



BENEFICIAMENTO DE AREIA QUARTZOSA POR GRAVIMETRIA

José Elias Maccari Ignácio¹

Guilherme Silva de Souza²

Pâmela Milak³

Resumo: O setor de revestimento cerâmico desempenha papel fundamental na economia catarinense, o estado abriga um dos maiores polos do ramo no Brasil. Colorifícios são indústrias que produzem insumos para a fabricação de peças cerâmicas, e utilizam como principal matéria prima a areia quartzosa. A quantidade de depósitos com características suficientes para uso em colorifícios vem diminuindo, desta maneira torna-se usual a busca por beneficiamentos baratos e eficientes. O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho do beneficiamento gravimétrico para a concentração de areia quartzosa. A amostra foi inicialmente caracterizada por meio de distribuição granulométrica, análise química e imantáveis, na sequência utilizou-se calha e mesa concentradora para o tratamento da areia estudada. Os concentrados dos dois equipamentos apresentaram resultados satisfatórios, houve redução de contaminantes em ambos. O melhor resultado foi obtido a partir da calha, utilizando uma percentagem de sólidos de 46,5%, foi alcançado um produto com teor de titânio 49,4% menor que na amostra inicial, ocorreu redução também na quantidade de ferro presente, a diminuição ficou na ordem de 28,9%. Devido a simplicidade de fabricação e operação da calha concentradora, toda redução por ela proporcionada é vantajosa, apresentando-se como uma alternativa viável.

Palavras-Chave: Areia Quartzosa. Beneficiamento. Gravimetria. Calha. Mesa.

1 INTRODUÇÃO

A cerâmica é um dos mais importantes segmentos industriais da região sul catarinense, a abundância de matéria prima e a disponibilidade de mão de obra, foram fatores que colaboraram para o sucesso do setor (DE JESUS, 2018).

A produção de peças cerâmicas demanda uma série de insumos. Enquanto que na fabricação da massa são empregados materiais como argilas, caulins e feldspatos, no acabamento são utilizados fritas, granilhas e esmaltes. Estes últimos são produzidos por colorifícios, indústrias que fabricam produtos destinados a formação da camada vítrea na superfície cerâmica (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2010).

¹ Graduando em Engenharia de Minas, Centro Universitário UniSATC. E-mail: zeeliasmaccari@gmail.com

² Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: gui.lherme.ss@hotmail.com

³ Prof. do Centro Universitário UniSATC. E-mail: pamela.milak@satc.edu.br



Devido ao processo de beneficiamento, as fritas por exemplo, apresentam um valor agregado maior que as argilas.

O insumo mais utilizado nas indústrias de colorifício é a areia quartzosa, material encontrado com facilidade na região litorânea, popularmente este minério é conhecido como areia de quartzo, além da cerâmica apresenta vasta aplicação em indústrias vidreiras e de fundições (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2010). Os diferentes usos desta areia são determinados por meio de suas características e propriedades, sendo teor de sílica e composição química os principais parâmetros.

A disponibilidade de reservas com qualidade suficiente para uso em colorifícios vem diminuindo, como consequência a busca de beneficiamentos mais eficientes e mais baratos têm se tornado comum. Por exigir matérias primas com elevado grau de pureza, as areias destinadas ao setor cerâmico costumam ser beneficiadas por meio de equipamentos magnéticos, essa concentração ocorre em separadores de rolos, este equipamento permite que partículas ferruginosas sejam removidas.

Contudo este método apresenta limitações, sendo o custo a principal desvantagem. Como alternativa, será discutido neste artigo a utilização da gravimetria como forma de concentrar areia. Com amplo uso na indústria de beneficiamento mineral, os equipamentos gravimétricos destacam-se sobre os demais devido a fatores como baixo custo operacional e elevadas taxas de produção (SAMPAIO, 2005).

Entre os inúmeros equipamentos que utilizam a gravidade para operar, foram escolhidas as calhas concentradoras e as mesas concentradoras. O custo de aquisição, as características operacionais e a eficiência foram fatores que contribuíram para a escolha desses representantes gravimétricos.

Assim, nesta pesquisa busca-se avaliar a aplicação da concentração gravimétrica para o beneficiamento de areias quartzosas, comparando resultados como o uso da separação magnética, tomando como referência os padrões exigidos pela indústria de colorifício.



2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA NACIONAL

O setor de revestimento cerâmico nacional se desenvolveu com base nas indústrias fabricantes de tijolos, blocos e telhas (OLIVEIRA, 2015). Com uma produção voltada para o mercado interno, o setor sofreu vertiginoso crescimento a partir dos anos 1960, impulsionado pelo crescimento da construção civil no país (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2019).

O desenvolvimento da indústria cerâmica não ocorreu de maneira uniforme no Brasil, de acordo com características regionais algumas regiões ganharam mais espaço que outras, como expõe a ABCERAM Associação Brasileira de Cerâmica (2016):

As regiões que mais se desenvolveram foram a SUDESTE e a SUL, em razão da maior densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infra-estrutura, melhor distribuição de renda, associado ainda as facilidades de matérias-primas, energia, centros de pesquisa, universidades e escolas técnicas. Portanto, são nelas onde se tem uma grande concentração de indústrias de todos os segmentos cerâmicos. Convém salientar que as outras regiões do país têm apresentado um certo grau de desenvolvimento, principalmente no Nordeste, onde tem aumentado a demanda de materiais cerâmicos, principalmente nos segmentos ligados a construção civil, o que tem levado a implantação de novas fábricas cerâmicas nessa região.

