

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

**Reagentes depressores de carbonatos: uma revisão**

**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Dilma Vana Rousseff**

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Vice-Presidente

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**Aloizio Mercadante Oliva**

Ministro da Ciência e Tecnologia

**Luiz Antonio Rodrigues Elias**

Secretário-Executivo

**Arquimedes Diógenes Ciloni**

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

**CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**José Farias de Oliveira**

Diretor

**Carlos César Peiter**

Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processos Minerais

**Cosme Antônio de Moraes Regly**

Coordenador de Administração

**Ronaldo Luiz Correa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

ISSN 0103-7382

ISBN 978-85-61121-72-3

**STM - 89**

## **Reagentes depressoress de carbonatos: uma revisão**

### **Aline Pereira Leite Nunes**

Engenheira de Minas (2006) e M.Sc. (2009) pela UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais). Foi professora substituta do Departamento de Engenharia de Minas da UFMG em 2008 e 2009. Atualmente, é aluna de doutorado e bolsista do CNPq no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.

### **Antônio Eduardo Clark Peres**

Engenheiro Metalurgista pela UFMG (1968), M.Sc. pela CNEN/UFMG (1973) e Ph.D. pela UBC, Canadá (1979). Atualmente, é professor associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG.

**CETEM/MCT**

2011

# **SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL**

**Marisa Bezerra de Mello Monte**

Editora

**Claudio Schneider**

Subeditor

## **CONSELHO EDITORIAL**

Arnaldo Alcover Neto (CETEM), Fernando Freitas Lins (CETEM), Regina Carrisso (CETEM), Reiner Neumann (CETEM), Ronaldo Luiz Correia dos Santos (CETEM), Achilles Junqueira Bourdot Dutra (UFRJ), Antonio E. Clark Peres (UFMG), José Aury de Aquino (CDTN), José Farias de Oliveira (UFRJ), Lino Rodrigues de Freitas (CVRD), Luciano Tadeu da Silva Ramos (CVRD), Mário Rui Machado Leite (IGM-Portugal), Maurício Leonardo Torem (PUC-Rio).

A Série Tecnologia Mineral publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

**Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas**

Coordenação Editorial

**Vera Lúcia Espírito Santo Souza**

Programação Visual

**Andrezza Milheiro da Silva**

Revisão

---

Nunes, Aline Pereira Leite

Reagentes depressores de carbonatos: uma revisão /  
Aline Pereira L. Nunes, Antonio Eduardo Clark Peres. —Rio de  
Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

47p.: il (Série Tecnologia Mineral, 89)

1. Carbonatos. 2. Flotação. 3. Depressores. I. Centro de  
Tecnologia Mineral. II. Peres, Antonio E. Clark . III. Título. IV.  
Série.

CDD – 622.7

---

## SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1   INTRODUÇÃO	9
2   OCORRÊNCIA DOS CARBONATOS COMO GANGA NOS DEPÓSITOS MINERAIS	11
3   REAGENTES USADOS COMO DEPRESSORES DE CARBONATOS	13
3.1   Polissacarídeos	14
3.2   Outros compostos orgânicos poliméricos	27
3.3   Reagentes inorgânicos	32
3.4   Reagentes complexantes	35
4   CONCLUSÕES	39
5   AGRADECIMENTOS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42



## **RESUMO**

Os carbonatos ocorrem frequentemente como minerais de ganga em depósitos de fosfato. Vários métodos têm sido propostos para a remoção de carbonatos de minérios fosfáticos, mas a flotação é o mais promissor. A obtenção de seletividade entre os fosfatos e os carbonatos é prejudicada pelas propriedades físico-químicas semelhantes, mas a utilização de reagentes depressores seletivos pode facilitar o beneficiamento de minérios fosfáticos com altos teores em carbonatos.

O presente trabalho apresenta uma revisão sobre os principais reagentes utilizados como depressores de carbonatos, abordando os possíveis mecanismos envolvidos na adsorção desses reagentes nos minerais.

### **Palavras-chave**

Carbonatos, fosfatos, depressores, flotação.

## **ABSTRACT**

The presence of carbonates is frequent in phosphate deposits. Several methods have been proposed to remove carbonates from phosphate ores, but froth flotation is the most promising one. Achieving selectivity between phosphates and carbonates is hampered by the similarity in physical and chemical properties, but the use of selective depressants may facilitate the processing of phosphate ores with high contents in carbonates.

This paper presents an overview of the main reagents used as carbonate depressants and the possible mechanisms involved in the adsorption of these reagents onto the minerals are outlined.

### **Keywords**

Carbonates, phosphates, depressants, froth flotation.



## 1 | INTRODUÇÃO

Os carbonatos ocorrem em muitos tipos de depósitos como minerais de ganga, principalmente sob a forma de calcita e dolomita. Além de ocorrerem nos depósitos de fosfatos ígneos e sedimentares, os carbonatos também são comuns em depósitos de sulfetos.

Na fabricação de fertilizantes, o fosfato passa por um processo de dissolução com ácido sulfúrico, formando ácido fosfórico. Fosfatos com altos teores em carbonatos levam à formação de sulfato de cálcio (gesso), diminuindo o rendimento do processo e elevando excessivamente o consumo de ácido sulfúrico (TANAKA *et al.*, 1988). O beneficiamento de minérios fosfáticos com ganga dolomítica é complicado e os altos teores de MgO também elevam excessivamente o consumo de ácido sulfúrico durante a produção de fertilizantes. A obtenção de concentrados fosfáticos contendo teores de MgO abaixo de 1% e com recuperação aceitável é o maior desafio encontrado atualmente em concentradores de fosfatos que apresentam a dolomita como principal mineral de ganga (ZHENG e SMITH, 1997).

Vários métodos de concentração têm sido propostos para a remoção de carbonatos de minérios fosfáticos, como a separação em meio denso, separação gravítica, separação magnética e a calcinação, porém esses métodos apresentam várias limitações, como baixa eficiência e custo elevado. A flotação é o método mais promissor, porém vários fatores dificultam a obtenção de seletividade, como a semelhante composição química superficial entre os fosfatos e os carbonatos, a alta atividade superficial dos coletores utilizados, interações entre espécies iônicas dissolvidas de um mineral sobre outro e inte-

rações entre espécies iônicas dissolvidas e reagentes (HANNA e SOMASUNDARAN, 1976).

Calcita e apatita apresentam propriedades físico-químicas muito similares, já que ambos são portadores de cálcio. Os íons provenientes da rede de uma e da outra modificam o comportamento original para igualá-la ao exibido pela fornecedora das espécies químicas dissolvidas (LEAL FILHO, 1988; SOMASUNDARAN *et al.*, 1985; SOMASUNDARAN e EL-MOFTY, 2002).

Nos depósitos de fosfatos ígneos, os minerais apresentam superfícies bem cristalizadas, o que favorece a adsorção dos reagentes e a obtenção de seletividade, mesmo quando os carbonatos ocorrem como ganga. No caso de fosfatos sedimentares, a apatita apresenta-se com alto grau de substituição de íons em sua rede cristalina e as partículas normalmente possuem alta superfície específica, elevando o consumo de reagentes e reduzindo seletividade da adsorção. O beneficiamento de fosfatos de origem sedimentar com ganga carbonática é um problema mundial e não existe até o momento nenhuma tecnologia de concentração em escala industrial para esses minérios (PRASAD *et al.*, 2000; SIS e CHANDER, 2003). Várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de se encontrar depressores que adsorvam preferencialmente nos carbonatos durante a flotação aniônica direta de fosfatos.

## 2 | OCORRÊNCIA DOS CARBONATOS COMO GANGA NOS DEPÓSITOS MINERAIS

O carbono ocorre na natureza no estado nativo (grafita, diamante e carvão) em estruturas orgânicas, na constituição do gás carbônico e na forma do radical carbonato. Os minerais pertencentes à classe dos carbonatos como a calcita e a dolomita são encontrados abundantemente em toda a crosta terrestre. Esses minerais possuem o ânion  $(\text{CO}_3)^{2-}$  como unidade básica em sua estrutura, onde o carbono está ligado a três oxigênios, formando um arranjo triangular achatado. Quando o ânion carbonato combina com cátions bivalentes, como o cálcio na calcita, cada cátion ficará coordenado em relação a seis oxigênios e cada oxigênio se coordenará a dois cátions. Podem ocorrer substituições dos cátions nos minerais do grupo da calcita, que produz séries de minerais com propriedades físicas variando de acordo com a quantidade de substituições. A estrutura da dolomita é semelhante à da calcita, porém as camadas de íons carbonato se alternam com camadas de cálcio e com camadas de magnésio (KLEIN e HURLBUT, 1993).

