Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Poços de Caldas

Curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM)

ROQUE ARTHUR DA COSTA VIEIRA

Caracterização de Areia de Quartzito para Utilização na Indústria do Vidro – Um Estudo de Caso

Poços de Caldas

2022

Curso de Especialização em Engenharia de Minas

ROQUE ARTHUR DA COSTA VIEIRA

Caracterização de Areia de Quartzito para Utilização na Indústria do Vidro – Um Estudo de Caso

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do Curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

Área de concentração: Engenharia Mineral
Orientador: Prof. Dr. Maurício Guimarães Bergerman

Poços de Caldas
2022

Curso de Especialização em Engenharia de Minas

FICHA CATALOGRÁFICA

Caracterização de areia de quartzito para utilização na indústria do vidro – Um estudo de caso

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) como parte dos requisitos para a integralização do curso de Especialização em Engenharia de Minas (CEEM).

Área de concentração: Engenharia Mineral

Aprovada em: 18 de fevereiro de 2022

Orientador: Prof. Dr. Maurício Guimarães Bergerman

Instituição: Escola Politécnica da USP

Assinatura:

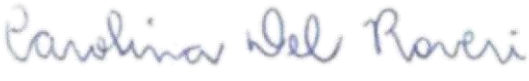
Examinador 1: Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves

Instituição: Escola Politécnica da USP

Assinatura:

Examinador 2: Profa. Dra. Carolina Del Roveri

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Assinatura: 

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Roque e Cláudia, e ao meu irmão Fellipe, por me apoiarem, me incentivarem e principalmente por acreditarem no meu potencial durante todo esse projeto. E ao meu pai novamente, em quem me espelhei e com quem passei a gostar da área da mineração, com quem aprendi e aprendo constantemente.

Agradeço à MH Mineração Ltda. pelo fornecimento das amostras analisadas neste trabalho e por todo o suporte.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Maurício Bergerman por todo apoio, paciência, receptividade e principalmente, orientação precisa e crítica na condução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves pela solicitude e apoio.

Ao grupo de estudos organizado pelo Prof. Maurício e por nossos encontros semanais de muito aprendizado e troca de informações.

Ao pessoal do Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM) e do Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) do Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP), Dora, Júlia, Rodrigo, Maria e Daniel, meu muito obrigado pela receptividade, ensinamentos e acolhida.

Agradeço também a Deus pela saúde e pela serenidade.

“Para ter um negócio de sucesso, alguém, algum dia, teve que tomar uma atitude de coragem.”
(Peter Drucker)

“Transforme aquelas pequenas centelhas de possibilidade nas chamas de uma realização concreta.”
(Golda Meir)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. OBJETIVO 11

2.1. Objetivo geral 11

2.2. Objetivos específicos 11

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12

3.1. Definição 12

3.2. Especificações 16

3.2.1. Especificações da Indústria de Vidro 17

3.3. Caracterização 21

3.4. Processamento 21

3.5. Jazida 25

4. MATERIAIS E MÉTODOS 25

4.1. Caracterização 29

4.2. Rotas de Beneficiamento 30

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 33

5.1. Confirmação 40

6. CONCLUSÕES 41

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

ANEXOS 45

RESUMO

Esta Pesquisa estudou o beneficiamento e classificação de areia industrial de quartzito para a fabricação de vidros. A indústria de vidros possui especificações muito rigorosas e exigentes e a presença, mesmo que em menores traços de elementos indesejados, como o ferro, condenam o produto. Dessa forma, neste tipo de indústria, a função da areia industrial é fornecer SiO_2 para a formação da rede de estrutura do vidro, garantindo sua qualidade. As areias industriais são valorizadas por suas propriedades físicas, como tamanho e geometria dos grãos, por exemplo, e químicas, como os teores dos elementos. Trata-se do componente com maior participação, em massa, na fabricação da quase totalidade de vidros. A participação da areia neste processo pode chegar a 70% e com elevados teores de sílica. Para este estudo, foram consideradas duas rotas de beneficiamento: uma envolvendo atrição e a outra, não. Além disso, foram conduzidas análises químicas do minério ao fim de várias fases e etapas para se verificar a contribuição de cada uma delas. Os resultados das diversas análises químicas comprovam que o minério em questão atende às especificações básicas de entrada da indústria de vidro, por apresentar o teor mínimo de 99,3% e com teores dos contaminantes controlados, necessário a um produto de qualidade após as etapas de beneficiamento.

Palavras-chave: areia industrial; quartzito; teor; vidro.

ABSTRACT

This Research studied the beneficiation and classification processes of industrial quartzite sand for the glass making. The glass industry has very strict and demanding specifications and the presence, even in the smallest traces of unwanted elements, such as iron, condemns the product. Thus, in this industry, the function of industrial sand is to provide SiO_2 for the formation of the glass structure network, guaranteeing its quality. Industrial sands are valued for their physical properties, such as grain size and geometry, for example, and chemical properties, such as element contents. Sand is the component with the greatest participation, by mass, in the manufacture of almost all glasses. The participation of sand in this process can reach up to 70% with high levels of silica. Two processing routes were considered: one involving attrition and the other not. In addition, chemical analyses of the ore were carried out after a number of phases and steps to verify the contribution of each one of them. The results of the several chemical analyses prove that the ore in question meets the initial specifications of the glass industry, as it presents the minimal wanted content of 99,3% of SiO_2 and the contents of the unwanted elements controlled, for a quality product after the processing stages.

Keywords: content; glass; industrial sand; quartzite

1. INTRODUÇÃO

O tema escolhido para estudo neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do Curso em Especialização em Engenharia de Minas (CEEM), ofertado pela Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), está baseado no beneficiamento e na classificação de areia industrial de quartzito por estar relacionado ao cotidiano profissional no empreendimento onde o autor atua.

A areia pode ser encontrada de forma natural ou pode ser obtida através de processos de desagregação e/ou beneficiamento de rochas. Pode-se perceber a sua presença no nosso cotidiano com frequência maciça, já que se encontra em todas as construções civis, como casas, edifícios, pontes etc., nos equipamentos eletrônicos (computadores, celulares, televisores), nas indústrias químicas, cerâmicas, dentre outras, que fornecem produtos, como por exemplo, louças de mesa e sanitárias, pisos, revestimentos, tintas etc. (Luz e Lins, 2008).

Segundo Luz e Lins (2008), devido às especificações, usos e preços, o minério destinado às aplicações industriais difere bastante daqueles destinados aos agregados da construção civil, tanto em propriedades químicas como físicas. O quartzo, na forma de areia, é um dos minerais industriais mais comumente encontrados, porém um dos mais versáteis, pois nenhum outro tem uma aplicação tão diversificada. Dureza e resistência à altas temperaturas e resistência às ações químicas são propriedades valorizadas do quartzo. A sílica (SiO_2) pode ser encontrada na forma de cristal de rocha ou também consolidada como arenito ou quartzito. A sua aplicação industrial mais conhecida é no vidro – tecnologia datada de 4.000 anos.

Apesar de existir um obstáculo em atender ao mercado da areia industrial por conta das exigências técnicas e comerciais deve-se tentar transpô-lo para garantir um produto

adequado, pois assim o minério passar a ter uma aplicação mais nobre, já que possui um maior valor agregado, o que, por consequência, poderia propiciar uma maior rentabilidade aos empreendedores. Surge-se, então, uma nova relação de custo-benefício, já que as indústrias contariam com mais uma fonte de matéria-prima e os empreendedores também se beneficiariam, pois passariam a trabalhar com opções de contratos a médio e longo prazo e dariam um destino diferente ao minério.

Dentre as muitas aplicações industriais da areia, e todas igualmente importantes, o foco deste trabalho se dará para a aplicação como insumo na indústria de vidro. Entretanto, como o primeiro intuito é verificar este atendimento à indústria de vidro ao final de todo o processo de beneficiamento por meio das rotas propostas e da caracterização, o autor e o empreendimento ainda não definiram exatamente o setor/tipo específico será atendido. Portanto, neste momento está sendo tomada como base uma especificação não tão restritiva, sugerindo-se a de embalagens. Entretanto, almeja-se no futuro a aplicação para vidros planos.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral é verificar a aplicação e o potencial do minério (quartzito) disponível na jazida como fornecedor de matéria-prima para a indústria de vidro, por meio de ensaios de laboratórios, avaliando o desempenho em diferentes rotas de beneficiamento mineral.

2.2. Objetivos específicos

a) Caracterizar as propriedades físicas, químicas e mineralógicas da amostra de quartzito em questão.

b) Testar duas rotas de beneficiamento mineral e avaliar os impactos qualitativos e quantitativos das mesmas em cada fase.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Definição

Areia é um bem mineral encontrado de forma natural ou advindo da cominuição de rochas agregadas de quartzo. É também um termo que pode abranger muitas definições, que estão baseadas em características texturais, composições mineralógicas, granulometria ou até mesmo uma combinação destas. As areias naturais originam-se de rochas pré-existentes sobre as quais houve uma grande ação de agentes intempéricos e geralmente extraída em leitos de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. Já as areias com alto teor de sílica (SiO_2) podem ser também denominadas areia industrial, areia de quartzo, areia quartzosa ou areia de sílica e estas apresentam uma vasta aplicação industrial (Luz e Lins, 2008; Ferreira e Fonseca Jr., 2012; Rocha, 2015).

O quartzo (SiO_2) é composto por um átomo de silício e dois de oxigênio. A formação de sílica é muito comum e pode ser encontrada em todos os tipos de rochas – ígneas, metamórficas e sedimentárias, inclusive sendo bem resistente às intempéries climáticas (Luz e Lins, 2008; Rocha, 2015).

As principais fontes naturais de SiO_2, de acordo com Menezes (2012), são veios hidrotermais, pegmatitos, quartzitos, arenitos, areais quartzosas, *cherts*, granitóides, gnaisses graníticos e depósitos de seixos de quartzo.

Numa breve contextualização, tem-se que o quartzo é um mineral incolor, mas que pode apresentar coloração diversificada conforme o mineral contaminante presente e

pleocroísmo nulo. É também quimicamente inerte, pois é pouco susceptível às reações químicas. Apresenta brilho vítreo, índice de número 7 em 10 na escala de dureza de Mohs, densidade de 2,65 e sem clivagem. As espécies de elevada dureza e resistência química (caso do quartzo e turmalina) são dificilmente destrutíveis, podendo transitar de uma rocha sedimentar a outra (Carvalho, 2005; Lynch e Young, 2006; Luz e Lins, 2008; Rocha, 2015).

Outra propriedade física que merece destaque de estudo já que pode influenciar na decisão da seleção gravítica durante o beneficiamento, juntamente com a densidade, é o hábito. O hábito de um mineral pode ser entendido como “a forma ou combinação de formas cristalinas que um mineral desenvolve em resposta ao calor, à pressão, à composição de soluções presentes e a outros fatores do ambiente geológico”. (Carvalho, 2005; Menezes, 2012).

Quanto à classificação de agregados, uma das conotações geralmente aceitas, é sobre a questão granulométrica e textural da areia. Para tanto, A. Atterberg desenvolveu, pela Sociedade Internacional da Ciência do Solo, uma classificação que auxilia na questão da caracterização, conforme pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação de Atterberg

Classe Granulométrica	Diâmetro (mm)
Blocos	+ 200
Pedras	- 200 + 20
Cascalho	- 20 + 2
Areia Grossa	- 2 + 0,2
Areia Fina	- 0,2 + 0,02
Silt	- 0,02 + 0,002
Argila	- 0,002

Fonte: adaptado de Carvalho (2003)

Duas normas ABNT (NBR 7225 e ABNT 7211) também classificam as areias de acordo com os seus tamanhos, entretanto são um tanto conflitantes.