Segundo Prado e Bressiani (2012) o Brasil apresenta posição de destaque na produção de cerâmica mundial, estando à frente de tradicionais produtores, como Itália e Espanha. Oliveira (2015) destaca que o polo paulista apresenta o maior volume em produção, enquanto o polo catarinense o maior volume em exportação, em se tratando de revestimento cerâmico.

A indústria cerâmica catarinense teve início no ano de 1919, como afirma Colonetti (2016, p. 1):

Na região Sul Catarinense, a primeira unidade produtora de cerâmica foi instalada, em 1919, na localidade de Imbituba. Tratava-se da Cerâmica Henrique Lage, implantada pelo empresário Henrique Lage, nas proximidades do Porto de Imbituba, com o objetivo de fabricar louças para os navios da sua companhia de navegação.

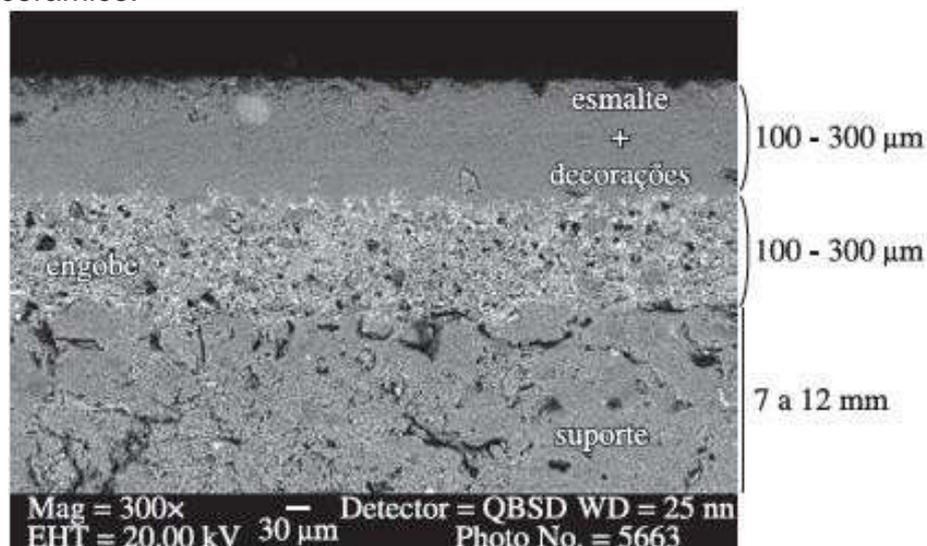
Segundo Isoppo (2009), a partir de 1970 a região de Criciúma experimentou grande expansão, com o surgimento de novas empresas, investimento

de capital estatal e aprimoramento das técnicas de fabricação. Neste período inúmeras cerâmicas e indústrias de suprimento para este setor, tais como coloríficos, foram fundadas. O decorrer das décadas serviu para consolidar o setor, conforme o autor de Jesus (2018) desde os anos 2000 a cerâmica catarinense vive um período de forte estabilidade, mas esta estabilidade está diretamente ligada ao mercado externo.

2.1.1 Indústria de colorifício

De acordo com Cabral Junior, *et al.* (2010), uma típica peça cerâmica é composta por três camadas, a parte basal também conhecida como biscoito serve de suporte, motivo pelo qual apresenta maior espessura. A segunda camada recebe o nome de engobe, sua finalidade na peça cerâmica é atuar como camada impermeável, além de esconder a cor do suporte. Na superfície das placas encontram-se os esmaltes e as decorações, estes são responsáveis por definirem a estética do produto. A Fig. 1 representa de maneira simplificada a estrutura de uma peça cerâmica tradicional.

Figura 1: Seção transversal de uma placa de revestimento cerâmico.



Fonte: extraído de Boschi (2005).

Os insumos primordiais empregados na fabricação dos engobes, esmaltes e decorações são provenientes dos coloríficos (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2010). Segundo Romachelli (2006, p. 77) “o termo colorifício descreve fábricas que produzem



fritas, esmaltes e corantes cerâmicos. Pode-se adicionar a estes outros tipos diversos de materiais especiais como: granilhas (materiais vítreos com diversas granulometrias e cores), tintas e pastas serigráficas, utilizadas em diversos tipos de decorações, engobes e outros materiais diversos”.

O principal produto fabricado pelos coloríficos são as fritas, este termo é descrito por Cabral Junior, *et al.* (2010, p.13) como:

Tratam-se de materiais cerâmicos vítreos, insolúveis em água, que são obtidos pela fusão seguida do resfriamento rápido de misturas controladas de matérias-primas. As fritas são utilizadas nas formulações de uma série de produtos empregados no recobrimento superficial das peças cerâmicas [...].

De todo o processo cerâmico é na fabricação de fritas que ocorre o maior consumo de areia quartzosa (CABRAL JUNIOR, *et al.*, 2010). Segundo Oliveira (2015), este consumo ocorre porque o quartzo apresenta a função de ajustar o coeficiente de expansão térmica, além de tornar a frita mais refratária. Luz e Lins (2005, p. 115) afirmam “O elevado uso da sílica na indústria cerâmica é atribuído à sua dureza, alta temperatura de fusão, baixo custo e a capacidade de formar vidros. A areia de quartzo tem como função fornecer SiO_2 à massa cerâmica [...]”. Além de atuar como agente branqueador e refratário (PRACIDELLI, 2008).

