagentes não poliméricos (Flotigan EDA, SDS e NaHMP) foram solubilizados em água e adicionados à polpa de tal forma que esta apresentasse em sua composição 50 ou 150g de aditivo por tonelada de minério.

Os reagentes poliméricos PEO e PVAI foram solubilizados em água (soluções de 1 e 2% (p/v), respectivamente) e adicionados à polpa nos volumes de 0,1; 1; 3 e 6mL, após a retirada de igual volume de água da polpa.

Os ensaios reológicos foram realizados utilizando um reômetro rotacional HAAKE RheoStress 1. Os rotores utilizados foram o Z34 DIN Ti (cilindro) e 2 blade ref. 222-1599 (*vane*). As programações dos testes estão expostas na Figura 1. As curvas de fluxo e de viscosidade foram obtidas com rotor cilíndrico até o valor máximo de taxa de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ) de 500 s<sup>-1</sup>, sendo que os resultados apresentados se referem às 1ª rampa de aumento e diminuição de  $\dot{\gamma}$ , respectivamente. O acompanhamento da variação da coesão do material sedimentado foi feito pela determinação da tensão ( $\tau$ ), utilizando o rotor *vane* (Figura 1 B).

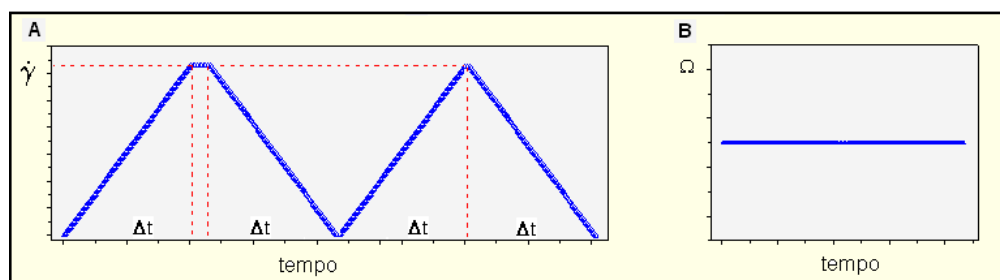


Figura 1. Programação dos testes: (A) rampa dupla de aumento e diminuição da taxa de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ) com rotor cilíndrico; (B) Manutenção da velocidade de rotação ( $\Omega$ ) com rotor *vane*.

## 3. Resultados e Discussão

Os reagentes Flotigan EDA, SDS e NaHMP não promoveram alterações significativas nas curvas de fluxo e de viscosidade. Em alguns casos, foi observado um ligeiro aumento nos valores de viscosidade, contudo, esta tendência precisaria ser confirmada pela realização de um número maior de experimentos. O tempo de contato da polpa com o reagente (5 min. ou 40 min.) não influenciou nos resultados. Deve-se observar que a quantidade máxima de reagente utilizada (150g/t) pode ter sido insuficiente para que ocorresse uma mudança apreciável na viscosidade da polpa.

Os reagentes poliméricos ocasionaram modificações acentuadas na reologia da polpa (Figuras 2 e 3), indicando a importância do efeito estérico do aditivo na modificação reológica da suspensão. É importante destacar que suspensões coloidais são suscetíveis a modificações reológicas devido tanto aos efeitos de carga como ao efeito estérico dos aditivos, contudo, a polpa utilizada neste trabalho é composta predominantemente por partículas

não coloidais. Sabe-se que a ação como floculante ou dispersante de polímeros de mesma estrutura é altamente influenciada por sua massa molecular. Sabe-se, ainda, que os polímeros tendem a formar soluções viscosas e pseudoplásticas, dependendo da concentração e da massa molecular. Portanto, o efeito de aumento da viscosidade do meio promovido pelo polímero em solução pode ser usado para retardar a sedimentação das partículas, desde que este polímero não atue como um floculante. A pseudoplasticidade da solução polimérica seria vantajosa para efeito de bombeamento da polpa, na medida em que a viscosidade da fase líquida da suspensão estaria alta em situação de repouso (dificultando a sedimentação das partículas) e baixa em situação de bombeamento.

