



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



JÉSSICA GOULART BELTRÃO

**DESEMPENHO DO LODO DE MANDIOCA E DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO EM ESCALA DE BANCADA –
ESTUDO PRELIMINAR**

OURO PRETO
2019

JÉSSICA GOULART BELTRÃO

**DESEMPENHO DO LODO DE MANDIOCA E DO BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO EM ESCALA DE BANCADA –
ESTUDO PRELIMINAR**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Tratamento de minérios

Orientadora: Prof^a Dr^a Otávia Martins Silva
Rodrigues

Coorientadora: Ma. Tatiana Fernandes Marins

OURO PRETO
2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B453d Beltrão, Jessica Goulart.

Desempenho do lodo de mandioca e do bagaço de cana-de-açúcar na flotação de minério de ferro em escala de bancada [manuscrito]: estudo preliminar. / Jessica Goulart Beltrão. - 2019.

45 f.

Orientadora: Profa. Dra. Otávia Martins Silva Rodrigues.

Coorientadora: Ma. Tatiana Fernandes Marins.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Flotação. 2. Minérios de ferro. 3. Hematita. I. Marins, Tatiana Fernandes. II. Rodrigues, Otávia Martins Silva. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.765

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

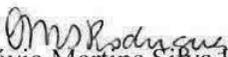
Aos 17 dias do mês de dezembro de 2019, às 14h30min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas DEMIN/EM, no Campus Universitário Morro do Cruzeiro, foi realizada a defesa da Monografia de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“DESEMPENHO DO LODO DE MANDIOCA E DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO EM ESCALA DE BANCADA - ESTUDO PRELIMINAR”**, pela aluna **Jéssica Goulart Beltrão**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues (orientadora)**, **M. Sc. Tatiana Fernandes Marins (Co-orientadora)**, **Prof.^a Dr.^a Francielle Câmara Nogueira** e **M. Sc. Tamiris Seerig**.

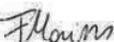
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou pela aprovação da candidata, com a nota 9,0, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

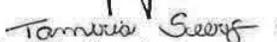
Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pela discente.

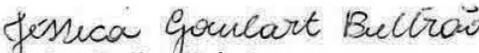
Ouro Preto, 17 de dezembro de 2019.


Prof.^a Dr.^a Otávia Martins Silva Rodrigues
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientadora


M. Sc. Tatiana Fernandes Marins
Membro da Comissão Avaliadora e Co-orientadora


Prof.^a Dr.^a Francielle Câmara Nogueira
Membro da Comissão Avaliadora


M. Sc. Tamiris Seerig
Membro da Comissão Avaliadora


Jéssica Goulart Beltrão


Prof. M.Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

Dedico este trabalho para os meus pais, Luiz Cláudio e Rosane, pelo apoio incondicional. Obrigada por sonharem junto comigo e por estarem sempre presente, apesar da distância.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luiz Cláudio e Rosane, todo amor e incentivo.

Ao meu irmão, Tales, por sempre estar presente e me fazer sentir que sou capaz de vencer os vários desafios.

Ao André, por todo amor, por querer, a todo instante, o melhor para mim e por me incentivar a buscar as melhores oportunidades.

Aos meus padrinhos, Zezé e Suely, por vibrarem com minhas conquistas.

Ao meu avô, José Rodrigues, por, com sua simplicidade, ficar sempre feliz com minhas pequenas conquistas.

À minha avó, Terezinha (In Memoriam), por falar de mim com orgulho.

Às famílias Goulart e Beltrão, pelas orações e pelo carinho que me concretizam a doce sensação de família.

À minha orientadora, Professora Dr^a Otávia Martins Silva Rodrigues, por todo ensinamento e sua sábia orientação.

À minha amiga e coorientadora, Tatiana Marins, por todo conhecimento compartilhado e por toda paciência e prontidão para me ajudar sempre que precisei.

Aos meus amigos da Engenharia de Minas 13.2, Afrânio, Leonardo, Pedro Irene e Tiago, o fiel companheirismo.

À República Tan Tan, em especial, Rebeca, Giovanna, Yasmin, Bruna Furtado, Camila Freitas e Bruna Malovini, que estiveram presentes no momento da escrita deste trabalho e me fizeram sorrir nos momentos em que precisava desse incentivo.

Agradeço a iluminação recebida de Deus e de meus amigos espirituais.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A necessidade da busca por rotas de beneficiamento de minérios mais eficientes aumenta a cada dia, devido ao esgotamento de jazidas de alto teor e às exigências de mercado. Dessa forma, busca-se constantemente a redução nos custos de produção de tais minérios. No processo de flotação de minério de ferro, normalmente, utiliza-se o coletor e depressor. O amido de milho é comumente empregado como depressor da hematita, permitindo a flotação do quartzo pela ação do coletor, e consequente separação desses dois minerais. O presente trabalho tem como objetivo analisar o uso de amido proveniente de resíduos da indústria alimentícia, já que muito se questiona sobre o uso do amido de milho por razões sociais e ambientais. O lodo de mandioca e o bagaço da cana de açúcar foram utilizados como fonte para a gelatinização (solubilização) do amido. Este processo foi realizado por meio da adição de NaOH em solução. As soluções preparadas com o amido de milho e os dois resíduos foram utilizadas nas dosagens de 500, 750 e 1000 g/t afim de avaliar a eficiência dos mesmos na depressão da hematita. O minério utilizado era constituído majoritariamente pelos minerais quartzo e hematita. A amostra foi cedida pela empresa Vale S.A, proveniente da usina de Conceição I. Através resultados obtidos por meio dos experimentos de flotação em escala de bancada, foi constatado que, de modo geral, o amido gelatinizado com o NaOH na dosagem de 500 g/t foi o que apresentou os melhores resultados para os três depressores. Analisando a recuperação mássica, metalúrgica e os teores do afundado e flotado, concluiu-se que o amido do lodo de mandioca foi o que obteve os melhores resultados na dosagem de 750 g/t, já que obteve 59,30% de recuperação mássica, 78,87% de recuperação metalúrgica e o teor foi o que apresentou os maiores índices de sílica flotada (91,40%) e ferro no afundado (60,48%).

Palavras chave: Flotação, Depressores alternativos, Minério de Ferro, Hematita, Resíduo alimentar.

ABSTRACT

The need to search for more efficient ore beneficiation routes is increased every day due to the depletion of high grade deposits and market demands. Thus, the constantly seek to reduce the production costs of such ores is very important. In the iron ore flotation process, collector and depressor are normally used. Corn starch is commonly used as a hematite depressant, allowing quartz flotation by collector action, and consequent separation of these two minerals. This paper aims to analyze the use of starch from food industry residues, since the use of cornstarch is questionable for social and environmental reasons. Cassava sludge and sugarcane bagasse were used as a source for starch gelatinization (solubilization). This process was accomplished by adding NaOH in solution. The solutions prepared with corn starch and the two residues were used at dosages of 500, 750 and 1000 g/t in order to evaluate their efficiency in hematite depression. The ore used was mainly composed of quartz and hematite. The sample was supplied by the company Vale SA, from the Conceição I plant. The results obtained through bench scale flotation experiments, showed that, in general, the gelatinized starch with NaOH at a dosage of 500 g/t presented the best results for the three depressants. Analyzing the mass recovery, metallurgical and the contents of the sunken and flotated, it was concluded that the cassava sludge starch had the best results in the dosage of 750 g / t, since it obtained 59.30% of mass recovery, 78.87% of metallurgical recovery and the content presented the highest indices of floated silica (91.40%) and sunken iron (60.48%).

Keywords: Flotation, Alternative Depressors, Iron Ore, Hematite, Food Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Recuperação de hematita e quartzo no flotado de acordo com a concentração de DDA e condicionamento com 40 mg L ⁻¹ em pH 10,2.	20
Figura 2: Flotação da hematita em diferentes concentrações de amido, pH 7,4; concentração de DDA 48g/t.	22
Figura 3: Recuperação do mineral hematita através de flotação reversa de minério de ferro.	23
Figura 4: Influência da variação da concentração de NaOH na preparação do bagaço da cana-de-açúcar na flotabilidade da hematita.	24
Figura 5: Flotabilidade da hematita utilizando coletor e amido do bagaço da cana-de-açúcar com diferentes preparações.	25
Figura 6: Comparação da flotabilidade da hematita na presença de coletor e amido de milho e bagaço da cana.	26
Figura 7: Gráfico de Distribuição Granulométrica.	31
Figura 8: Resultado da interpretação dos dados da difração de raio-x.	32
Figura 9: Recuperação metalúrgica e recuperação mássica.	34
Figura 10: Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.	35
Figura 11: Recuperação metalúrgica e recuperação mássica.	36
Figura 12 - Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.	37
Figura 13: Recuperação mássica e metalúrgica do ferro e da sílica.	38
Figura 14: Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.	38
Figura 15: Espuma formada na polpa sem adição de coletor (dosagem 1000 g/t). ...	39
Figura 16: Espuma caída na bandeja de coleta do flotado.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Série Tyler apresentada no livro Tratamento de Minérios – Práticas Laboratoriais.....	27
Tabela 2: Representação da dosagem e volume de coletor e depressor utilizados na flotação.....	30
Tabela 3: Massa retida em cada peneira.	31
Tabela 4: Densidade e massa dos produtos do flotado e afundado de cada teste de flotação em bancada.	33

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVO	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Minério de Ferro	16
3.2	Flotação.....	16
3.3	Reagentes	17
3.3.1	Coletor.....	17
3.3.2	Depressor.....	18
3.4	Depressores alternativos ao amido de milho.....	19
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1	Amostra	27
4.1.1	Preparação da amostra de minério	27
4.1.2	Caracterização da amostra de minério.....	27
4.2	Preparação dos resíduos	28
4.3	Preparação dos reagentes	28
4.4	Preparação do coletor	29
4.5	Testes de flotação em bancada	29
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1	Caracterização mineralógica	31
5.1.1	Análise Granulométrica – Peneiramento	31
5.1.2	Difração de Raios-X	32
5.1.3	Picnometria	32
5.2	Flotação em escala de bancada.....	34
5.2.1	Amido de milho.....	34
5.2.2	Lodo de mandioca	36
5.2.3	Bagaço de cana-de-açúcar	37

6. CONCLUSÃO	41
SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

O minério de ferro é importante para a indústria de base, pois ele é o principal componente utilizado para a produção do aço. Por isso a demanda por esse minério está diretamente ligada à demanda mundial de aço bruto (USGS, 2017).

