

COMPORTAMENTO DA AMILOPECTINA NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO

Samuel Souza de Matos¹
Júnia Soares Alexandrino²
Kelly Cristina Ferreira³

Resumo

A contínua exploração mineral e consciência da limitação de jazidas de altos teores traz a necessidade da promoção de estudos objetivando a compreensão dos fenômenos envolvidos nos processos de concentração e constante aprimoramento destes procedimentos. A flotação, um dos processos utilizados para o aumento do teor do minério, que se baseia nas propriedades de superfície dos minerais, com o auxílio de reagentes é capaz de induzir a hidrofobicidade ou não em uma espécie mineral e assim promover a concentração e consequente aumento de teor. Este trabalho apresenta um estudo da amilopectina, um dos principais componentes do amido, sendo utilizado como reagente depressor na flotação reversa do minério de ferro. Uma amostra de itabirito proveniente da região de Congonhas/MG foi submetida à flotação, além da amilopectina, foi utilizado o amido de milho e um amido manipulado com maior teor de amilose para fins comparativos. Foram atingidas recuperações mássicas de até 61,7 % com dosagem de 300g/t de amilopectina contra a recuperação de 60,3 % ao aplicar a dosagem do reagente com alto teor de amilose.

Palavras-chave: Flotação; Depressor; Amilopectina; Recuperação mássica.

BEHAVIOR OF AMILOPECTIN IN THE FLOTATION OF IRON ORE

Abstract

The continuous mineral exploration and awareness of the limitation of deposits of high levels brings the necessity of the promotion of studies aiming at the understanding of the phenomena involved in the processes of concentration and constant improvement of these procedures. Flotation, one of the processes used to increase ore content, which is based on the surface properties of minerals, with the aid of reagents is able to induce hydrophobicity or not in a mineral species and thus promote concentration and consequently increase in content. This work presents a study of amylopectin, one of the main components of starch, being used as a depressor reagent in the reverse flotation of iron ore. A sample of itabirite from the Congonhas/MG region was subjected to flotation, in addition to amylopectin, maize starch and a manipulated starch with higher amylose content were used for comparative purposes. Mass recoveries from up to 61,7% were achieved with 300g/t of amylopectin against recovery of 60,3% when applying the reagent with high amylose content.

Key words: Flotation; Depressant; Amilopectin; Mass recovery.

¹Graduado, Engenharia de Minas, Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

²Doutorado, Tecnologia mineral, Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de

Recursos Naturais, ciência e tecnologia, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil

³ *Mestrado, Engenharia metalúrgica, materiais e mineração, Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de Recursos Naturais, ciência e tecnologia, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil*

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos os minérios a serem explorados estão cada vez mais pobres, como consequência, cria-se uma maior demanda para a utilização de métodos de concentração como a flotação. O método em questão é muito visado, já que para a concentração do minério pobre (baixo teor), faz-se necessário uma maior cominuição para liberação do mineral, o que irá gerar finos, e o processo mais flexível conhecido para esta situação é a flotação.

Dentre os reagentes necessários para a realização do processo de flotação, destaca-se a utilização de depressores. Os depressores são compostos responsáveis por aumentar a interação entre a superfície do mineral desejado e as moléculas de água, eles irão tornar o material hidrofílico, fazendo com que o material seja depositado no fundo da célula ou coluna de flotação. Em contrapartida, as substâncias hidrofóbicas irão se aderir à bolha de ar, por serem apolares. Os depressores podem ser: orgânicos, inorgânicos, naturais ou sintéticos (BALTAR, 2010) [1].

Os amidos, depressores orgânicos amplamente usados na flotação, têm uma elevada diversidade de distribuição dos seus principais compostos: amilopectina e amilose (PINTO, 1989) [2].

Porém, mesmo na intenção de deprimir apenas um mineral presente na polpa, demais minerais (quartzo, goethita, caulinita, calcita, apatita,....) podem ser deprimidos em taxas diferentes, uma vez que a seletividade dos reagentes não é perfeita. Essa condição torna a recuperação metalúrgica ineficiente, fazendo com que o mineral útil (concentrado) seja ainda descartado juntamente com o material indesejado (rejeito), também prejudicando a recuperação em massa do concentrado.

O trabalho em questão envolveu estudos teóricos e experimentais de dois reagentes com diferentes teores de amilopectina, aplicou-os na flotação do minério de ferro.