Tabela 2: Classes Granulométricas – NBR 7225

NBR 7225 – Materiais de Pedra e Agregados Naturais	
Classe Granulométrica	**Diâmetro (em mm)**
Areia Grossa	-2 + 1,2
Areia Média	-1,2 + 0,42
Areia Fina	-0,42 + 0,075
*Material puramente natural	

Fonte: adaptado de Chaves e Whitaker (2012)

A NBR 7211, que classifica e especifica os agregados de construção em agregados graúdos e miúdos (areia se encaixando neste item) admite uma fração que varia de 5% a 12% de partículas com tamanho acima de 4,8 mm além de incluir as areias provenientes de britagem, o que não ocorre na NBR 7225 (Chaves e Whitaker, 2012)

Já Rocha (2015), de uma maneira mais ampla e genérica, argumenta que é possível definir areia como “uma massa mineral inconsolidada de alto teor de sílica, constituída de grãos minerais predominantemente de quartzo, cujas formas e texturas superficiais podem variar amplamente, situando-se dentro da faixa de tamanho entre 0,0625 mm e 2,0 mm”.

Outras conotações, de acordo com o Manual de Agregados para a Construção Civil do CETEM, é uma classificação proposta pela ASTM e ISRM que estaria baseada na petrografia e descrição tecnológica relacionada às propriedades físicas e mecânicas. Ou ainda, numa mais abrangente, que deveria levar em conta a origem do material (natural ou artificial), a classe ou nome petrográfico, idade da rocha, cor, granulometria e fissilidade, conforme classificação proposta por Collins e Fox.

Ou seja, é notório que existe um debate intenso acerca da classificação de areia, pois há vertentes que a classificam basicamente quanto à origem e outras quanto à dimensão e granulometria.

A areia industrial é usada para muitos fins e estão presentes no cotidiano de qualquer ser humano, pois é utilizada como insumo básico de importantes indústrias, como nas de equipamentos eletrônicos e chips, de fabricação de fertilizantes, das indústrias químicas, metalúrgicas, de tintas, de moldes de fundição, de abrasivos, cerâmicas e na indústria de vidro – foco desta pesquisa, principal uso industrial da sílica e onde verifica-se o primeiro uso industrial da história, datado há mais de 4.000 anos. Possivelmente, nenhum outro mineral tenha usos e aplicações tão diversificados. (Lynch e Young, 2006; Luz e Lins, 2008).

As areias para construção são usadas por suas propriedades físicas, enquanto as areias industriais são valorizadas por suas propriedades físicas e químicas. Por apresentar melhor valor agregado (sugere-se de três a cinco vezes o da areia de construção civil), as areias industriais podem ser transportadas a distâncias bem maiores (Luz e Lins., 2008).

Em virtude das características geológicas do território brasileiro, observa-se uma grande diversidade de rochas que podem ser utilizadas como agregados. Neste contexto, o tipo de rocha utilizada depende da disponibilidade local ou regional. Areia e cascalho podem ser encontrados na maioria dos estados brasileiros. Quanto à produção de areia, 70% advêm de leito de rios e 30% de várzeas, terraços aluviais e outros (Luz, 2012).

No Brasil, algumas das principais reservas oficiais de areia, tanto utilizadas para o setor de agregados quanto para as aplicações industriais estão localizadas nos estados de São Paulo, Paraíba e nos três estados da Região Sul – Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os minérios advindos destas regiões alcançam as principais indústrias localizadas nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. Estas indústrias, que se utilizam da areia industrial como matéria prima, estão cada vez mais

buscando alternativas e procurando estratégias por possuírem um pensamento estratégico e mercadológico alinhado aos seus clientes. Estão também, buscando, instalar novas minas e se estabelecerem em locais variados (Ferreira e Daitx, 2003).

Por fim, vê-se a importância da mineração de areia para o desenvolvimento de nosso país, tanto economicamente, como para o atendimento das necessidades da população, conforme discorreu Luz (2012),

> A mineração de areia e brita é uma das mais importantes atividades extrativas do setor mineral brasileiro, quando comparado o volume produzido ao volume de produção do minério de ferro, principal produto mineral brasileiro. (Luz, 2012, pág. 04)

3.2. Especificações

Para os usos industriais da sílica (SiO_2), a maioria delas requer uma especificação mínima de teor de 95%. Na indústria do vidro a composição precisa atingir, em algumas especificações, um índice de 99,9%, o que não acontece na indústria da construção civil (Lynch e Young, 2006).

Outro fator que também pode influenciar no processo industrial é a geometria dos grãos que podem ser pontiagudos e angulares, subangulares, subarredondados ou arredondados. As aplicações de fundição e filtração requerem grãos subarredondados ou arredondados para melhor desempenho, por exemplo (Lynch e Young, 2006).

As areias industriais recebem as suas denominações em função de suas aplicações, determinadas por suas características e propriedades, tais como o teor de sílica, como já abordado, composição química, teor dos óxidos de ferro, álcalis, matéria orgânica, perdas ao fogo, umidade, distribuição granulométrica, forma dos grãos e teor de argila. A maioria das especificações se atentam, principalmente, aos teores de Fe_2O_3, Al_2O_3, MnO_2, MgO,

CaO, TiO_2, ZrO_2, Cr_2O_3, Na_2O e K_2O, sendo alguns deles direcionados para usos muito específicos. A proporção com que estes elementos se apresentam na composição com o quartzo, confere à areia características e denominações especiais e específicas, como a coloração (Luz e Lins, 2008; Rocha, 2015).

O grau de processamento mineral do quartzo é ditado pelas especificações do produto e pelos custos de produção, fatores esses ligados à seleção do minério e sua mineralogia. O desenvolvimento bem-sucedido de um depósito de quartzo requer uma avaliação cuidadosa de todos esses fatores (Lynch e Young, 2006).

Para a obtenção das areias industriais, os processos de lavra e beneficiamento a serem utilizados vão depender da aplicação. Os principais quesitos necessários para essa obtenção são, portanto, de acordo com Rocha (2015):

- fonte de quartzo,
- distribuição granulométrica,
- forma dos grãos,
- porosidade e permeabilidade,
- composição química,
- refratariedade,
- resistência mecânica e
- inércia química.

3.2.1. Especificações da Indústria de Vidro

Shelby (2005*) apud.* Rocha (2015) especifica que o vidro é um material cerâmico sólido amorfo, inerte, com ausência de ordem e periodicidade, exibindo uma região de transição vítrea e amplamente utilizado em diversas indústrias.

Akerman (2000) sugere a criação de um quarto estado da matéria (ou estado de agregação) denominado de estado vítreo, a fim de caracterizar o vidro, sob a constatação de que os corpos vítreos

> [...] em temperatura ambiente tenham a aparência de corpos sólidos proporcionada por sua rigidez mecânica, não podem se considerar como tais, já que carecem da estrutura cristalina que caracteriza e define o estado sólido. Se pela estabilidade de sua forma os vidros podem assimilar-se a sólidos, do ponto de vista estrutural suas semelhanças são muito menos evidentes. Este fato que constitui uma limitação para incluir os vidros entre os sólidos, por outro lado resulta insuficiente para autorizar a aceitá-los como líquidos, ainda que possa justificar a designação de líquidos de viscosidade infinita, que em muitas vezes é aplicado. (Akerman, 2000, pág. 07)

E, por fim, propõe que o vidro “é um sólido amorfo, não cristalino, que apresenta o fenômeno de transição vítrea”.

Uma nova e alternativa definição para vidro, proposta em 2017 é bem mais detalhada e rica e é utilizada por aqueles autores e pesquisadores que entendem mais a fundo sobre o estado da transição vítrea.

> O vidro é um estado condensado não-cristalino e não equilibrado da matéria que exibe uma transição vítrea. A estrutura dos vidros é semelhante à de seus líquidos super-resfriados (LSR) anteriores que, na sequência, relaxam espontaneamente em direção ao estado LSR. Seu destino, no limite do tempo infinito, é se cristalizar. (Zanotto e Mauro, 2017, pág. 490)

De acordo com Rocha (2015) a aparência do vidro é de sólido e a densidade, propriedades mecânicas e térmicas são semelhantes às das contrapartes cristalinas. Também não possuem um ponto de fusão definido, não clivam em direções preferenciais e são praticamente isotrópicos.

Na indústria do vidro, a função da areia industrial é fornecer SiO_2 para a formação da rede de estrutura do vidro. Trata-se do componente com maior participação, em massa, na fabricação da quase totalidade de vidros. A participação da areia neste processo pode chegar a 70% e com elevados teores de sílica. Pelo fato desta alta representatividade no processo, a "localização da jazida de areia, na maioria dos casos, influencia na escolha do local da fábrica". Os grãos que possuem "formas angulares favorecem a produção de vidro, pois a fusão se inicia nas pontas e arestas dos grãos". Também deve apresentar baixo teor de ferro e de material refratário (Nava *apud.* Luz e Lins, 2008; Shreve e Brink Jr *apud.* Luz e Lins, 2008; Cruz, 2011; Rocha, 2015).

A maior gama dos vidros comerciais é produzida com somente dois ingredientes principais, fora a areia, que são cal e barrilha, que vão responder por aproximadamente 90% da massa que alimenta o forno de fabricação. Os demais componentes como CaO, MgO (dolomita) e Al_2O_3 (como minerais feldspáticos) são adicionados para conferir estabilidade e durabilidade ao vidro (Shreve e Brink Jr *apud.* Luz e Lins 2008).

> Qualquer tipo de areia para quartzo para vidro deve conter, pelo menos, 98,5% SiO2 (acima de 99% para vidro plano) com um máximo de Fe_2O_3, em torno de 0,08% para vidro plano [...]. A presença de cobre, níquel, cobalto, mesmo em níveis de traços, pode produzir cores e defeitos no vidro, tornando-o inaceitável. (Luz e Lins, 2008, pág. 113)

As propriedades presentes nos vidros dependem de suas características estruturais e são compreendidas como, de acordo com Rocha (2015):

- viscosidade;
- dilatação térmica;
- resistência ao choque térmico;
- propriedades mecânicas;
- propriedades ópticas.

Os maiores representantes dos produtos de vidro, em volumes de produção são os vidros planos, vidros incolores de embalagens e vidros coloridos de embalagens. Outras aplicações que merecem destaque são a fabricação de bulbos de lâmpadas, janelas, lentes, tubos de luz fluorescente, telas de televisão e computadores, fibras de vidro, fibras ópticas, entre outras (Luz e Lins, 2008; Rocha, 2015).

As Tabelas 3 e 4 mostram um panorama geral médio de como se comportam as especificações de areia de quartzo para alguns tipos de vidro, como métodos de comparação. Lembra-se que o planejamento inicial é o atendimento de uma especificação não tão restritiva, como a de embalagens.

Tabela 3: Especificações Químicas Médias de Areia de Quartzo

Tipo de Vidro / Parâmetro	Vidro Óptico	Vidro de Mesa	Vidro Plano	Embalagem Incolor	Embalagem Colorida
SiO_2	≥ 99,5%	≥ 99,5%	≥ 99,4%	≥ 99,4%	≥ 99,4%
Al_2O_3	≤ 0,29%	≤ 0,20%	≤ 0,40%	≤ 0,30%	≤ 0,40%
Fe_2O_3	≤ 0,015%	≤ 0,025%	≤ 0,04%	≤ 0,06%	≤ 0,16%
TiO_2	≤ 0,02%	≤ 0,02%	≤ 0,04%	≤ 0,02%	-
PF	≤ 0,20%	≤ 0,20%	≤ 0,20%	≤ 0,20%	≤ 0,40%

Fonte: adaptado de Rocha (2015)

Tabela 4: Especificações Físicas de Areia de Quartzo

Tipo de Vidro	Especificação Granulométrica
Vidro Óptico e Vidro de Mesa e Vidro Plano	a) 100% < 0,60 mm (30 mesh) b) 80% a 90% > 0,150 mm (100 mesh) c) Mínimo 90% > 0,075 (200 mesh)
Embalagem Incolor	100% < 1 mm (18 mesh)

Fonte: adaptado de Rocha (2015)

3.3. Caracterização

A caracterização tecnológica do minério é importante para conhecer detalhadamente e determinar as suas propriedades. A fim de atingir a meta exigida pela indústria vidreira de granulometria -0,6 mm +0,106 mm (malhas de 30 mesh e 140 mesh, respectivamente) faz-se uma análise granulométrica, por peneiramento em via úmida.