A exploração de minérios de ferro acontece, no Brasil, desde o século 16 (LOPES, 2016) e, conseqüentemente, as maiores reservas já não possuem mais minério com alto teor de ferro. Apesar de as maiores reservas (local onde estão armazenados os recursos minerais) estarem localizadas em Minas Gerais, no Quadrilátero Ferrífero, a maior ocorrência do mineral no mundo está localizada no Pará, na Serra dos Carajás. Além dessas regiões, no Maciço do Urucum, localizado no Estado do Mato Grosso do Sul, também é explorado esse recurso natural. Atualmente, muito do que se considerava estéril está sendo lavrado e beneficiado graças ao valor de mercado e à prática de blendagem. Por isso a necessidade de rotas de beneficiamento eficiente se faz tão presente nos dias de hoje.

A flotação é um processo de concentração de minérios muito utilizada na indústria mineral devido à sua ampla aplicabilidade. O processo utiliza a diferença das características superficiais dos minerais para realizar o processo de separação. Por esse motivo a técnica apresenta maior eficiência, quando comparada a outros métodos, na separação de finos. Assim, a flotação é o principal método de concentração de minérios com granulometria abaixo de 150 μ m. Normalmente, são utilizados dois reagentes, o coletor e o depressor. O coletor tem a finalidade de tornar a superfície do mineral hidrofóbica, enquanto o depressor impede a ação do coletor nessa superfície. Dessa forma, o mineral hidrofóbico é carregado pelas bolhas e forma o flotado. Já o mineral que possui a superfície hidrofílica forma o afundado.

O amido de milho é comumente utilizado na indústria como o agente depressor dos minerais de ferro. Ele interage com a superfície mineral impedindo a hidrofobização pela amina (agente coletor). Esse composto, porém, é também um importante componente na indústria alimentícia. Por isso, a busca por reagentes alternativos eficientes é de extrema necessidade no atual cenário da indústria mineral.

Além do aspecto econômico, o aspecto ambiental também é de fundamental importância para a indústria mineral. A sustentabilidade é uma preocupação crescente e tem se tornado, cada vez mais, presente, nos dias atuais, posto que os recursos naturais estão continuamente sendo ameaçados em consequência da ação humana.

De forma geral, ser sustentável, consiste em explorar os recursos naturais de maneira consciente e sustentável, pensando nas futuras gerações e nos impactos que podem ser causados nos dias atuais. Por isso a busca por métodos mais eficientes e que causam menos impacto ambiental e social é tão importante.

A procura por um depressor alternativo deve-se ao questionamento da utilização do milho pela indústria mineral, uma vez que ele é também um produto alimentício, além de ser utilizado como matriz energética na produção de etanol, ser fonte de alimentação animal e por ser uma commodity exportável.

Segundo o relatório emitido pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), em 2018, a previsão para o consumo interno de milho no Brasil para os anos de 2018 e 2019 é de 62,5 milhões de toneladas.

Além da questão do consumo do milho, pode ser citado o aspecto ambiental. Quando o amido é extraído do milho, para realizar a flotação da hematita, invariavelmente, gera-se resíduo. Se resíduos são utilizados para a obtenção do amido, pode-se dizer que o processo se torna mais sustentável.

Com base nessa ideia, esta pesquisa teve como objetivo procurar um depressor alternativo, rejeito da cana-de-açúcar, para a flotação do minério de ferro, que fosse tão eficiente quanto o amido de milho (depressor comumente utilizado na indústria).

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade do uso do amido, em diferentes dosagens, proveniente do resíduo do lodo da mandioca e do bagaço da cana-de-açúcar como agentes depressores na flotação do minério de ferro em escala de bancada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Minério de Ferro

O ferro (Fe) utilizado na indústria siderúrgica é obtido a partir de substâncias minerais. Ele é o quarto componente mais abundante da Terra, 4,5% em massa, ficando atrás apenas do oxigênio, silício e alumínio (CARVALHO, 2014).

Segundo Schobbenhaus (1986), apenas os óxidos de ferro são economicamente explorados para a obtenção do ferro, apesar de ele ser encontrado, na natureza, de outras maneiras, como carbonatos, silicatos e sulfetos.

O Quadrilátero Ferrífero, a Província Mineral de Carajás e a região de Corumbá são as principais regiões brasileiras produtoras de minério de ferro (CARVALHO, 2014).

A exploração de minérios de ferro acontece, no Brasil, desde o século 16 (LOPES, 2016) e, conseqüentemente, as maiores reservas já não possuem mais minérios com alto teor de ferro. Atualmente, muito do que se considerava estéril já está sendo lavrado e beneficiado graças ao valor de mercado e à prática de blendagem e aos avanços tecnológicos.

Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 2018, no ano de 2017, a produção bruta de minério de ferro (ROM), quantidade de minério bruta que não sofreu qualquer tipo de beneficiamento, foi de 585 bilhões de toneladas com um teor médio de 54,43%. Já a produção beneficiada foi de 453 bilhões de toneladas com um teor médio de 63,72%.

3.2 Flotação

O principal mineral de ganga associado ao minério de ferro é o quartzo. A flotação é o método de concentração mineral mais utilizado para faixa granulométrica fina, normalmente, abaixo de 150 μm . Esses dois fatores possibilitam diferentes rotas de processamento: a flotação catiônica reversa de quartzo, a flotação aniônica direta de óxidos de ferro e a flotação aniônica reversa de quartzo ativado (ARAUJO, PERES E VIANA, 2006).

Flotação em espuma é utilizada na indústria mineral para a concentração de minérios que são compostos por minerais de importância econômica (RAO, 2004). Trata-se de um processo de natureza físico-química que utiliza a diferença de características superficiais dos minerais para realizar o processo de separação. Por

isso, na teoria, esse processo pode ser utilizado em qualquer situação e apresenta maior tolerância à separação de finos quando comparada a outros métodos (BALTAR, 2008).

A propriedade diferenciadora explorada no processo de flotação é chamada hidrofobicidade. Tal propriedade se refere à afinidade da partícula por bolhas de ar ou pela água. Se a superfície de um mineral é hidrofóbica, ela possui afinidade por moléculas apolares, ou seja, pela bolha de ar, e, conseqüentemente, é carregada no processo de flotação. No entanto, se esta é hidrofílica, sua afinidade será por moléculas polares, como é o caso da água. Logo a partícula permanece em meio aquoso e não se adere à superfície da bolha (CHAVES et.al, 2010).

As partículas hidrofóbicas são carregadas em uma trajetória ascendente até uma espuma em que o conjunto partícula-bolha é retido, enquanto as partículas hidrofílicas continuam na região em que foram depositadas (CHAVES et. al, 2010).

No Brasil, a flotação catiônica reversa (processo em que o mineral de ganga é flotado; e o mineral de interesse é retido da polpa) é a mais utilizada para minérios de ferro. A combinação dos reagentes amido (depressor) e amina (coletor) é comumente utilizada por apresentar baixo custo em relação a outras combinações e fornecer boa seletividade. Além disso, esses reagentes apresentam menor sensibilidade quando comparados aos utilizados na flotação aniônica direta (BALTAR, 2008).

Esse tipo de flotação consiste em deprimir a hematita e flotar o quartzo. A hidrofobicidade do quartzo garante a sua separação da hematita, uma vez que essa é hidrofílica e não adere às bolhas de ar e, por isso, se sedimentam graças à ação do depressor (BATISTELI, 2007)

3.3 Reagentes

3.3.1 Coletor

A hidrofobização na flotação do minério de ferro é necessária porque, como a maioria dos minerais, a hematita e o quartzo possuem superfície com características hidrofílicas. A mudança dessa condição na superfície dos minerais é possibilitada por meio da adição do coletor. Coletores são agentes surfactantes que possuem uma molécula heteropolar, ou seja, uma parte da molécula é inorgânica (polar) e a outra parte é orgânica (apolar) (BALTAR, 2008).

A parte polar interage com a superfície do mineral e, por causa da sua cadeia hidrocarbônica, a parte apolar promove a hidrofobização da superfície. O processo de

hidrofobização das partículas acontece pela formação de uma película de coletor na superfície do mineral que impede sua hidratação. Graças a esse mecanismo, ocorre a adesão da partícula à bolha de ar. A separação acontece porque as partículas que não foram hidrofobizadas permanecem cobertas por moléculas de água, o que torna possível a separação, uma vez que as partículas hidrofobizadas foram carregadas pelas bolhas (BALTAR, 2008).

As aminas exercem o papel de coletor na flotação catiônica reversa de minério de ferro. Segundo Araújo, Viana e Peres (2006), as aminas primárias (R-NH₂) são altamente insolúveis em água e, portanto, a transformação em eteramina primária (R-O-(CH₂)₃-NH₂) faz-se necessária para conferir maior solubilidade desse reagente. Essa neutralização se faz por meio da utilização de ácido acético.

A cadeia carbônica das aminas contém de 12 a 18 carbonos e, dependendo do pH do meio, pode ocorrer sua dissociação. Devido a esses dois fatores, a amina também pode desempenhar o papel de espumante na flotação de minério de ferro, já que a hidrofobicidade do radical R tem alta interação com a interface líquido-gás. Assim, ocorre o abaixamento da tensão superficial da água e proporciona um ambiente favorável à formação de bolhas estáveis (ARAUJO, PERES E VIANA, 2006).