1.1 Flotação

Greet et al., (2004) apud Maria (2009) [3] determina a flotação de minérios como um processo de separação entre partículas sólidas que se baseia nas características das superfícies do mineral numa polpa e controla a hidrofobicidade dos minerais através de reagentes químicos. Para o intuito de complemento, no livro *Tratamentos de minérios*, Chaves, Filho e Braga (2010) [4] denominam flotação como um processo comum e de grande importância, onde, ainda em meio aquoso, os minerais hidrofobizados são aderidos às bolhas de ar e coletados no topo após formarem uma espuma, e os minerais hidrofílicos permanecem com a água sendo coletados posteriormente com o fluxo.

Pode-se avaliar a hidrofobicidade de acordo com o ângulo em contato com as fases líquida, sólida e gasosa, na Figura 1, valores elevados de θ determina uma superfície muito hidrofóbica por estabelecer maior contato com a água, e para valores baixos do mesmo ângulo, admite-se uma superfície com baixo grau de hidrofobicidade (MONTE; PEREZ, 2010) [5].

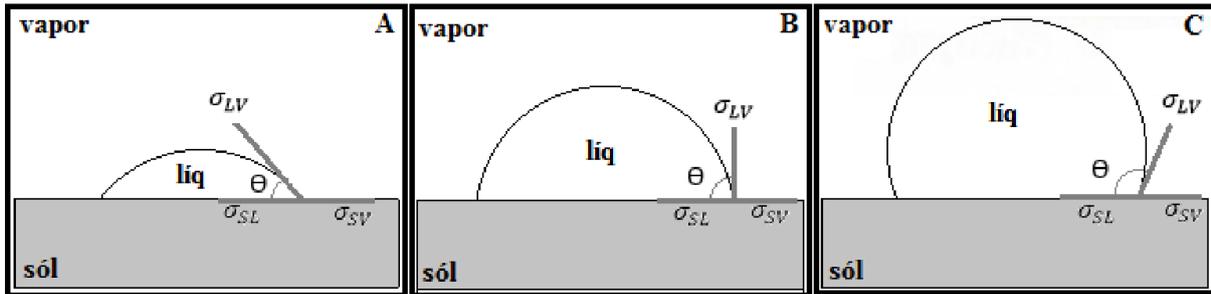


Figura 1 - Representação esquemática do ângulo de contato entre as fases líquida, sólida e gasosa em equilíbrio.

Fonte: Matos (2017)

1.2 Mecanismos de formação de cargas

Shaw (1975) apud Lopes (2009) [6] estabelece que após o processo de moagem, as novas superfícies minerais formadas apresentam alta energia livre, resultantes do rompimento de ligações químicas, dissolução ou adsorção de componentes químicos, reações de hidrólise, adsorção de íons H^+ e OH^- dentre outros. Devido às cargas formadas na superfície do mineral, ao ser inserido num meio aquoso (polar) iria modificar a distribuição de íons presentes na solução.

Fuerstenau et al (1985) apud Andrade (2010) [7] explica a adsorção dos íons H^+ e OH^- , exemplificada na Figura 2, e a dissociação da superfície do silanol ($SiO.H$) que causa a desprotonação, libera o íon hidrogênio na solução e gera uma carga negativa na superfície do silicato.