2.2 AREIA QUARTZOSA E A LAVRA

Segundo a ABNT Associação Brasileira de Normas técnicas NBR 6502, areia é toda partícula que apresenta um tamanho entre 0,06mm e 2,0mm. Para Luz e Lins (2005), a areia é um material que resulta de rochas mais ou menos cimentadas. O termo areia industrial se refere a areias silicosas empregadas em estado natural, ou beneficiadas na indústria. De acordo com o autor acima citado, esse material apresenta alto teor de sílica SiO_2 , na forma de quartzo, e por isso pode ser chamado de areia de quartzo, areia quartzosa ou areia de sílica. Conforme Luz e Lins (2005, p. 109), “As areias industriais encontram-se no domínio dos sedimentos e das rochas sedimentares”.

Segundo Ferreira e Daitx, (2003, p. 60):

Numa visão geral, qualquer corpo arenoso pode ser transformado em areia industrial, cujas características estarão implicitamente ligadas às do próprio depósito original, mas o que determinará o seu aproveitamento será,



fundamentalmente, a economicidade dos produtos a serem obtidos após o seu beneficiamento.

As aplicações industriais da areia estão relacionadas às suas propriedades e características, conforme Ferreira e Daitx (2003), teor de sílica, composição química, matéria orgânica são atributos determinantes quanto a aplicação final deste material. Com relação aos contaminantes prejudiciais ao processo destacam-se os minerais pesados (zircão, ilmenita, magnetita, turmalina, cianita, estauroilita, sillimanita).

Luz e Lins (2005, p. 107) evidenciam os principais usos da areia de sílica:

[...] e são materiais extramamente importantes em vários segmentos industriais: na fabricação de vidros e na indústria de fundição, seus principais usos; na indústria cerâmica, na fabricação de refratários e de cimento; na indústria química, fabricação de ácidos e de fertilizantes; no fraturamento hidráulico para recuperação secundária de petróleo e gás; [...].

Por apresentar uma aplicação variada, Souza, *et al*, (2014) classificam o emprego da areia industrial de acordo com o tamanho da partícula. Areias grossas são utilizadas na indústria de fundição e construção civil, as areias médias na indústria de vidros e fritas, já a areia fina é destinada a fabricação de borrachas e tintas.

Quartzo na forma de areia, é um dos minerais mais comuns, Luz e Lins (2005) afirmam que este pode ser encontrado em diversas rochas, de idades geológicas diferentes. A exploração de areia quartzosa em Santa Catarina destaca-se no cenário nacional, segundo dados do DNPM (2001) o estado apresenta uma das maiores produções do país. De acordo com Ferreira e Daitx (2003), as reservas estão concentradas na região litorânea, essas formações geológicas são originadas de ambientes marinhos, e contam com influência de processos eólicos e fluviais, o que proporciona diversificada distribuição granulométrica dos grãos.

As areias podem ser lavradas por diferentes métodos de lavra, Luz e Lins (2005) asseguram que a escolha dependerá do tipo de depósito. Se o material a ser minerado não estiver consolidado, e apresentar uma lâmina da água o recobrindo o método de dragagem é o mais indicado.

Curi (2017, p. 182) define dragagem como:

A dragagem corresponde a uma obra ou serviço de engenharia com a finalidade de escavação de materiais do fundo de rios, lagos, mares, baías ou canais para sua remoção, limpeza, desobstrução ou derrocamento. Os principais materiais escavados são solos, sedimentos e rochas do fundo de



corpos de água.

Se a areia a ser minerada apresentar maior consolidação ou estiver recoberta por argila, métodos mecânicos costumam ser empregados. Chaves (2013, p. 233) descreve “Outra solução são as retroescavadeiras. Elas trabalham na superfície do terreno e escavam o material abaixo delas (lavra a seco), [...]”. Luz e Lins (2005) expõem que no Sul do Brasil, além da utilização de máquinas para escavação, há o uso de caminhões basculantes que transportam o minério da lavra para a usina de beneficiamento.

2.3 BENEFICIAMENTO MINERAL

São raras as vezes que um mineral é utilizado tal qual é extraído, segundo Luz, França e Braga (2018, p. 3), “A maioria dos minérios, rochas ou minerais encontrados na crosta terrestre necessita, para seu uso, de algum beneficiamento para melhorar as suas propriedades físicas e/ou características químicas”, isto porque os minerais encontram-se misturados (CHAVES, 2013).

Chaves (2013, p. 9) descreve tratamento de minérios como:

O universo do tratamento dos minerais é a terceira atividade, ou seja, o conjunto de operações unitárias de redução e separação de tamanhos, separação de espécies minerais e de sólidos e líquidos, bem como a arte de combiná-los em fluxogramas, de modo a obter concentrados e produtos aceitáveis pelo mercado”.

A areia quartzosa utilizada na indústria cerâmica passa por processos de beneficiamento que elevam seu grau de pureza e diminuem o tamanho de partícula, de maneira essencial (LUZ; LINS, 2005). O método de beneficiamento é determinado de acordo com a facilidade/dificuldade de processamento do mineral, partículas menores exigem beneficiamentos mais eficientes.