O mecanismo que atua na adsorção das aminas nas superfícies dos minerais é eletrostático. Para se atingir o grau de hidrofobicidade desejado para a flotação, é necessário que ocorra a interação de van der Waals entre as cadeias de hidrocarbonetos das aminas, que permitem a formação de hemimicelas em superfície (LEJA, 1982).

3.3.2 *Depressor*

Os depressores são os chamados agentes modificadores que promovem seletividade ao processo de flotação. Eles agem de maneira a inibir a adsorção do coletor em uma determinada superfície mineral, evitando a sua hidrofobização e a consequente flotação (BALTAR, 2008). No caso das aminas, essas possuem afinidade por ambas as superfícies minerais (mineral minério e ganga), o que resulta na necessidade da utilização de um agente depressor, papel desempenhado pelo amido de milho.

O amido é classificado como um polissacarídeo que possui como unidade básica a glicose (C₆H₁₀O₅) e pode ser obtido a partir de diferentes vegetais. A amilose e a amilopectina são as estruturas que compõem a molécula de amido e sua

proporção varia de acordo com o tipo do vegetal de origem (PERES E CORREA, 1996).

A eficiência do amido como depressor e sua seletividade variam de acordo com vários fatores, entre eles: fonte vegetal, tamanho e grau de ramificação da cadeia, pH da polpa, presença de eletrólitos e modo de preparação (SAMPAIO et. al., 2001).

A composição química e física do amido é importante para correlacionar a eficiência da ação depressora e a fonte do mesmo. Chaves *et al.* (2006) concluíram em suas pesquisas que amidos que possuem teores de óleos superiores a 1,8% prejudicam a estabilidade da espuma da flotação. Araujo et al. (2004) também afirmam que os óleos são inibidores de espuma.

Além dos autores acima citados, Mapa e Vasconcelos (2004) também pesquisaram sobre a influência dos diferentes teores de óleos do amido. Eles observaram que, apesar de ocorrer a formação da espuma, os amidos que possuíam maiores teores de óleo resultaram em recuperações metalúrgicas pouco eficientes.

De acordo com Moreira (2013), o amido de milho é o mais utilizado nos processos de concentração de minério de ferro. Sua composição é de 25% de amilose e 75% de amilopectina que, segundo Oates (1997), é a parte mais importante da composição dos amidos, em termos estruturais e funcionais.

A solubilização do amido, também chamada de gelatinização, é necessária, porque ele não é solúvel em água fria. Ela pode ser feita por meio de dois processos: tratamento térmico e tratamento químico (através do uso de solução de hidróxido de sódio) (AGUIAR, 2014).

A adsorção do amido na superfície do mineral acontece por meio de interações entre os grupos hidroxila do depressor e cátions metálicos hidroxilados existentes na estrutura cristalina do mineral (SOUSA, 2016 *apud* LEAL FILHO 2007). Ainda segundo esses autores, a adsorção ocorre com maior frequência na faixa de pH em que o cátion metálico estiver hidroxilado.

3.4 Depressores alternativos ao amido de milho

A busca por depressores alternativos, que possibilite a substituição do amido de milho na flotação, é alvo de diversas pesquisas e já rendeu importantes trabalhos nessa área.

Os autores Dos Santos e Oliveira (2007) avaliaram a possibilidade de substituir o amido de milho pelo ácido úmico. Por meio do método da bolha, em que a hematita

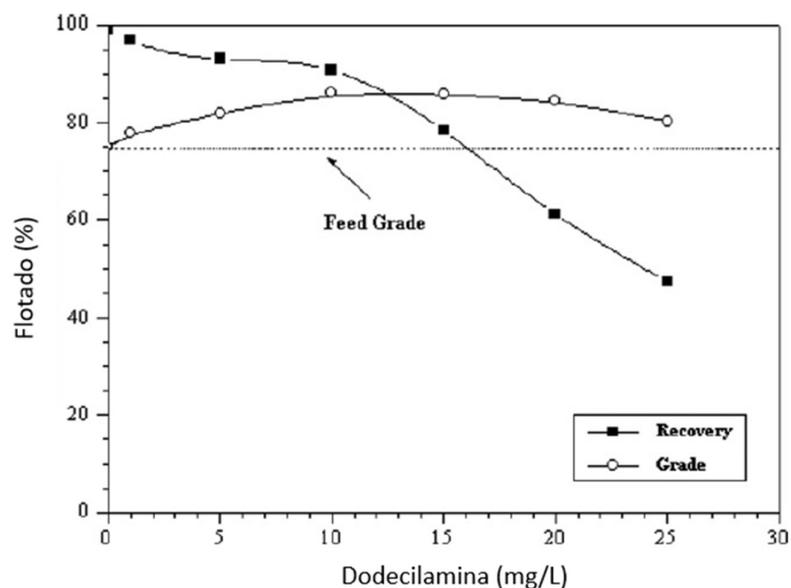
foi condicionada com o ácido úmico em pH 10,2 e com baixa concentração de DDA, ficou comprovado que o ácido úmico possui maior afinidade pela superfície da hematita, pois apresentou um ângulo de contato menor do que quando comparado ao quartzo sob as mesmas condições. Assim, os autores concluíram o efeito depressor do reagente na hematita. Porém, também foi comprovada a diminuição da flotabilidade do quartzo.

Por meio de testes de microflotação com os minerais separados, Dos Santos e Oliveira (2007) avaliaram o efeito da concentração dos reagentes. Eles concluíram que dependendo da concentração de ácido úmico e DDA, a flotabilidade do quartzo pode chegar a 90% e 61% da hematita pode ser deprimida.

Já com a junção dos minerais no sistema, os resultados mais satisfatórios foram aqueles com 40 mg/L de ácido úmico e 10 mg/L de DDA, em pH alcalino. A Figura 1 mostra que foi obtida uma recuperação de 90,7 % de hematita no concentrado; desse valor, 86% é composto por Fe_2O_3 (DOS SANTOS E OLIVEIRA, 2007).

Assim, os autores concluíram que a proporção coletor/depressor é um parâmetro de extrema importância para que haja a seletividade no sistema (DOS SANTOS E OLIVEIRA, 2007).

Figura 1: Recuperação de hematita e quartzo no flotado de acordo com a concentração de DDA e condicionamento com 40 mg L⁻¹ em pH 10,2.



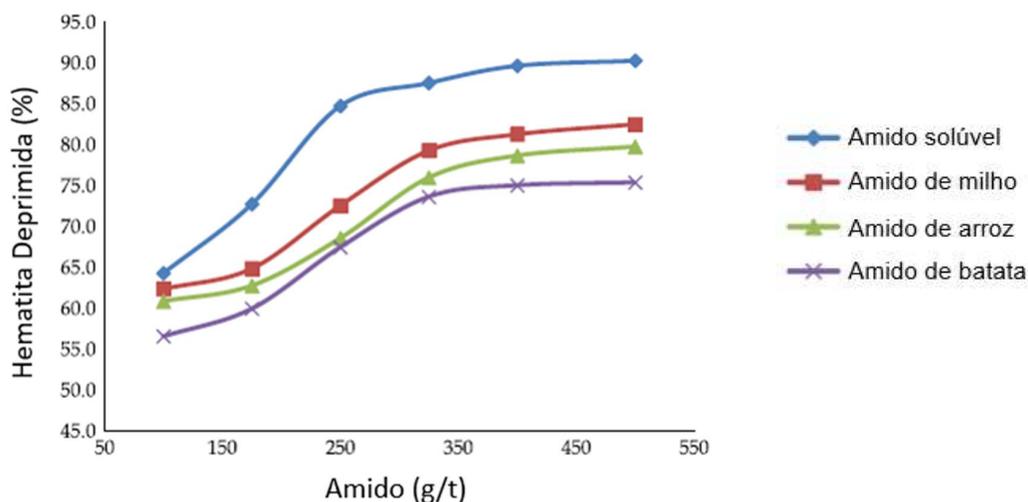
Fonte: Adaptado de Dos Santos e Oliveira (2007).

Turrer e Peres (2010) avaliaram a ação de amidos já utilizados em processos de concentração mineral. Eles realizaram testes de flotação em bancada com 6 tipos de carboximetilcelulose, 3 tipos de lignosulfonatos, 1 tipo de goma guar, 4 ácidos úmicos e com amido de milho. A análise química revelou que a amostra possuía 39,5% de Fe e 42,0% de SiO₂. A melhor dosagem para a amina (Clariant Flotigam EDA-3B) foi de 45 g/t, pois resultou na maior recuperação de ferro e em menos de 1% de sílica no concentrado. Essa dosagem foi a mesma para todos os testes, além do pH regulado em 10,5.

A maioria dos reagentes não promoveu a seletividade, agindo como depressor do quartzo e gerando altos teores de sílica no concentrado. Apenas um carboximetilcelulose (CMC5) e a goma guar (GG) conseguiram deprimir somente a hematita e resultaram em um teor de sílica menor do que 2,5% no concentrado. A utilização desses reagentes resultou em mais de 40% de recuperação de ferro. Os outros carboximetilcelulose e os 3 lignosulfonatos obtiveram menos de 30% de recuperação de ferro. A concentração dos reagentes depressores foi aumentada para avaliar outro parâmetro na flotação. Porém, os resultados não foram melhores do que os anteriores, uma vez que aumentou o teor de sílica no concentrado (TURRER E PERES, 2010).

Kar *et al.* (2013) analisaram o desempenho de 4 tipos de amido em testes de flotação catiônica reversa: amido solúvel, amido de milho, amido de arroz e amido de batata. Foram utilizados hematita e quartzo puros, além de um minério de ferro contendo 55,5% de Fe₂O₃ e 24,5% de SiO₂. O coletor utilizado foi o Dodecilamina (DDA). Como mostrado na Figura 2, o amido solúvel, na concentração de 400 g/t, foi o que apresentou os melhores resultados nos testes realizados, pois obteve 89,6% de recuperação de ferro com 63,8% de Fe. O amido de batata foi o que obteve o pior resultado dentre os amidos analisados.

Figura 2: Flotação da hematita em diferentes concentrações de amido, pH 7,4; concentração de DDA 48g/t.