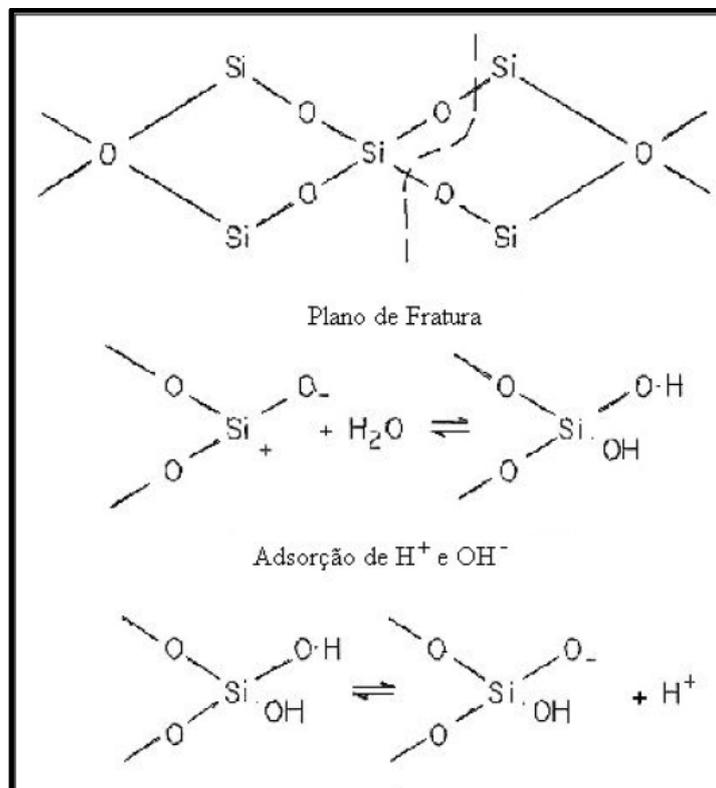


Figura 2 – Mecanismo de geração de carga na superfície do quartzo
Fonte: Andrade (2010)

1.3 Reagentes na flotação

1.3.1 Coletores

Os coletores são compostos heteropolares, ou seja, possuem uma parte polar e outra apolar e por este motivo são classificados como surfactantes. A parte polar se adsorve na superfície do mineral enquanto a parte apolar (cadeia hidrocarbônica) promove a afinidade com o ar, fazendo com que a partícula adsorvida pelo reagente se torne hidrofóbica, como mostra a Figura 3 (BALTAR, 2010) [1].

O oleato de sódio adsorve especificamente sobre a superfície da apatita, hematita, fluorita e calcita; já adsorção de aminas sobre a superfície da sílica é não específica (TANAKA; KATAYAMA; ARAI, 1987apud LELIS, 2014) [8].

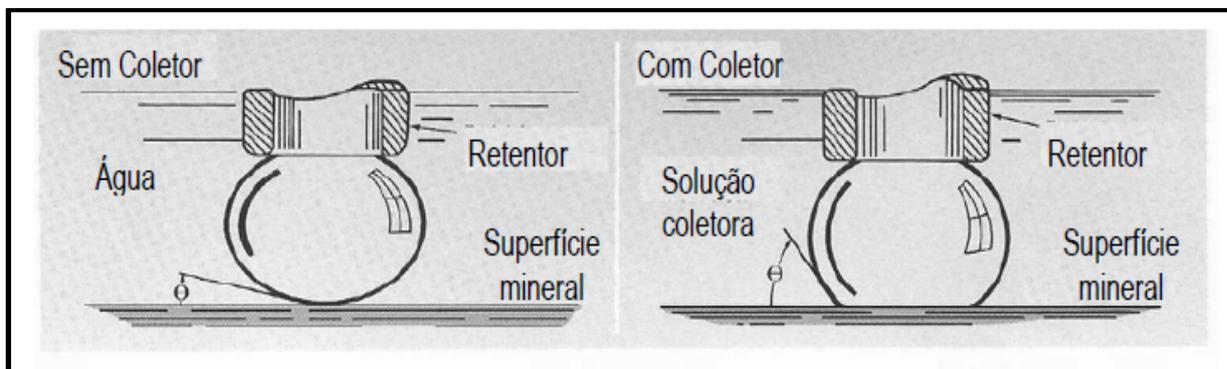


Figura 3 - Contato bolha de ar/superfície do material em um sistema com e sem coletor.

Fonte: Braga, Chaves e Filho (2010)

1.3.2 Espumantes

A necessidade de diminuição da tensão superficial na interface líquido-gás, causadora da quebra de espumas em um ambiente líquido puro, torna-se indispensável o uso de espumantes na polpa com a finalidade de baixar essa tensão promovendo uma estabilidade à bolha. Os espumantes também são surfactantes, apresenta no grupo polar composto iônico ou neutro(BALTAR, 2010) [1].

1.3.3 Modificadores

Para Baltar (2010) [1], os modificadores estão compreendidos entre: depressores, ativadores, reguladores de pH, dispersantes dentre outros,e cumprem a função de favorecer ou inibir a adsorção do coletor (depressor), ajustar o pH (reguladores de pH), promover a dispersão de partículas (dispersantes) etc.

