

APLICAÇÃO DO ÓLEO DE PEQUI COMO REAGENTE COLETOR NA MICROFLOTAÇÃO DE APATITA

TATIANE CARVALHO SILVA¹, ANDRÉ CARLOS SILVA², ELENICE MARIA SCHONS SILVA³
BRUNA EMANUELE ALVES⁴

1. Mestrado Profissional em Gestão Organizacional, linha de pesquisa Inovação, Desenvolvimento e Tecnologia, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil
Email: tatiane_economiaufg@hotmail.com
2. Departamento de Engenharia de Minas e Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil
Email: andre@iceb.ufop.br
3. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil
4. Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Catalão, Brasil

Recebido em: 28/10/2014 – Aprovado em: 05/11/2014 – Publicado em: 06/11/2014

RESUMO

O pequi (*Caryocar brasiliense*) é um fruto brasileiro oleaginoso, rico em ácidos graxos, com predominância dos ácidos oleico e palmítico. O fruto é composto por três partes principais: mesocarpo externo (ou polpa branca), mesocarpo interno (ou polpa amarela), muito apreciado na culinária local, e amêndoa. Os óleos extraídos da amêndoa (43,59 e 43,76% de ácidos oleico e palmítico, respectivamente) ou da polpa amarela (55,87 e 35,17% destes respectivos ácidos) são utilizados não só na alimentação, mas também como produto medicinal e na formulação de cosméticos. Este estudo propõe a aplicação do óleo de pequi extraído da polpa amarela como coletor na microflotação de apatita, em virtude da rica composição em ácidos graxos deste fruto. O óleo foi saponificado com hidróxido de sódio e então aplicado em testes de microflotação em tubo de Hallimond modificado com amostras puras de apatita, em pH 8. Os resultados indicam que o óleo da polpa amarela de pequi pode ser usado como coletor na flotação deste mineral.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo de pequi; coletor; microflotação; apatita.

ABSTRACT

Pequi (*Caryocar brasiliense*) (pronounced *Peekey*) is a Brazilian oleaginous fruit, rich in fatty acids, with a predominance of oleic and palmitic acids. The fruit is composed of three major parts: the outer mesocarp (or white pulp), the inner mesocarp (or yellow pulp), which is very appreciated in the local cuisine, and the nut. The oil extracted from the nut (43.59 and 43.76% of oleic and palmitic acids, respectively) or from the yellow pulp (55.87 and 35.17% of oleic and palmitic acids, respectively) are used not only for nourishment, but also as a medicinal product and in cosmetic formulations. This article proposes to use the oil from pequi's yellow pulp as a collector in apatite's froth

flotation, due to its rich fatty acid composition. The oil was saponified with sodium hydroxide and then applied in microflotation tests using a modified Hallimond tube and pure samples of apatite, at pH 8. The results indicate that pequi's yellow pulp oil can be used as a collector in the flotation of this mineral.

KEYWORDS: pequi's yellow pulp oil; collector; microflotation; apatite.

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de fosfato, apenas no ano de 2013, correspondeu a mais de seis milhões de toneladas. O fosfato, no segundo semestre do supracitado ano, consta também como a sétima substância mineral com maior participação no total da Compensação Financeira por Exploração de Recursos Minerais (CFEM) (DNPM, 2014). Dentre as maiores reservas de rochas fosfáticas existentes no Brasil, os Estados de Minas Gerais e Goiás se destacam, concentrando, respectivamente, 67,9% e 13,8% das reservas nacionais (SOUZA e FONSECA, 2008).

Segundo os mesmos autores, a maioria dos minérios de fósforo das rochas fosfatadas pertence ao grupo da apatita ($\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$), um fosfato cristalino de cálcio com flúor, com teor de P_2O_5 oscilando de 4 a 15%. Os depósitos de apatita possuem uma complexa mineralogia, contendo impurezas que influenciam na recuperação de fósforo nas usinas de beneficiamento desses minérios. Em virtude disso, pesquisas e melhorias tecnológicas já foram realizadas na tentativa de aproveitamento da apatita.