A calcita ocorre em rochas ígneas como produto de alteração de silicatos cálcicos, por ação da água contendo dióxido de carbono dissolvido. Nas rochas sedimentares e metamórficas, a calcita se apresenta tanto distribuída como partículas finas ou cimentando outros minerais quanto em abundância como constituinte, ocorrendo como enormes massas rochosas (FERNANDES, 2007).

A dolomita forma espessas camadas superficialmente extensas em séries de rochas sedimentares e metamórficas e está comumente associada à calcita em calcários e mármore. A dolomita ocorre também como mineral de origem hidrotermal principal-

mente em veios de chumbo e zinco associada com fluorita, calcita, barita e siderita. A ankerita é um carbonato comum em formações ferríferas pré-cambrianas (FERNANDES, 2007; KLEIN e HURLBUT, 1993).

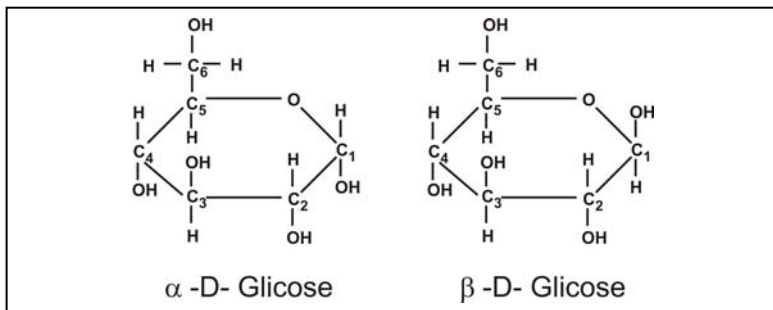
### 3 | REAGENTES USADOS COMO DEPRESSORES DE CARBONATOS

Os reagentes usados como depressores na flotação são reagentes capazes de proporcionar um caráter hidrofílico acentuado a determinadas superfícies minerais e de inibir a ação de coletores sobre essas superfícies. Os compostos que possuem essas características devem apresentar maior capacidade de interação com os sítios superficiais do que os reagentes coletores. No caso de depressores orgânicos, para que ocorra essa forte interação, o depressor deve possuir em sua estrutura um número suficiente de grupos polares altamente hidrofílicos que se orientem em direção à fase aquosa, tornando hidrofílico o adsorvato. Essas propriedades são fortemente apresentadas pelos amidos, taninos, quebrachos, dextrinas, poliácridamidas, poliácridatos, proteínas, derivados da celulose etc. Essas mesmas características também podem ser encontradas nos agentes complexantes como o ácido cítrico e em outros polímeros orgânicos, tais como polifosfatos e poliácridatos (BADALF e SHUBERT, 1980; LIN e BURDICK, 1988).

Vários compostos inorgânicos também têm sido utilizados como depressores de carbonatos na flotação em diversos sistemas minerais como silicatos, cromatos, dicromatos, fosfatos, polifosfatos, fluoretos e vários ácidos inorgânicos. Os polissacarídeos utilizados como depressores apresentam várias vantagens em relação aos reagentes inorgânicos por serem mais estáveis, mais baratos, biodegradáveis e não-tóxicos (HANNA e SOMASUNDARAN, 1976; LIU *et al.*, 2000).

### 3.1 | Polissacarídeos

Os polissacarídeos são polímeros orgânicos formados pela condensação, através do processo de fotossíntese, de moléculas de glicose (Figura 3.1) que se ligam de diferentes maneiras, dando origem a macromoléculas ou polímeros. O amido e a celulose são os polissacarídeos naturais mais importantes e ambos são constituídos por vários monômeros de glicose. A  $\alpha$ -D-glicose e a  $\beta$ -D-glicose são os dois tipos de monômeros de glicose existentes e diferem entre si pela orientação dos grupos hidroxila ligados aos átomos de carbono C1.

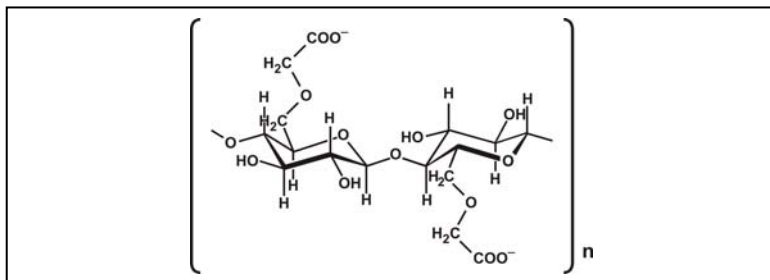


**Figura 3.1.** Estruturas cíclicas da molécula de glicose.

#### 3.1.1 | Carboximetil celulose

A celulose é um polímero linear formado pela ligação de vários monômeros  $\beta$ -D-glicose através dos carbonos C1 e C4. A carboximetil celulose (CMC) é um derivado altamente solúvel em água e pode ser obtida pelo tratamento da celulose com hidróxido de sódio, seguido pela reação com cloroacetato de sódio. A carboximetil celulose apresenta vários grupos carboxílicos em sua estrutura, o que lhe confere um poder de hidrofilição expressivo. A Figura 3.2 mostra a estrutura de uma uni-

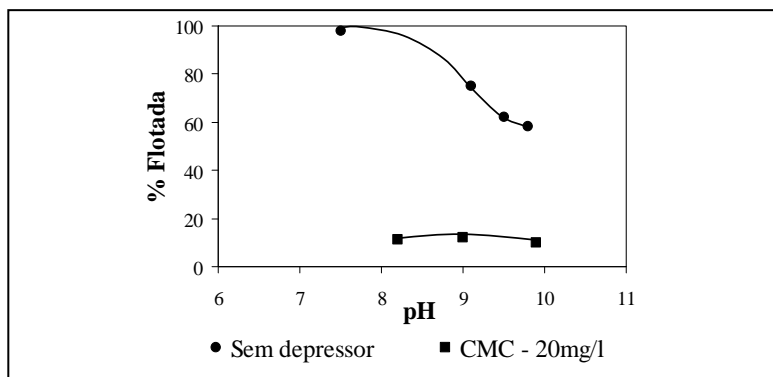
dade dimérica que constitui a carboximetil celulose e seus respectivos grupos carboxílicos.



**Figura 3.2.** Estrutura do dímero que constitui a carboximetil celulose.

A carboximetil celulose é amplamente utilizada na flotação de minérios polimetálicos, como cobre-zinco, cobre-níquel, metais do grupo da platina, cobre-chumbo-zinco. Nesses sistemas, a carboximetil celulose tem a função de deprimir silicatos ativados inadvertidamente e minerais portadores de magnésio, como o talco (BULATOVIC, 1999).

Zheng e Smith (1997) estudaram vários compostos químicos para deprimir dolomita, entre eles a carboximetil celulose (CMC) e a hidroxietil celulose. De acordo com os resultados obtidos, a CMC mostrou-se como o melhor depressor para a dolomita, apresentando resultados superiores aos outros reagentes. Utilizando oleato de sódio na concentração de 60mg/l, o efeito depressor da CMC sobre a dolomita parece ser independente do pH (Figura 3.3). Segundo os autores, o efeito depressor sobre a dolomita pode ser explicado pelo grande tamanho da molécula e a presença de vários grupos carboxila, proporcionando fortes ligações com os sítios metálicos ativos superficiais. A hidroxietil celulose não se mostrou um depressor efetivo para a dolomita.

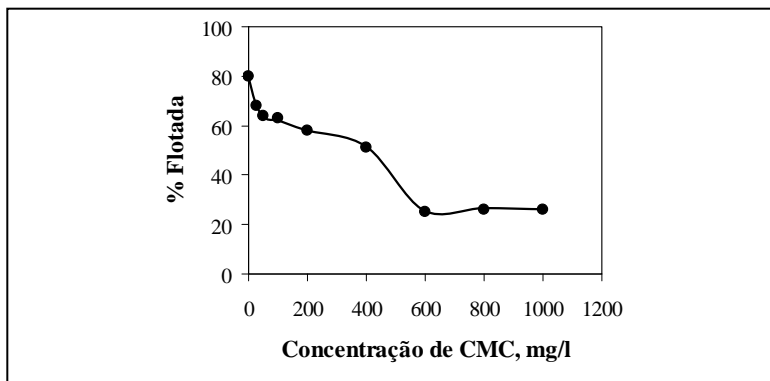


Fonte: Modificado de Zheng e Smith, 1997.