1.4 Amido

O amido é classificado como regulador (modificador) orgânico, possui semelhança com os coletores, mas se difere por ser polar em toda sua cadeia, quando adsorvido numa partícula a torna hidrofílica já que seus grupos polares também estão expostos ao meio aquoso (RAO 2004) apud (Andrade 2010) [7].

Andrade (2010) [7] cita (Bulatovic, 1999) ao definir o amido como glicopiranose, formado por dois componentes principais: amilose e amilopectina.

1.4.1 Adsorção do amido na hematita

Matos (2017) [9] cita alguns autores antes de exemplificar a adsorção de polissacarídeos na superfície mineral, são eles (Pinto et al., 1992, Liu et al., 2000, Pavlovic e Brandão, 2003, Filippov et al., 2013, Aguiar, 2014). Logo após descreve cinco mecanismos distintos para a adsorção:

- Ligação de hidrogênio: interação entre grupos hidroxila do mineral e do amido, destacando que o efeito dessa ligação pode ser mais efetivo em polímeros de médio e grande peso molecular.
- Interação eletrostática: interação baseada na diferença de polaridade do polímero e da superfície mineral.
- Adsorção química: resultado da complexação entre os íons metálicos presentes na superfície do mineral e os grupos polares do polímero. Essa adsorção segundo o autor, é entendido como o principal mecanismo de adsorção entre a superfície do mineral e os polissacarídeos.
- Formação de sais: íons metálicos multivalente atuando como uma ponte para adsorção do polissacarídeo no mineral.
- Ligações hidrofóbicas: mecanismo exclusivo da adsorção da dextrina em superfícies hidrofóbicas.

Turrer (2007) [10] cita (Balajee; Iwasaki, 1969; LIMA, 1997) ao dizer que o amido adsorve na superfície da hematita através de ligações de hidrogênio pelos grupos alcoólicos (COH), e também através da ligação do grupo metanol com os grupos FeOH da superfície da hematita, reforçando o item “a”.

Em concordância com os autores citados, os resultados espectroscópicos realizados por Weissenborn et al. (1996) [11] com o objetivo de propor um mecanismo de adsorção de amido na hematita, indicaram a formação de um complexo na superfície mineral, reforçando o item “c”. A Figura 4 ilustra esses dois tipos de ligações destacados para a adsorção do amido na superfície da hematita.

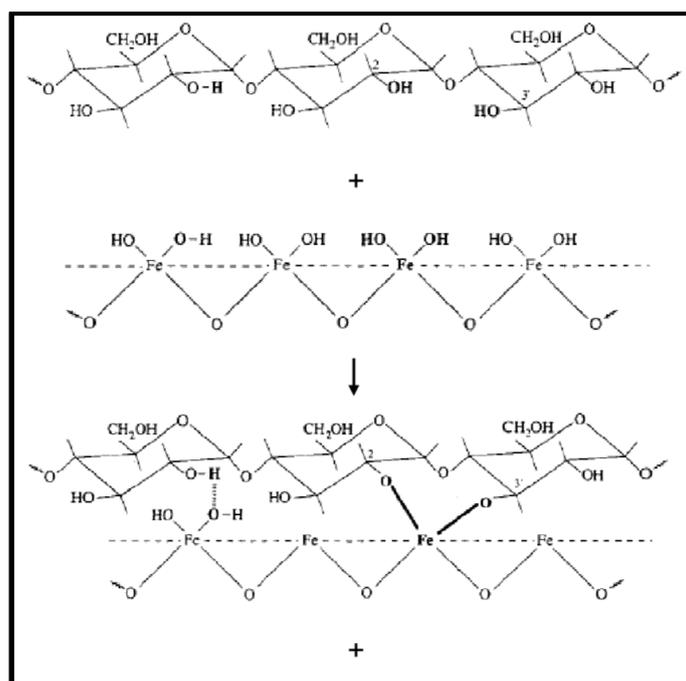


Figura 4 - Esquema de reação para os mecanismos de complexação de superfície e ligação de hidrogênio

Fonte: Weissenborn et al. (1996).

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

Todo preparo da amostra para os testes de flotação foi realizado no laboratório da UEMG – Unidade de João Monlevade.