O sistema de reagentes de flotação é fator determinante na eficiência deste processo. O potencial dos ácidos graxos como agentes coletores é reconhecido na literatura, e o uso de óleos vegetais na flotação de minérios é tema de diversas pesquisas. O estudo de Silva *et al.* (2009) com óleos vegetais de algodão e mamona foi motivado pela busca de reagentes alternativos para o processo de flotação, devido ao alto custo dos reagentes então utilizados. Observou-se o desempenho destes óleos como coletores em flotação de dolomita. Os resultados reforçam a utilização destes reagentes de flotação frente aos coletores tradicionais.

Costa (2012) analisou o uso de óleos vegetais amazônicos na flotação de minérios fosfáticos. Os resultados obtidos no trabalho indicam que é grande a possibilidade de utilização de óleos vegetais amazônicos como coletores na flotação de minérios fosfáticos. O autor destaca que o coletor da semente de maracujá corresponde a uma alternativa aos reagentes atualmente usados na flotação de fosfatos.

Alves *et al.* (2013), na aplicação de óleos vegetais como coletores, concluiu que o coletor de maracujá apresentou maior seletividade entre a apatita e calcita. Os autores ainda constataram que o coletor do óleo de maracujá apresentou melhor desempenho que o coletor de babaçu, sugerindo que os ácidos graxos insaturados são os responsáveis pelo maior poder de coleta das partículas. Enquanto o coletor de maracujá atingiu a flotabilidade máxima da apatita na concentração de 5 mg/L, o coletor de babaçu atingiu a mesma flotabilidade com o dobro dessa concentração (10 mg/L).

Considerando as informações supracitadas, esta pesquisa buscou apresentar uma alternativa de coletor a ser aplicado na flotação de apatita, podendo gerar vantagens para a indústria através da utilização de um coletor vegetal, sem perda de recuperação mineral, aliada a uma produção mais sustentável. Para tanto, a proposta do trabalho contemplou a aplicação do óleo vegetal de pequi, extraído da

polpa amarela deste fruto. O objetivo é aplicar o óleo de pequi no processo de microflotação de apatita, verificando seu potencial como coletor.

O pequi é um fruto brasileiro oleaginoso, rico em ácidos graxos, com maior incidência dos ácidos oleico e palmítico. Essa espécie é abundante nos estados que possuem as principais áreas de concentração de fosfato no Brasil e, sendo um fruto oleaginoso, seu potencial como coletor pode ser explorado e valorizado na região.

POTENCIAL DO ÓLEO DE PEQUI COMO COLETOR

O pequi, também conhecido como piqui ou piquiá, é um fruto de cheiro forte e característico utilizado na culinária da região Centro-Oeste, Norte e parte do Nordeste do país. O pequizeiro é uma árvore com utilidades variadas, desde sua madeira até o fruto, com aplicações na indústria artesanal, culinária, na farmácia popular e indústria cosmética. Apresenta também potencial de uso para a produção de combustíveis e lubrificantes (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Lima *et al.* (2007) apresentam, dentre outros aspectos, a caracterização física do fruto. O pequi é constituído pelo exocarpo (casca); pelo mesocarpo externo, que constitui o que se denominou polpa branca; o mesocarpo interno, que corresponde à polpa amarela e se refere à parte comestível do fruto; e o endocarpo, espinhoso, que protege a amêndoa. A figura 1 apresenta as partes do pequi.

O pequi é um fruto que possui uma grande quantidade de ácidos graxos, o que levou ao desenvolvimento desta pesquisa, vislumbrando seu potencial como coletor na flotação. Zuppa (2001), ao realizar a análise de óleos vegetais de frutos do cerrado, observou que a amêndoa e polpa do pequi apresentaram alta viabilidade de extração de óleo. Com relação à composição em ácidos graxos, a polpa amarela do fruto apresenta maior concentração de ácido oleico, que corresponde a 54% do total de ácidos graxos presentes na polpa, e de ácido palmítico, representando 41,1%.

Lima *et al.* (2007), em seu trabalho de caracterização do óleo vegetal extraído da polpa e da amêndoa do pequi, constataram que a polpa do fruto é rica em lipídeos, correspondendo a 33,4% de sua composição. Os resultados indicam a predominância de ácidos graxos insaturados na polpa amarela do fruto, que representam 61,35%. Observou-se na polpa maior concentração de ácido oleico (55,87%), seguido do ácido palmítico (35,17%). Detectou-se a presença em menor quantidade de outros ácidos, dentre eles o ácido esteárico, com 2,25%. A figura 2 apresenta o perfil em ácidos graxos da polpa amarela do pequi.