**Figura 3.3.** Flotabilidade da dolomita em função do pH na ausência e na presença de CMC.

Em estudo sobre as propriedades eletrocinéticas e flotabilidade da huntita ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ) com coletores aniônicos, Kangal et al. (2004) avaliaram também o efeito depressor da CMC sobre o mineral. O ponto isoelétrico encontrado foi próximo de pH 8 e a flotabilidade da huntita com oleato de potássio foi superior a 60% em toda faixa de pH estudada. A flotabilidade máxima de aproximadamente 80% foi obtida com o uso de oleato de potássio em pH 9 na concentração de 200mg/l. Sob essas condições foi avaliado o efeito da concentração de CMC na flotabilidade de huntita, cujos resultados são apresentados na Figura 3.4. A flotabilidade foi reduzida de 80 para 25% em concentrações acima de 600mg/l. Segundo os autores, a adsorção da CMC sobre os sítios superficiais  $Mg^{2+}$  pode ser considerada como um dos principais mecanismos envolvidos na interação entre o depressor e o mineral.





Fonte: Modificado de Kangal *et al.*, 2004.

**Figura 3.4.** Flotabilidade da huntita em função da concentração de CMC.

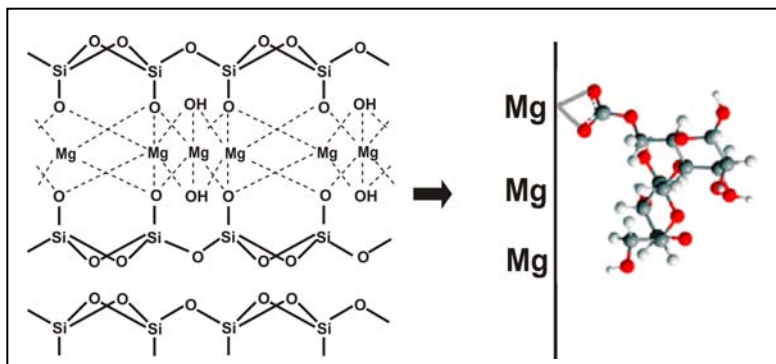
Os mecanismos de adsorção da CMC em minerais ainda não são bem conhecidos. Segundo Leja (1962), a carboximetil celulose é totalmente ionizada em solução alcalina e é capaz de ser atraída eletrostaticamente para sítios da interface mineral/solução opostamente carregados. Essa interação resultaria na depressão seletiva de alguns minerais através do encobrimento dos sítios positivos por vários grupos  $-OH$ , tornando o sólido altamente hidrofílico.

A formação de complexos entre os grupos carboxila da CMC e os sítios superficiais  $MgOH$  de minerais portadores de magnésio tem sido considerada como principal mecanismo de adsorção para a CMC sobre estes minerais (CUBA-CHIEM *et al.*, 2008). No entanto, alguns autores consideram a formação de ligações de hidrogênio e as interações de natureza hidrofóbica e eletrostática como os mecanismos responsáveis pela adsorção de

CMC em talco (WANG e SOMASUNDARAN, 2005; MORRIS *et al.*, 2002).

Cuba-Chiem *et al.* (2008) avaliaram os prováveis mecanismos de adsorção de CMC em talco através de espectrometria no infravermelho por transformada de Fourier e reflectância total atenuada (ATR-FTIR). Segundo os autores, a superfície do talco encontra-se desprotonada em pH 11 e, portanto, a quantidade de sítios MgOH superficiais é muito pequena e não favorece a formação de ligações de hidrogênio com os grupos carboxila da CMC. Nesse valor de pH, os espectros obtidos indicaram a interação da CMC com o talco através da formação de quelatos bidentados com os sítios magnésio superficiais, mostrados na Figura 3.5. O outro mecanismo proposto pelos autores são as interações de natureza hidrofóbica entre o plano basal do talco, que é hidrofóbico, e a CMC. A formação de quelatos bidentados ocorre nas extremidades das partículas, onde ficam expostos os sítios polares ativos devido ao rompimento de fortes ligações covalentes transversais ao plano basal.

As ligações de hidrogênio foram consideradas por Wang e Somasundaran (2005) como principal mecanismo de interação entre CMC e talco. Através de isotermas de adsorção, foi possível observar que a adição de ureia reduziu a adsorção de CMC em talco. Como a ureia é um forte acceptor de ligações de hidrogênio, as ligações entre o mineral e o polissacarídeo seriam reduzidas como consequência da formação preferencial de ligações de hidrogênio entre a ureia e o polissacarídeo. A adsorção da CMC em talco também foi significativamente afetada pela variação do pH e da força iônica da solução, o que, juntamente com os resultados de ensaios eletrocinéticos, indicaram que as interações por mecanismos eletrostáticos também desempenham importante papel na adsorção de CMC em talco.

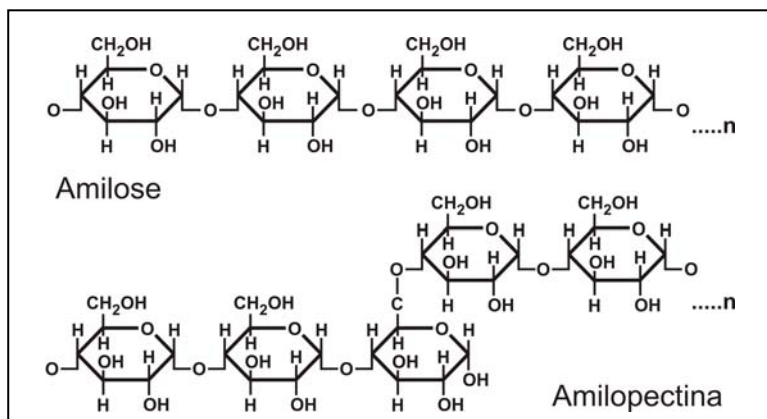


Fonte: Modificado de Cuba-Chiem *et al.*, 2008.

**Figura 3.5.** Esquema da adsorção de CMC em talco.

### 3.1.2 | Amido

O amido é um dos principais polissacarídeos utilizados como modificadores no processo de flotação, sendo utilizado em diversos sistemas como depressor de óxidos de ferro, ganga carbonática, argilo-minerais e hiperstênio. O amido é constituído principalmente por moléculas de amilose e de amilopectina, que são polímeros de glicose. Apesar da semelhante composição química, a amilose é um polímero linear e insolúvel, enquanto a amilopectina é um polímero ramificado e apresenta elevada solubilidade. As estruturas da amilose e da amilopectina são ilustradas na Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Estruturas da amilose e da amilopectina.

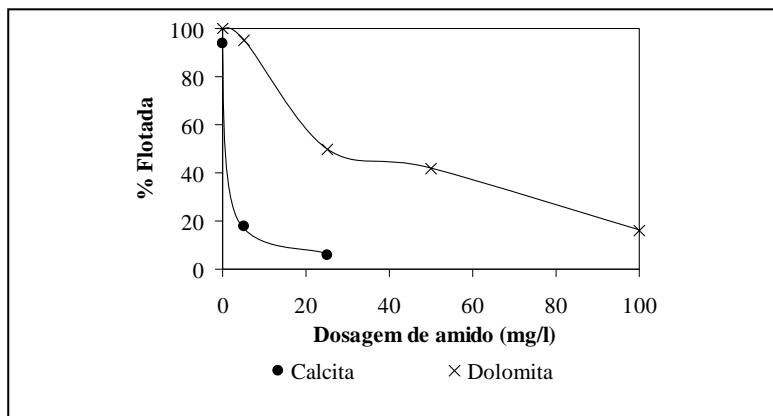
Devido à presença de vários grupos  $-OH$  e do alto peso molecular da amilose e da amilopectina, esses componentes são os principais responsáveis pela ação de depressão do amido. Os constituintes acessórios são as proteínas, óleos, fibras, minerais e umidade e a contribuição desses constituintes no papel depressor do amido não é bem conhecida. A relação amilopectina/amilose, que nos amidos de milho amarelo é cerca de 3:1, geralmente não influencia no desempenho e, portanto, na escolha do tipo de amido como depressor. Esse fator é influenciado pelas modificações e impurezas introduzidas durante os processos de fabricação do amido (GUIMARÃES *et al.*, 2005; BULATOVIC, 1999; PERES e CORREA, 1996; LIU *et al.*, 2000).

As macromoléculas formadoras do amido são extremamente hidrofílicas devido à presença de muitos grupos  $-OH$  nos monômeros de glicose e também são capazes de atuar como pontes entre as partículas, formando grandes agregados. Os amidos convencionais não são solúveis em água fria. A adição de hidró-

xido de sódio ou aumento da temperatura são os processos utilizados para a solubilização do amido.

No Brasil, o amido é o depressor de ganga mais utilizado na flotação de fosfatos de origem ígnea. Além do custo relativamente baixo, os amidos apresentam performance superior aos outros polissacarídeos (GUIMARÃES *et al.*, 2005). Leal Filho (1988) utilizou diferentes tipos de amido, carboximetil celulose, goma guar, taninos e tripolifosfato de sódio em ensaios de flotação em bancada com amostras de minério fosfático de origem ígnea e com alto teor de carbonatos. Utilizando ácidos graxos como coletores, o desempenho do amido foi superior ao dos demais reagentes. Porém, ao utilizar tripolifosfato de sódio juntamente com o amido, ocorreu um aumento na recuperação de  $P_2O_5$  no concentrado final. Segundo o autor, pode-se supor que o tripolifosfato promove um efeito de limpeza por remoção de cátions  $Ca^{2+}$  inadvertidamente adsorvidos na apatita. Esse efeito promove a retomada das características anteriores à adsorção dos íons, impossibilitando a adsorção do amido nesse mineral.