Para as análises químicas do minério e verificar a sua possível aplicação como matéria-prima para atender a indústria de vidro, utiliza-se, usualmente, difração de raios-x (DRX) e fluorescência de raios-x (FRX), a fim de se quantificar os óxidos presentes e demais contaminantes, como exemplificou Cruz (2011).

Sendo necessário investigar ainda mais a fundo, visando atender a exigente indústria de vidro, existe a possibilidade de se realizar as análises granuloquímicas e separação em líquido denso.

3.4. Processamento

De forma resumida, tem-se que um processamento típico se divide em três etapas, sendo, lavagem e classificação, atrição e por fim, peneiramento. O processamento tem como objetivos (i) desagregar as partículas e individualizá-las, (ii) remover a cobertura de pulverulentos, (iii) remover os elementos deletérios (contaminantes) e (iv) adequar a granulometria para o tamanho e usos desejados (Chaves e Whitaker, 2012; Luz e Lins, 2008).

A remoção dos contaminantes, de acordo com Lynch e Young (2006) e Cruz (2011), pode ser feita através de vários processos a começar pela lavagem e depois com métodos de separação específicos, dependendo do contaminante, como por exemplo, separação

magnética, concentração densitária, separador eletrostático, jigues, mesas vibratórias, flotação, para casos específicos, e os métodos gravíticos.

Já a atrição é feita em via úmida com a finalidade de limpar a superfície das partículas, através do choque entre as partículas proporcionado por um sistema de pás, como relataram Luz e Lins (2008). Tem o objetivo de remover as contaminações superficiais, geralmente as argilo-ferruginosas. (Cruz, 2011).

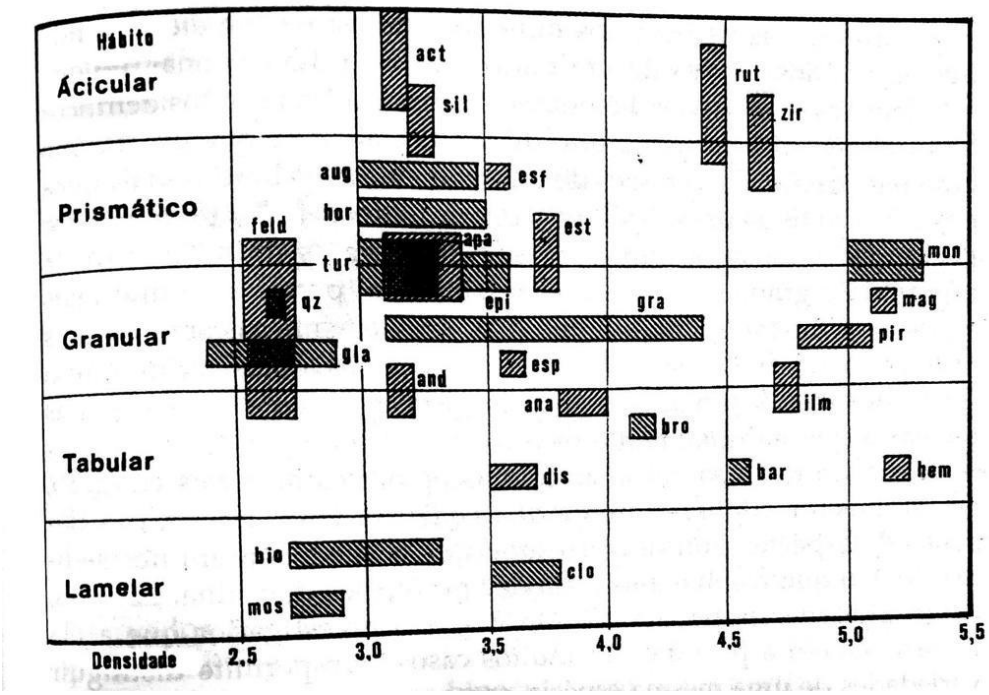
Cruz (2011) propõe o uso de peneiramento para eliminar a fração grossa e de hidrociclones para eliminar os finos. Sugere também que o material retido na peneira, seja destinado à construção civil e que o *overflow* dos hidrociclones seja destinado à barragem de rejeitos.

Na separação magnética, como o próprio nome já preconiza, tem o objetivo de retirar os contaminantes que são magnéticos da amostra em questão (Cruz, 2011).

Durante o beneficiamento, a separação seletiva escolhida deve estar baseada na estabilidade e comportamento hidráulico dos grãos, juntamente com a questão do arredondamento dos grãos, conforme estipulado por Carvalho (2005). A Figura 1 explicita como a forma, hábito e respectivas densidades se comportam e influenciam na decisão da classificação das areias. Pode-se perceber o quartzo representado pela legenda “qz”.

Segundo Akerman (2000), o processo de elaboração do vidro é a mistura das matérias-primas diversas, que influenciam as características do material, em quantidades pré-estabelecidas e levá-las ao forno para fusão. Após o esfriamento, o vidro atinge sua forma final. Cruz (2011) relata que a viscosidade, uma das características estruturais, que advém da formulação das matérias-primas e da temperatura do forno, influencia diretamente no processo produtivo e na qualidade final do produto.

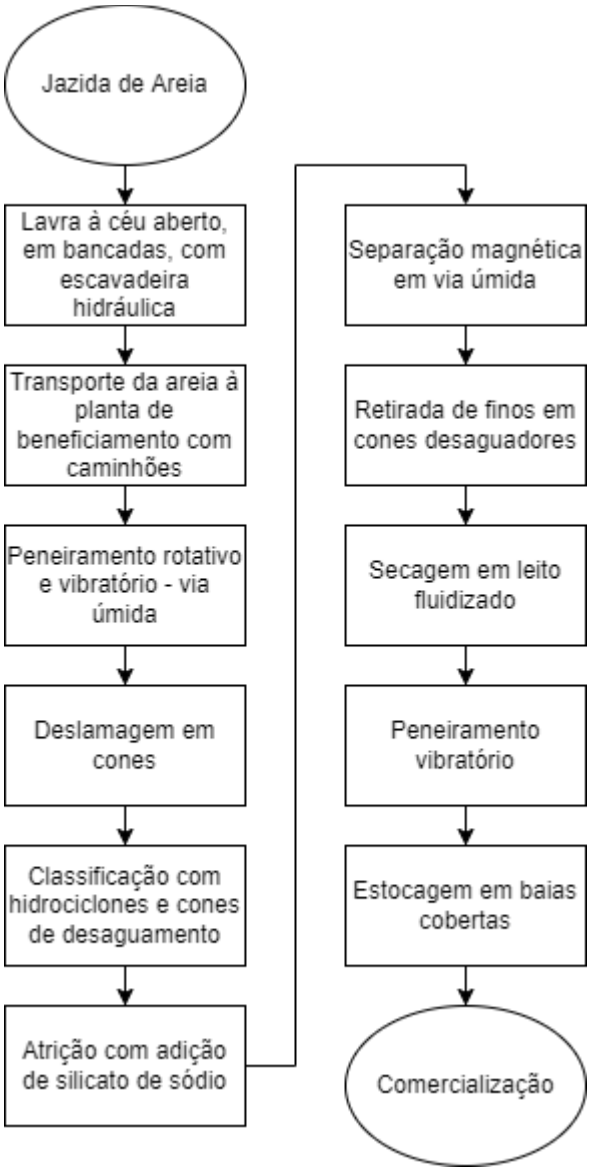
Figura 1: Influência do Hábito e Densidade na Classificação



Fonte: retirado de Carvalho (2005)

Na Figura 2 vê-se o fluxograma de beneficiamento da Mineração Jundu, que fornece areia industrial aos seus clientes e que pode ser tomado como guia para a elaboração da rota de ensaios em laboratório.

Figura 2: Fluxograma de Produção de areia industrial da Mineração Jundu



Fonte: adaptado de Cruz (2011)

3.5. Jazida

A geologia regional da localidade da jazida, que forneceu a amostra de estudo é um tanto complexa e está localizada no Complexo Piquete da Associação Paraíba do Sul – sul de Minas Gerais, próxima à divisa com o estado de São Paulo.

A petrografia é representada por migmatitos de estruturas diversas, migmatitos oftálmicos, biotita, gnaisses e migmatitos associados, micaxistos e biotita gnaisses, anfibolitos e granito gnáissico. E na geologia local destacam-se os veios de quartzito.

Estes quartzitos estão encaixados em migmatitos e quartzo-biotita xistos e a direção concorda com a direção dos encaixantes. Apresentam-se em forma de lentes, com espessura variando de algumas dezenas de centímetros até algumas dezenas de metros e a coloração pode variar do branco ao amarelo e em alguns locais, avermelhado. Por fim, quanto à dureza, pode-se variar do compacto ao friável.

Todas as informações desta seção foram retiradas dos documentos internos da empresa, como Relatório Final de Pesquisa, outros relatórios oficiais e bem como do Plano de Aproveitamento Econômico – sempre atestados e assinados por Engenheiros de Minas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho compreendeu a análise do potencial do fornecimento de matéria-prima à indústria de vidro de uma amostra ROM de quartzito, por meio da realização de análises granulométricas e químicas. Separou-se, inicialmente, uma amostra de referência (cabeça) para análise e verificação. A amostra foi, posteriormente, dividida em duas alíquotas e estudadas através de duas sugestões de rotas de beneficiamento distintas propostas pelo Prof. Orientador, a fim de se avaliar o diferente desempenho do minério.

A caracterização tecnológica deve seguir uma sequência de análises e ensaios laboratoriais seguindo critérios específicos e é direcionada em função do bem mineral principal (neste caso o quartzo) e dos elementos deletérios. O parâmetro essencial é a identificação das fases e suas composições químicas (Cruz, 2011).

Todos os trabalhos, análises e ensaios foram realizados no Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM) e no Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP) no mês de outubro/2021.

A amostra cabeça de 500 g foi retirada através de pilha alongada homogeneizada preparada, após secagem ao tempo. Dessa amostra foram separados 100 g para o método de Fluorescência de Raios-X (FRX), 100 g para o método de Difração de Raios X (DRX) e o restante usado no peneiramento manual à úmido.

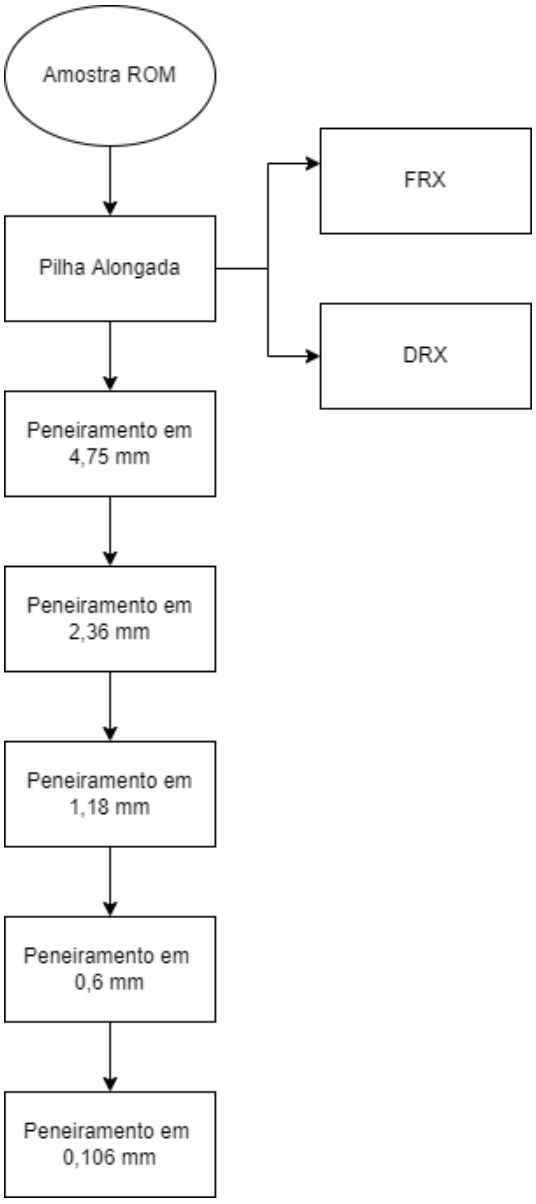
A relação das peneiras utilizadas no peneiramento manual da amostra cabeça foi de 4,75 mm (4 mesh), 2,36 mm (8 mesh), 1,18 mm (16 mesh), 0,6 mm (30 mesh) e 0,106 mm (140 mesh). O foco desta pesquisa é o minério que está entre as malhas -0,06 mm + 0,106 mm, como preconiza a indústria de vidro.