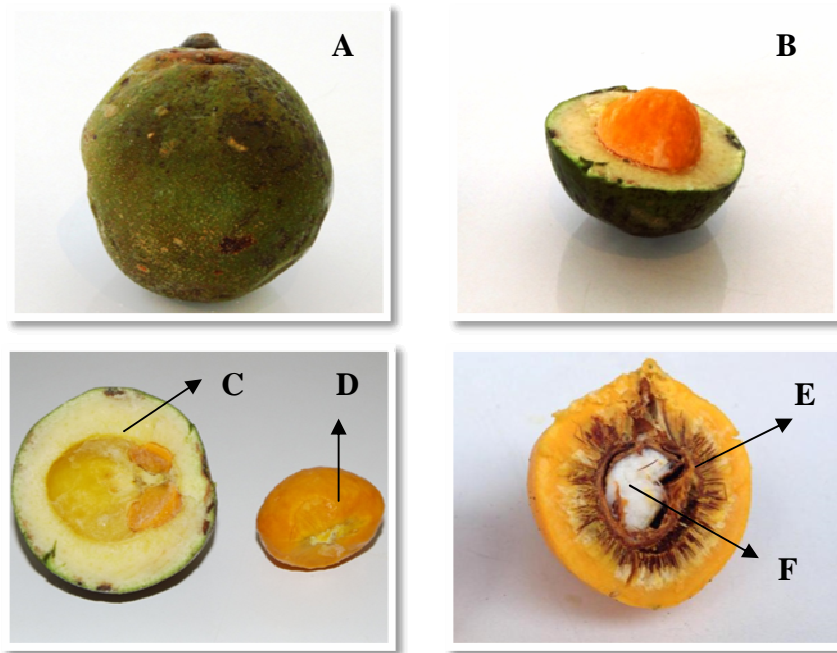


FIGURA 1: Partes do Pequi

A – Fruto inteiro; B – Fruto partido, sendo possível verificar o exocarpo e as polpas; C – Mesocarpo externo (polpa branca); D - Mesocarpo interno (polpa amarela); E – Endocarpo, espinhoso, que protege a amêndoa. F – Amêndoa.

Fonte: Autoria própria.

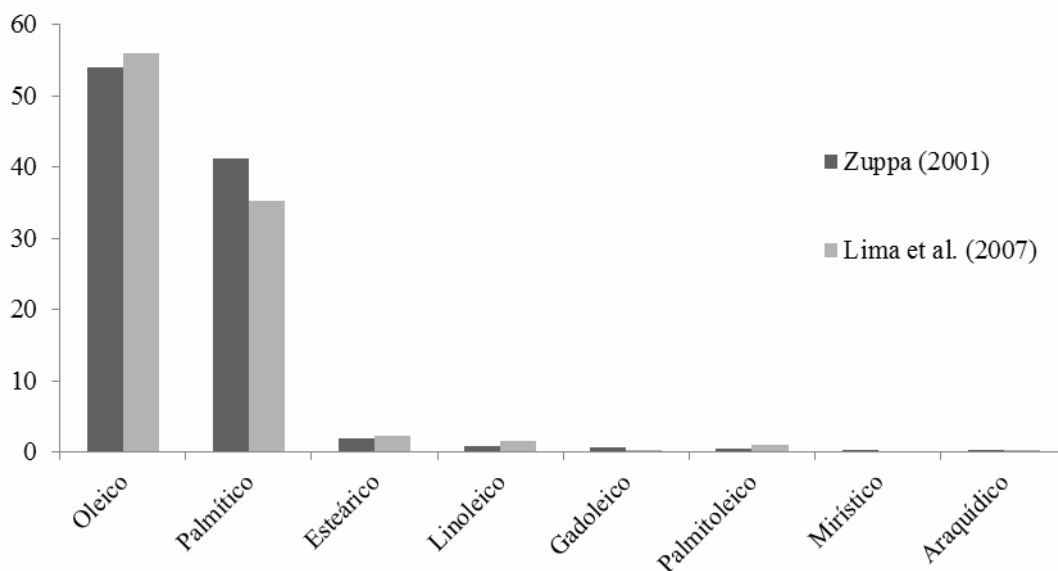


FIGURA 2: Composição em ácidos graxos da polpa amarela do pequi

Lopes *et al.* (2012), em seu estudo de caracterização de óleos vegetais de frutos do Cerrado, também analisaram o óleo da polpa de pequi. Os resultados encontrados pelos autores salientam a predominância dos ácidos oleico e palmítico. O primeiro obteve médias de 53,50; 52,90 e 51,59%, considerando as três diferentes amostras do fruto. A incidência de ácido palmítico foi de 39,02; 39,48 e 40,17% nas