Ensaio de microflotação com calcita, dolomita, piroxênio e vermiculita realizados por Barros *et al.* (2008) confirmaram a adsorção preferencial do amido sobre a calcita. A flotabilidade dos minerais foi avaliada em pH 10 utilizando-se oleato de sódio na dosagem de 50g/l. Os resultados mostraram a rápida queda na flotabilidade da calcita, indicando a necessidade de apenas pequenas dosagens de amido para deprimir o mineral (Figura 3.7). Por outro lado, altas dosagens de amido são necessárias para se obter relativa depressão da dolomita.



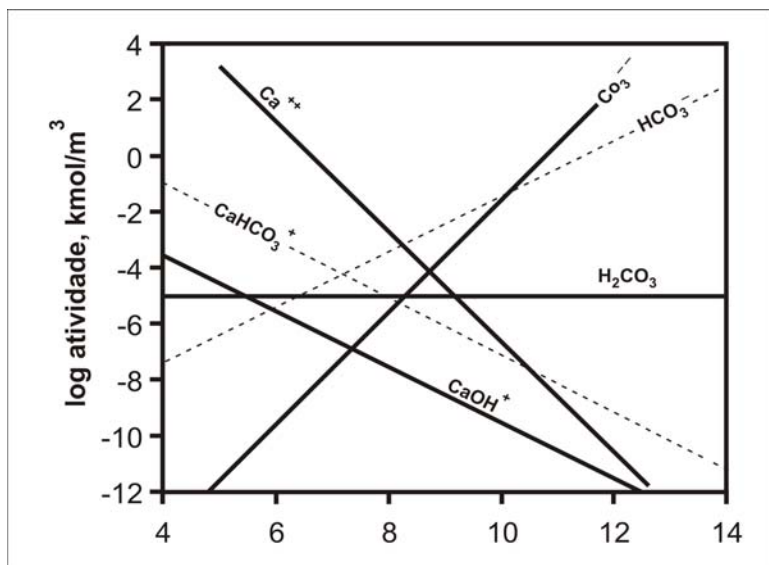
Fonte: Modificado de Barros *et al.*, 2008.

**Figura 3.7.** Flotabilidade da calcita e da dolomita em função da dosagem de amido.

O efeito depressor do amido sobre a calcita parece estar associado à formação de complexos entre o amido e os íons cálcio na superfície do mineral. A queda na concentração de espécies como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CaOH}^+$  com o aumento do pH (Figura 3.8), poderia explicar a diminuição da adsorção do amido sobre a calcita em valores elevados de pH (HANNA E SOMASUNDARAN, 1976; SOMASUNDARAN *et al.*, 1985).

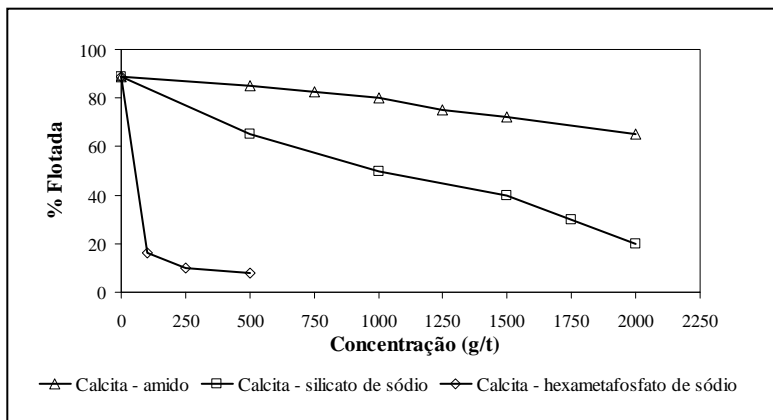
De fato, o baixo desempenho do amido como depressor de calcita em valores elevados de pH foi constatado por Irannajad *et al.* (2009) em ensaios de microflotação, utilizando a amina primária Armac C em pH 11 e ácido oleico em pH 9 como coletores. Os testes de microflotação foram realizados com calcita, quartzo e smithsonita. Além do amido, o silicato de sódio e o hexametáfosfato de sódio também foram avaliados. Como pode ser observado na Figura 3.9, o hexametáfosfato de sódio apresentou melhor efeito depressor, enquanto a flotabilidade da cal-

cita permaneceu acima de 75% com o uso de amido e ácido oleico 500g/t em pH 9. Nestas mesmas condições, o hexametáfosfato de sódio também foi o melhor depresso para a smithsonita, cuja flotabilidade caiu de aproximadamente 89% para 10%. Com o uso de Armac C na dosagem de 400g/t, em pH 11, o amido também não mostrou bom desempenho pois o menor valor de flotabilidade alcançado para a calcita foi de aproximadamente 50% na dosagem de 2000g/t de amido.



Fonte: Modificado de Somasundaran *et al.*, 1985.

**Figura 3.8.** Diagrama de distribuição de espécies do sistema calcita/água aberto para a atmosfera.



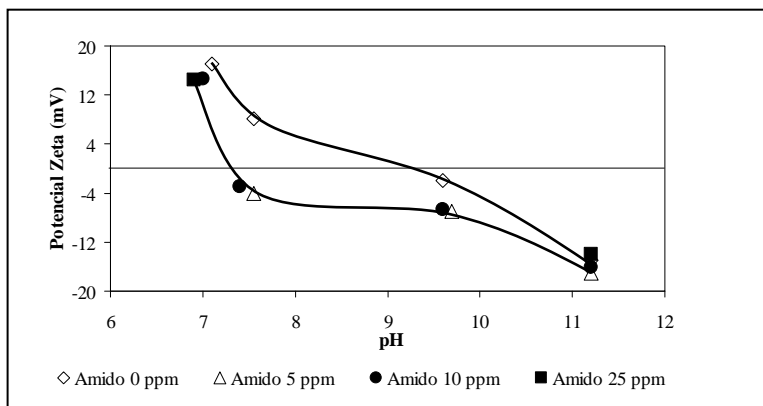
Fonte: Modificado de Irannajad *et al.*, 2009.

**Figura 3.9.** Flotabilidade da calcita em função da concentração do depressor.

Os resultados obtidos por Irannajad *et al.* (2009) para a calcita poderiam ser explicados tanto pela baixa concentração de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{CaOH}^+$  na faixa de pH estudada, impedindo a formação de complexos superficiais com o amido, quanto pela carga superficial negativa já em torno de pH 9.

A adsorção eletrostática do amido em sítios superficiais positivos da calcita abaixo de seu ponto isoelétrico (pH 9,5-10,8) também é possível. Pode-se observar pelo gráfico de potencial zeta da Figura 3.10 que existe, de fato, uma contribuição de natureza eletrostática para a adsorção do amido sobre os sítios positivos da calcita (HANNA E SOMASUNDARAN, 1976).





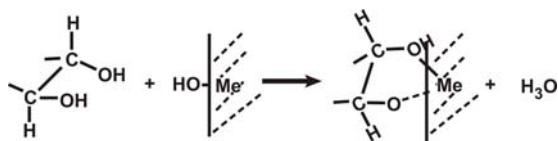
Fonte: Modificado de Somasundaran, s/d apud Hanna e Somasundaran, 1976.

**Figura 3.10.** Potencial zeta da calcita em função do pH e da concentração de amido.

Fatores de compatibilidade estérica entre a calcita e o amido também favorecem a adsorção, uma vez que a posição dos átomos na estrutura molecular do amido é compatível com a posição dos átomos da estrutura cristalina da calcita. Correia *et al.* (2002) utilizaram técnicas de modelagem molecular para estudo das estruturas do amido e da etilcelulose e, juntamente com estudos cristaloquímicos da calcita e apatita, determinaram parâmetros de compatibilidade estérica entre os polímeros e os minerais utilizados. Através de um software foram determinadas as distâncias entre os grupos hidroxila da estrutura dos polímeros e as distâncias entre os sítios  $\text{Ca}^{2+}$  existentes em diversos planos cristalográficos da calcita e da apatita. A compatibilidade entre as distâncias obtidas para o polímero e o mineral podem ser calculadas pelo parâmetro *Fitting Number* – Ft, que varia de 0 a 100. Quando maior o parâmetro, maior será a compatibilidade estérica entre o polímero e determinada orientação crista-

lográfica. Os valores obtidos para o amido e diversos planos cristalográficos da calcita variaram entre 20,1 a 51,5, enquanto para a apatita, o maior valor obtido foi 25,7. Para a etilcelulose e calcita, o maior valor obtido para o parâmetro Ft foi 18,1, mostrando que o amido apresenta maior afinidade estereoquímica para a calcita que a etilcelulose (CORREIA *et al.*, 2002).