Fonte: Adaptado de Kar et al. (2013)

Moreira (2013) realizou um estudo em escala de bancada com 10 fontes de amido: fubá de milho, raspa da mandioca, taro, araruta, baroa branca, corao baroa, maisena, inhame, batata doce e banana verde. Ele concluiu que esses vegetais possuem alta capacidade para substituir o amido de milho como depressor da hematita na flotação de minério de ferro, pois apresentaram boa seletividade e eficiência da recuperação.

Os resultados mostraram que a recuperação metalúrgica dos testes com fubá de milho, raspa de mandioca, araruta, baroa branca, corao baroa, batata doce e banana verde na dosagem de 1500g/t, apresentou índices acima de 90% e esses resíduos proporcionaram melhores resultados quando comparados ao amido de milho convencional (MOREIRA, 2013).

Sousa (2016) investigou o desempenho do amido de milho, do amido de mandioca, da fécula da mandioca e da fécula da batata, fornecidos pela empresa Cargill, e ainda 3 tipos diferentes de amidos de milho fornecidos pela empresa Ingredion. Todos esses reagentes foram gelatinizados por meio da adição de NaOH a 10%. A autora utilizou, na alimentação da microflotação, minerais puros com teores de Fe₂O₃ e SiO₂ de 96,68% e 94,68%, respectivamente. O coletor utilizado foi o Flotigam EDA, fornecido pela empresa Clariant. Esses testes foram importantes para compreender melhor a influência da dosagem na recuperação do ferro no

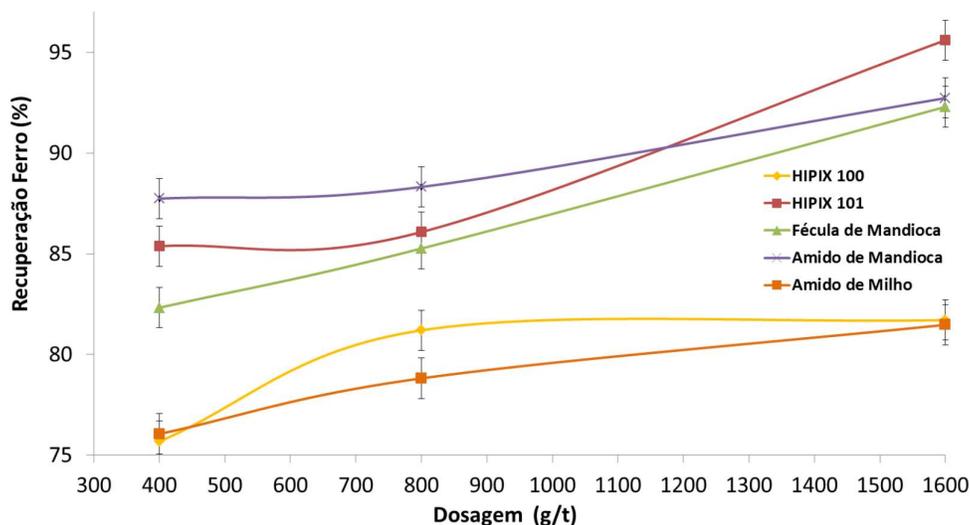
concentrado. Observou-se que, quando se aumenta a dosagem do depressor, há um aumento de ferro recuperado, porém esse crescimento não é linear, uma vez que, em altas dosagens, a ganga também começa a ser deprimida. Os resultados mais satisfatórios foram os com amido de milho HIPIX®100, HIPIX®101 e com fécula da mandioca.

Para os ensaios de flotação em célula de bancada, foram utilizadas as mesmas amostras do microflotação, porém foram preparadas em alíquotas de 480 g que possuíam 60% de hematita e 40% de quartzo. Utilizaram-se os melhores resultados dos testes de microflotação, nas dosagens de 400, 800 e 1600 (g/t). Já nesses testes, os melhores resultados foram obtidos com depressores amido de mandioca, amido de milho HIPIX®101 e fécula da mandioca (SOUSA, 2016).

Os resultados dos testes de flotação em célula de bancada estão representados na Figura 3. A dosagem de 1600 g/t dos amidos HIPIX®101, amido de mandioca e fécula de mandioca apresentaram recuperação de ferro no concentrado acima de 90% e, segundo a autora, o amido de mandioca e fécula de mandioca não apresentaram diferenças estatisticamente (SOUSA, 2016).

Observou-se também que o amido de milho, mais utilizado nos processos de flotação na indústria, precisou ser usado em sua maior concentração para que a recuperação de ferro fosse próxima daquela que se faz com o amido HIPIX®100. Além disso, o amido de milho convencional foi o que apresentou os piores resultados (SOUSA, 2016).

Figura 3: Recuperação do mineral hematita através de flotação reversa de minério de ferro.



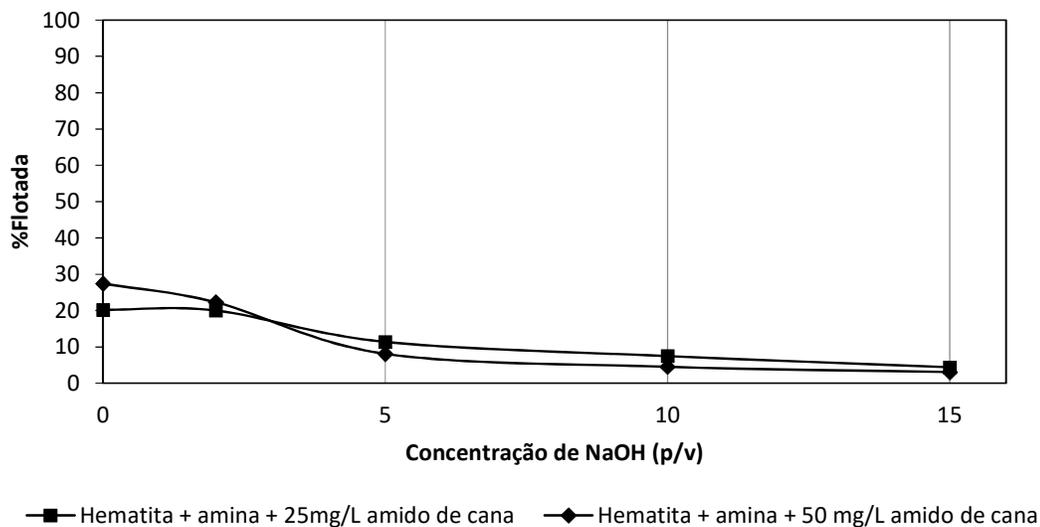
Fonte: Adaptado de Sousa (2016)

O bagaço-da-cana foi utilizado por Resende (2017) como fonte de amido para a depressão da hematita em testes de microflotação. Nos testes realizados por ele, a hematita apresentou 98,2% de flotabilidade na presença do coletor (Flotigan 2835). Ao realizar os testes com o amido proveniente da cana-de-açúcar, o autor obteve resultados que apresentaram, aproximadamente, 90% de redução na flotabilidade da hematita. O autor constatou assim a eficiência do bagaço-da-cana como depressor de superfície da hematita.

Depressores alternativos também foram testados por Marins (2019). Além do bagaço da cana-de-açúcar, ela testou a eficiência do amido proveniente do bagaço da cevada e lodo de mandioca. A forma de gelatinização do amido proveniente dos resíduos citados também foi estudada pela autora. De acordo com este estudo, a gelatinização com NaOH foi a mais eficiente para a cana-de-açúcar e todos os resíduos obtiveram valores de flotabilidade para o quartzo acima de 90%.

Os testes de microflotação realizados em tubo de Hallimond adaptado mostraram que a concentração ideal de NaOH para a gelatinização do resíduo foi de 10% p/v. Na Figura 4, pode ser observado que, à medida que a concentração de NaOH aumenta, a flotabilidade da hematita diminui, o que significa que aumenta também a solubilidade do amido (MARINS, 2019)

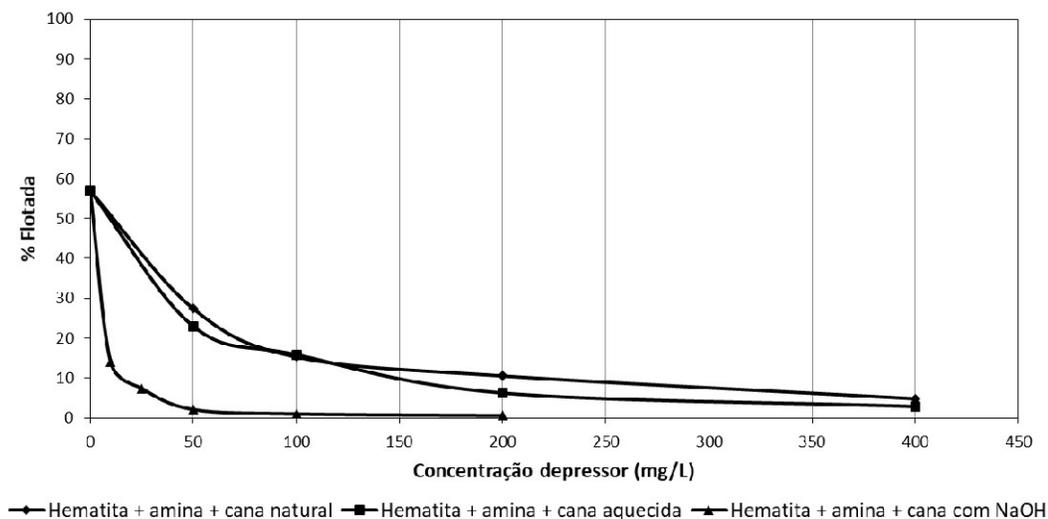
Figura 4: Influência da variação da concentração de NaOH na preparação do bagaço da cana-de-açúcar na flotabilidade da hematita.