três amostras. Os resultados de Lopes *et al.* (2012) condizem com os anteriormente encontrados por Zuppa (2001) e Lima *et al.* (2007).

Brandão *et al.* (1994) realizaram testes de microflotação em tubo de Hallimond com apatita pura, usando como coletores sais de sódio de ácidos graxos, em função do pH. Os resultados demonstraram que os ácidos graxos insaturados (linoleico, oleico e linolênico) tiveram desempenho superior em relação aos saturados (palmítico e esteárico). Portanto, o perfil da composição de ácidos graxos do pequi sugere seu potencial como coletor, pois, como descrito por Lima *et al.* (2007), tanto na polpa quanto na amêndoa do fruto predominam os ácidos graxos insaturados. Apesar da presença significativa do ácido palmítico, acredita-se que a grande composição de ácidos insaturados pode gerar um expressivo poder de coleta. Espera-se que possa haver uma ação combinada dos sais de ácidos graxos presentes no fruto, que ocasione um poder de coleta satisfatório no processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O mineral de apatita adquirido para esta pesquisa foi submetido aos procedimentos de moagem, peneiramento e secagem, para sua posterior classificação em faixas granulométricas e armazenamento. O material foi cominuído em moinho de bolas e a etapa de peneiramento foi realizada a úmido. Após o peneiramento, o mineral passou pelo procedimento de filtragem a vácuo para então ser inserido nos recipientes e seguirem à etapa de secagem em estufa.

As amostras de apatita pura, separadas por granulometria, foram armazenadas em frascos, prontas para o uso. Uma amostra do mineral passante em 65# e retido em 80# foi submetida à análise química em uma mineradora da cidade de Catalão – Brasil, com o objetivo de identificar os componentes do mineral que foi adquirido e utilizado nos testes de microflotação.

Para a realização dessa pesquisa, utilizou-se como coletor o óleo da polpa amarela de pequi, produzido por empresa especializada, adquirido no Mercado Central da cidade de Goiânia. Utilizou-se também o coletor industrial Flotigam 5806, da empresa Clariant, para ser usado como parâmetro de comparação.

A caracterização do óleo de pequi se fez necessária para a interpretação dos resultados de flotação, relacionando as características do óleo que podem influenciar no desempenho do mesmo como coletor. Realizaram-se análises para obtenção do índice de saponificação (IS) e índice de acidez (IA), tendo como referência os métodos descritos por Oliveira (2005).

O procedimento de saponificação do óleo de pequi foi realizado utilizando-se hidróxido de sódio a 10%. Neste procedimento, foram adicionados 5 g de óleo a 20 g de água, dispendo a mistura em um agitador magnético. Ligada a agitação, adicionou-se 7,5 mL de hidróxido de sódio a 10% para saponificar a solução. Retornando o recipiente para a balança, adicionou-se água até que a solução atingisse 100 g. Por fim, o conjunto novamente foi disposto no agitador magnético para homogeneização.

Os ensaios de microflotação foram realizados com amostras puras de apatita, variando-se a concentração do coletor. As condições de teste foram: vazão de ar de 40 cm³/min; tempo de condicionamento de 7 minutos; tempo de flotação de 1 minuto; 1 g de mineral; pH 8; e concentrações 2,5; 5; 7,5; 10 mg/L. Foram utilizadas amostras de mineral retido em 80# (180 µm). O tubo de Hallimond foi o equipamento usado nestes testes.

O condicionamento foi realizado de forma concentrada, com 50 mL de

solução, adicionando-se a quantidade de coletor que garantisse a concentração final desejada. Chegando ao final dos 7 minutos de condicionamento, adicionou-se o restante da água necessária ao procedimento, atingindo uma solução com 320 mL, para então iniciar-se a flotação. Esse procedimento foi realizado para que o contato mineral / coletor fosse mais intenso durante o condicionamento.