Outros mecanismos propostos para a adsorção de polissacarídeos em minerais são as ligações de hidrogênio, as interações de natureza eletrostática e as interações hidrofóbicas. Liu *et al.* (2000) propõem uma interação ácido/base entre os polissacarídeos e as superfícies minerais. Segundo os autores, os grupos metal-hidroxila (MeOH) superficiais em contato com o meio aquoso podem doar ou receber prótons, se comportando como um ácido ou uma base de Brønsted. Na interação com polissacarídeos, os grupos superficiais MeOH liberariam as hidroxilas, enquanto os grupos hidroxila do polissacarídeo liberariam os prótons  $H^+$ :



Neste caso, os grupos MeOH se comportam como uma base de Brønsted, uma vez que o ácido (ou doador de prótons) é o polissacarídeo. Quanto maior a basicidade dos grupos MeOH, maior será a força de interação com o polissacarídeo.

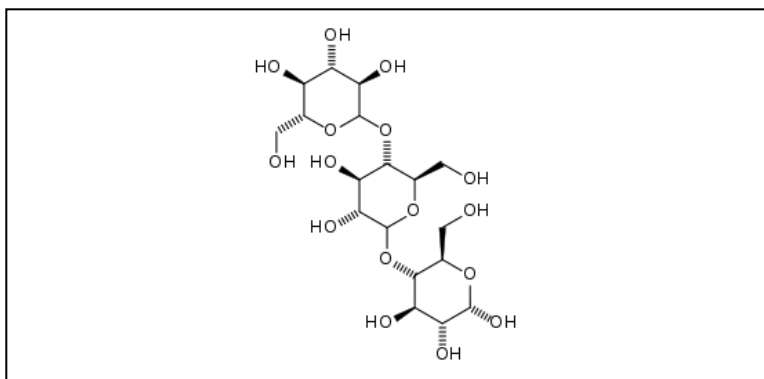
Ainda segundo Liu *et al.* (2000), a acidez/basicidade de um óxido está diretamente relacionada ao seu ponto isoelétrico. Uma superfície que apresenta um ponto isoelétrico elevado é considerada como básica, enquanto um valor baixo de ponto isoelétrico

indica uma superfície ácida. Os autores consideram que a hipótese da interação ácido/base pode explicar a seletividade obtida na concentração de óxidos de ferro utilizando o amido como depressor. O quartzo apresenta um ponto isoelétrico em torno de pH 2, indicando uma superfície fortemente ácida e pouco apta a adsorver o polissacarídeo. Os óxidos de ferro, por outro lado, apresentam ponto isoelétrico entre pH 6-7. Portanto, são menos ácidos e adsorvem os polissacarídeos mais facilmente que o quartzo.

### 3.2 | Outros compostos orgânicos poliméricos

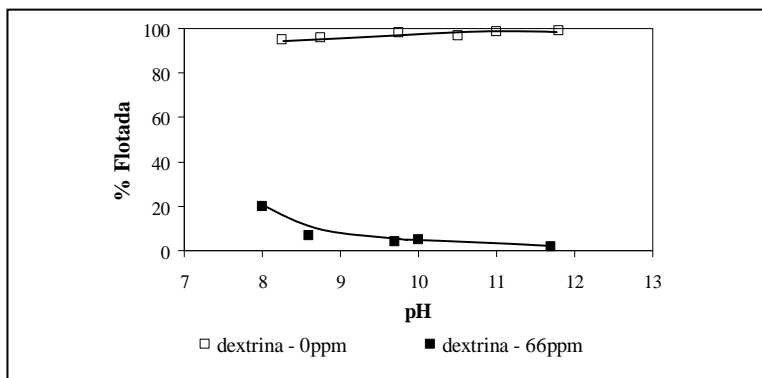
Além do amido, outros reagentes orgânicos modificados como taninos, quebracho, goma guar e dextrina têm sido amplamente empregados ao longo dos anos na flotação seletiva de minerais levemente solúveis (HANNA e SOMASUNDARAN, 1976).

As dextrinas são polissacarídeos solúveis em água fria e são produto resultante da quebra hidrolítica do amido, que acontece devido à degradação térmica sob condições ácidas. As moléculas de dextrina resultantes são menores, porém apresentam um maior número de ramificações, como pode ser visto na Figura 3.11. A relação amilopectina/amilose é preservada, porém as moléculas originais sofrem redução no número de unidades de glicose. Apesar da massa molecular e do tamanho das moléculas serem muito menores, as dextrinas apresentam a mesma capacidade de hidrofilição que amido (PERES e CORREA, 1996; GUIMARÃES *et al.*, 2005; BULATOVIC, 1999; LIU *et al.*, 2000).



**Figura 3.11.** Estrutura da dextrina.

Liu *et al.* (1994) verificaram o aumento da densidade de adsorção de dextrina nos minerais calcita, fluorita e apatita com o aumento do pH. Os valores máximos obtidos para adsorção situaram-se entre pH 11 e 12, coincidentes com o valor de ponto isoelétrico próximo de pH 12, obtido experimentalmente para os três minerais. Considerando que as propriedades eletrocinéticas de minerais em meio aquoso (inclusive minerais levemente solúveis) são controladas pela atividade dos íons  $H^+$  e  $OH^-$ , pode-se concluir que os grupos  $-OH$  prevaleceram nas superfícies em torno do ponto isoelétrico, e a interação da dextrina com os grupos superficiais metal-hidroxila ( $MeOH$ ) pode ser considerada como o principal mecanismo envolvido na adsorção. Os ensaios de microflotação com  $1,19 \times 10^{-4} M$  de oleato sódio na presença de 66ppm de dextrina mostraram que a calcita é fortemente deprimida entre pH 8 e 12 (Figura 3.12).



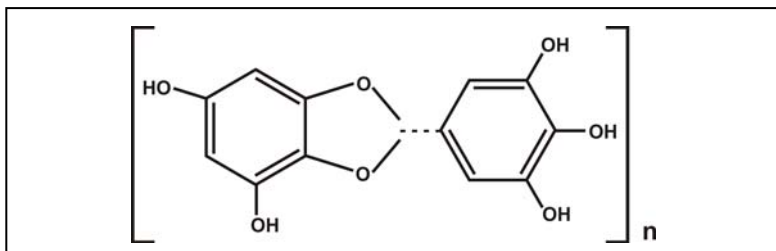
Fonte: Modificado de Liu *et al.*, 1994.

**Figura 3.12.** Flotabilidade de calcita na ausência e na presença de dextrina.

Os taninos (ou polifenóis) são compostos fenólicos de alto peso molecular que podem ser extraídos de árvores nativas de diferentes regiões do planeta. O quebracho, a casca de acácia e a lignina são os taninos mais utilizados na tecnologia mineral. O quebracho e a casca de acácia têm sido empregados como depressores de calcita, dolomita e siderita na flotação de fluorita com ácidos graxos e também na flotação de galena como depressores de esfarelita e ganga carbonatada (PEARSE, 2005; LEJA, 1982).

O quebracho é extraído do cerne de árvores do gênero *Shinopsis balsanae* e *Shinopsis lorentzii*, nativas da região sul do Brasil, do oeste do Paraguai e do noroeste da Argentina. O quebracho é extraído da madeira em temperaturas acima de 100°C, seguida pela evaporação em vácuo para a obtenção de sólido em pó, que é solúvel em água para valores acima de pH 8. O pré-tratamento do quebracho com bissulfato de sódio ( $\text{NaHSO}_4$ )

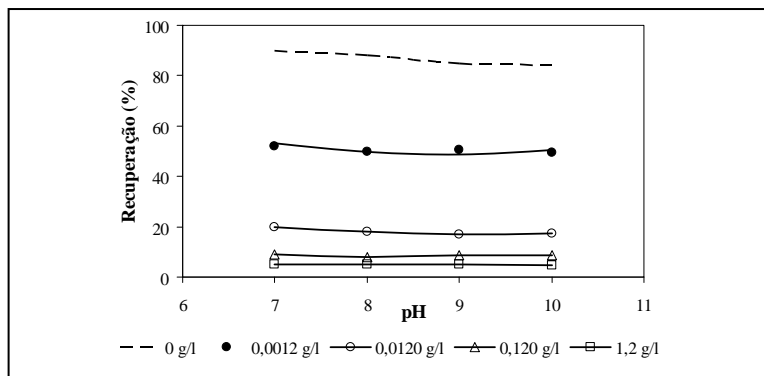
permite a obtenção de quebracho solúvel em água fria para qualquer valor de pH. A estrutura aproximada do quebracho é apresentada na Figura 3.13. O quebracho pode ser comercializado sob três formas: o extrato proveniente diretamente do tratamento com água quente; o quebracho sulfitado, no qual grupos do ácido sulfônico foram introduzidos na estrutura; e o quebracho anfotérico, que consiste no quebracho com grupos amina em sua estrutura (LEJA, 1982; BULATOVIC, 1999).