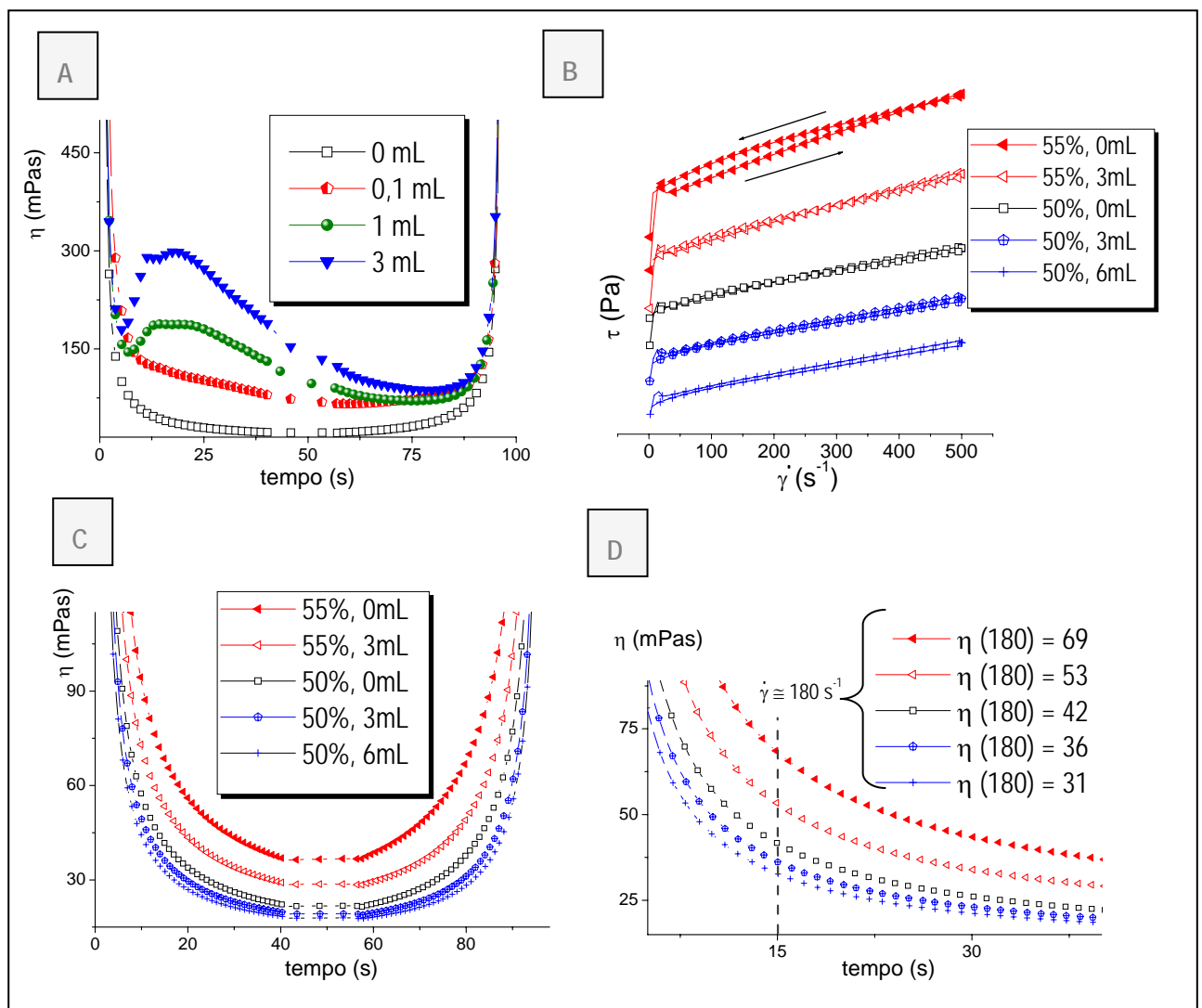


Figura 2. Curvas de viscosidade ( $\eta \times$  tempo) e de fluxo ( $\tau \times \dot{\gamma}$ ) da polpa de bauxita aditivada: (A) Com diferentes quantidades de PEO (solução 1%) na polpa 50%; (B) e (C) Com diferentes quantidades de PVAI (solução 2%) na polpa 50% e 55%; (D) Ampliação da escala de (C).