O restante da amostra da mesma pilha foi peneirado mecanicamente à úmido nas peneiras 1,18 mm (16 mesh), 0,6 mm (30 mesh) e 0,106 mm (140 mesh), para se dar início aos trabalhos. Desta ação, foram separados mais 50 g para análise química, 100 g para densidade e duas alíquotas de 700 g para análise das rotas de beneficiamento.

Ambos os produtos foram também verificados e fotografados em microscópio óptico de alta resolução (lupa), para ilustração e enriquecimento desta Pesquisa.

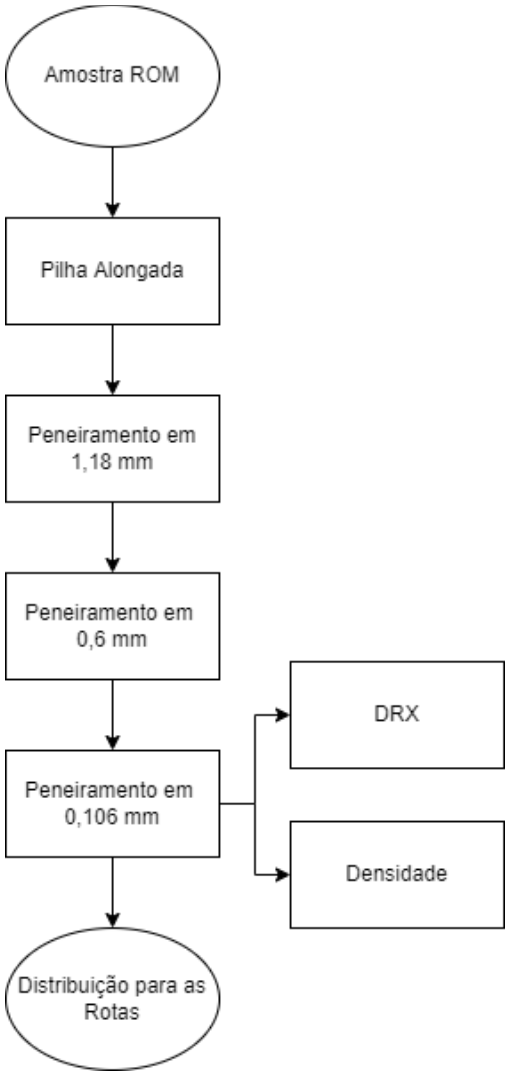
Nas Figuras 3 e 4, podem ser verificados os fluxogramas das rotas experimentais.

Figura 3: Fluxograma da Rota Experimental Manual



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 4: Fluxograma de Distribuição da Amostra



Fonte: elaborado pelo autor

Por fim, a densidade foi determinada pelo método de picnometria em água.

4.1. Caracterização

Toda a etapa de caracterização foi realizada no LCT-USP e conduzida pelas equipes do mesmo.

Para este trabalho, o equipamento utilizado nas análises químicas foi Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X, marca Malvern Panalytical, modelo Zetium. A perda ao fogo foi realizada a 1.020 ºC por 2 h.

Para a identificação de fases por difratometria de Raios X foi obtida por comparação do difratograma da amostra com bancos de dados PDF2 do ICDD (*International Centre for Difraction Data*) e ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*). A quantificação foi efetuada pelo método de Rietveld utilizando as estruturas cristalinas do ICSD. O estudo foi efetuado por meio do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios-X com detector sensível à posição.

Para tamanho e morfologia de partículas foi utilizado analisador de imagens dinâmicas, equipamento da marca Retsch, modelo Camsizer XT.

Para análises dos teores dos elementos presentes em quantidades mínimas foi utilizado Espectrômetro de Emissão Óptica (ICP OES), marca Thermo Scientific, modelo iCap 6300 Duo.

Para a análise de demanda de ácido foi utilizada a norma ABNT – NBR 12111-2018. Para se determinar o resultado, que é expresso em milímetros por 50 g de areia, faz-se a diferença da titulação em branco e da titulação da amostra.

Para a análise e cálculo de pulverulento foi utilizada a norma ABNT – NBR NM 46-2003.

4.2. Rotas de Beneficiamento

As rotas propostas para as duas alíquotas são distintas e o que as diferencia é a inclusão da etapa da atrição, após o peneiramento. Pode-se perceber também que lembram ligeiramente a rota da Mineração Jundu.

A rota proposta para Alíquota 01 foi:

- Separação magnética com separador WHIMS, com matriz de 2,5 mm campo 8.000 G na etapa *rougher*;
- Com o não magnético da etapa anterior: separação magnética com separador WHIMS, com matriz de 2,5 mm campo 13.000 G na etapa *cleaner*;
- Com o não magnético da etapa anterior: separação em meio denso (2,75 g/cm³);
- Peneiramento final em 0,106 mm para verificar se os passos anteriores cominuiram os grãos.

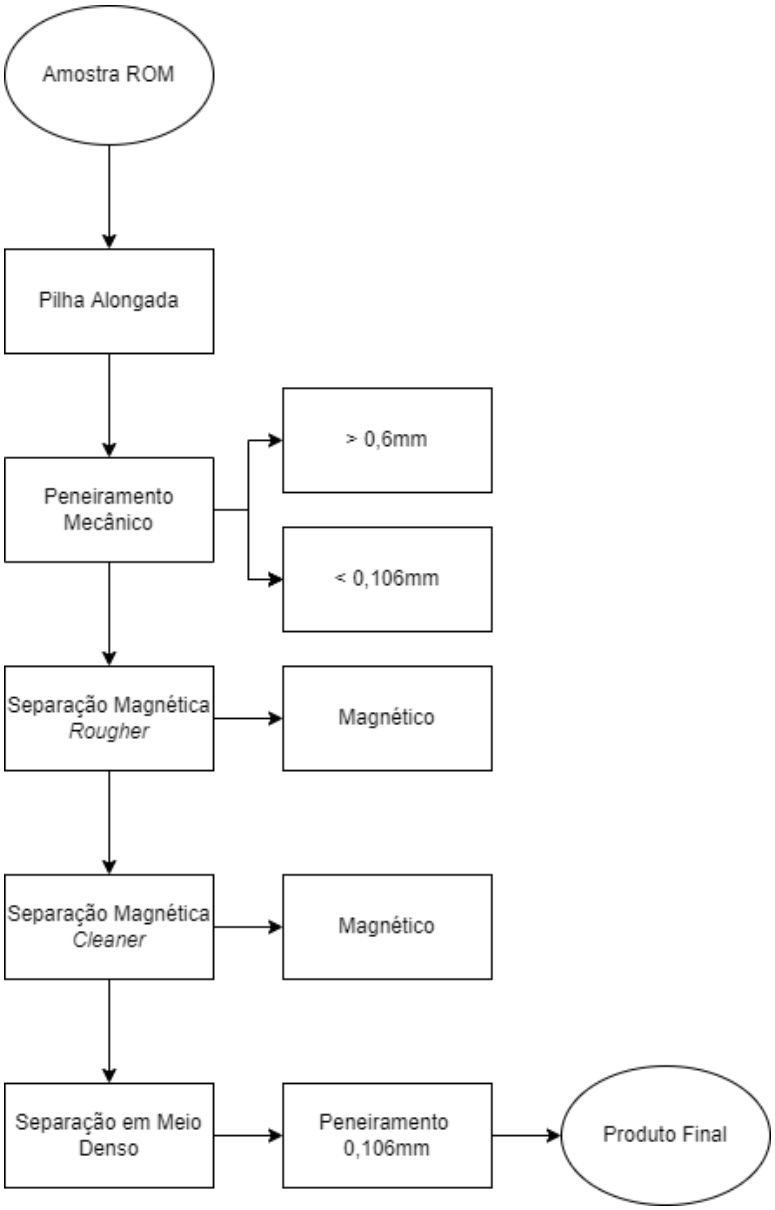
A rota proposta para Alíquota 02 foi:

- Atrição com 60% sólidos em massa (700 g) adicionados a 450 ml de água com programação de 1.500 rpm por 15 min;
- Separação magnética com separador WHIMS, com matriz de 2,5 mm campo 8.000 G na etapa *rougher*;
- Com o não magnético da etapa anterior: separação magnética com separador WHIMS, com matriz de 2,5 mm campo 13.000 G na etapa *cleaner*;
- Peneiramento final em 0,106 mm para verificar se os passos anteriores cominuiram os grãos.

Para a etapa da separação magnética foi utilizado um separador magnético de alta intensidade, via úmida, modelo L4 WHIMS (*wet high intensity magnetic separator*), marca Inbras-Eriez.

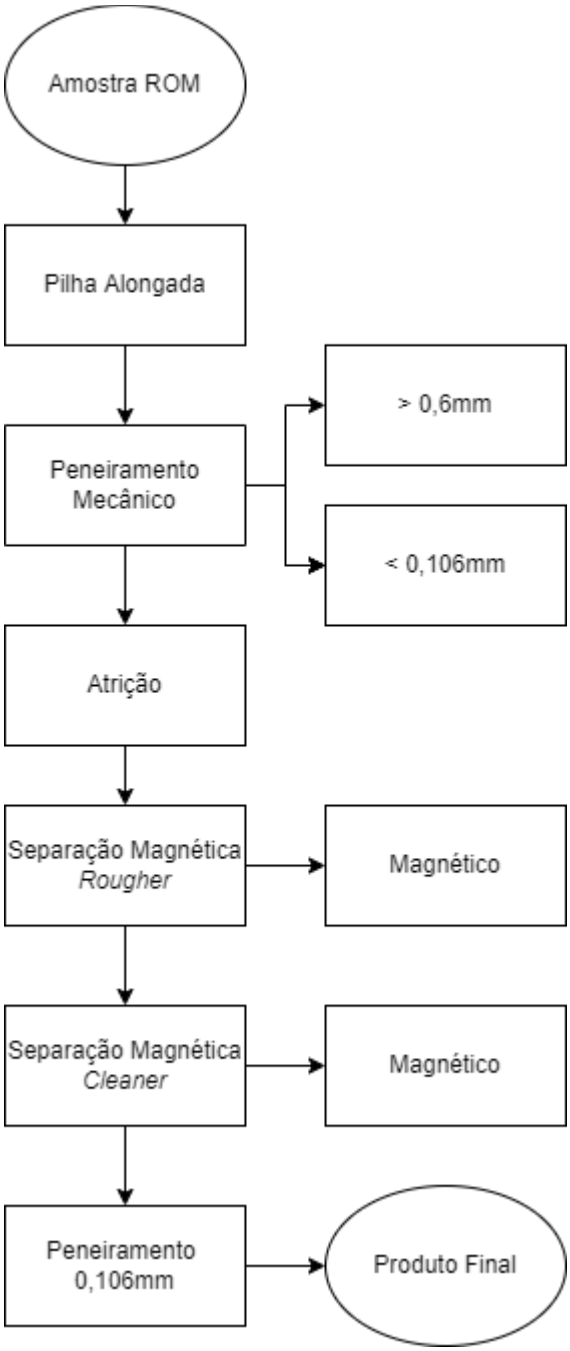
Para e etapa da atrição não foi utilizada nenhum reagente químico e foi realizada numa célula de atrição Denver, modelo D12.