Fonte: Marins (2019)

O tipo de gelatinização também foi alvo de estudo da autora. Ela avaliou três tipos diferentes de preparação do resíduo: natural (diluição em água destilada), diluição em água destilada aquecida e com adição de NaOH. Os resultados são mostrados na Figura 5 (MARINS, 2019).

Figura 5: Flotabilidade da hematita utilizando coletor e amido do bagaço da cana-de-açúcar com diferentes preparações.

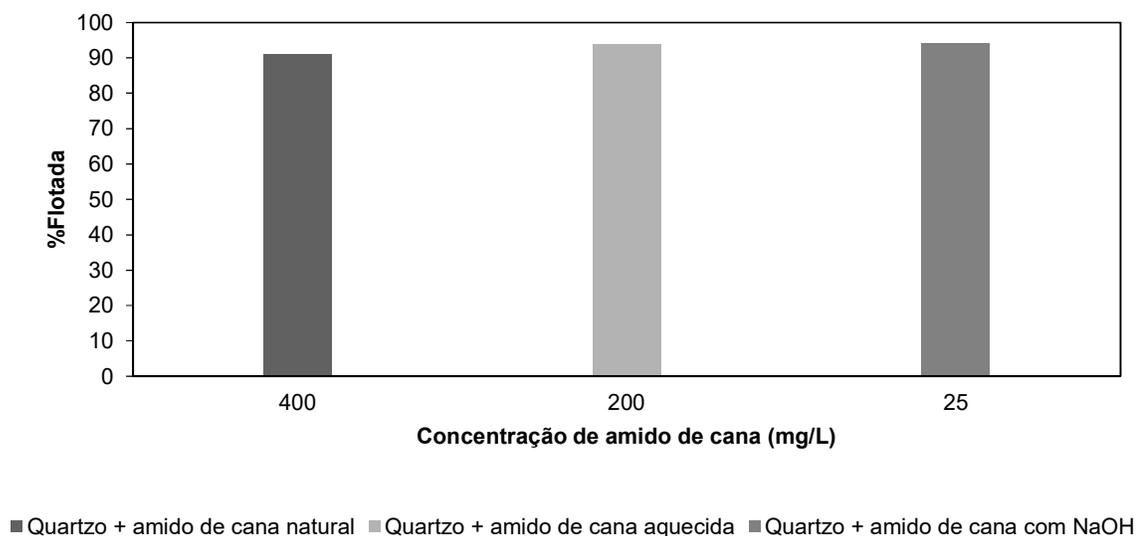


Fonte: Marins (2019)

A autora convencionou que a melhor concentração do depressor seria aquela em que a flotabilidade da hematita apresentasse resultados abaixo de 10%. Assim, ela concluiu que as melhores concentrações foram de 400, 200 e 25 mg/L para as três preparações. O bagaço preparado com NaOH apresentou os melhores resultados, enquanto o preparado com água destilada foi o que apresentou o pior, indicando que não houve diluição suficiente do amido para que ocorresse a depressão da hematita (MARINS, 2019).

Avaliou-se também a flotabilidade do quartzo na presença do bagaço da cana. Pela análise da Figura 6, pode-se comprovar que o depressor não tem qualquer influência na flotabilidade do quartzo (MARINS, 2019).

Figura 6: Comparação da flotabilidade da hematita na presença de coletor e amido de milho e bagaço da cana.



Fonte: Marins (2019)

Os mesmos testes foram realizados para o lodo da mandioca. Marins (2019) concluiu que, para esse resíduo, a concentração ideal de NaOH para a sua gelatinização foi de 5% p/v. Considerando o tempo de condicionamento, a preparação natural, com água destilada, não obteve resultados satisfatórios, uma vez que, para qualquer concentração, a flotabilidade da hematita não apresentou valores abaixo de 10%. Assim, tempo de condicionamento foi investigado e, aumentando-se o tempo, a concentração de 600 mg/L conseguiu atingir um valor menor que 10% de flotabilidade para a hematita. Já para as outras duas preparações (água destilada aquecida e adição de NaOH), a mesma concentração, de 10 mg/L, conseguiu resultados satisfatórios. Assim, ela foi escolhida como concentração-ótima. Além desses resultados, ficou comprovado que o depressor não teve qualquer influência na superfície do quartzo, visto que ele apresentou mais de 90% de flotabilidade na presença do amido do lodo de mandioca.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentado os procedimentos utilizados para realização dos testes.

Os procedimentos foram realizados no Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.

4.1 Amostra

4.1.1 Preparação da amostra de minério

Os testes de flotação em escala de bancada foram realizados com amostra de minério de ferro proveniente da usina Conceição I, situada em Itabira, no estado de Minas Gerais. As amostras foram cedidas pela empresa Vale S.A.

As amostras foram homogeneizadas utilizando pilha cônica e quarteadas em quarteador Jones. Foram geradas 32 alíquotas com aproximadamente 350g. Uma alíquota foi separada para caracterização do material.

4.1.2 Caracterização da amostra de minério

A identificação mineralógica foi feita por meio da difração de raios-X. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Ótica e Difração de Raios-X do Departamento de Engenharia de Minas utilizando equipamento X'Pert3 Powder equipado com tubo de cobre com radiação de Cu-K α , de comprimento de onda equivalente a 1,5406 Å. Esse equipamento utiliza varredura em arranjo 2 θ , variando de 5 a 90°. Os dados foram coletados e analisados através do software Data Collector.

A análise granulométrica foi feita por peneiramento a úmido. A Tabela 1 apresenta as peneiras utilizadas na caracterização granulométrica.

Tabela 1: Série Tyler apresentada no livro Tratamento de Minérios – Práticas Laboratoriais.

Abertura (Malha)		Aberturas	
Série Tyler	(mm)	μm	Polegada
65	0,212	212	0,0083
100	0,15	150	0,0058
150	0,104	104	0,0041
200	0,074	74	0,0029
325	0,045	45	0,0017

Foram peneiradas 200g de amostra por aproximadamente 5 minutos. O equipamento foi desligado quando se percebeu que a água coletada na última peneira estava tão limpa quanto a que era adicionada na primeira.

O cálculo da densidade do minério foi feito por. As medidas foram realizadas em triplicata. O picnômetro de 50 ml foi usado para medir a densidade da amostra. Os cálculos foram feitos baseados na Equação 1.

$$d_s = \frac{(M_2) - (M_1)}{(M_4 + M_2) - (M_1 + M_3)} \quad (1)$$

ds	densidade do sólido
M1	massa do picnômetro
M2	massa do picnômetro + amostra
M3	massa do picnômetro + amostra + água
M4	massa do picnômetro + água

4.2 Preparação dos resíduos

Os resíduos foram preparados de acordo com a metodologia descrita por Marins (2019).

Para o resíduo da cana-de-açúcar, a autora concluiu que a melhor solução de NaOH foi em concentração de 5% p/v. Já para o lodo de mandioca, foi a de 10% p/v.

De acordo com Marins (2019), a quantificação do amido para o bagaço da cana-de-açúcar resultou em uma porcentagem de amido igual a 16,6% e para o lodo de mandioca de 73%.

Para o cálculo da massa de reagentes utilizada, considerou-se a porcentagem de amido do bagaço da cana e do lodo de mandioca, para que a quantidade de amido fosse a mesma.

4.3 Preparação dos reagentes

Os reagentes foram preparados segundo a metodologia descrita por Marins (2019).

Adicionou-se 80 ml de solução de NaOH em um béquer contendo o resíduo previamente pesado. Com auxílio de um bastão de vidro, o sistema foi agitado manualmente por 10 minutos e depois foi deixado em repouso por 1 hora.

Posteriormente, a solução foi peneirada e transferida para um balão de 100 ml e o volume foi completado com água destilada.

Esse procedimento foi feito para os três reagentes. As soluções finais tinham a concentração de 1% p/v (1 g de amido em 100 mL de solução). As dosagens de 500, 750 e 1000 g/t foram avaliadas nos testes de flotação em bancada utilizando 22,5, 34 e 45 ml, respectivamente.

4.4 Preparação do coletor

O coletor foi preparado adicionando-se 2,5 g de Flotigam EDA em um balão de 250 ml, completou-se o volume com água, assim, obteve-se uma solução de 1% p/v.

Nos testes de flotação em bancada foi utilizado um volume de 3,6 ml em cada teste, na dosagem de 80 g/t.

4.5 Testes de flotação em bancada

Os experimentos tiveram como objetivo a determinação da eficiência do amido proveniente do moda e mandioca e da cana-de-açúcar como depressor de hematita.

Os testes foram realizados na célula de flotação em bancada da marca Denver com cuba de 1000 ml. Em cada teste foi utilizado 451,2 g de minério de ferro com 76,4% passante em 150 μ m. Foram adicionadas 800 ml de água, o que resultou em uma polpa com porcentagem de sólidos igual a 40%. As bolhas foram geradas por meio da utilização de fluxo produzidas pela autoaspiração da célula de flotação.

A concentração de coletor e dos depressores para cada teste estão representados na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2: Representação da dosagem e volume de coletor e depressor utilizados na flotação.

Teste	Coletor	Dosagem (g/t)	Volume (ml)	Depressor	Dosagem (g/t)	Volume (ml)
1A	EDA	80 g/t	3,6	Amido de Milho	500	22,5
1B						
2A						
2B		80 g/t	3,6		750	34
3A						
3B						
1A	EDA	80 g/t	3,6	Lodo da Mandioca	500	22,5
1B						
2A						
2B		80 g/t	3,6		750	34
3A						
3B						
1A	EDA	80 g/t	3,6	Bagaço da cana-de-açúcar	500	22,5
1B						
2A						
2B		80 g/t	3,6		750	34
3A						
3B						

Após a realização de cada teste, as massas de flotado e afundado foram pesadas e a densidade de cada produto foi calculada por meio de picnometria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente seção apresentara os resultados e discussões dos testes em escala bancada.

5.1 Caracterização mineralógica

5.1.1 Análise Granulométrica – Peneiramento

O resultado do peneiramento a úmido está representado na Tabela 3.

Tabela 3: Massa retida em cada peneira.