Fonte: Bulatovic, 1999.

**Figura 3.13.** Estrutura aproximada do quebracho.

Castro e Hoces (1993) avaliaram a influência de quebracho e silicato de sódio na flotação de calcita e celestita com oleato de sódio. Foram realizados ensaios de flotação em bancada com minerais puros na razão mineral/água igual a 200g/300g. O efeito depressor do quebracho e do silicato foi avaliado em diferentes valores de pH para várias concentrações de coletor. O quebracho foi mais eficiente na depressão da calcita do que na da celestita. Já o silicato de sódio deprimiu mais fortemente a celestita do que a calcita. Com o uso de 600g/tm de oleato de sódio, a recuperação de calcita caiu de cerca de 90% na ausência de quebracho para cerca de 5% na presença de 1,2g/l de depressor, como pode ser observado na Figura 3.14.

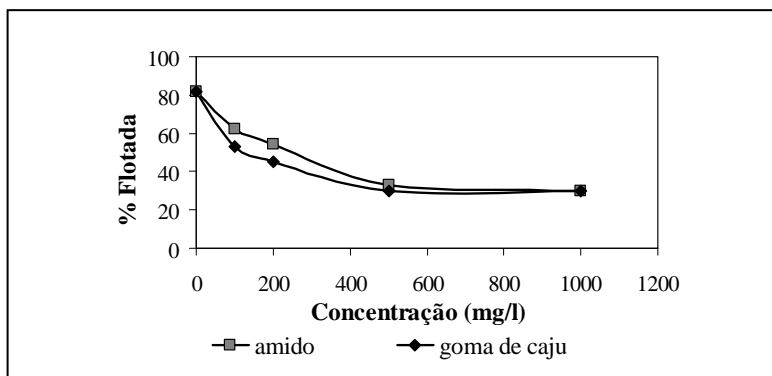


Fonte: Modificado de Castro e Hoces, 1993.

**Figura 3.14.** Flotação de calcita com oleato de sódio em função do pH para várias concentrações de quebracho.

Hanna e Somasundaran (1976) consideraram que a forte natureza hidrofílica dos grupos fenol existentes na estrutura do quebracho é responsável pela sua ação depressora. A formação de complexos fenolato (tanato) de cálcio, interações eletrostáticas e ligações de hidrogênio foram consideradas como os principais mecanismos envolvidos na adsorção de tanino em calcita.

Ribeiro *et al.* (2003) testaram a goma de caju como depressor de um minério calcáreo e também como depressor de calcita. Testes de microflotação de calcita com goma de caju e com o oleato de sódio como coletor mostraram resultados iguais e/ou superiores aos testes realizados com amido nas mesmas concentrações (Figura 3.15). Os testes de flotação em bancada mostraram uma recuperação de 82% de carbonatos no afundado para o minério calcáreo em pH 8. Uma análise por espectrometria no infravermelho mostrou uma grande semelhança nas estruturas composicionais do amido e da goma de caju.



Fonte: Modificado de Ribeiro *et al.*, 2003.

**Figura 3.15.** Flotabilidade da calcita em função da concentração de amido e goma de caju.

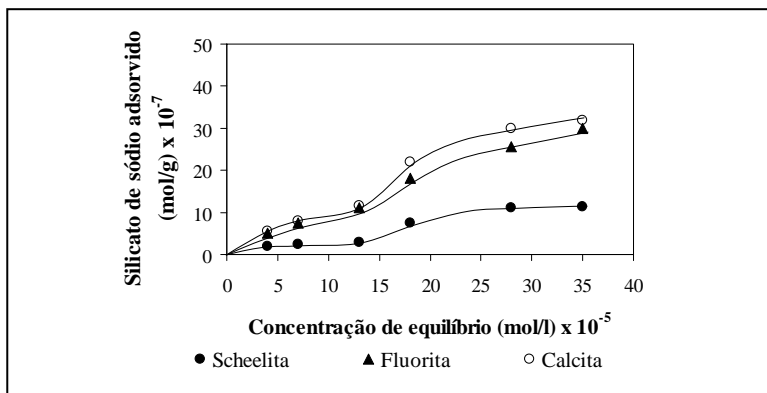
### 3.3 | Reagentes inorgânicos

O silicato de sódio é um dos compostos inorgânicos mais utilizados como depressor de não sulfetos. Outros reagentes inorgânicos usados frequentemente como depressores são os cromatos, dicromatos, fosfatos, polifosfatos e alguns ácidos inorgânicos (HANNA e SOMASUNDARAN, 1976).

Segundo Shin e Choi (1985), a complexidade do processo de dissociação do silicato de sódio impede que o mecanismo de adsorção desse reagente seja definido claramente. Além disso, a dissociação em espécies iônicas e coloidais depende da razão entre as espécies  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{SiO}_2$  do silicato, da concentração e do pH do sistema (FUERSTENAU *et al.*, 1968). As principais espécies dissociadas a partir do silicato de sódio em meio aquoso entre pH 6 e 11 são  $\text{SiO}_3^{2-}$  e  $\text{HSiO}_3^-$ .



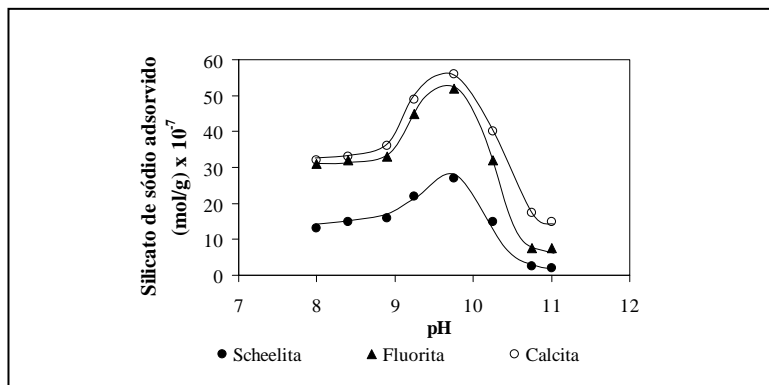
As isotermas de adsorção de silicato de sódio na scheelita, calcita e fluorita em pH 8 obtidas por Shin e Choi (1985) indicam adsorção inicial de natureza química seguida pela formação de multicamadas ou o preenchimento total da própria monocamada, como mostra a Figura 3.16.



Fonte: Modificado de Shin e Choi, 1985.

**Figura 3.16.** Isotermas de adsorção de silicato de sódio em pH 8.

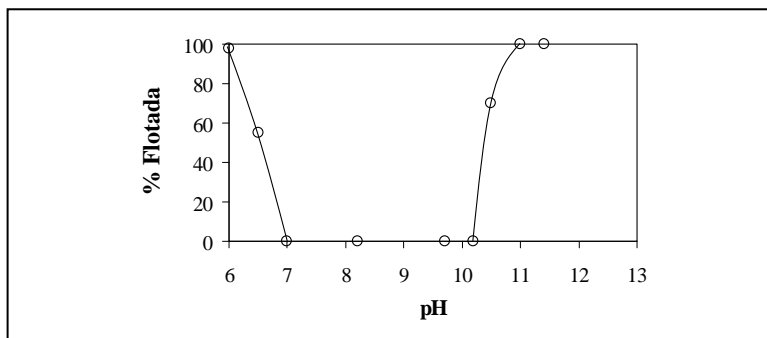
Na Figura 3.17 são apresentadas as isotermas de adsorção em função do pH. Pode ser observado um aumento significativo da adsorção de silicato nos três minerais até pH 9,8, caindo rapidamente a partir desse valor. Os autores atribuem essa queda ao excesso de íons  $\text{HSiO}_3^-$ , que seriam os íons ativos na adsorção do silicato em minerais contendo cálcio. A quantidade de íons  $\text{HSiO}_3^-$  aumentam com o aumento do pH, enquanto a quantidade de espécies  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  é independente do pH (SHIN e CHOI, 1985; FUERSTENAU *et al.*, 1968; MISHRA, 1982).



Fonte: Modificado de Shin e Choi, 1985.