Figura 5: Fluxograma Rota 01



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 6: Fluxograma Rota 2



Fonte: elaborado pelo autor

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção veremos os resultados de todos os estudos das amostras, bem como as análises químicas após as diversas etapas das rotas. Os laudos de todas as análises e demais informações e determinações de teores se encontram na seção de Anexos.

Os resultados da densidade realizada por meio da picnometria em água mostrou um resultado médio de 2,6557, conforme vê-se na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados Densidade em Picnometria em Água

Análise 01	2,6462
Análise 02	2,6526
Análise 03	2,6606
Análise 04	2,6634
Média	2,6557

Fonte: elaborada pelo autor

A primeira análise mineralógica, com estimativa de fases, do material ROM foi realizada por meio de DRX e mostrou o seguinte resultado (Tabela 6). Ou seja, através dessa análise consegue-se um panorama geral do minério a ser estudado e auxilia no planejamento de rotas de beneficiamento do mesmo para se chegar ao objetivo de atender a indústria do vidro.

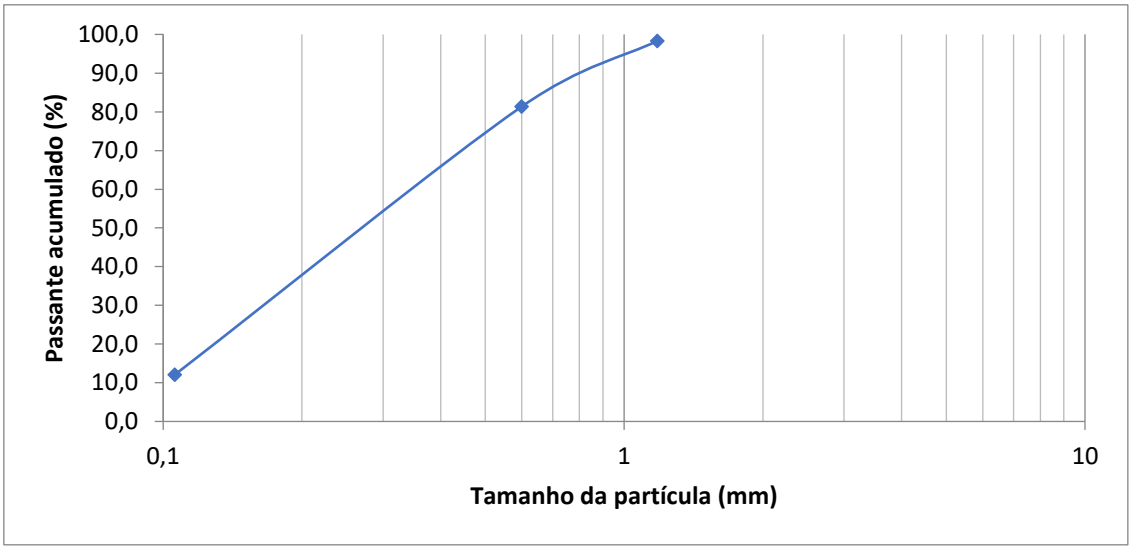
Tabela 6: Resultados da Análise DRX

Mineral	Fórmula Química	% Estimada
Quartzo	SiO_2	90
Caulinita	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	6
Muscovita	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	3
Gibbsita	$Al(OH)_3$	1

Fonte: elaborada pelo autor

Pode-se perceber que a etapa do peneiramento mecânico à úmido, conforme Gráfico 1, já se configura como uma etapa importante e crucial para o processo de beneficiamento, pois mais de 80% dos grãos (onde também se lê P[80]) já estão aptos a prosseguirem a próxima etapa, por estarem dentro da granulometria desejada.

Gráfico 1: Distribuição Granulométrica após Peneiramento



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados da distribuição de tamanho e morfologia de partículas estão demonstrados na Tabela 7. Os índices D [médio] e D [50], foram selecionados para análise, por se referirem

aos diâmetros medianos dos grãos. Pelo resultado da esfericidade, vê-se que as partículas se encaixam dentro da classificação de subangulares. Percebe-se que as partículas atendem às exigências da indústria de vidro.

Tabela 7: Distribuição de tamanho e morfologia das partículas (µm)

Parâmetros	D[10]	D[50]	D[90]	D [médio]	Descrição Largura	Esfericidade	Relação Aspecto
Largura	191,2	341,9	523,1	350,7	0,971	0,770	0,691
Diâmetro	224,6	400,0	605,8	409,0	0,953	0,759	0,661

Fonte: elaborado pelo autor

A Legenda da Tabela 7 deve ser entendida como:

- Largura = largura da partícula; menor valor entre os diâmetros máximos para distintas orientações de medida
- Diâmetro = diâmetro da partícula, correspondente ao diâmetro do círculo de área equivalente à área da partícula
- D[10] = diâmetro (largura / diâmetro) abaixo do qual estão 10% das partículas
- D[50] = diâmetro (largura / diâmetro) abaixo do qual estão 50% das partículas = diâmetro mediano das partículas
- D[90] = diâmetro (largura / diâmetro) abaixo do qual estão 90% das partículas
- D[médio] = diâmetro (largura / diâmetro) médio
- Descrição Largura = descrição da largura da distribuição granulométrica definido por (D[90] – D [10]/D[50]).
- Esfericidade = relação entre a área da partícula e seu perímetro definida por (4π.Área) / (Perímetro)^2)
- Relação do Aspecto = razão entre o maior e o menor diâmetro da partícula

A amostra de cabeça foi analisada quimicamente e a mesma apresentava 91,1% de SiO_2. Após somente a etapa de peneiramento nas malhas especificadas chega-se a um teor de 98,2%, o que representa um incremento de mais de 7%, apenas com esta etapa simples, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Análise Química Comparativa entre ROM (Cabeça) e após Peneiramento

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	$Cr2O3$ (%)	$ZrO2$ (%)	PF (%)
Cabeça	91,10	5,02	0,86	0,05	0,07	0,05	<0,10	0,32	0,11	<0,05	<0,01	0,02	2,13
-0,6 + 0,106 Peneiramento	98,20	0,55	0,15	<0,01	<0,05	<0,05	<0,10	0,10	0,03	<0,05	<0,01	0,01	0,39

Fonte: elaborado pelo autor

Após essa fase, as rotas passam a ter etapas diferenciadas. Para a Rota 1, os resultados após o peneiramento são apresentados na Tabela 9. Pode-se ver que a cada etapa, a concentração de SiO_2 segue aumentando e os contaminantes seguem diminuindo, mostrando que as rotas propostas estão se desempenhando conforme esperado.

Tabela 9: Análises Químicas da Rota 1

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	$Cr2O3$ (%)	$ZrO2$ (%)	PF (%)
ALQ 01 -0,6 + 0,106 Sep. Magnética	98,70	0,52	0,09	<0,01	<0,05	<0,05	<0,10	0,09	0,04	<0,05	<0,01	0,01	0,27
ALQ 01 -0,6 + 0,106 Final	99,30	0,28	0,03	<0,01	<0,05	<0,05	<0,10	<0,05	<0,01	<0,05	0,03	<0,01	0,22

Fonte: elaborado pelo autor

Para a Rota 2, o mesmo acontece, porém com uma ligeira diferença quanto ao teor de SiO_2. Não foi possível detectar uma causa para este ocorrido.

Tabela 10: Análises Químicas da Rota 2

	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (%)	Cr_2O_3 (%)	ZrO_2 (%)	PF (%)
ALQ 02 -0,6 + 0,106 Sep. Magnética	98,60	0,39	0,07	<0,01	<0,05	<0,05	<0,10	0,08	0,04	<0,05	<0,01	<0,01	0,37
ALQ 02 -0,6 + 0,106 Final	99,10	0,33	0,06	<0,01	<0,05	<0,05	<0,10	0,07	0,01	<0,05	<0,01	<0,01	0,26

Fonte: elaborado pelo autor

A análise dos elementos presentes em baixos teores, para os resultados de ambas as rotas está apresentada na Tabela 11. Esta análise foi feita a fim de verificar com detalhes a composição da amostra, bem como confirmar se as etapas de beneficiamento planejadas para as rotas estão respondendo a contento. Dá-se destaque para a presença de Al, Mg e Ca, que são os elementos que estão presentes na composição do vidro de forma controlada e não podem ser considerados contaminantes neste caso. Já o Fe, considerado contaminante, ainda está presente, nas iminências das especificações.

Tabela 11: Teores em ppm dos Elementos de Baixos Teores

Elemento	Rota 1 (un: ppm)	Rota 2 (un: ppm)
Al	1602	1799
Ca	73	131
Fe	219	451
K	199	656
Mg	143	90
P	19	48
Ti	46	73

Fonte: elaborado pelo autor

As quantidades dos materiais retidos na separação magnética, ou seja, os elementos magnéticos foram de quantidades muito pequenas e para tanto não foram enviados ao LCT para análises.

Na Determinação da Demanda de Ácido, ambas as amostras obtiveram resultados satisfatórios, conforme Tabela 12. É um resultado que deve ser interpretado como “quanto menor, melhor” já que o valor ideal é de 0 mL. Porém, cada indústria pode demandar uma especificação diferente, conforme Barbosa (2009).

Esta análise determina a quantidade de impurezas alcalinas contidas na areia que não são solúveis em água, mas que são solúveis em ácidos. Como prega a literatura, as areias muito alcalinas são prejudiciais à indústria. O valor da demanda de ácido está expresso em mililitros por 50 g de areia (mL / 50 g de areia).

Tabela 12: Determinação da Demanda de Ácido

Volume da Titulação	Rota 1	Rota 2
V NaOH (prova em branco)	56,8	56,8
V NaOH (titulação amostra)	55,2	54,0
Valor da Demanda de Ácido	1,6	2,8

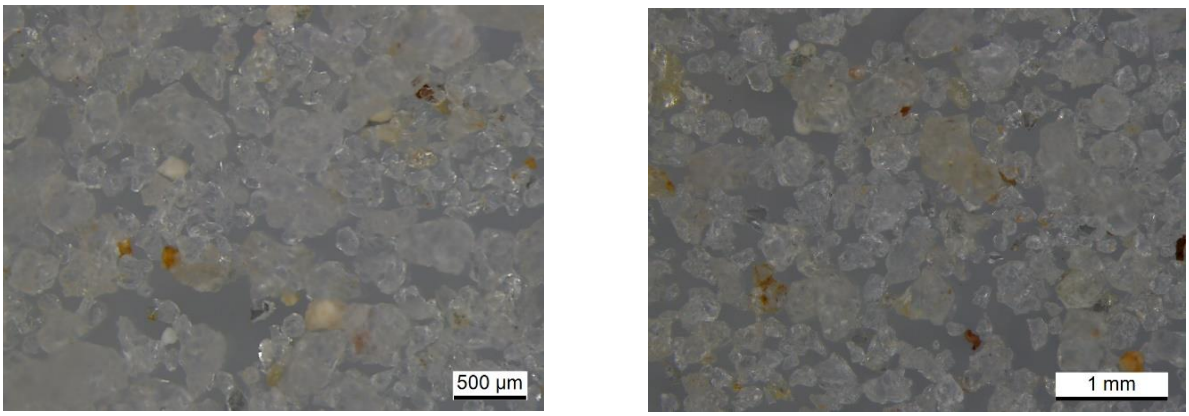
Fonte: elaborado pelo autor

O cálculo de pulverulentos foi realizado de uma forma ajustada – com a peneira de 0,106 mm e não 75 µm, como rege a ABNT NBR 46, por duas razões. A primeira delas se dá pelo fato de o autor ter tomado a iniciativa de fazer este estudo após os trabalhos em laboratório já terem sido encerrados. A segunda é que com os resultados destes cálculos obtidos com a peneira anterior (de -0,106 mm), já se chegou a valores muito próximos do limite de especificação de 1,5% de pulverulentos, senão vejamos.