2.1.1 Preparação da amostra

Antes de submeter o material à flotação, as seguintes etapas foram realizadas para a preparação das amostras:

- a) Britagem: Para adequar à moagem;
- b) Moagem: Objetivando o material passante de #100;
- c) Peneiramento: Recolhido todo o material classificado abaixo de #100;
- d) Deslamagem: Realizada em balde de 65 litros, com sistema ajustado a pH 10,5 para decantação e espera de 10 min para a coleta do overflow (processo repetido seis vezes);
- e) Secagem: Secagem do material em estufa;
- f) Homogeneização: Material homogeneizado e quarteado para atender à flotação e análise química.

2.1.2 Flotação

Foram realizados ensaios de flotação com dosagens de 300, 400, 500, 600, 700 e 800 g/t para os reagentes WaxyMaize e Ziam pó e testes com dosagens de 300, 400 e 500 g/t com amido de milho. Testes realizados na máquina de flotação mostrada na Figura 5.



Figura 5 – Máquina de flotação CDC
Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

Para todos ensaios de flotação foi adotado o seguinte padrão: adicionar 2 Kg do material e completar com 3,5 litros de água alcançando o limite da célula de 4 litros. Adição do depressor com diluição em 1% e ajuste do pH em 10,5. Seis minutos e vinte segundos após, adicionou-se coletor com diluição de 1%, após um minuto foi liberado o are iniciada a coleta durante 4 minutos, após 2 minutos de coleta foi adicionado água até observar o início de transbordamento do líquido.

2.1.3 Reagentes

O reagente WaxyMaize, Figura 6, é um suplemento composto apenas por amido ceroso, usado com função de depressor, representando quase 100% de amilopectina.



Figura 6 – Waxy Maize.
Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

O reagente Ziam Pó, Figura 7, é um manipulado do amido composto por 80-85% de amilose, e segundo o fornecedor, usado para complemento de alimentação para o emagrecimento, e como depressor nos testes de flotação.

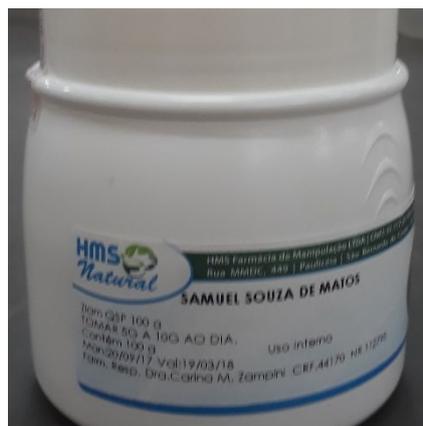


Figura 7 – Ziam Pó
Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

O coletor utilizado para todos testes foi a eteramina. Todos reagentes com diluição em 1% e razão 5:1 de depressor/NaOH na preparação dos reagentes depressores.

2.1.4 Picnometria

Foram realizados teste de picnometria em todos concentrados para determinação da densidade com o auxílio de um picnômetro de 50 ml. A partir dos resultados de densidade obtidos da equação (1), e recuperação em massa (equação 2) foi possível analisar a recuperação metalúrgica indicativa (equação 3).

$$D = m/(p1-p2) \quad (1)$$

$$RM = (Dc \times Rm)/Da \quad (2)$$

$$R_m = (M_c/M_a) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

RM = recuperação metalúrgica

R_m = recuperação em massa

D_c = densidade do concentrado

D_a = densidade da alimentação na máquina de flotação

M_c = massa do concentrado

M_a = massa da alimentação

D = densidade

m = massa da amostra

p₁ = massa do picnômetro + água

p₂ = massa do picnômetro + amostra + água

2.1.5 Coleta para análise química

Coleta para análise química foi feita posterior à deslamagem, para averiguar o teor de alimentação da flotação. Outra coleta foi realizada nos concentrados com dosagem de 400g/t dos depressores WaxyMaize e Ziam Pó. Não foi possível as análises químicas de todos os concentrados, então, foram escolhidos os concentrados com a dosagem que mais se aproxima das usadas em mineradoras (400g/t) para serem enviados à análise química. Todas análises químicas foram realizadas na ArcelorMittal Monlevade usando fluorescência de RX - BRUKER S8 Lion.

2.2 Resultados

2.2.1 Curva granulométrica

A alimentação utilizada para os ensaios de flotação encontrava-se com um material 100% passante de 0,150mm e 32,9% abaixo de 0,044mm, demais valores da curva granulométrica são encontrados na Tabela I. Não foi realizada a análise de grau de liberação, porém os resultados são comparativos entre os reagentes.