A recuperação da apatita sob a atuação do óleo de pequi foi medida em função da massa flotada, ou seja, a flotabilidade do mineral foi calculada a partir da relação entre a massa flotada e a soma das massas flotada e afundada.

RESULTADOS

A análise química do mineral realizada em espectrômetro de fluorescência de raios – X foi executada no intuito de verificar o grau de pureza da apatita adquirida para a pesquisa, identificando os componentes da amostra de mineral. A tabela 1 apresenta os resultados da análise.

TABELA 1: Caracterização química da amostra de apatita -65 +80 #

Óxidos	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	BaO	Al ₂ O ₃	CaO
Teor (%)	-	40,50	0,07	0,94	0,06	0,38	52,04

A análise de caracterização da amostra de apatita revelou a presença em pequenas quantidades de Barita e Ferro. Entretanto, as concentrações de P₂O₅ e CaO são elevadas, representando 92,54% de sua composição, condizendo com uma amostra com alto grau de pureza. Para a realização dos testes de microflotação, foram utilizadas amostras de apatita retida em 80# (180 µm). A figura 3 apresenta uma imagem gerada em microscópio do mineral nesta granulometria.



FIGURA 3: Apatita retida em 80#
Fonte: Autoria própria.

Com relação à caracterização, o índice de acidez é definido como o número de miligramas de KOH necessários para a neutralização dos ácidos graxos em 1 g de amostra (COSTA, 2012). Portanto, quanto maior o índice de acidez, maior a quantidade de ácidos graxos livres. O óleo da polpa amarela de pequi apresentou índice de acidez de 0,029 mg KOH / g de óleo. O baixo índice de acidez do pequi sugere que neste óleo grande parte dos ácidos graxos está esterificada ao glicerol. Portanto, a reação de saponificação é necessária.

O índice de saponificação encontrado pelo método descrito por Oliveira (2005) foi de 191,98 mg KOH / g, o que significa que são necessários 191,98 mg de hidróxido de potássio para a saponificação dos ácidos graxos em 1 grama de amostra. Este valor condiz com outros valores encontrados na literatura, como o apresentado por Deus (2008) para o óleo de pequi, que foi de 194,29 mg KOH /g.

Os resultados dos testes de microflotação utilizando o coletor Flotigam 5806 e o óleo da polpa amarela de pequi estão apresentados na figura 4, que apresenta o gráfico comparando o desempenho dos coletores em função da concentração, no pH 8.

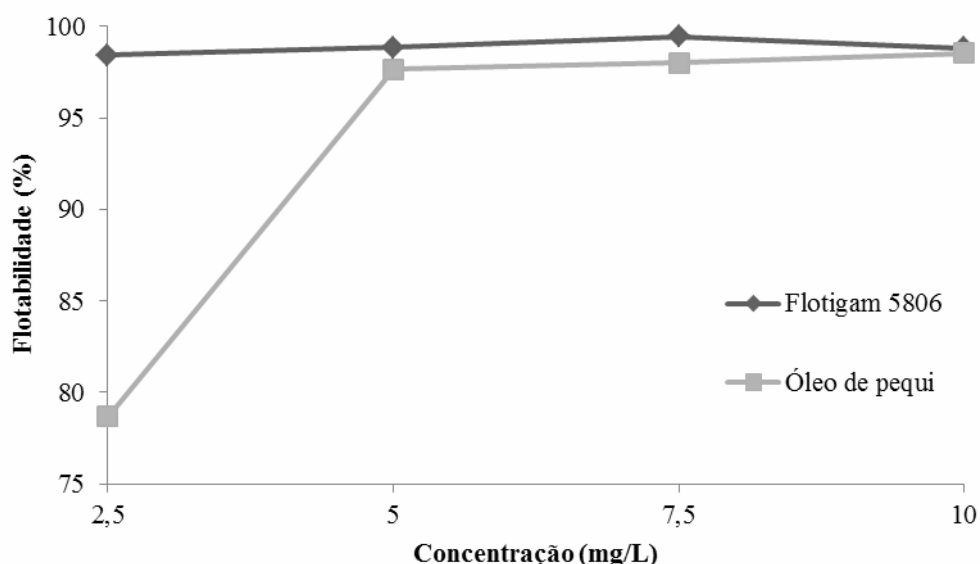


FIGURA 4: Flotabilidade (%) de apatita em função da concentração dos coletores Flotigam 5806 e óleo da polpa amarela de pequi, pH 8