Para o produto da Rota 1, encontrou-se o valor de 1,86% e para o da Rota 2, 1,32%. O que nos leva a crer que o peneiramento em 0,75 µm, apresentará porcentagens ainda menores. Faz-se importante estudar este ponto, pois um produto com presença maciça de finos é prejudicial ao processo de produção do vidro. Bem como também o é para diversas outras indústrias.

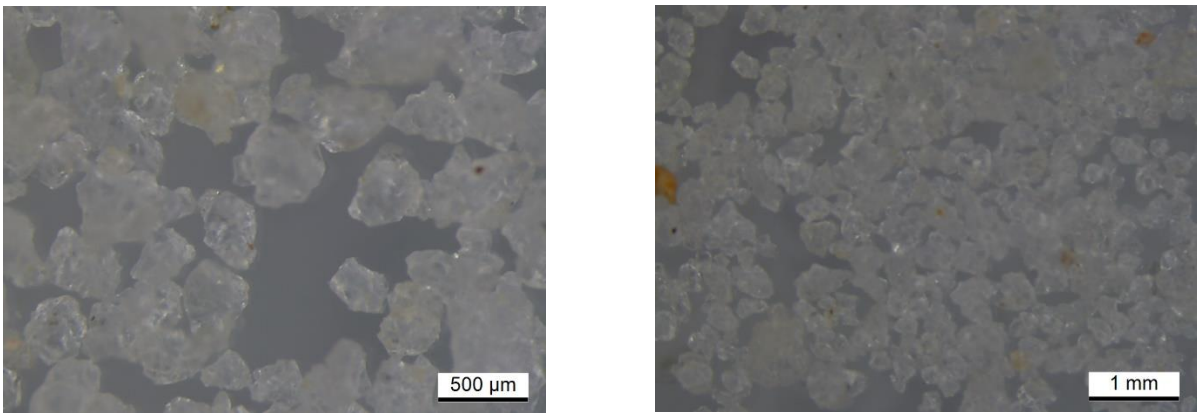
Por fim, as amostras foram fotografadas com microscópio óptico para se obter uma verificação visual em relação, principalmente, a geometria e coloração/tonalidade dos grãos. As Figuras 7 e 8 nos mostram uma ligeira diferença entre elas. As imagens da Rota 2 aparentam estar com uma coloração mais homogênea e sem presença de muitos outros tons. Já em relação a geometria, confirma-se por meio da esfericidade que são subangulares.

Figura 7: Imagens Grãos Rota 1 em 500 µm e em 1 mm



Fonte: tiradas pelo autor no LCT

Figura 8: Imagens Grãos Rota 2 em 500 µm e em 1 mm



Fonte: tiradas pelo autor no LCT

5.1. Confirmação

A caráter de confirmação e controle dos resultados da caracterização detalhada dos produtos, foi ainda solicitada a análise química pelo método de Espectrômetro de Emissão Óptica (ICP OES) em um segundo laboratório, SGS Geosol. Os bons resultados obtidos anteriormente quanto ao teor de SiO_2 e baixos teores dos demais elementos, foram, então, confirmados.

Encontrou-se para a Rota 1 o teor de 99,46% de SiO_2 e de 99,32% para a Rota 2. Os teores dos demais elementos, em ppm, podem ser verificados na Tabela 13.

Tabela 13: Teores em ppm dos Elementos de Baixos Teores

Elemento	Rota 1 (un: ppm)	Rota 2 (un: ppm)
Al	1461	1546
Ca	47	80
Fe	205	588
K	176	620
Mg	40	77
P	50	60
Ti	27	49

Fonte: elaborado pelo autor

Há presença de Al, Mg e Ca, que são os elementos que estão presentes na composição do vidro de forma controlada e não podem ser considerados contaminantes, assim como na análise do LCT. Já o Fe, considerado contaminante, ainda está presente, nas iminências das especificações, novamente.

Os teores de outros elementos, que são rigidamente controlados, foram também verificados nesta análise, como Cr, Cs, Na e Zr, e já outros como Ag, As e Pb, por liberalidade da SGS Geosol, mas não foram aqui mostrados, para que as análises entre os diferentes laboratórios pudessem ser contrastadas.

Ou seja, pelo fato de não haver divergências entre os resultados, a qualidade do produto, pôde ser atestada.

6. CONCLUSÕES

Esta Pesquisa avaliou duas rotas de beneficiamento mineral de uma areia de quartzito para a fabricação de vidro, buscando um concentrado com um teor mínimo de 99% de SiO_2 e baixos teores de elementos contaminantes, como o de Fe_2O_3, conforme preconiza a literatura. As rotas eram bem similares, porém, uma contava com uma etapa de atrição, enquanto a outra, não.

Os resultados da distribuição granulométrica após a etapa de peneiramento, bem como da distribuição do tamanho e da morfologia das partículas se mostram adequados às exigências da indústria, já que apresenta um diâmetro médio equivalente à área de 409 µm e uma razão de aspecto (razão entre o maior e o menor diâmetro da partícula) de 0,691 µm que a caracteriza como subangular.

Pelo fato de já se obter na granulometria desejada de -0,06 mm num P [80], há um bom aproveitamento do minério disponível na jazida.

Com os teores de SiO_2 ultrapassando 99%, chegando a 99,3% (LCT) e 99,46% (SGS Geosol) para a Rota 1 e de 99,1% (LCT) e 99,32% (SGS Geosol) para a Rota 2, consegue-se atingir com o produto da Rota 1 as especificações da indústria de embalagens. O mesmo

acontece para os teores de Al, Fe e Ti na Rota 1. Para a Rota 2, os resultados são ligeiramente diferentes e estão nos limiares das especificações ou até pouco acima. O que, na verdade, não invalida a amostra ou da rota, mas sim, prega que é necessário um pequeno ajuste de uma etapa de processo de beneficiamento ou até mesmo a inclusão de mais uma etapa a ser discutida futuramente.

Pode-se perceber que a etapa da atrição, presente somente na Rota 2, pouco alterou os resultados das análises químicas. Isso quando não apresentou resultados ligeiramente inferiores quando comparados à rota que não contava com atrição. Confirmou-se também, que os produtos das duas rotas não são alcalinos, através da determinação da demanda de ácido, já que os valores estão pequenos, o que é mais uma exigência que atende à indústria.

A sugestão da reanálise da rota deve ser devidamente considerada, já que o empreendimento almeja também, futuramente, atender o mercado de vidros planos e os resultados das análises aparentam que é possível, pois estão relativamente próximos.

Os resultados das análises químicas emitidas pelos dois laboratórios comprovam, portanto, que o minério em questão atende às especificações de entrada da indústria de vidro, por apresentarem os teores mínimos necessários de SiO_2 após as etapas de beneficiamento e máximos dos contaminantes (ferro) ou dos elementos controlados e, ao menos o produto da Rota 1, está apto para o mercado de embalagens.

Dessa forma, atesta-se, também, que as rotas desenhadas apresentam boas funcionalidades e resultados, já que o produto atende às especificações da indústria de embalagens e cabe verificar, em estudos futuros, a relação custo-benefício à empresa, da inclusão, ou não, de cada etapa, ao processo de beneficiamento a fim de cada vez mais aprimorar o produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro.** CETEV – Centro Técnico de Elaboração do Vidro, Saint Gobain Vidros Brasil, 2000.

BARBOSA, D. E**. Avaliação do método padrão usado para a determinação da demanda ácida de areias recicladas.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009

CARVALHO A. M. G. **Geologia Sedimentar – Volume I – Sedimentologia.** Coleção Sopas de Pedra, Lisboa, 2003.

CARVALHO A. M. G. **Geologia Sedimentar – Volume II – Sedimentologia.** Coleção Sopas de Pedra, Lisboa, 2005.

CHAVES A. P., WHITAKER W. Operações de Beneficiamento de Areia – Capítulo 11. *In*: Luz, A. B., Almeida, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil – 2ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012, p. 197-219.

CRUZ, T. T. **Caracterização de Depósitos de Areia da Bacia Sedimentar de Taubaté para a Fabricação de Vidros**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FERREIRA, G. C., DAITX, E. C. **Mercado Produtor de Areia Industrial nos Estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul.** Geociências – Volume 22, N. Especial – UNESP, pag. 41-47, 2003.

FERREIRA, G. E., FONSECA JR., C. A. F. Mercado de Agregados no Brasil – Capítulo 2. *In*: Luz, A. B., Almeida, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil – 2ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012, p. 3-6.

LUZ, A. B. Introdução – Capítulo 1. *In*: Luz, A. B., Almeida, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil – 2ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012, p. 3-6.

LUZ, A. B., LINS, F. A. F. Areia Industrial – Capítulo 5. *In*: Luz, A. B., Lins, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais – Usos e Especificações – 2ª edição,** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008 p.103-123.

LYNCH D. C., YOUNG A. C. Silica, Quartz and Silicon – Chapter 12.33. *In:* Kogel J. E., Trivedi N. C., Barker J. M., Krukowski, S.T. **Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses – 7th Edition.** Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME), 2006, p. 2077-2090.

MENEZES, S. O. **Minerais Comuns e de Importância Econômica: Um Manual Fácil – 2ª edição**, São Paulo, 2012.

ROCHA, L. **Mineração Oceânica: Uma Alternativa Sustentável para o Aproveitamento de Areias Quartzosas.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

ZANOTTO, E. D., MAURO J. C. **The Glassy State of Matter: Its Definition and Ultimate Fate.** Journal of Non-Crystalline Solids. Volume 471, 2017, pág. 490-495

ANEXO A – ANÁLISES QUÍMICAS – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X – PÁGINA 1

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE QUANTIFICAÇÃO DE FASES POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

RELATÓRIO: DRX 1267/21 **DATA:** 20/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

AMOSTRA: Amostra 1 **IDENT. LCT:** 588-8242.HPF

1. MÉTODO

O estudo foi efetuado através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X com detector sensível a posição.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com os bancos de dados PDF2 do ICDD - International Centre for Diffraction Data e ICSD – Inorganic Crystal Structure Database. A quantificação das mesmas foi efetuada pelo método de Rietveld utilizando as estruturas cristalinas do ICSD.

2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Mineral	Fórmula Química	% Estimada
01-079-1910	Quartzo	SiO_2	90
01-078-1996	Caulinita	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	6
01-084-1302	Muscovita	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	3
01-076-1782	Gibbsita	$Al(OH)_3$	1

O difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta) é apresentado anexo. É também apresentado o difratograma diferencial obtido no refinamento por Rietveld.