Tabela I – Resultados da análise granulométrica.

Abertura (mm)	Massa (g)	% Retido simples	% Retido acumulado	% Passante
0,150	0,0	0,0	0,0	100,0
0,125	5,7	12,5	12,5	87,5
0,088	8,0	17,6	30,1	69,9
0,074	4,2	9,3	39,3	60,7
0,044	12,6	27,8	67,1	32,9
-0,044	14,9	32,9	100,0	0,0

Fonte: Pesquisa aplicada (2017)

2.2.2 Picnometria

Sabe-se que o peso específico do minério de ferro é diretamente proporcional ao teor de ferro no minério, portanto, foi realizada a picnometria para comparações das densidades entre os concentrados. Mesmo com a falta do valor do teor para cada concentrado, sabemos que quanto maior o peso específico, maior o teor de ferro na amostra. Os resultados da picnometria se encontram na Tabela II.

Tabela II– Densidade do concentrado em g/cm³ frente à dosagem de depressor

Picnometria						
Dosagem (g/t)	Reagente					
	Wax Maize			Ziam pó		
	Teste 1	Teste 2	Média	Teste 1	Teste 2	Média
300	4,66	4,62	4,64	4,67	4,68	4,68
400	4,70	4,66	4,68	4,79	4,76	4,78
500	4,70	4,75	4,72	4,77	4,79	4,78
600	4,72	4,68	4,70	4,79	4,75	4,77
700	4,72	4,69	4,70	4,76	4,76	4,76

Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

2.2.3 Recuperação mássica e metalúrgica

Os Gráficos 1 e 2 representam os resultados das recuperações mássica e metalúrgica (indicativa) respectivamente. Não foi possível realizar as análises químicas de todos os concentrados por falta de recursos, portanto, foi necessário usar uma fórmula indicativa (baseada na densidade do concentrado) para a realização das recuperações metalúrgicas. As fórmulas não são absolutas, servem apenas para se observar o comportamento das recuperações, não servindo como resultado absoluto.

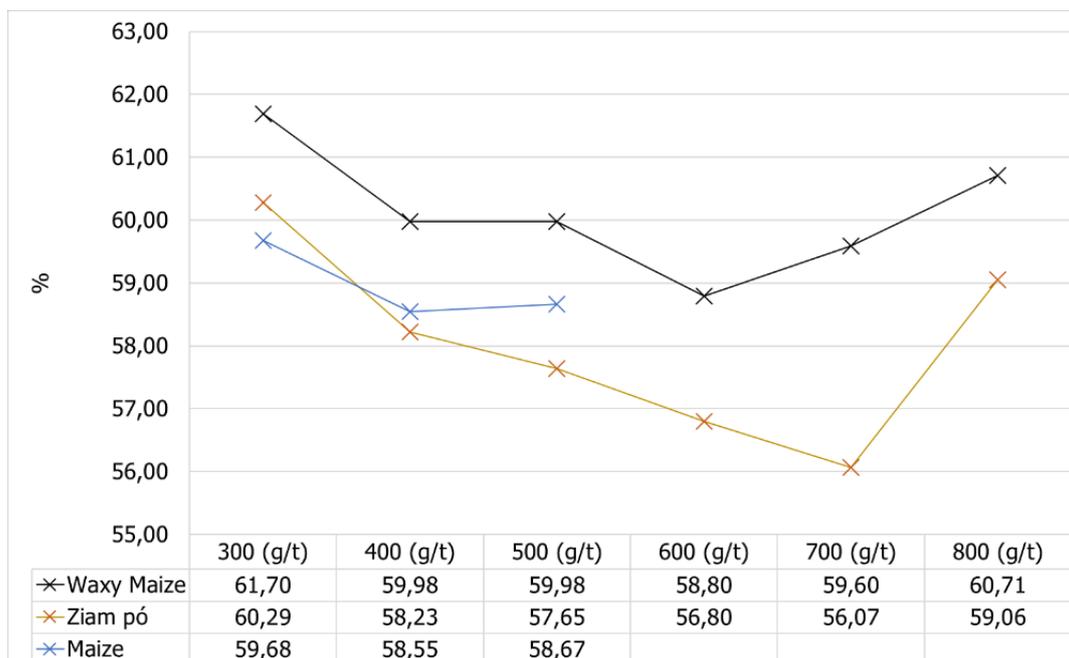


Gráfico 1 – Recuperação mássica dos concentrados.

Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

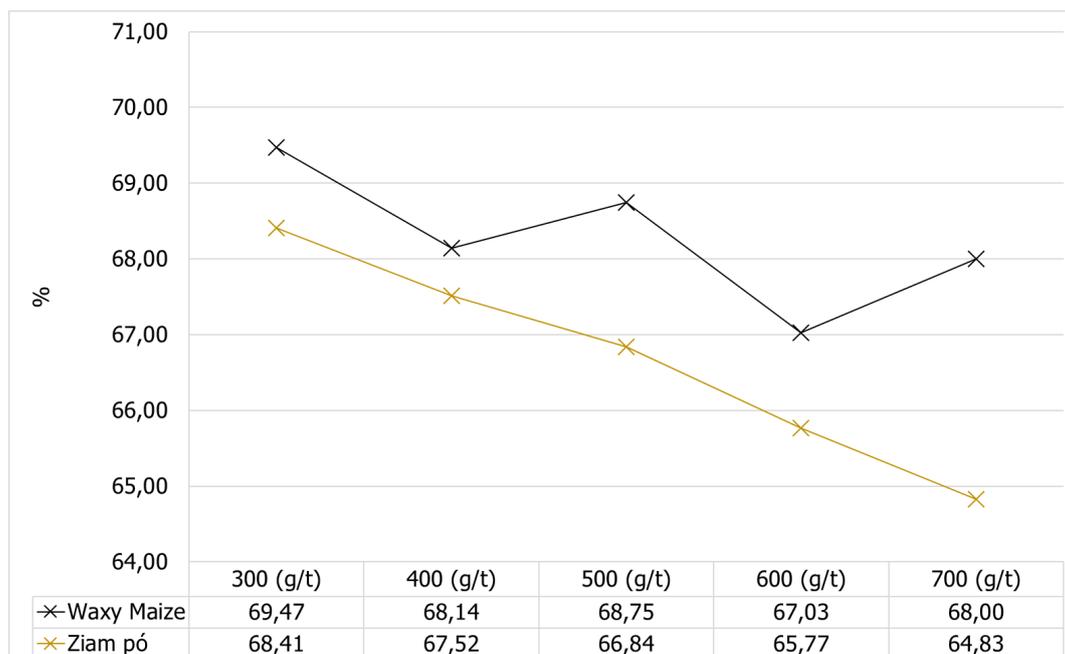


Gráfico 2 – Valores indicativos de recuperação metalúrgica dos concentrados.

Fonte: Pesquisa aplicada (2017).

2.2.4 Análises químicas

Resultados da análise química da alimentação da flotação é apresentado na Tabela III.

Tabela III - Resultado de análise química do material alimentado na flotação

Identificação	%SiO ₂	%Fe	%Mn	%P	%Al ₂ O ₃	%CaO
Itabirito Alimentação	33,91	45,6	0,06	0,02	0,25	0,01

Fonte: Laboratório de análises químicas ArcelorMittal Monlevade (fluorescência de raios X), 2017.

Resultados obtidos das análises químicas dos concentrados com os reagentes Ziam Pó e WaxyMaize estão representados nas Tabelas IV e V respectivamente.

Tabela IV– Resultado de análise química do concentrado dosado com 400g/t de Ziam Pó

Identificação	%SiO ₂	%Fe	%Mn	%P	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO
Concentrado AMIL 400	7,19	64,40	0,06	0,03	0,24	0,02	0,10
	7,18	64,40	0,06	0,03	0,23	0,02	0,10
Média	7,19	64,40	0,06	0,03	0,24	0,02	0,10

Fonte: Laboratório de análises químicas ArcelorMittal Monlevade (fluorescência de raios X), 2017

Tabela V – Resultado de análise química do concentrado dosado com 400g/t de WaxyMaize

Identificação	%SiO ₂	%Fe	%Mn	%P	%Al ₂ O ₃	%CaO	%MgO
Concentrado AMPTN 400	7,18	64,30	0,07	0,03	0,25	0,04	0,10
	7,21	64,30	0,07	0,03	0,23	0,04	0,10

Média	7,20	64,30	0,07	0,03	0,24	0,04	0,10
-------	------	-------	------	------	------	------	------

Fonte: Laboratório de análises químicas ArcelorMittal Monlevade, 2017.