2.4 BENEFICIAMENTO MAGNÉTICO

As areias industriais são classificadas de acordo com suas características, algumas propriedades como teor de sílica, pureza, composição química, teor de óxidos de ferro, forma dos grãos e teor de argila determinam sua aplicabilidade na indústria, (LUZ; LINS, 2005). O processo de beneficiamento típico das areias conta com lavagem, classificação, atrição e peneiramento, dependendo da especificação



requerida, em alguns casos outros processos podem ser empregados, como destacam Luz e Lins (2005, p. 112), “A Mineração Jundu também utiliza como métodos de purificação complementares, a flotação, em Analândia-SP e a separação magnética, em Descalvado-SP”.

As areias com finalidades mais nobres em Santa Catarina são concentradas por meio da separação magnética. De acordo com Chaves (2013, p. 181), “As propriedades magnéticas dos minerais são utilizadas para separá-los. Os equipamentos podem trabalhar via seca ou via úmida e tem intensidades de campo variadas [...]”. Este método apresenta elevada eficiência, porém um custo operacional elevado e requer rigoroso controle de qualidade.

Para Luz, França e Braga (2018, p. 341) os minerais podem ser divididos quanto a susceptibilidade magnética:

Minerais ferromagnéticos compreendem aqueles que são fortemente atraídos pelo ímã comum. O exemplo mais conhecido é a magnetita. Os paramagnéticos são fracamente atraídos e o exemplo clássico é a hematita. Os minerais diamagnéticos possuem susceptibilidade magnética negativa e, portanto, são repelidos quando submetidos a um campo magnético. Entre outros, se destacam, quartzo, cerussita, magnesita, calcita, barita, fluorita, esfalerita, etc.

A remoção de impurezas ferruginosas das areias industriais ocorre com a utilização de separadores de rolo induzido (LUZ; FRANÇA; BRAGA 2018). Segundo o autor citado, as partículas alimentadas penetram uma região entre o polo e o rotor. As partículas não magnéticas seguem inalteradas, enquanto as magnéticas são retidas no rolo e descarregadas a parte. Chaves (2013) afirma que esses equipamentos podem operar tanto a seco, quanto a úmido e são extremamente versáteis. Com relação a capacidade de produção Luz, França e Braga (2018) expõem que separadores de rolo operam com variação entre 17.700 a 35.400 kg/h.m de largura do rolo.

2.5 BENEFICIAMENTO GRAVIMÉTRICO

Um dos métodos mais antigos de concentração mineral, “A concentração gravítica pode ser definida como um processo no qual partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas são separadas uma das outras por ação da força de gravidade ou por forças centrífugas” (LUZ; FRANÇA; BRAGA, 2018, p. 275).



Segundo Sampaio (2005), verificar a possibilidade de separação do minério e da ganga por meio da gravimetria, tem de ser o primeiro passo que o engenheiro tratamentista deve tomar durante a escolha do método de concentração.

Sampaio, (2005, p. 87) descreve o porquê da preferência por gravimetria:

Aparelhos de concentração gravimétrica podem ser os mais adequados em um grande número de situações, devido às suas altas capacidades, baixos custos de operação e limitado impacto ambiental, permitindo a utilização no intervalo mais amplo de tamanhos de partículas que qualquer outro processo de concentração.

O reconhecimento da aplicação gravimétrica para determinado material pode ocorrer por meio do critério de concentração. “O critério de concentração fornece a ideia da facilidade/dificuldade de separar duas espécies minerais por métodos gravíticos” (CHAVES, 2013, p. 8). De acordo com Sampaio (2005, p. 87), “Em caso positivo, o engenheiro deve selecionar os equipamentos adequados com base na granulometria do material, na capacidade requerida, na eficiência desejada e no custo”. Este método foi primeiro sugerido por Taggart, com base na sua experiência profissional, e tem a água como fluido de separação. Por meio da Tab. 1 é possível verificar qual a eficiência da separação, e qual o tamanho de partícula aceitável para o beneficiamento gravimétrico, de acordo com o critério de concentração obtido. Esse critério de concentração pode ser obtido por meio da Eq. 1:

$$CC = \frac{\rho p - 1}{\rho l - 1} \quad (1)$$

Onde:

ρp = densidade do mineral pesado;

ρl = densidade do mineral leve;

Considerando a densidade da água igual a 1,0.

Tabela 1: Valores do critério de concentração (CC) e dificuldade de separação

CC	Significado
>2,50	Separação eficiente até 74 μm
2,50 - 1,75	Separação eficiente até 147 μm
1,75 - 1,50	Separação possível até 1,4 mm, porém difícil
1,50 - 1,20	Separação possível até 6mm, porém difícil

Fonte: Chaves (2013)

2.5.1 Calhas concentradoras

As calhas concentradoras (Fig. 2) são equipamentos utilizados para o beneficiamento mineral desde o Egito antigo segundo Lucas e Harris (1962, apud SAMPAIO, 2005, p. 339). De acordo com Chaves (2013), trata-se de um equipamento simples confeccionado em madeira com inclinação em torno de 15°, em que a polpa é alimentada na parte superior e descarregada na extremidade inferior.