**Figura 3.17.** Isotermas de adsorção de silicato de sódio em função do pH.

Fuerstenau *et al.* (1968) avaliaram o efeito da variação do pH e do módulo  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  do silicato de sódio na depressão de calcita, fluorita e apatita. Na presença de  $5 \times 10^{-4}\text{M}$  de oleato de potássio e  $5 \times 10^{-4}\text{M}$  de silicato de sódio com módulo  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  igual a 3,22, a calcita apresentou flotabilidade nula entre pH 7 e 10 (Figura 3.18). Segundo os autores, o efeito depressor acentuado do silicato de sódio em valores de pH relativamente baixos é devido à presença de sílica coloidal em silicatos com módulo superior a 2. Possivelmente, as partículas coloidais estarão carregadas negativamente, uma vez que o ponto isoelétrico do quartzo está em torno de pH 3, e podem adsorver na calcita (ponto isoelétrico entre pH 9-10,8) por mecanismos eletrostáticos. A alta flotabilidade da calcita com oleato de sódio acima de pH 11 pode ser explicada pela formação preferencial de oleato de cálcio na superfície em relação ao silicato de cálcio.



Fonte: Modificado de Fuerstenau *et al.*, 1968.

**Figura 3.18.** Flotabilidade da calcita com oleato de potássio na presença de silicato de sódio em função do pH.

### 3.4 | Reagentes complexantes

Os reagentes formadores de complexos são compostos orgânicos que contêm vários grupos doadores de elétrons, os quais formam múltiplas ligações covalentes com cátions metálicos. Esses reagentes formam compostos relativamente estáveis - os quelatos -, e são seletivos. Um quelato é produzido quando um cátion metálico coordena-se com dois ou mais grupos doadores de um único ligante para formar um anel heterocíclico de cinco ou seis membros. Os principais átomos doadores são os elementos não metálicos da 5ª e da 6ª colunas da tabela periódica, especialmente o nitrogênio, o enxofre e o oxigênio. Os principais cátions capazes de formar complexos são os metais alcalinos terrosos como o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que são receptores de elétrons. Apesar do fato de que os cátions metálicos superficiais não estão livres e sim ligados à estrutura do sólido, um agente complexante que forma quelatos com cátions em solução apresentará

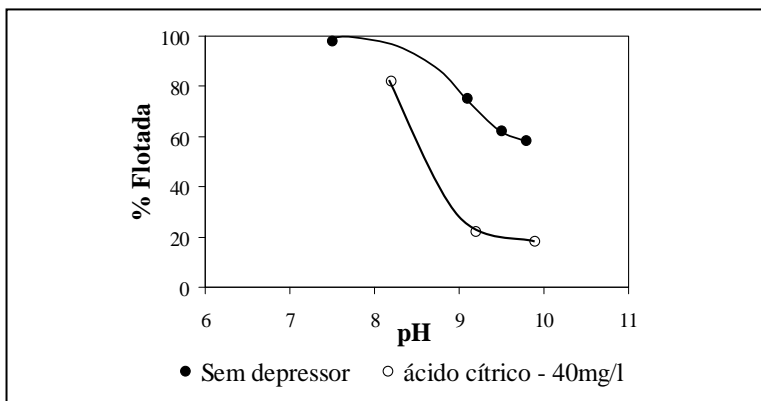
uma tendência similar de interação com cátions do mesmo tipo em superfície. O impedimento estérico causado pela superfície é quantitativamente importante para o balanço energético (SKOOG *et al.*, 2008; BADAULF E SCHUBERT, 1980).

Segundo Leja (1982), os polifosfatos são altamente indicados para a depressão de carbonatos pelo fato de serem entidades químicas capazes de formar fortes ligações covalentes com numerosos cátions metálicos. Um ou dois oxigênios reagem covalentemente com cátions metálicos da superfície e os outros grupos que não participaram da ligação ficam com cargas negativas em excesso. Os polifosfatos podem também remover os cátions previamente adsorvidos e formar precipitados dispersos no líquido, permitindo que a superfície readquira a carga superficial original. Essa propriedade faz com que esses compostos sejam largamente utilizados para diminuir dureza da água. Segundo Rashchi e Finch (2000), o complexo metal-polifosfato possivelmente formado em superfície previne a adsorção do coletor, bloqueando a interação com a superfície.

Badaulf e Schubert (1980) afirmaram que um composto químico será um depressor eficiente se possuir grupos polares que interajam mais fortemente com a superfície mineral que o coletor, possuir outros grupos polares que sejam capazes de tornar a superfície mineral hidrofílica e apresentar seletividade. A adsorção de um reagente orgânico hidrofílico é favorecida apenas se as ligações dos grupos polares estão arranjadas na molécula na posição que favorece a formação do quelato. Essa formação também é favorecida com aumento do potencial iônico do íon metálico (principalmente os metais alcalinos terrosos). A parte da molécula que desempenha o efeito hidrofílico é extremamente importante em termos de tipo e estrutura. Além de “prender” e formar um composto estável na superfície mineral, os

agentes quelatos devem ser também capazes de promover hidrofobicidade. Compostos orgânicos hidrofílicos podem mudar a carga de superfície e sua composição com a adição de coletores, que formam ligações com o depressor, e esse passa a ser um reagente ativador (BADAULF e SCHUBERT, 1980).

Além da CMC e da hidroxietil celulose, Zheng e Smith (1997) avaliaram o efeito depressor de vários outros compostos como o ácido cítrico, o EDTA, sais de ácido sulfônico, dissulfônico e trissulfônico sobre a dolomita. O EDTA mostrou-se como ativador da dolomita, uma vez que a flotabilidade desse mineral foi superior a 93% entre pH 7,7 e 9,1 com o uso de oleato de sódio como coletor. Sem o uso de EDTA, a flotabilidade cai para cerca de 80%. Segundo os autores, a alta flotabilidade da dolomita com EDTA pode ser explicada pelo efeito de limpeza da superfície, que seria causado pela formação de complexos solúveis com íons cálcio e magnésio, removendo-os da superfície do mineral e favorecendo a adsorção do oleato de sódio. O menor número de grupos carboxila presentes na estrutura do ácido cítrico faz com que as ligações entre esse ácido e os sítios superficiais sejam mais fracas do que aquelas apresentadas pelo EDTA. Dessa forma, o ácido cítrico é incapaz de remover os íons da superfície, onde ocorre a formação do complexo citrato, que é insolúvel, através da fixação dos grupos carboxila, nos sítios superficiais ativos. Os resultados de flotabilidade da dolomita com oleato de sódio na dosagem de 60mg/l na ausência e na presença de ácido cítrico são apresentados na Figura 3.19.



Fonte: Modificado de Zheng e Smith, 1997.

**Figura 3.19.** Flotabilidade de dolomita na ausência e na presença de ácido cítrico.

## 4 | CONCLUSÕES

Os compostos orgânicos poliméricos são os reagentes mais usados como depressores de carbonatos. O alto peso molecular e a presença de um grande número de grupos polares como  $-OH$  e  $-COOH$  é característico de muitos polissacarídeos, como amido, celulose e dextrina, o que permite a ampla aplicação desses compostos no processamento mineral, principalmente como depressores de flotação. Entre esses compostos, o amido tem apresentado o melhor desempenho para minérios que contêm altos teores de calcita. A CMC parece ser mais eficiente na depressão de minerais portadores de magnésio, como a dolomita. Fatores de compatibilidade estérica favorecem a adsorção preferencial do amido sobre a calcita, o que não ocorre entre o amido e a dolomita. Vários outros reagentes poliméricos como os taninos, o quebracho, a goma arábica, a etil e carboximetil celulose têm sido amplamente investigados. Os mecanismos mais importantes na interação entre os polissacarídeos e os minerais são as ligações de hidrogênio e a formação de complexos metálicos superficiais. As interações de natureza eletrostática e hidrofóbica podem também contribuir para a adsorção de polissacarídeos em minerais.

O silicato de sódio pode ser um depressor efetivo para a calcita. Seu desempenho parece ser governado pelo pH da solução e módulo  $SiO_2/Na_2O$ . O efeito depressor é mais acentuado quando o módulo  $SiO_2/Na_2O$  é superior a 2, inclusive em valores de pH relativamente baixos. Os mecanismos de adsorção podem ser a atração eletrostática entre as partículas de sílica coloidal e a calcita e interações de natureza química.

Os reagentes complexantes e compostos inorgânicos têm sido amplamente pesquisados e apresentam grande potencial de

aplicação. Os agentes complexantes são capazes de formar compostos relativamente estáveis com cátions metálicos como, por exemplo, o  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  provenientes da calcita e da dolomita. Alguns complexantes como o ácido cítrico têm apresentado desempenho considerável na depressão de carbonatos.