Executado por: M.Sc. Gaspar Darin Filho (20/12/2021 12:21 BRT)
Revisado por: Dra. Juliana Lívi Antoniassi (20/12/2021 14:06 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

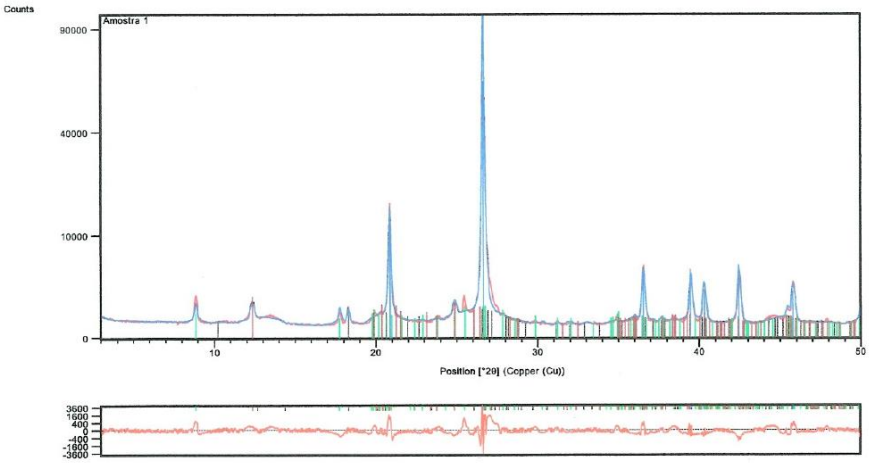
NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **SRSL-BARC-HVTR-QAQB**

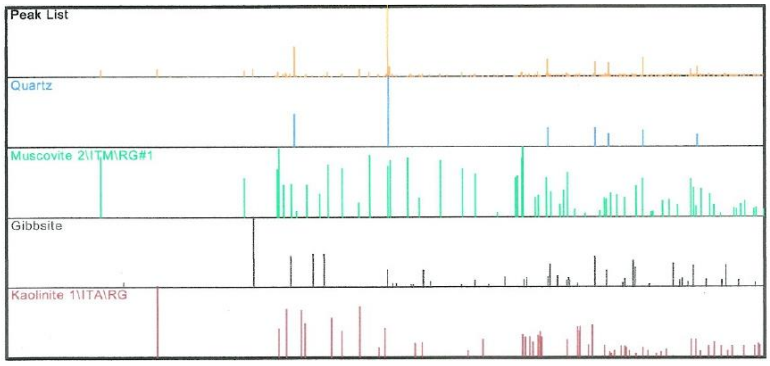
ANEXO B – ANÁLISES QUÍMICAS – DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X – PÁGINA 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

DIFRATOGRAMA DE RAIOS X



FASES IDENTIFICADAS



Relatório DRX 1267/21 Página 2 de 2

ANEXO C – ANÁLISES QUÍMICAS – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

RELATÓRIO: FRX 597-21 **REQ:** 0857-21 **DATA:** 15/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados em amostra fundida com tetraborato de lítio, na calibração QZF-1 (Quartzo e Feldspato), relativa a análise quantitativa por comparação com materiais de referência certificados, em espectrômetro de fluorescência de raios X, marca Malvern Panalytical, modelo Zetium. A Perda ao Fogo (PF) foi realizada a 1.020°C por 2h.

2. RESULTADOS:

Nº LCT	8243	8244	8245	8246
Amostra	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
SiO_2 (%)	91,1	98,2	98,7	99,3
Al_2O_3 (%)	5,02	0,55	0,52	0,28
Fe_2O_3 (%)	0,86	0,15	0,09	0,03
MnO (%)	0,05	<0,01	<0,01	<0,01
MgO (%)	0,07	<0,05	<0,05	<0,05
CaO (%)	0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Na_2O (%)	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
K_2O (%)	0,32	0,10	0,09	<0,05
TiO_2 (%)	0,11	0,03	0,04	<0,01
P_2O_5 (%)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cr_2O_3 (%)	<0,01	<0,01	<0,01	0,03
ZrO_2 (%)	0,02	0,01	0,01	<0,01
PF (%)	2,13	0,39	0,27	0,22

Nº LCT	8247	8248
Amostra	Amostra 6	Amostra 7
SiO_2 (%)	98,6	99,1
Al_2O_3 (%)	0,39	0,33
Fe_2O_3 (%)	0,07	0,06
MnO (%)	<0,01	<0,01
MgO (%)	<0,05	<0,05
CaO (%)	<0,05	<0,05
Na_2O (%)	<0,10	<0,10
K_2O (%)	0,08	0,07
TiO_2 (%)	0,04	0,01
P_2O_5 (%)	<0,05	<0,05
Cr_2O_3 (%)	<0,01	<0,01
ZrO_2 (%)	<0,01	<0,01
PF (%)	0,37	0,26

Executado por: Mavinieur Sabo Yamaguishi (15/12/2021 11:42 BRT)
Revisado por: Dra. Gislayne Kelmer - CRQ 04165656-4ªR (15/12/2021 11:46 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **UTSA-JXRW-HDLQ-CHNB**

ANEXO D – DETERMINAÇÃO DE DEMANDA DE ÁCIDO – PÁGINA 1

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁCIDO

RELATÓRIO: AVU 045-21 **REQ:** 055-21 **DATA:** 15/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

1 AMOSTRA ESTUDADA

Os estudos foram realizados em amostras de areia, visando a determinação da demanda de ácido.

2 MÉTODO

O procedimento realizado para a determinação da demanda de ácido, conforme descrito na norma ABNT NBR NM 12111-2018, é:

- dispor 50 g da areia seca e colocá-la num béquer;
- acrescentar solução de HCl 0,1 N de modo a obter mistura com pH inferior a 2,0;
- agitação mecânica por 1 h;
- colocar o béquer com a mistura em banho-maria a 25ºC;
- titulação da mistura com NaOH 0,1 N até estabilização em pH 6,0;
- realização de uma prova em branco, utilizando o mesmo volume de HCl 0,1 N, e titular com NaOH 0,1 N, até atingir pH 6,0;
- o resultado é a diferença da titulação do branco da titulação com a amostra, expresso em mililitros por 50 g de areia (mL/50g de areia).

3 RESULTADO

Os resultados para as amostras analisadas estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Determinação da demanda de ácido

Volume da titulação	Amostra 5	Amostra 7
V NaOH p.b. [1]	56,8	56,8
V NaOH a [2]	na	54,0
Valor da demanda de ácido (VDA)	**na**	**2,8**

na- não analisado devido à massa insuficiente.
Obs.: 1. titulação da prova em branco (mL) e, 2. titulação amostra.

Executado por: Ingled Oliveira Alves (16/12/2021 12:38 BRT)
Revisado por: Dra. Gislayne Kelmer - CRQ 04165656-4ªR (16/12/2021 13:03 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **DJST-ZBRZ-PANQ-UYFB**

ANEXO E – DETERMINAÇÃO DE DEMANDA DE ÁCIDO – PÁGINA 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADO DE DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE ÁCIDO

RELATÓRIO: AVU 046-21 **REQ:** 059-21 **DATA:** 15/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

1 AMOSTRA ESTUDADA

O estudo foi realizado em amostra de areia, visando a determinação da demanda de ácido.

2 MÉTODO

O procedimento realizado para a determinação da demanda de ácido, conforme descrito na norma ABNT NBR NM 12111-2018, é:

- dispor 50 g da areia seca e colocá-la num béquer;
- acrescentar solução de HCl 0,1 N de modo a obter mistura com pH inferior a 2,0;
- agitação mecânica por 1 h;
- colocar o béquer com a mistura em banho-maria a 25ºC;
- titulação da mistura com NaOH 0,1 N até estabilização em pH 6,0;
- realização de uma prova em branco, utilizando o mesmo volume de HCl 0,1 N, e titular com NaOH 0,1 N, até atingir pH 6,0;
- o resultado é a diferença da titulação do branco da titulação com a amostra, expresso em mililitros por 50 g de areia (mL/50g de areia).

3 RESULTADO

O resultado para a amostra analisada estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Determinação da demanda de ácido

Volume da titulação	Amostra 7
V NaOH p.b. [1]	56,8
V NaOH a [2]	55,2
Valor da demanda de ácido (VDA)	**1,6**

Obs.: 1. titulação da prova em branco (mL) e, 2. titulação amostra.

Executado por: Ingled Oliveira Alves (16/12/2021 12:40 BRT)
Revisado por: Dra. Gislayne Kelmer - CRQ 04165656-4ªR (16/12/2021 13:06 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **NLSV-UKRZ-OYNQ-EZFB**

Obs: Onde se lê Amostra 7, entende-se como Amostra 5

ANEXO F – ANÁLISES ESPECTRÔMETRO DE EMISSÃO ÓPTICA (ICP OES)

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

RELATÓRIO: ICP 105-21 **REQ:** 181-21 **DATA:** 16/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

1. MÉTODO: Os teores apresentados foram determinados em amostra preparada por digestão multiácida e dosados em espectrômetro de emissão óptica (ICP OES), marca Thermo Scientific, modelo iCap 6300 Duo.

2. RESULTADOS:

N° LCT		8246	8248
Amostra		Amostra 5	Amostra 7
Elemento	LQ		
Al (mg/kg)	9	1602	1799
Ca (mg/kg)	12	73	131
Fe (mg/kg)	7	219	451
K (mg/kg)	8	199	656
Mg (mg/kg)	2	43	90
P (mg/kg)	4	19	48
Ti (mg/kg)	3	46	73

LQ - Limite de quantificação

Executado por: Ingled Oliveira Alves (16/12/2021 18:16 BRT)
Revisado por: Dra. Gislayne Kelmer - CRQ 04165656-4ªR (16/12/2021 18:31 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **CUSC-TBRB-GLNR-QMOB**

Relatório ICP 105-21 Página 1 de 1

ANEXO G – ANÁLISE DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS – PÁGINA 1

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

RESULTADOS DE DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS

RELATÓRIO: CAM 097-21 **DATA:** 07/12/2021

CLIENTE: Roque Arthur da Costa Vieira

AMOSTRA: 7 **ID. LCT:** 8248-21

1. MÉTODO

A determinação da distribuição de tamanho e morfologia de partículas foi realizada por análise de imagens dinâmica no equipamento da marca Retsch, modelo Camsizer XT, segundo procedimento descrito pela norma ISO 13322-2/ 2006.

2. RESULTADOS

O sumário dos resultados obtidos é apresentado na Tabela 1, considerando diferentes parâmetros de medida de tamanho e forma de partículas.

Tabela 1 – Sumário da distribuição de tamanho e da morfologia das partículas (µm)

Parâmetros	D[10]	D[50]	D[90]	D[médio]	SPAN	SPHT média	b/l médio
xc_min	191,2	341,9	523,1	350,7	0,971	0,772	0,691
x_area	224,6	400,0	605,8	409,0	0,953	0,759	0,661

xc_min. = largura da partícula; menor valor dentre os diâmetros máximos para distintas orientações de medida.
x_area = diâmetro da partícula, correspondente ao diâmetro do círculo de área equivalente à área da partícula.
D[10] = diâmetro xc_min / X_área abaixo do qual estão 10% das partículas.
D[50] = diâmetro xc_min / X_área abaixo do qual estão 50% das partículas = diâmetro mediano das partículas.
D[90] = diâmetro xc_min / X_área abaixo do qual estão 90% das partículas.
D[médio] = diâmetro xc_min / X_área médio.
SPAN = descrição da largura da distribuição granulométrica, definido por $(D[90] - D[10])/(D[50])$.
Esfericidade (SPHT) = relação entre a área da partícula e seu perímetro, definida por $(4\pi.Área)/(Perímetro)\text{^}2$.
Relação de aspecto = razão entre o maior e o menor diâmetro da partícula (b/l).

A distribuição de tamanho das partículas é apresentada na Tabela 2, Figura 1 e Figura 2, considerando dois parâmetros de medida.

Os valores médios de esfericidade (SPHT) e relação de aspecto (b/l) por intervalo granulométrico são mostrados na Tabela 2 e as distribuições de partículas por intervalo de forma são mostrados na Tabela 3 e na Figura 3.