O princípio de operação das calhas concentradoras pode ser definido por Luz, França e Braga (2018, p. 280):

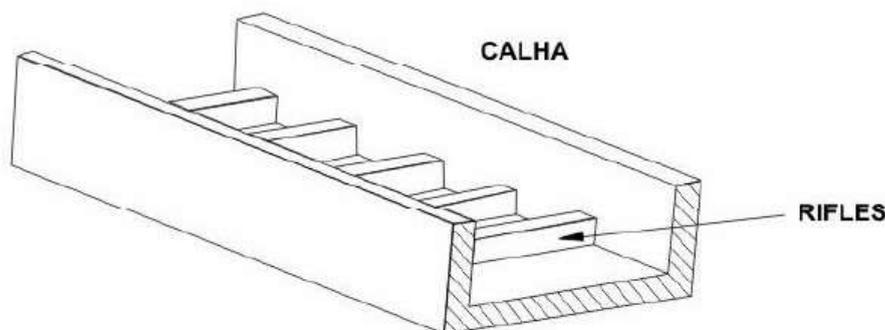
Uma calha consiste essencialmente de uma canaleta inclinada, feita normalmente de madeira e de seção transversal retangular. Inicialmente, no fundo da calha são instalados vários septos ou obstáculos (*rifles*), arranjados de modo a prover alguma turbulência e possibilitar a deposição das partículas pesadas, enquanto as leves e grossas passam para o rejeito. [...]. O minério alimenta a calha na forma de polpa diluída.

As calhas operam de forma semicontínua, depois de um período em operação que pode variar de horas a semanas, a alimentação é cessada a fim de coletar o material depositado. Para uma separação satisfatória, é necessário que este material retido permaneça em estado não compactado (SAMPALIO, 2005).

Sampaio (2005, p. 357) afirma: “As principais variáveis das calhas são o comprimento, a largura, a profundidade, a inclinação, a rugosidade do leito, a vazão de água e o tipo, altura e espaçamento dos *rifles*”. Veiga (2006, apud CHAVES, 2013, p. 107) registra que as calhas comuns apresentam de 1 a 2 metros de comprimento, largura variando de 30 a 50 centímetros e bordas com altura de 10 a 30 centímetros. Segundo Sampaio (2005), a inclinação da calha deve ser ajustada de acordo com o tamanho máximo de partícula da alimentação e da quantidade de água alimentada, podendo variar de 5 a 15°. Este mesmo autor afirma que inclinações mais elevadas

podem acarretar diminuição na recuperação do produto denso, devido ao aumento da velocidade do fluido.

Figura 2: Calha concentradora simples.



Fonte: Extraído de Luz, França e Braga (2018).

2.5.2 Mesas concentradoras

A mesa concentradora (Fig. 3) é um dos equipamentos que utiliza da gravimetria para concentrar minerais, “Elas consistem em uma superfície plana com formato romboidal ou retangular, chamada de deque. Esta superfície, coberta parcial ou totalmente por retentores “rifles”, é oscilada com um movimento diferencial na direção desses” (SAMPAIO, 2005, p. 414). Segundo Luz, França e Braga (2018), para melhor compreender o processo de separação é preciso dividir a mesa entre a região com rifles e a região lisa. Na região lisa as partículas minerais sofrem o efeito do movimento assimétrico, deslocando as partículas para frente. Enquanto na região com rifle, as partículas estratificam-se, os minerais pesados e pequenos se concentram na superfície, e os minerais grandes e leves na região intermediária do leito.

Além da oscilação a mesa concentradora conta com uma pequena inclinação em seu tablado, como descreve Sampaio (2005, p. 414): “Ela apresenta inclinações reguláveis que variam tipicamente de 0 a 6° em relação à horizontal na direção transversal aos rifles, com uma pequena elevação no sentido oposto ao mecanismo que gera oscilações”.

Figura 3: Imagem ilustrativa de uma mesa oscilatória.



Fonte: Extraído de Sampaio, França e Braga (2007).

Chaves (2013, p. 122) descreve o resultado da separação de partículas com a mesa:

Feita a descarga de minerais pesados concentrados, ao observar-se a mesa, é nítida a distribuição das partículas no tablado num formato de leque, em faixas perfeitamente individualizadas. A partir da esquerda, na primeira faixa, os minerais pesados finos, seguindo-se os pesados mais grosseiros. Uma terceira faixa composta de mistos de minerais pesados e minerais de ganga mais pesados ou mais grosseiros; a quarta faixa composta pelos rejeitos e, finalmente, uma quinta faixa de superfinos ou lamas, que pode não existir, dependendo das características do minério alimentado.

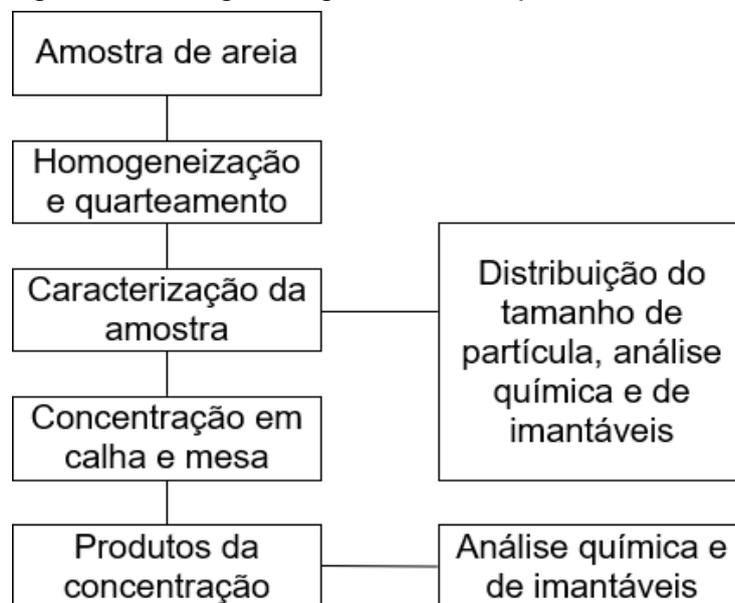
Luz, França e Braga (2018) afirmam que a principal desvantagem da mesa é sua baixa capacidade de processamento, este é o motivo no qual os minérios aluvionares, sejam usados apenas em etapas de limpeza. “A produção é, portanto, diretamente proporcional a área ocupada, o que leva a equipamentos grandes e desajeitados” (CHAVES, 2013, p. 124). Segundo Sampaio (2005, p. 438, apud MANSER *et al*, 1991; MILLARD, 1993), “Em geral, a concentração de sólidos (em peso) deve ser da ordem de 25%, não ultrapassando 35% para minérios e variando de 35 a 40% para carvão”.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo serão apresentados os materiais, procedimentos e equipamentos utilizados para o desenvolvimento experimental deste trabalho. As atividades práticas aconteceram no laboratório de beneficiamento mineral do curso de