## **5 | AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem o apoio do CNPq para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDAUF, H.; SCHUBERT, H. Correlation between Structure and Adsorption for Organic Depressants in Flotation. In: International Symposium on Fine Particles Processing, 1980, Las Vegas. SOMASUNDARAN, P. Fine Particles Processing; Fine Particles Flotation, proceedings, New York: American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. Chapter 5, vol. 1, p.767-786, 1980.
- BARROS, L. A. F.; FERREIRA, E. E.; PERES, A. E. C. Floatability of Apatite and Gangue Minerals of an Igneous Phosphate Ore. *Minerals Engineering*, vol. 21, p. 994-999, 2008.
- BULATOVIC, S. M. Use of Organic Polymers in the Flotation of Polymetallic Ores: A Review. *Minerals Engineering*, vol. 12 (4), p. 341-354, 1999.
- CASTRO, F. H. B.; HOCES, M. C. Influence of Quebracho and Sodium Silicate on Flotation of Celestite and Calcite with Sodium Oleate. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 37, p. 283-298, 1993.
- CORREIA, J. C. G.; LEAL FILHO, L. S.; SEIDL, P. R. Modelagem Molecular Aplicada à Flotação de Minerais – Estudo de Caso. *Série Tecnologia Mineral*, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.
- CUBA-CHIEM, L. T.; LE HUYNH; RALSTON, J.; BEATTIE, D. A. In Situ Particle Film ATR FTIR Spectroscopy Mechanism, pH Effects, and Adsorption Kinetics. *Langmuir*, vol. 24, p. 8036-8044, 2008.
- FERNANDES, M. L. S. Minerais Formadores de Rochas. In: SGARBI, G. N. C. *Petrografia Macroscópica das Rochas Ígneas, Sedimentares e Metamórficas*. Belo Horizonte: Editora UFMG. Parte II, capítulo 6, p. 109-163, 2007.
- FUERSTENAU, M. C.; GUTIERREZ, G.; ELGILLANI, D. A. The Influence of Sodium Silicate in Nonmetallic Flotation Systems. *Transactions of Society of Mining Engineers, AIME*, vol. 241, p. 319-323, 1968.

- GUIMARÃES, R. C.; ARAUJO, A. C.; PERES, A. E. C. Reagents in Igneous Phosphate Flotation. *Minerals Engineering*, vol. 18, p. 199-204, 2005.
- HANNA, H. S.; SOMASUNDARAN, P. Flotation of Salt-Type Minerals. *Flotation*, A. M. Gaudin Memorial volume, AIME, New York, p.197-272, 1976.
- IRANNAJAD, M.; EJTEMAEI, M.; GHARABAGHI, M. The Effect of Reagents on Selective Flotation of Smithsonite-Calcite-Quartz. *Minerals Engineering*, vol. 22, p. 766-771, 2009.
- KANGAL, O.; SIRKECI, A. A.; GÜNEY, A. Flotation Behaviour of Huntite ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ) with Anionic Collectors. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 75, p. 31-39, 2004.
- KLEIN, C.; HURLBUT JR., C. S. Systematic Mineralogy Part III: Carbonates, Nitrates, Borates, Sulfates, Chromates, Tungstates, Molybdates, Phosphates, Arsenates, and Vanadates. In: KLEIN, C.; HURLBUT JR., C. S. *Manual of Mineralogy*. After J. D. Dana. 21st ed. New York: John Wiley & Sons. Chapter 12, p.403-439, 1993.
- LEAL FILHO, L. S. Contribuição ao estudo de depressores para a flotação aniônica direta do fosfato de Jacupiranga. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 236p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), 1988.
- LEJA, J. Flotation Surfactants. In: LEJA, J. *Surface Chemistry of Froth Flotation*. New York: Plenum Press, chapter 5, p. 205-399, 1982.
- LIN, K. F.; BURDICK, C. L. Polymeric Depressants. In: SOMASUNDARAN, P.; MOUDGIL, B. M. *Reagents in Mineral Technology*. New York: Marcel Dekker. Chapter 15, p. 471-483, 1988.
- LIU, Q.; LASKOWSKI, J. S.; YE Li; WANG, D. Synergistic Effect of Mineral Surface Constituents in Dextrin Adsorption. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 42, p. 251-266, 1994.
- LIU, Q.; ZHANG, Y.; LASKOWSKI, J. S. The Adsorption of Polysaccharides onto Mineral Surfaces: an Acid/Base Interaction.

International Journal of Mineral Processing, vol. 60, p. 229-245, 2000.

MISHRA, S. K. Electrokinetic Properties and Flotation Behaviour of Apatite and Calcite in the Presence of Sodium Oleate and Sodium Metasilicate. International Journal of Mineral Processing, vol. 9, p. 59-73, 1982.

MORRIS, G. E.; FORNASIERO, D.; RALSTON, J. Polymer Depressants at the Talc–Water Interface: Adsorption Isotherm, Microflotation and Electrokinetic Studies. International Journal of Mineral Processing, vol. 67, p. 211-227, 2002.

PEARSE, M. J. An Overview of the Use of Chemical Reagents in Mineral Processing. Minerals Engineering, v. 18, p. 139-149, 2005.

PERES, A. E. C.; CORREA, M. I. Depression of Iron Oxides with Corn Starches. Minerals Engineering, vol. 9 (12), p. 1227-1234, 1996.

PRASAD, M.; MAJUMDER, A. K.; RAO, T. C. Reverse Flotation of Sedimentary Calcareous/Dolomitic Rock Phosphate Ore – An Overview. Minerals and Metallurgical Processing, v. 17 (1), p. 49-55, 2000.

RASHCHI, F.; FINCH, J. A. Polyphosphates: a Review Their Chemistry and Application with Particular Reference to Mineral Processing. Minerals Engineering, vol. 13 (10-11), p. 1019-1035, 2000.

RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J. C. G.; MONTE, M. B. M; SEIDL, P. R.; MOTHÉ, C. G.; LIMA, C. A. Cashew Gum: a New Depressor for Limestone in the Phosphate. Minerals Flotation. Minerals Engineering, vol. 16, p. 873-875, 2003.

SHIN, B. S.; CHOI, K. S. Adsorption of Sodium Metasilicate on Calcium Minerals. Minerals and Metallurgical Processing, vol.278 , p. 223-226, 1985.

SIS, H.; CHANDER; S. Reagents Used in the Flotation of Phosphate Ores: a Critical Review. Minerals Engineering, Pergamon, v.16, p.577-585, 2003.

- SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Reações e Titulações de Complexação. In: SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica; Tradução da 8ª Edição Norte-americana, São Paulo: Cengage Learning, chapter 17, p. 427-460, 2008.
- SOMASUNDARAN, P. Unpublished Data apud HANNA, H. S.; SOMASUNDARAN, P. Flotation of Salt-Type Minerals. Flotation, A. M. Gaudin Memorial volume, AIME, New York, p.197-272, 1976.
- SOMASUNDARAN, P.; EL-MOFTY, S. E. Surface Chemical Characteristics and Adsorption Properties of Calcite as One of the Gangue Minerals of Phosphate Ores. In: El-Shall, H.; Moudgil, B. M.; Wiegel, R. Beneficiation of Phosphates – Fundamentals and Technology; Section 4 - Beneficiation of Phosphates with Carbonaceous Gangues. Littleton: Society for Mining, Metallurgy and Exploration. Chapter 24, p. 239-246, 2002.
- SOMASUNDARAN, P.; OFORI AMANKONAH, J.; ANANTHAPADMABHAN, K.P. Mineral-Solution Equilibria in Sparingly Soluble Minerals Systems. Colloids and Surfaces, v. 15, p. 309-333, 1985.
- TANAKA, Y.; KATAYAMA, N.; ARAI, S. Reagents in Phosphate Flotation. In: SOMASUNDARAN, P.; MOUDGIL, B. M. Reagents in Mineral Technology. New York: Marcel Dekker. Chapter 20, p. 579-645, 1988.
- WANG, J; SOMASUNDARAN, P. Adsorption and Conformation of Carboxymethyl Cellulose at Solid-Liquid Interfaces Using Spectroscopic, AFM and Allied Techniques. Journal of Colloid and Interface Science, vol. 291, p. 75-83, 2005.
- ZHENG, X.; SMITH, R .W. Dolomite Depressants in the Flotation of Apatite and Collophane from Dolomite. Minerals Engineering, v. 10 (5), p. 537-545, 1997.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Tecnologia Mineral

**STM-88 - Avaliação da utilização de argila calcinada em pavimentação asfáltica.** Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio Cesar G. Correia e Peter Rudolf Seidl, 2007.

**STM-87 - Utilização de rejeitos de rochas ornamentais em misturas asfálticas.** Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio César Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl, Salvador Luiz Matos de Almeida e Eduardo Augusto Carvalho, 2007.

**STM-86 - Utilização do calcário do Cariri cearense como agregado mineral em pavimentação asfáltica.** Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio Cesar Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl, Jorge Barbosa Soares, Francisco Wilson Holanda Vidal e Livia Pinheiro de Araujo, 2006.

**STM-85 - Análise de modelo cinético: flotação verdadeira e arraste. Influência do tamanho das partículas.** Fernando Antunes Gaspar Pita, 2006.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.