ANEXO H – ANÁLISE DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS – PÁGINA 2

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Tabela 2 – Distribuição de tamanho de partícula considerando dois parâmetros diferentes de medida

Diâmetro; Intervalo (µm)		xc_min				X-area			
		Distribuição (%)		Forma média		Distribuição (%)		Forma média	
		retida	abaixo	SPHT	b/l	retida	abaixo	SPHT	b/l
1000		0,0	100,0			0,0	100,0	0,565	0,537
850	1000	0,0	100,0	0,478	0,647	0,1	99,9	0,580	0,543
710	850	0,1	99,9	0,651	0,735	2,0	97,9	0,657	0,595
600	710	2,8	97,0	0,714	0,732	8,6	89,3	0,702	0,643
500	600	10,3	86,7	0,732	0,712	16,2	73,2	0,726	0,654
425	500	14,5	72,2	0,747	0,698	16,8	56,4	0,746	0,659
355	425	18,4	53,8	0,763	0,693	17,8	38,5	0,764	0,666
300	355	16,3	37,5	0,778	0,689	13,7	24,8	0,781	0,670
250	300	14,1	23,3	0,791	0,686	10,4	14,5	0,792	0,672
212	250	9,1	14,2	0,802	0,685	6,4	8,1	0,802	0,673
180	212	6,2	8,0	0,807	0,683	4,1	4,0	0,806	0,672
150	180	4,2	3,8	0,811	0,675	2,6	1,4	0,813	0,673
125	150	2,3	1,5	0,819	0,660	1,1	0,3	0,828	0,671
106	125	1,0	0,5	0,808	0,621	0,2	0,1	0,824	0,656
90	106	0,3	0,2	0,766	0,542	0,1	0,0	0,799	0,610
75	90	0,1	0,1	0,696	0,445	0,0	0,0	0,688	0,523
63	75	0,0	0,0	0,613	0,361	0,0	0,0	0,712	0,528
53	63	0,0	0,0	0,643	0,457	0,0	0,0	0,753	0,628
45	53	0,0	0,0	0,687	0,495	0,0	0,0	0,796	0,632
38	45	0,0	0,0	0,725	0,564	0,0	0,0	0,778	0,651
32	38	0,0	0,0	0,657	0,488	0,0	0,0	0,769	0,651
0	32	0,0	0,0	0,725	0,604	0,0	0,0	0,761	0,646

ANEXO I – ANÁLISE DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS – PÁGINA 3

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Figura 1 – Distribuição de tamanho de partículas acumulada abaixo e retido por fração (xc_min)

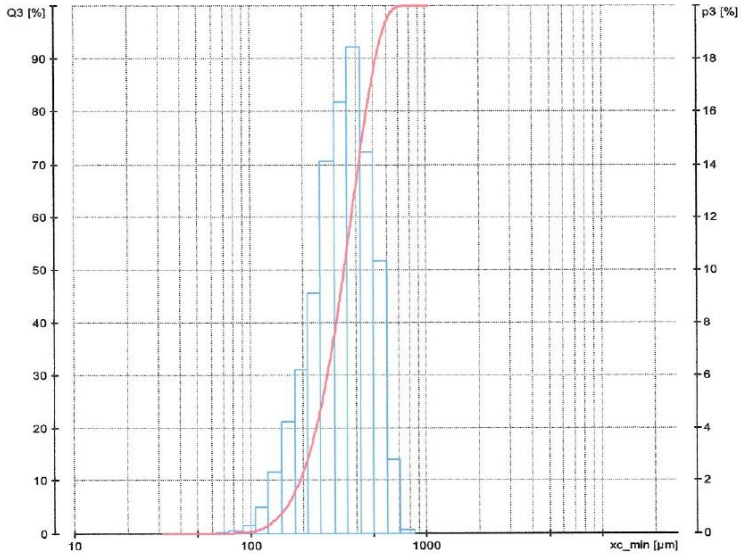
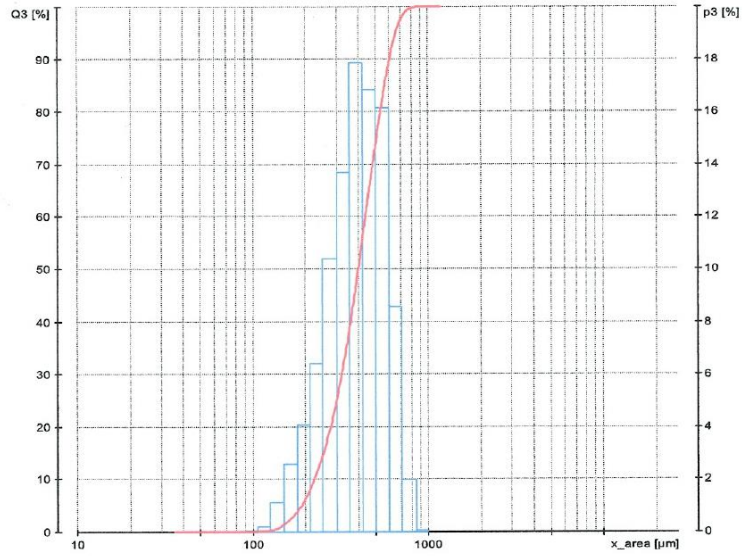


Figura 2 – Distribuição de tamanho de partículas acumuladas abaixo e retido por fração (X_área)



ANEXO J – ANÁLISE DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS – PÁGINA 4

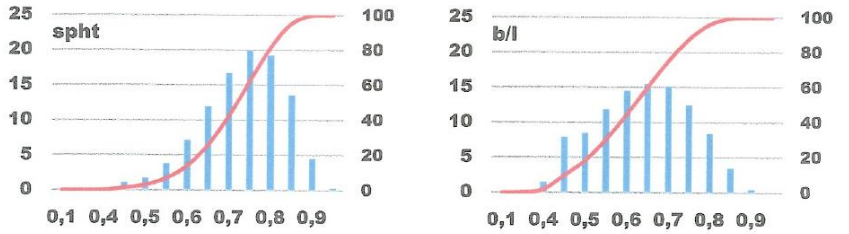
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo
Laboratório de Caracterização Tecnológica
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 CEP 05508-030 São Paulo - SP www.lct.poli.usp.br
Tel: 11 3091-5151 e-mail: lct@lct.poli.usp.br

Tabela 3 – Frequência de partículas para diferentes intervalos de SPHT e b/l (valores em %)

Forma; Intervalo (µm)		Xc_min				X_area			
		SPHT		b/l		SPHT		b/l	
		abaixo	intervalo	abaixo	intervalo	abaixo	intervalo	abaixo	intervalo
0,00	0,20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,35	0,40	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2
0,40	0,45	0,1	0,1	1,2	1,1	0,1	0,1	1,7	1,5
0,45	0,50	1,0	0,9	7,9	6,7	1,2	1,1	9,6	7,9
0,50	0,55	2,5	1,5	15,6	7,7	2,9	1,7	18,1	8,5
0,55	0,60	5,9	3,4	26,7	11,1	6,7	3,8	30,0	11,9
0,60	0,65	12,5	6,6	40,9	14,2	13,8	7,1	44,5	14,5
0,65	0,70	23,8	11,3	56,6	15,7	25,8	12,0	60,0	15,5
0,70	0,75	40,1	16,3	72,4	15,8	42,5	16,7	75,1	15,1
0,75	0,80	60,2	20,1	86,0	13,6	62,4	19,9	87,6	12,5
0,80	0,85	80,1	19,9	95,4	9,4	81,6	19,2	96,0	8,4
0,85	0,90	94,6	14,5	99,5	4,1	95,2	13,6	99,5	3,5
0,90	0,95	99,6	5,0	100,0	0,5	99,7	4,5	100,0	0,5
0,95	1,00	100,0	0,4	100,0	0,0	100,0	0,3	100,0	0,0

Figura 3 – Distribuição das partículas por intervalo de forma (SPHT e b/l)

(a) xc_min



(b) X_área

Executado por: M.Sc. Guilherme Pinho Nery (07/12/2021 17:25 BRT)
Revisado por: Dra. Juliana Lívi Antoniassi (07/12/2021 17:52 BRT)

Profa. Dra. Carina Ulsen
Coordenadora do LCT - Poli/USP

NOTA: Os resultados expostos acima referem-se apenas à(s) amostra(s) enviada(s) ao LCT; a representatividade da(s) mesma(s) é de inteira responsabilidade do cliente.

Verifique a autenticidade deste documento em www.lct.poli.usp.br utilizando o código **CHSK-YRQJ-CNZQ-YVFB**

ANEXO K – ANÁLISES QUÍMICAS DE COMPROVAÇÃO – PÁGINA 1

SGS GEOSOL

SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES
GQ2200062

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

NOME: ROQUE ARTHUR DA COSTA VIEIRA
ATTN.: Roque Vieira
ENDEREÇO: FAZENDA SÃO CARLOS S/N 12.570-000 SP APARECIDA
CPF/CNPJ: 392.406.508-06

REFERÊNCIA DO LOTE DE AMOSTRAS

REF. CLIENTE: Pedido 23/12/2021
QTE. AMOSTRAS: 2
RECEBIDO: 12/01/2022
PRODUTO: QUARTZO
COMPLETADO: 28/01/2022
PROJETO: Default
EMITIDO: 28/01/2022

REFERÊNCIA ANALÍTICA

ICPOM

ICM42Q: Determinação de Quartzo por Digestão Multiácida - ICP OES / ICP MS

LEGENDA: SIGLAS

L.D.= Limite de Detecção	BLK = Branco	REP = Replicata	DUP = Duplicata
L.N.R. = Listado e não Recebido	I.S. = Amostra Insuficiente	N.A. = Não Analisado	STD = Padrão
I.N.F. = Não reportado devido a interferentes		OVR = Não Analisado devido ao alto teor	

Marcos Filipe Gonçalves Silva
CRQ II 02202046
Responsável Técnico

ANEXO L – ANÁLISES QUÍMICAS DE COMPROVAÇÃO – PÁGINA 2

SGS GEOSOL

SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES

GQ2200062

ANÁLISES	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd
METODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	0,2	1	1	1	1	0,1	2	1	0,02
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	<0,2	1461	<1	<1	6	<0,1	<2	47	<0,02
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,2	1488	<1	<1	11	<0,1	<2	80	<0,02
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,2	1546	<1	<1	12	<0,1	<2	80	<0,02
* STD SG_170	<0,2	112	<1	<1	19	<0,1	<2	10	<0,02

ANÁLISES	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Ge	Hf
METODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	0,05	3	1	5	1	2	0,1	0,1	0,02
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	5,53	395	2	<5	1	205	0,3	0,2	0,25
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	10,78	235	2	<5	<1	553	0,6	0,1	0,32
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	11,88	246	2	<5	<1	588	0,6	0,2	0,29
* STD SG_170	0,07	<3	N.A.	<5	1	3223	<0,1	<0,1	<0,02

ANÁLISES	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na
METODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	0,02	2	0,1	2	0,01	2	1	1	2
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	<0,02	176	2,8	<2	<0,01	40	3	<1	55
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,02	578	5,6	<2	<0,01	72	5	<1	35
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,02	620	6,1	<2	<0,01	77	6	<1	38
* STD SG_170	<0,02	19	<0,1	8	<0,01	9	32	2	15

ANÁLISES	Nb	Ni	P	Pb	Rb	Re	S	Sb	Sc
METODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	0,1	1	1	1	0,2	0,1	100	0,05	0,5
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	<0,1	5	50	<1	0,6	<0,1	<100	0,09	<0,5
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,1	3	58	<1	2,3	<0,1	<100	<0,05	<0,5
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,1	3	60	<1	2,7	<0,1	<100	<0,05	<0,5
* STD SG_170	<0,1	4	3	<1	<0,2	<0,1	<100	<0,05	<0,5

ANEXO M – ANÁLISES QUÍMICAS DE COMPROVAÇÃO – PÁGINA 3

SGS GEOSOL

SGS GEOSOL LABORATÓRIOS LTDA.

CERTIFICADO DE ANÁLISES

GQ2200062

ANÁLISES	Se	SiO2	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti
MÉTODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	2	0,01	0,3	1	0,05	0,05	0,05	0,2	1
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	<2	99,46	2,2	1	<0,05	<0,05	<0,05	1,1	27
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<2	99,35	1,3	2	<0,05	0,06	<0,05	2,7	47
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<2	99,32	1,3	2	<0,05	0,06	<0,05	2,8	49
* STD SG_170	<2	99,45	<0,3	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,2	11

ANÁLISES	Tl	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
MÉTODO	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q	ICM42Q
UNIDADE	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
LIMITE DETECÇÃO	0,02	0,1	1	0,1	0,1	0,1	1	1
01-Alíquota Rota 01 -0.6+0.106	<0,02	0,1	1	24,9	0,5	<0,1	3	6
02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,02	0,2	1	59,6	0,7	<0,1	2	8
* REP 02-Alíquota Rota 02 -0.6+0.106	<0,02	0,2	1	57,1	0,8	<0,1	2	8
* STD SG_170	<0,02	<0,1	1	1,2	<0,1	<0,1	1	<1