engenharia de minas do Centro Universitário UniSATC. A Fig. 4 apresenta o fluxograma global das etapas do trabalho.

Figura 4: Fluxograma global das etapas de trabalho.



Fonte: Do autor (2020)

Para a realização do estudo foram utilizadas amostras de areias quartzosas provenientes de lavra situada na cidade de Jaguaruna, peneiradas e classificadas (deslamadas) previamente.

Após a coleta a areia quartzosa passou por homogeneização manual. O material foi submetido ao processo de separação de tamanho de partícula, para que assim fosse possível conhecer o tamanho dos grânulos da amostra. O ensaio seguiu a NBR 3310, devido a granulometria do minério foram usadas cinco peneiras, com as seguintes malhas: #35 mesh (0,50 mm), #45 mesh (0,35 mm), #60 mesh (0,250 mm), #80 mesh (0,177 mm) e #100 mesh (0,149 mm). Foram utilizados 300 g de material seco, o procedimento contou com o auxílio de um pincel. Depois de peneirado as frações retidas em cada malha foram pesadas em balança de precisão (modelo AD2000).

Para determinar o teor de minerais pesados nessas frações, o material retido nas malhas foi submetido ao ensaio de determinação do teor de imantáveis. Nesta etapa, foram utilizados um recipiente e um imã de potência de 10.000 Gauss, as alíquotas secas foram submetidas ao contato do imã por dez vezes consecutivas cada, ao final os materiais pesados retidos no imã foram removidos com o auxílio de



um pincel, e pesados na sequência em balança de precisão (modelo AD2000).

Depois de conhecido o tamanho dos grânulos da areia, foi possível determinar a massa mínima representativa das amostras empregadas nas etapas subsequentes. Essa determinação seguiu o método proposto por Richards (SAMPAIO, *et al.*, 2005), que considera o tamanho da maior partícula e a característica do material. A areia quartzosa apresenta características muito uniforme, e grânulos com tamanho máximo de 0,50 mm (#35 mesh), assim a amostra mínima representativa de acordo com Richards foi de 0,04 Kg.

Após determinada a massa mínima representativa, o material anteriormente homogeneizado foi quarteado de forma manual, esta etapa seguiu o método da pilha alongada, descrito por Sampaio *et. al* (2004), a amostra inicial de minério foi dividida em quatro partes iguais, na sequência foram retiradas alíquotas alternadamente de quartos opostos, estas compuseram a nova pilha, em seguida foi dividida ao meio no sentido longitudinal, e partes iguais no sentido transversal, para que os incrementos fossem coletados. Na sequência foram reservadas nove alíquotas, destas, quatro destinadas ao beneficiamento em calha concentradora e quatro destinadas ao beneficiamento em mesa concentradora cada qual com 1.000 g, e por último uma destinada a caracterização da amostra inicial com 150 g.

O primeiro ensaio de concentração ocorreu em uma calha concentradora. Este equipamento foi previamente confeccionado em madeira (Fig. 5), o seu dimensionamento foi embasado no referencial teórico deste estudo, por ser destinada a ensaios de laboratório algumas dimensões foram reduzidas, obedecendo a escala de 1:6. A calha confeccionada apresenta as seguintes características:

- comprimento: 1,0 metro
- largura: 20,5 centímetros
- altura do rifle: 1,8 centímetro
- altura lateral: 4 centímetros
- quantidade de rifles: 5
- inclinação: 5°

Figura 5: Calha concentradora.



Fonte: Do autor (2020).

Para ser concentrado em calha o material precisa se encontrar na forma de polpa, portanto as quatro alíquotas destinadas a essa etapa foram transformadas em polpas. As percentagens de sólidos em massa utilizadas foram: 12%, 19,5%, 37% e 46,5%. Antes do início dos ensaios, alguns testes com água foram realizados na calha, e constatou-se a necessidade de aumento da inclinação, o equipamento passou a contar então com inclinação de 7,5°. Os quatro testes na calha ocorreram de forma consecutiva, iniciava-se a alimentação na parte superior, enquanto que na extremidade inferior um recipiente coletava parte da polpa concentrada. Como a percentagem de sólidos era diferente, as alíquotas foram armazenadas em recipientes distintos. Ao final, as quatro porções foram levadas a estufa de laboratório, para que em temperatura de 106 °C fossem secas, até atingir peso constante. Em seguida as amostras foram submetidas ao ensaio de determinação do teor de imantáveis, seguindo os mesmos passos aplicados no início do experimento.