No caso da adição do PEO com alta massa molecular ( $\overline{M}_w = 4 \cdot 10^6$ ), o efeito de floculação predominou mesmo quando o aditivo foi usado em concentração muito baixa (Figuras 2A e 3B). A adição de 0,1 mL de PEO à polpa

de 50% (p/p) equivale a uma quantidade de 30 g/t de minério e, mesmo assim, o impacto na curva de viscosidade da polpa foi considerável apesar deste efeito ter sido desprezível na viscosidade da solução com o polímero puro. A ação floculante do PEO também pôde ser verificada pelo aumento da tensão de deformação (Figura 3B) do sedimento formado após 2h de repouso, em que o aumento contínuo da tensão pode estar associado à resistência dos flocos formados.

O PEO é um polímero não iônico cuja interação com as partículas minerais pode ocorrer através de pontes de hidrogênio e pela adsorção dos segmentos da cadeia hidrocarbônica nos sítios hidrofóbicos da superfície mineral (Baltar, 2004).

O aditivo PVAI foi o que promoveu uma melhora em todos os aspectos reológicos estudados. Sua adição ocasionou na redução da viscosidade das polpas de 50 e 55% (p/p) e eliminou a reopexia da polpa de 55% (p/p) (Figura 2B, C e D). Para uma taxa de cisalhamento de  $180 \text{ s}^{-1}$ , a redução da viscosidade foi da ordem de 16 mPas (polpa 55%) e de 6 mPas (polpa 50%) quando 3mL do aditivo foi usado, ou seja, o impacto da redução foi maior na polpa mais concentrada a despeito da quantidade relativa de massa de aditivo por massa de minério ter sido menor. Também foi observada uma redução na tensão de deformação do sedimento formado após 2h de repouso da polpa aditivada, indicando um efeito de redução na coesão do *plug* formado (Figura 3A).

O aditivo aniônico não polimérico SDS promoveu um aumento da coesão do *plug*, ao passo que o aditivo catiônico Flotigan EDA não modificou esta propriedade (Figura 3A).