2.3 Discussão

Através dos resultados de densidade obtidos da picnometria, e partindo da premissa que o concentrado de maior densidade, obtém também, maior teor de ferro, observa-se que em todas as dosagens o reagente com maior teor de amilose (Ziam Pó) conseguiu pesos específicos ligeiramente mais altos. Apesar deste comportamento se estabelecer em todas dosagens, a diferença da densidade pode ser considerada desprezível em alguns casos.

As análises químicas reforçam o que foi percebido na picnometria, com diferença de apenas 0,1% (favorecendo o composto de alto teor de amilose) no teor de ferro entre os concentrados analisados.

Pela análise dos resultados da recuperação mássica, percebe-se que o teor de amilopectina é diretamente proporcional à recuperação em massa do concentrado, já que a ordem crescente para o teor de amilopectina nos reagentes é: Ziam Pó, amido de milho e WaxyMaize.

Matos (2017) [9] afirma que a ligação de hidrogênio é mais significativa em polímeros de médio e grande peso molecular, logo, surge o questionamento se a ligação de hidrogênio poderia ser a causa da diferença dos valores de recuperação mássica.

De acordo com Matos (2017) [9], ocorrem duas ligações importantes na adsorção entre o amido e a hematita (ligação de hidrogênio e adsorção química), a amilopectina é mais eficaz para realizar ligações de hidrogênio que a amilose (polissacarídeo de baixo peso molecular), podendo ser a causa da maior recuperação mássica. Porém, pelo fato do quartzo possuir camada hidroxilizada estável (TURRER, 2007) [10], as ligações de hidrogênio poderiam estar reagindo também com a superfície do quartzo e deprimindo este mineral, não sendo possível um maior teor no concentrado com dosagem de amilopectina.

3 CONCLUSÃO

Através dos processos utilizados e condições descritas, observa-se um comportamento padrão, onde que, para um maior teor de amilopectina no reagente depressor utilizado, maior é a recuperação mássica.

Devido a esta maior recuperação mássica, a recuperação metalúrgica calculada por valores indicativos do teor de ferro no concentrado, mostrou-se ter valores mais elevados com o uso do reagente de alto teor de amilopectina, criando a possibilidade do uso deste reagente como depressor na flotação reversa do minério de ferro.

REFERÊNCIAS

- [1] BALTAR, Carlos Adolpho Magalhães. Flotação no tratamento de minérios. 2. ed. Belo Horizonte: Universitária Ufpe, 2010. 238 p.
- [2] PINTO, Cláudio Lúcio Lopes. Efeito do amido, amilose e amilopectina na depressão de oxi-minerais. 1989. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1989.
- [3] MARIA, Robert Cruzoaldo. Otimização Técnico-Econômica de circuitos de flotação. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- [4] CHAVES, Arthur Pinto; L. FILHO, Laurindo de Salles; BRAGA, Paulo Fernando A.. Flotação. In: BRASIL. ADÃO BENVINDO DA LUZ. (Ed.). Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: Cetem-centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 11.p. 465-516.
- [5] MONTE, Marisa Bezerra de Mello; PEREZ, Antônio Eduardo Clark. Química de superfície na flotação. In: BRASIL. Adão Benvindo da Luz. (Ed.). Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 10. p. 399-456.
- [6] LOPES, Gilmara Mendonça. Flotação direta do minério de ferro. 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- [7] ANDRADE, Emily Mayer de. Estudo de depressores na flotação de finos de minério de manganês com oleato de sódio. 2010. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
- [8] LELIS, Deisiane Ferreira. Influência de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Mn^{2+} na flotação reversa de minério de ferro. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mineral, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.
- [9] MATOS, VandersonEney de. Seletividade de reagentes na flotação reversa de minério de ferro. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- [10] TURRER, Henrique Dias Gatti. Polímeros depressores na flotação de minério de ferro. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- [11] WEISSENBORN, Peter K. Behaviour of amylopectin and amylose components of starch in the selective flocculation of ultrafine iron ore. International Journal Of Mineral Processing. Austrália, p. 197-211. ago. 1996.