O segundo ensaio de concentração ocorreu em mesa concentradora (modelo MCW 165, marca Mineralmaq). A mesa não permite beneficiar materiais secos, assim como a calha, então a areia quarteada também foi transformada em polpa, foram utilizadas percentagens de sólidos em massa, sendo elas: 8%, 12%, 17,5% e 20%. Foi preciso ajustar o ângulo de inclinação do deque, a inclinação utilizada foi de 6,0°, a amplitude de oscilação do equipamento também foi ajustada, por apresentar granulometria fina a mesa operou com amplitudes menores, em torno de 150 pulsações por minuto, a polpa foi alimentada de forma continua na parte superior do equipamento. Com o auxílio de um recipiente foram coletados os concentrados de cada teste. As quatro alíquotas foram encaminhadas a estufa de laboratório e submetidas posteriormente ao ensaio de determinação de imantáveis, seguindo exatamente os princípios citados nas etapas anteriores.

Depois de realizar os ensaios de concentração propostos, a alíquota

reservada do material inicial também foi submetida ao ensaio de determinação do teor de imantáveis, conforme procedimento anterior descrito, com o material seco.

Por fim, a alíquota do concentrado do beneficiamento da calha com percentagem de sólidos de 46,5%, foi encaminhada para análise química no Centro Tecnológico da UniSATC, utilizando um equipamento de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX), modelo EDX 7000 da marca Shimadzu, afim de eliminar os materiais orgânicos e água de constituição presente, o material foi submetido previamente ao teste de perda ao fogo (PF) seguindo a norma ASTM D7348-07. Para efeito de comparação, a amostra inicial pré-beneficiada foi submetida a mesma análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tab. 2 apresenta a distribuição granulométrica do material estudado. A amostra possui predominância de grânulos com tamanhos variando entre #45 mesh (0,35 mm) e #60 mesh (0,250 mm). Por meio desta mesma tabela, é possível observar a percentagem de materiais imantáveis presentes em cada fração.

Tabela 2: Distribuição granulométrica da amostra inicial

Malha	Massa retida(g)	% de ferro em relação a massa retida	% de ferro em relação a massa total
#35	1,860	0,538	0,627
#45	68,440	0,015	23,068
#60	180,700	0,293	60,905
#80	28,630	1,886	9,650
+ #100	8,820	0,113	2,973
- #100	8,240	14,806	2,777

Fonte: Do autor (2020).

Esta classificação auxilia o conhecimento da amostra estudada, e serve de referência para entender os resultados obtidos através do beneficiamento.

Considerando a massa retida em cada malha, a faixa granulométrica que apresentou maior teor de contaminantes foi a fração menor que #100 mesh (0,149 mm), 14,806% do passante desta peneira ficou retido no imã. Para efeito de comparação, uma alíquota da amostra inicial sem segregação granulométrica, foi submetida ao mesmo ensaio de imantáveis, o teor de materiais contaminantes



encontrado foi de 0,487%, este valor é justificável por meio ainda da Tab. 2, visto que as maiores massas apresentam teores de imantáveis inferiores.

As Tab. 3 e Tab. 4 apresentam as percentagens de sólidos utilizados em cada ensaio, e os respectivos teores de materiais imantáveis encontrados pós beneficiamento.

Tabela 3: Percentagens de sólidos e percentagens de materiais imantáveis resultantes do beneficiamento em calha concentradora.

Nº ensaio	% de sólidos	% materiais imantáveis
1	12,0	0,009
2	19,5	0,010
3	37,0	0,126
4	46,5	0,167

Fonte: Do Autor (2020)

Tabela 4: Percentagens de sólidos e percentagens de materiais imantáveis resultantes do beneficiamento em mesa concentradora.

Nº ensaio	% de sólidos	% materiais imantáveis
1	8,0	0,021
2	12,0	0,029
3	17,5	0,023
4	20,0	0,023

Fonte: Do Autor.

As percentagens de sólidos utilizadas se aproximam do proposto por Chaves (2013), segundo este autor as calhas concentradoras devem operar na faixa de 30 a 50% de sólidos, enquanto as mesas concentradoras operam em média com 25% de sólidos. Economicamente quanto maior a percentagem de sólidos melhor, pois maior será a produção.

Mesmo com grande quantidade de material contaminante presente nas menores frações da areia estudada, os dois equipamentos apresentaram redução de materiais contaminantes em seus produtos, sendo verificável por meio dos ensaios de imantáveis. Na calha os melhores resultados ocorreram quando utilizadas polpas com menores percentagens de sólidos. Utilizando percentagens de sólidos próximo ao usual, a mesa concentradora também apresentou resultados satisfatórios, indicando que a utilização de ambos os equipamentos favorece a redução de contaminantes em areias quartzosas.



Com relação as análises químicas, os principais parâmetros a serem verificados são os teores de titânio e ferro, pois a presença desses óxidos corantes é indesejável na indústria cerâmica. A amostra inicial continha um teor de TiO_2 de 0,239% e Fe_2O_3 de 0,280%, enquanto que a amostra concentrada apresentou 0,121% de TiO_2 e 0,199% de Fe_2O_3 . Assim como nos resultados dos ensaios de imantáveis, as análises químicas comprovam que ocorreram reduções de materiais contaminantes, por meio da calha concentradora foi possível diminuir em 28,9% o teor de ferro, e 49,4% o teor de titânio.