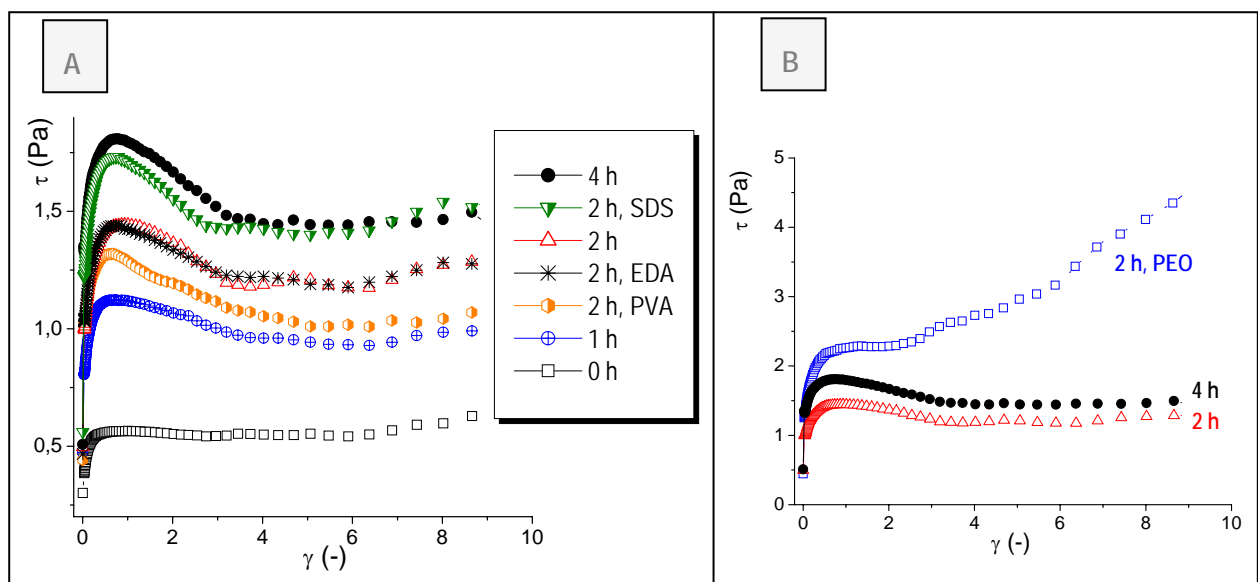


Figura 3. Tensão ( $\tau$ ) resultante da deformação ( $\gamma$ ) imposta ao material sedimentado (polpa 50%) por diferentes períodos, com e sem aditivo. PVAI (3 mL); SDS (150 g/t); Flotigan EDA (150 g/t) e PEO (0,1 mL).

#### 4. Conclusões

- O aditivo PVAI promoveu uma melhora em todas as propriedades reológicas estudadas, reduzindo a viscosidade das polpas com 50 e 55% de sólidos, eliminando a reopexia da polpa a 55% de sólidos e reduzindo a coesão do *plug* formado;
- A adição de PEO resultou num aumento da viscosidade da polpa e da coesão do sedimento formado;
- Não foi obtida modificação relevante da viscosidade com o uso dos aditivos Flotigan EDA, SDS e NaHMP;
- O aditivo SDS aumentou a coesão do *plug*.

#### 5. Considerações finais

Deve-se ter em mente que numa planta industrial os processos estão interligados e, portanto, é preciso levar em conta que um determinado aditivo utilizado numa etapa do beneficiamento pode também ter influência nas etapas subsequentes. Sendo assim, uma polpa bombeada pode ter seus parâmetros reológicos modificados em virtude dos aditivos usados anteriormente e das modificações na composição ou distribuição granulométrica do minério. Também é preciso verificar qual a influência que determinado aditivo reológico teria nos processos posteriores ao bombeamento. No caso específico da polpa de bauxita, é importante verificar se o aditivo reológico teria alguma influência sobre o processo Bayer, já que é conhecido que algumas espécies orgânicas interferem negativamente na cristalização da gibsite (Hind *et al*, 1999).

Este trabalho terá prosseguimento com a investigação de outros aditivos, em particular os polieletrólitos de baixa massa molecular, além do estudo dos mesmos aditivos usando outra faixa de concentração e aditivos similares, tais como o PEO com baixa massa molecular e o PVAI com diferentes graus de hidrólise.

#### 6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CETEM e CNPq por todo o apoio e bolsa concedidos.

#### 7. Bibliografia

BALTAR, C.A.M. Floculação In: LUZ, A.B. et al. (Eds). Tratamento de Minérios. 4 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2004, p.427-524.

CARVALHO, M.R. Interferência de Cátions  $Ca^{2+}$  nas Etapas de Deslamagem e Flotação de Minério de Ferro. 2003. 57p. Tese (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas, Minas Gerais (Brasil).

COOKE, R.; SPEARINGT, A.J.S. Technical note-The influence of binder addition on the hydraulic transportation of backfill containing full gold-plant tailings. *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.*, vol. 93, no. 6., p. 143-146, 1993.

HIND, A.R.; BHARGAVA, S.K.; GROCOTT, S.C. The surface chemistry of Bayer process solids: a review. **Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and engineering Aspects**, v.146, p.359-374, 1999.

KLEIN, B.; HALLBOM, D.J. Modifying the rheology of nickel laterite suspensions. **Minerals Engineering**, v.15, p.745 - 749, 2002.