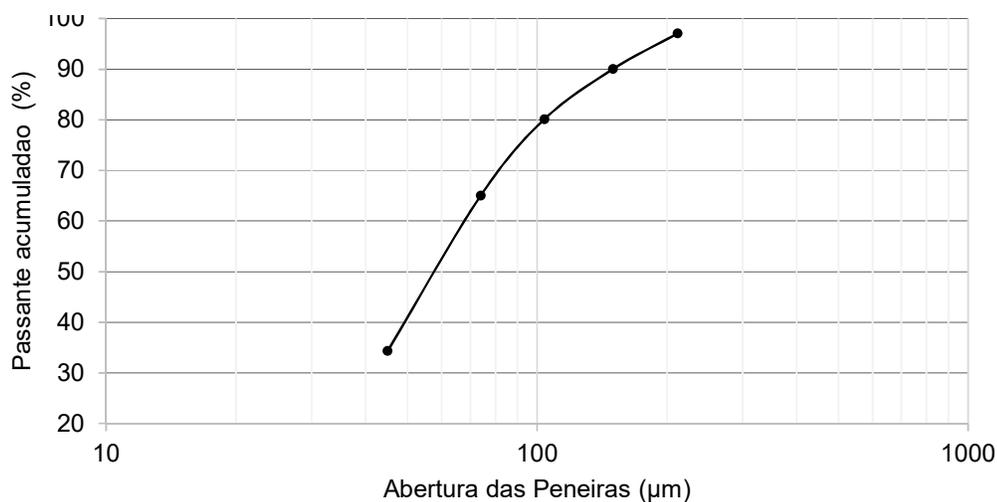
Série Tyler	μm	Massa retida	Frequência simples (%)	Retido Acumulado (%)	Passante Acumulado (%)
65	212	5,68	2,93	2,93	97,07
100	150	13,61	7,01	9,94	90,06
150	104	19,25	9,92	19,86	80,14
200	74	29,24	15,07	34,93	65,07
325	45	59,6	30,72	65,65	34,35
-325	-45	66,65	34,35	100,00	0,00
Total		194,03			

A massa inicialmente utilizada foi de 200 g. Como pode ser observado na tabela, a soma das massas das peneiras foi de 194,03g.

O peneiramento pode ser considerado adequado uma vez que que na primeira peneira a massa retida foi menor do que 5% de toda a amostra.

O gráfico de distribuição granulométrica está representado na Figura 7.

Figura 7: Gráfico de Distribuição Granulométrica.



O d_{80} da amostra revelou que cerca de 80% das partículas passaram da peneira de 150 μm .

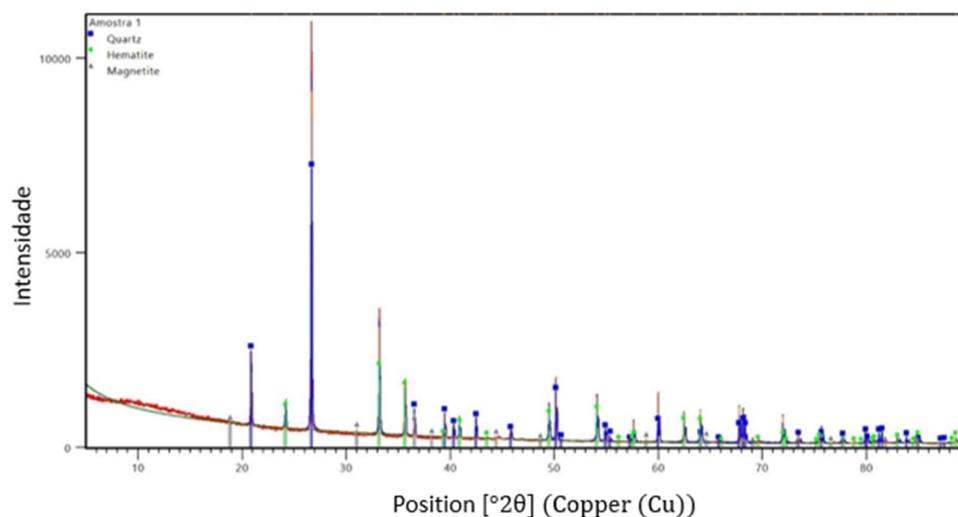
Por meio dele, pode-se concluir que a flotação realmente é o método de separação mais adequada para esse minério, já que a granulometria predominante da amostra é menor do que 150 μm .

O diâmetro médio das partículas foi calculado por meio da interpolação linear. O valor encontrado foi de $d_{50} = 59,79 \mu\text{m}$.

5.1.2 Difração de Raios-X

No difratograma de raios-x da amostra, apresentado na Figura 8, pode ser observado a presença de uma pequena quantidade de magnetita.

Figura 8: Resultado da interpretação dos dados da difração de raio-x.



Além disso, pode-se concluir que a amostra é composta majoritariamente por quartzo e hematita, portanto, será considerada a composição binária da amostra.

5.1.3 Picnometria

As densidades calculadas por meio da picnometria estão apresentadas na Tabla 4.

Tabela 4: Densidade e massa dos produtos do flotado e afundado de cada teste de flotação em bancada.

	Teste	Densidade	Teor Ferro	Teor SiO ₂	
Amido de Milho	1A	Flotado	2,91	5,88	91,60
		Concentrado	4,94	62,72	10,40
	1B	Flotado	2,88	5,04	92,80
		Concentrado	4,69	55,72	20,40
	2A	Flotado	2,90	5,60	92,00
		Concentrado	4,32	45,36	35,20
	2B	Flotado	2,93	6,44	90,80
		Concentrado	4,89	61,32	12,40
	3A	Flotado	2,95	7,00	90,00
		Concentrado	4,81	59,08	15,60
	3B	Flotado	2,98	7,84	88,80
		Concentrado	5,00	64,40	8,00
Lodo de Mandioca	4A	Flotado	2,92	6,16	91,20
		Concentrado	4,88	61,04	12,80
	4B	Flotado	2,91	5,88	91,60
		Concentrado	4,84	59,92	14,40
	5A	Flotado	2,99	8,12	88,40
		Concentrado	4,61	53,48	23,60
	5B	Flotado	3,01	8,68	87,60
		Concentrado	4,72	56,56	19,20
	6A	Flotado	3,02	8,96	87,20
		Concentrado	4,44	48,72	30,40
	6B	Flotado	2,96	7,28	89,60
		Concentrado	4,56	52,08	25,60
Bagaço da Cana-de-Açúcar	7A	Flotado	3,76	29,12	58,40
		Concentrado	3,91	33,92	51,54
	7B	Flotado	3,76	29,12	58,40
		Concentrado	4,06	37,95	45,79
	8A	Flotado	4,03	37,13	46,95
		Concentrado	3,75	29,34	58,09
	8B	Flotado	3,93	34,34	50,94
		Concentrado	3,83	31,68	54,75
	9A	Flotado	3,73	28,74	58,94
		Concentrado	3,77	30,05	57,08
	9B	Flotado	3,69	27,63	60,54
		Concentrado	3,75	29,53	57,82

Utilizando a Equação 2, calculou-se os teores de ferro no flotado e no afundado, que estão exibidos na Tabela 4. Esses valores foram usados para obter as recuperações metalúrgicas referentes aos testes com as diferentes dosagens.

$$d = \frac{x \cdot dm}{100} + \frac{(100-x)}{100} * dg \quad (2)$$

- d Densidade do mineral de interesse
 x Teor do mineral de interesse
 dm Densidade do minério
 dg Densidade da ganga

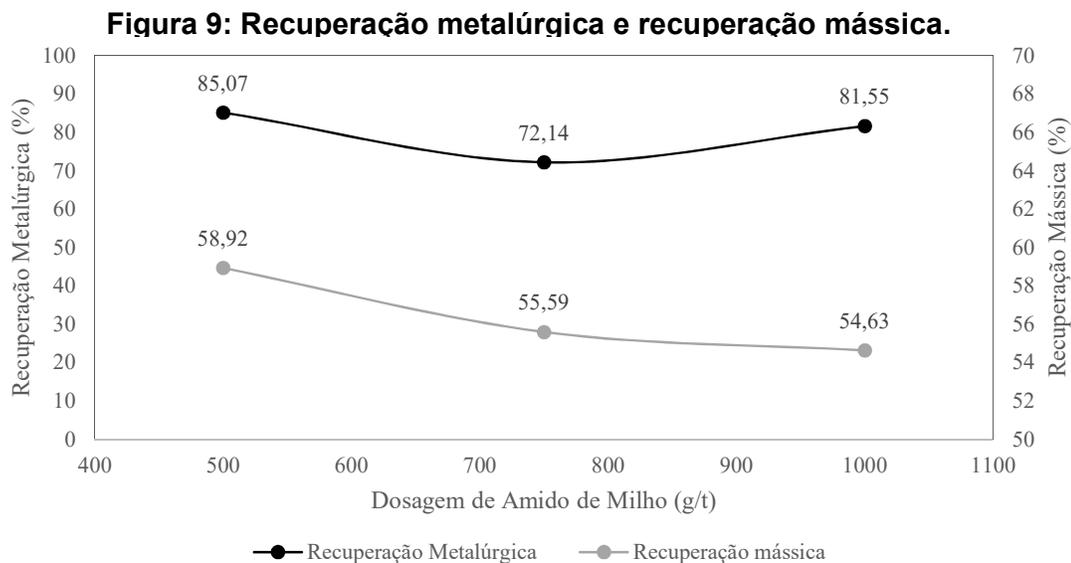
Os resultados dos teores serão discutidos na próxima seção.

5.2 Flotação em escala de bancada

Optou-se por avaliar o desempenho de cada depressor em diferentes dosagens pela recuperação metalúrgica, recuperação mássica e teores no concentrado e rejeito.

5.2.1 Amido de milho

A Figura 9 apresenta os resultados da recuperação metalúrgica da flotação utilizando o amido de milho como depressor e o Flotigam EDA como coletor 80g/t. As três dosagens do depressor (500, 750 e 1000 g/t) foram avaliadas.