A viabilidade dos equipamentos dependerá do produto desejado, a calha e a mesa concentradora apresentaram reduções de materiais contaminantes, sendo verificado por meio de ensaio de imantáveis ou através de análise química. Todavia, a calha merece atenção especial, pois trata-se de um equipamento extremamente barato, que pode ser confeccionado na própria mina, não necessita de energia elétrica e partes móveis para operar, toda purificação proporcionada a areia é válida. Já a utilização de mesa concentradora depende de estudo mais detalhado, seus custos de aquisição e operação são superiores ao da calha.

CONCLUSÕES

Por meio de caracterização inicial, constatou-se que as maiores quantidades de materiais contaminantes estavam presentes nas menores frações da amostra estudada. O tamanho de partícula tem relação direta com a eficiência de liberação dos minerais, quanto menor o tamanho do grão mais competente deve ser o beneficiamento.

A utilização de equipamentos gravimétricos para o beneficiamento de areia quartzosa apresentou resultados satisfatórios, calha e mesa concentradora proporcionaram reduções dos teores de contaminantes. A quantidade de material indesejado removido na calha, foi superior quando utilizado menores percentagens de sólidos, a elevação dessa variável indicou menor remoção de impurezas. No entanto, a mesa exibiu eficiência similar em diferentes percentagens de sólidos, indicando que para as faixas trabalhadas não existe alteração de resultados.

A eficiência da calha foi comprovada por meio de análise química, ficou evidente que os principais contaminantes da areia sofreram reduções. Considerando os baixos custos de construção e operação deste equipamento, torna-se vantajoso



sua aplicabilidade no beneficiamento de areia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3310: Peneiras de ensaio: requisitos técnicos e verificação**. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos: terminologia**. Rio de Janeiro. 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. **Abceram**, 2016. Cerâmica no Brasil – Considerações Gerais. Disponível em: <https://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

BOSCHI, A. O. **Minerais Cerâmicos**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005 (“Palestra apresentada em Painel do Projeto Setor Mineral” – Tendências Tecnológicas Brasil 2015).

CABRAL JUNIOR, Marsis *et al.* **A indústria de colorifícios no Brasil: situação atual e perspectivas futuras**. Cerâmica Industrial, São Paulo. 2010. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876573f7f8c9d6e028b4776/pdf/ci-15-1-5876573f7f8c9d6e028b4776.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

CABRAL JUNIOR, Marsis *et al.* **Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte II – Indústria de Revestimentos**. Cerâmica Industrial, São Paulo. 2019. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.010/pdf/ci-24-2-13.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CHAVES, Arthur Pinto. **Separação densitária**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

COLONETTI, Ricardo Alves. **Trajatória da indústria de revestimentos cerâmicos do sul catarinense**. Cerâmica Industrial, Criciúma. 2016. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657627f8c9d6e028b4847/pdf/ci-21-3-587657627f8c9d6e028b4847.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2020.

CURI, Adilson. **Lavra de minas**. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

DE JESUS, Fernando Soares. **Setor cerâmico na formação socioespacial catarinense**. Cerâmica Industrial, Florianópolis. 2018. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2018.008/pdf/ci-23-1-24.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2020.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília: DNPM, 2001. v.30, 404p. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/anuario-mineral-brasileiro-2001>. Acesso em: 8 mar. 2020.



FERREIRA, Gilda Carneiro, DAITX, Elias Carneiro. **A mineração de areia industrial na região sul do Brasil**. ResearchGate, Ouro Preto. 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26369774_A_mineracao_de_areia_industrial_na_Regiao_Sul_do_Brasil. Acesso em: 14 mar. 2020.

ISOPPO, Keity Kristiny Vieira. **Gênese e evolução da indústria cerâmica na região de Criciúma – SC**. 2009. 243 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92778/275839.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 mar. 2020.

LUZ, Adão Benvindo da, LINS, Fernando Antônio Freitas. **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005.

LUZ, Adão Benvindo *et. al.* **Tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

LUZ, Adão Benvindo da, FRANÇA, Silvia Cristina Alves, BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018.

OLIVEIRA, Antônio Pedro Novaes de. **Tecnologia de fabricação de revestimento cerâmico**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2015.

PRADO, U. S., BRESSIANI, J.C. **Panorama da indústria cerâmica na última década**. IPEN, Curitiba. 2012. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/cbc/18423.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PRACIDELLI, Sebastião. **Estudo dos esmaltes cerâmicos e engobes**. Cerâmica Industrial, São Caetano do Sul. 2008. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657347f8c9d6e028b4732/pdf/ci-13-1-2-587657347f8c9d6e028b4732.pdf>

ROMACHELLI, João Celso. **Processo de desenvolvimento de produtos na indústria de revestimentos cerâmicos: estudo de caso em fabricantes que utilizam o processo de moagem a úmido, de moagem a seco e colorifícios**. 2005. 210 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/3813/DissJCR.pdf?sequence=1>. Acesso em: 8 mar. 2020.

SAMPAIO, Carlos Hoffmann. **Beneficiamento gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

SAMPAIO, João Alves, FRANÇA, Silvia Cristina Alves, BRAGA, Paulo Fernando Almeida. **Tratamento de minérios: Práticas Laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.



SOUZA, M. T. *et al.* **Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais.** Scielo, Florianópolis. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ce/v60n356/v60n356a16.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2020.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a elaboração deste artigo. De modo especial ao professor Guilherme de Souza que esteve presente em todo o trabalho, desde a definição do assunto e à professora Pâmela Milak que auxiliou constantemente na elaboração do texto.