Observa-se que, para o pH 8, o coletor Flotigam 5806 apresentou melhores resultados que o óleo da polpa amarela de pequi. Entretanto, o óleo vegetal testado apresentou resultados próximos aos encontrados para o coletor industrial, atingindo recuperações superiores a 95% nas concentrações 5, 7,5 e 10 mg/L. Apenas na concentração 2,5 mg/L o óleo de pequi obteve um desempenho inferior, com 78,676% de recuperação.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o óleo da polpa amarela do pequi foi eficaz na recuperação de apatita em testes de microflotação, com resultados próximos aos observados para o coletor industrial utilizado como parâmetro nas concentrações 5, 7,5 e 10 mg/L, com testes realizados no pH 8. Mesmo na concentração 2,5 mg/L, que obteve uma

menor recuperação de mineral, o resultado foi considerável, com uma flotabilidade próxima a 80%.

Portanto, o óleo de pequi pode constituir uma alternativa de coletor a ser aplicado na flotação de minerais fosfatos. Este resultado fomenta a realização de novos estudos sobre a aplicação deste óleo na flotação de minerais, indicando uma nova fonte de reagente. A aplicação deste óleo como coletor poderá ainda contribuir com o incentivo à preservação e produção desta espécie vegetal, além de inserir na indústria um reagente natural, gerando inovação na produção brasileira de fosfato.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do CNPq, CAPES, FAPEG e FUNAPE. Além disso, agradecimentos à Universidade Federal de Goiás, à Anglo American Fosfato Brasil, e à empresa Clariant pela doação de amostras.

REFERÊNCIAS

ALVES, A.; COSTA, D.; MEIRELES, A.; QUEIROZ, R.; PERES, A. Aplicabilidade dos óleos de maracujá (*passiflora edulis*) e babaçu (*orbignya phalerata*) na flotação de apatita, calcita e quartzo. In: **XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa e VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology**. Goiânia, 2013.

BRANDÃO, P. R. G., CAIRES, L. G., QUEIROZ, D. S. B. Vegetable Lipid Oil-Based Collectors in the Flotation of Apatite Ores. **Minerals Engineering**, v. 7, p. 917-925, 1994.

COSTA, D. S. **Uso de Óleos Vegetais Amazônicos na Flotação de Minérios Fosfáticos**. 2012. 191 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

DEUS, T. **Extração e caracterização de óleo do pequi (*Caryocar brasiliensis* Camb.) para o uso sustentável em formulações cosméticas óleo/água (O/A)**. 2008. 75f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Informe Mineral 2º 2013**. Brasília: DNPM, 2014. Disponível em: <http://www.dnmp.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=9114>. Acesso em: set. 2014.

LIMA, A. *et al.* Composição Química e Compostos Bioativos presentes na Polpa e na Amêndoa do Pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 29, n. 3, p. 695-698, Dezembro 2007.

LOPES, R.; SILVA, J.; VIEIRA, R.; SILVA, D.; GOMES, I.; COSTA, T. Composição de Ácidos Graxos em Polpa de Frutas Nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 34, n. 2, p. 635-640, Junho 2012.

OLIVEIRA, J. **Grau de Saponificação de Óleos Vegetais na Flotação Seletiva de Apatita de Minério Carbonatítico**. 2005. 187 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Ouro Preto,

Ouro Preto, 2005.

OLIVEIRA, M. *et al.* **Aspectos Agronômicos e de Qualidade do Pequi**. Embrapa Agroindústria Tropical, Documentos, 113. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

SILVA, L. *et al.* Caracterização físico-química dos óleos de mamona e algodão na flotabilidade da dolomita como agentes coletores. In: **XLIX Congresso Brasileiro de Química**. Porto Alegre – RS, 2009.

SOUZA, A.; FONSECA, D. **Fosfato**. DNPM, 2008. Disponível em:<https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4003>. Acesso em 24 fev. 2014.

ZUPPA, T. **Avaliação das potencialidades de plantas nativas e introduzidas no Cerrado na obtenção de óleos e gorduras vegetais**. 2001. 116f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.