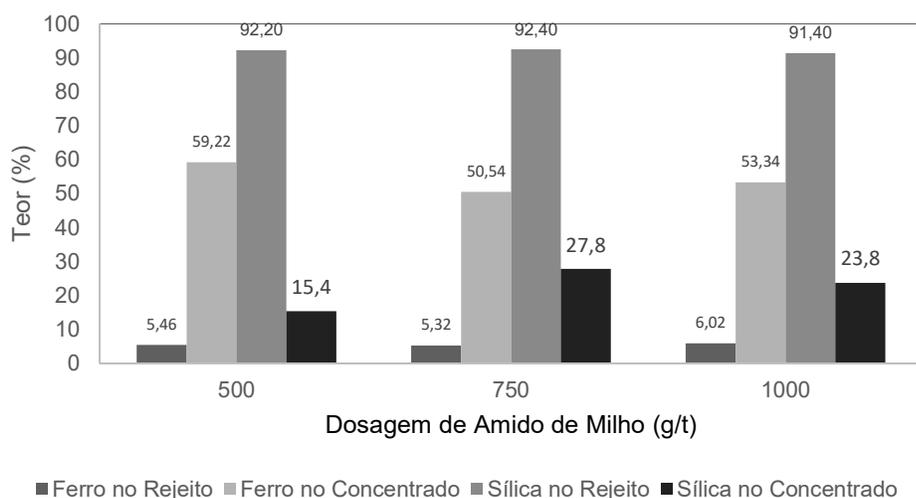
Pode-se observar que a dosagem que apresenta a melhor recuperação metalúrgica foi 500 g/t, uma vez que resultou em uma alta porcentagem de ferro no concentrado (85,07%).

O teste que teve o pior resultado desse parâmetro foi o de 750 g/t, pois obteve uma porcentagem de recuperação metalúrgica de 72,14%.

Em relação à recuperação mássica, a dosagem mais baixa também foi a que obteve o melhor índice (58,92%). Já o pior resultado foi o de 1000 g/t, que resultou em 54,63%.

A Figura 10 fornece os dados dos teores de ferro no concentrado e no rejeito. Por meio dela, corrobora-se a análise anterior, uma vez que o maior teor de ferro no concentrado (59,2%) foi o com a dosagem de 500 g/t. Em relação ao teor sílica, o melhor teste foi o com a dosagem de 750 g/t (5,3%), apesar de as três forneceram valores muito próximos.

Figura 10: Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.

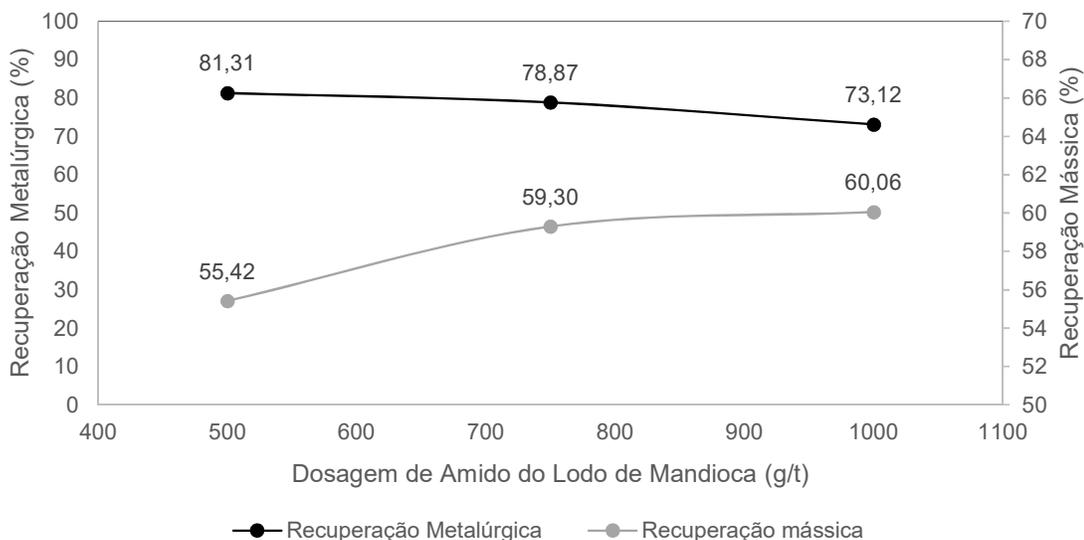


A maior variação dos valores do teor foi em relação à sílica no concentrado. A maior porcentagem da mesma foi encontrada no concentrado do teste com 750 g/t e a menor no de 500 g/t. Tem-se que considerar que os testes representam apenas a escala rougher.

5.2.2 Lodo de mandioca

Os resultados dos testes utilizando diferentes dosagens de lodo de mandioca são mostrados na Figura 11. É possível observar que a dosagem de 500 g/t também pode ser considerada a mais eficiente, uma vez que possui a maior recuperação metalúrgica de ferro (81,31%).

Figura 11: Recuperação metalúrgica e recuperação mássica.

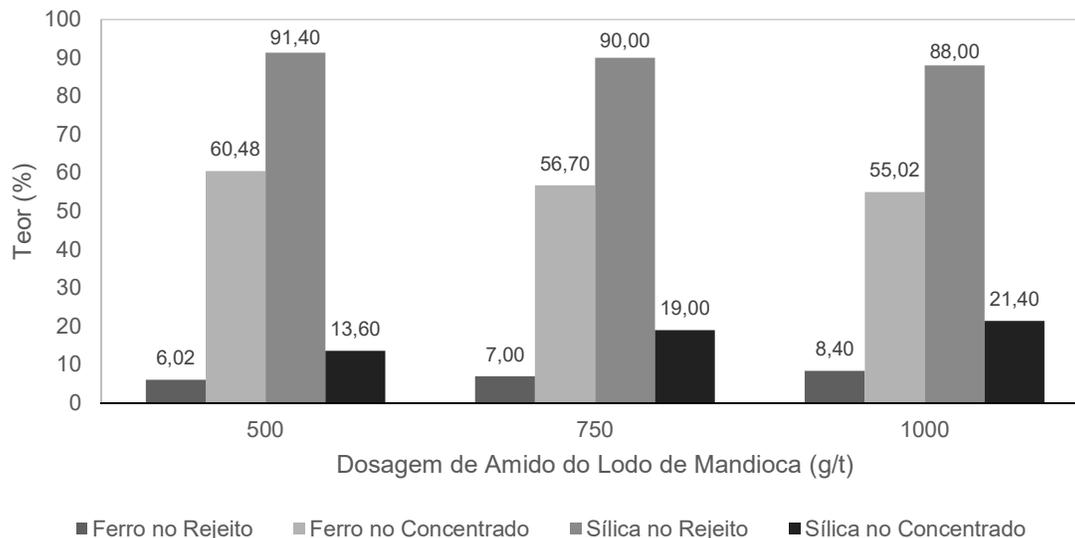


Assim, confirmou-se que o amido proveniente da mandioca pode ser considerado eficiente na depressão da hematita quando gelatinizado com NaOH. A associação desse com o coletor Flotigam EDA mostrou-se uma ótima combinação.

Pode-se observar que o aumento da dosagem de depressor diminui a eficiência do mesmo. Com 1000 g/t obteve-se a menor porcentagem de recuperação metalúrgica do ferro (73,12%).

Porém, ao se analisar a recuperação mássica, o melhor resultado foi o com a dosagem de 1000 g/t, pois foi capaz de recuperar 60,06% de ferro da alimentação no concentrado com teor de 55,2%, apesar de não ser considerado um bom resultado.

Os teores de ferro e sílica no concentrado e no rejeito são apresentados na Figura 12. A análise desses dados confirma a eficiência do depressor na dosagem de 500 g/t.

Figura 12 - Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.

Na dosagem de 500 g/t, pode ser observado que o teor de ferro no flotado (6,02%) foi o menor das três, e o no afundado, o maior (60,48%). Além disso, o teor da sílica flotada foi o maior (91,40%) e o da mesma no afundado, o menor (13,60%).

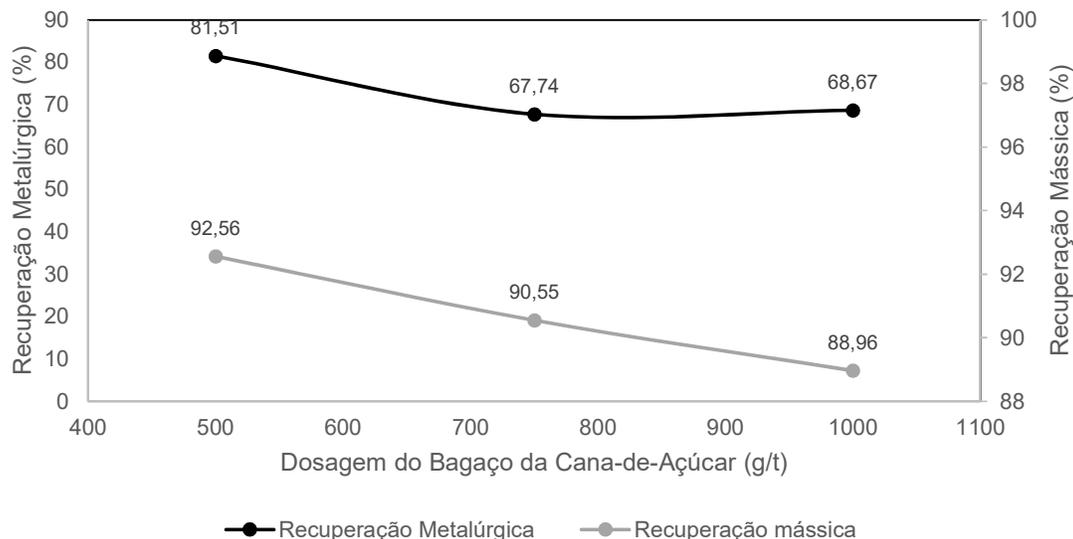
Novamente, a dosagem de 1000 g/t obteve os piores índices. O teor de ferro no rejeito (8,40%) foi o maior, assim como o de sílica no concentrado (21,40%). Apresentou também as menores porcentagens de ferro no concentrado (55,02%) e de sílica no rejeito (88,00%).

5.2.3 Bagaço de cana-de-açúcar

O amido do bagaço da cana-de-açúcar apresentou o desempenho entre os depressores investigados. Seus resultados estão apresentados na Figura 13.

As três dosagens resultaram em altas porcentagens do teor de sílica no concentrado. Assim, apesar de a recuperação metalúrgica de ferro ter sido a maior de todos os depressores testados, os altos índices da sílica inviabilizam o uso deste como depressor associado à dosagem de Flotigam EDA escolhida. Talvez, para este depressor, seja necessária uma maior dosagem de coletor.

Figura 13: Recuperação mássica e metalúrgica do ferro e da sílica.

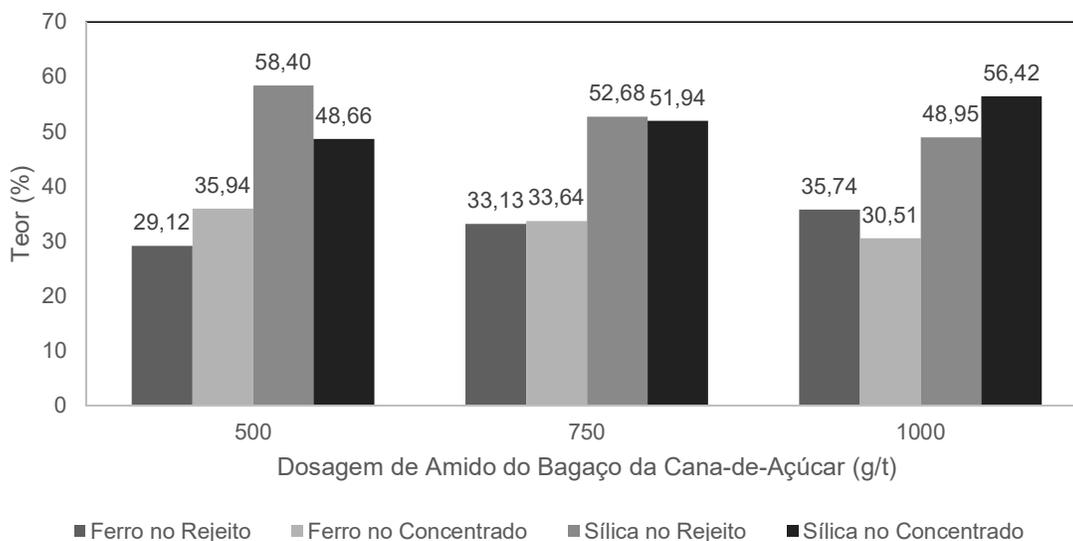


Com a dosagem de 500 g/t, a recuperação metalúrgica de ferro no concentrado foi a menor das três (81,51%).

A maior recuperação mássica (92,56%) foi obtida com o depressor de 500 g/t.

Os valores dos teores comprovam a conclusão apresentada acima. Esses estão apresentados na Figura 14.

Figura 14: Teor de ferro e sílica no concentrado e no rejeito.



Nele pode ser observado que os teores de ferro no rejeito foram muito altos. E o de sílica no concentrado também pode ser considerado muito alto.

Esses resultados podem ter como causa a alta dosagem de NaOH utilizada para a gelatinização do amido. O pH considerado ideal para os testes foi 10,3. Quando a solução com o depressor foi adicionada à polpa, o pH alcançava 12,6. Como esse pH inviabilizaria a flotabilidade do quartzo, era preciso adicionar grandes quantidades de solução contendo HCl à 50% p/v.

A Figura 15 mostra a formação de bolhas antes da adição do coletor. Fato não muito comum na flotação. A dosagem do depressor utilizada nesse teste foi a de 1000 g/t.

Figura 15: Espuma formada na polpa sem adição de coletor (dosagem 1000 g/t).



Experimentalmente, observou-se que os testes utilizando o bagaço da cana-de-açúcar apresentaram maior quantidade de espuma, como ilustrados nas Figuras 15 e 16.

Figura 16: Espuma caída na bandeja de coleta do flotado.



Portanto, ao se analisar todos esses fatores, pode-se concluir que gelatinização do amido do bagaço da cana-de-açúcar não foi eficiente.

Outro fator que pode ter influenciado nos resultados dessa dosagem é a grande quantidade de HCl necessária para regular o pH.

6. CONCLUSÃO

Pelos estudos realizados pôde-se concluir que para o amido de milho a melhor dosagem foi a de 500g/t. Nela, foi possível obter 58,92% de recuperação mássica, 85,07% de recuperação metalúrgica. O teor de ferro no concentrado foi de 59,22% e de sílica no rejeito 92,20%. Comprovou-se a eficácia desse resíduo como depressor da hematita.

Já o amido proveniente do lodo de mandioca apresentou os melhores resultados na dosagem de 750 g/t. A recuperação mássica foi de 59,30% e a metalúrgica de 78,87%. Em relação aos teores, obteve 90% de sílica no rejeito e 56,7% de ferro no concentrado.

O amido do bagaço da cana-de-açúcar apresentou resultados menos satisfatórios. Considerando a recuperação mássica e o teor, a melhor dosagem foi a de 500 g/t. Obteve 92,56% de recuperação mássica e teores de 35,94% de ferro no rejeito e 58,40% de sílica no concentrado. Porém, analisando a recuperação metalúrgica de ferro, a melhor dosagem foi a de 1000 g/t (91,36%). Esses resultados podem ter como causa a dificuldade de controlar o pH da polpa já que a formação de bolhas antes da adição do coletor pode ter dificultado a ação desse.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros a adição de coletor em uma dosagem maior do que a que foi utilizada nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M. A. M. **Clatratos na flotação catiônica reversa de minérios de ferro**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.
- ARAUJO, A.C., VIANA, P.R.M., PERES, A.E.C., Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*, v.18, 2005.
- Anuário Mineral Brasileiro: **Principais Substâncias Metálicas** / Coord. Geral Osvaldo Barbosa Ferreira Filho; Equipe Técnica por Marina Dalla Costa et al.; – Brasília: ANM, 2019. 34 p.: il.
- BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. Recife: Editora Universitária. UFPE, p. 25, p. 77, p. 134-135. 2008.
- BATISTELI, G. M. B. **Amina residual na flotação catiônica reversa de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado) Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 118. 2007.
- CARVALHO, P. S. L. de, et al. **Minério de ferro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 39, p. 197-233, mar. 2014.
- CEREDA, M.P. **Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas: Propriedades Gerais do Amido**. Fundação Cargill: Campinas, 221p. 2001.
- CHAVES, A. P. **Teoria e Prática do Tratamento de Minério – A Flotação no Brasil – Vol 4**. Oficina de Textos. 2013.
- CHAVES, A.P., *et al.*, **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios; Flotação: o estado da arte no Brasil**. 1ª Edição. São Paulo: Signus Editora, 2006. Volume 4. p. 1-28, p. 247-329.
- DOS SANTOS, I.D.; OLIVEIRA, J.F. Utilization of humic acid as a depressant for hematite in the reverse flotation of iron ore. *Minerals Engineering*. v.20. p.1003-1007. 2007.
- KAR, B et al. Investigations on different starches as depressants for iron ore flotation. *Minerals Engineering*. V. 49. 2013.
- LEJA, J., *Surface Chemistry of Froth Flotation*. New York: Plenum Press, 1982, p.758.
- LOPES, Marcos. **O minério de ferro no Brasil: História, maiores empresas e mercado!** Disponível em: <https://tecnicoemineracao.com.br/minerio-de-ferro-no-brasil/> Acesso em 23/11/2019.
- MAPA, P.S., VASCONCELOS, S.L., **Ensaio de flotação em laboratório e sua aplicação no controle operacional**. In: 3º Seminário de Tecnologia

Mineral – CVRD – Belo Horizonte *apud* MAPA, P.S. (2006) Rota de processo para o underflow da deslamagem de minério de ferro do concentrador da Samarco Mineração S.A. Dissertação de mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2004.

MARINS, T. F. **Aplicação de Resíduos da Indústria Alimentícia Como Depressores da Hematita**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto. 2019.

MOREIRA, W.R. (2013). **Fontes de amido aplicáveis à flotação de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 27, p, 87-88.

MONTE, M.B.M., PERES, A.E.C., **Química de superfície na flotação**. In: LUZ, A.B., etal. Tratamento de minérios, 3a edição, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2004, Cap.9, p.339-407.

PAVLOVIC, S.; BRANDÃO, P.R.G. Adsorption of starch, amylose, amylopectin and glucose monomer and their effect on the flotation of hematite and quartz. **Minerals Engineering**. V. 16. 2003.

PERES, A.E.C.; CORREA, M.I. **Depression of Iron Oxides With Corn Starches**. *Minerals Engineering*. Great Britain. v.9. n.12. p.1227-1234. 1996.

RAO, S. R. **Surface Chemistry of Froth Flotation**. New York: Plenum Press, 2004.

RESENDE, M. **A utilização do resíduo da cana-de-açúcar (Saccharum officinarum) como alternativa de depressor na flotação catiônica reversa de hematita**. 2017. p.36. Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto.

SCHOBENHAUS, C.; COELHO, C. E. S. **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, volume 2, p. 3-6. 1986.

SOUSA, D.N.; **Depressores Alternativos na Flotação Catiônica Reversa de Minério de Ferro**. 2016. p. 40, p. 62-83. Monografia (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Catalão.

TURRER, H. D. G.; PERES, A.E.C. Investigation on alternative depressants for iron ore flotation. **Minerals Engineering**. V. 23. 2010.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY; **Mineral commodity summaries 2016**. U.S. Geological Survey, 202 p.90-91, 2017.