

# **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PARA A OBTENÇÃO DE PRODUTO DE GRAU METALÚRGICO**

## **WASTE USE FOR THE OBTAINMENT OF A METALURGICAL DEGREE PRODUCT**

### **Jodan Silva Volpasso**

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas 10º período, Instituto Federal do Espírito Santo Cachoeiro de Itapemirim  
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: agosto de 2018 a julho de 2019  
jodansilvavolpasso@gmail.com

### **Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Orientador, Engenheiro de Minas, D.Sc.  
fhollanda@cetem.gov.br

### **Mônica Castoldi Borlini Gadioli**

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.  
mborlini@cetem.gov.br

## **RESUMO**

O parque brasileiro de beneficiamento de rochas ornamentais tem capacidade instalada de serragem e polimento de chapas para cerca de 93 milhões de metros quadrados. Estima-se que no beneficiamento primário das rochas brasileiras são gerados em torno 2,5 milhões de toneladas de resíduos. Em face à esta realidade, torna-se necessário, a cada dia, uma busca por usos alternativos das rochas ornamentais (mármore, granito, quartzitos e ardósias), sendo um deles o uso da sílica proveniente dos quartzitos para produção de células fotovoltaicas, um importante componente do meio alternativo de produção de energia, a partir da luz solar. Além disso, podem também ser aproveitados para a produção de componentes eletrônicos e vidro, o que culmina a necessidade de que estes produtos estejam num alto grau de pureza, para atender as indústrias metalúrgicas, fotovoltaicas e eletrônicas. A partir de resíduos de casqueiros e resíduo fino de serragem de quartzito, foi desenvolvida a presente pesquisa com o objetivo de conferir, a partir de ensaio de FRX, se o teor de dióxido de silício está dentro da faixa da pureza do silício de grau metalúrgico, e ao mesmo tempo realizar ensaios térmicos para buscar o aumento da concentração da sílica. Com base nos resultados obtidos verificou-se que não é necessário o uso de meios de purificação para aumentar a pureza do dióxido de silício, visto que eles apresentam valores significativos, de acordo com o tipo de material, dos quais o casqueiro indicando teor de 98,5% e o resíduo fino de serragem 99,5%. Ambos com valores altos e satisfatórios para grau metalúrgico que permitem o avanço na pesquisa para utilização, visando obter os índices exigidos da indústria, ou seja, de grau solar e grau eletrônico.

**Palavras chave:** resíduos, pureza, grau metalúrgico.

## **ABSTRACT**

The Brazilian park of ornamental stone processing has installed sawing and polishing capacity of sheets for about 93 million square meters. It's estimated that in the primary processing of Brazilian rocks around 2.5 million tons of wastes are generated. In view of this reality, a search for alternative uses of ornamental rocks (marble, granite, quartzites and slates) it's necessary every day, one of which is the use of silica from quartzites to produce photovoltaic cells, one important component of the alternative means of producing energy, from sunlight. In addition, they can also be used to produce electronic components and glass, which culminates the need for these products to be in a high degree of purity, to meet the metallurgical, photovoltaic and electronic industries. The present research was carried out with the aim of checking the FRX

test if the content of silicon dioxide is within the purity range of metallurgical degree silicon, and at the same time perform thermal tests to seek to increase the concentration of silica. Based on the results obtained it was found that the use of purification media isn't necessary to increase the purity of the silicon dioxide, since they have significant values, according to the type of material, of which the rocker indicating 98.5% and the fine sawdust 99.5%. Both with high values and satisfactory for metallurgical degree that allow the advance in the research to use in order to obtain the required indices of the industry, that is, solar degree and electronic degree.

**Keywords:** wastes, purity, metallurgic degree.

## 1. INTRODUÇÃO

O parque brasileiro de beneficiamento de rochas ornamentais tem capacidade instalada de serragem e polimento de chapas para cerca de 93 milhões de metros quadrados, a partir de rochas extraídas no país em blocos e caracterizadas por gerarem a maior parte dos produtos de processamento especial, ou seja, teares de lâminas convencionais, diamantados e teares multifios (ABIROCHAS, 2018). Com o processamento dos blocos nas serrarias é obtido resíduos da ordem de 40% do volume do material processado, sendo 26% de resíduo muito fino e 14 % de resíduo grosso, na forma de casqueiro originados do aparelhamento dos blocos, que somados totalizam cerca de 2,5 milhões de toneladas de resíduos no Brasil. (VIDAL, et al.,2013). O dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) presente em rochas silicáticas, pode ser utilizado como silício grau metalúrgico (SiGM), determinado como matéria prima necessária para a obtenção do silício grau solar (SiGS), que por sua vez pode ser utilizado na produção de células fotovoltaicas (RAJAM, 2011; KIM e KWADWO, 2012). Para Argonz (2001) o SiGM, além de possibilitar a obtenção do SiGS, também é matéria prima fundamental para o atingimento do silício de grau eletrônico (SiGE) empregado na produção de microchips. Para ser utilizado como SiGM, o produto de  $\text{SiO}_2$  precisa estar em uma faixa de 98,0% a 99,5% de pureza (SOARES et al, 2012). Sabe-se que o quartzo apresenta um alto teor de  $\text{SiO}_2$ , mas ele pode conter uma quantidade de impurezas. Tais impurezas seriam elementos químicos como: alumínio, manganês, boro, molibdênio, cálcio, níquel, magnésio, zircônio, vanádio, ferro, titânio, cobre, fósforo, cromo e dentre outros (GUSO, 2008). Existem diversos meios de purificação, uns em estudo e outros já em uso. Alguns deles seriam a adição de ácido fluorídrico (HF), a aplicação do método de lixiviação e o método de tratamento térmico (calcinação).

## 2. OBJETIVO

Desenvolver uma pesquisa para determinar o grau metalúrgico do  $\text{SiO}_2$ , ou seja, a pureza, em casqueiros e fino de rocha ornamental, classificada na petrografia como quartzito, provenientes do corte com fio diamantado no processo de desdobramento do bloco na serraria, para obter parâmetros de concentrações de teores de  $\text{SiO}_2$  em ensaios térmicos com diferentes temperaturas, para verificar a necessidade de utilizar, ou não, o método de purificação.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho, os materiais estudados foram resíduos de quartzitos ornamentais proveniente do Estado da Bahia. As amostras foram coletadas em uma indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, originadas de casqueiro (AM1 e AM2) e resíduo fino da serragem por multifio (AM3) das amostras AM1 e AM2. Também foi estudada uma amostra composta por AM1 + AM2, sendo denominada AM4. Foram realizados a análise petrográfica e os ensaios de fluorescência de raios X e difração de raios X para a caracterização das amostras, e quanto ao método de purificação utilizou-se o tratamento térmico. Todos os ensaios foram realizados no CETEM. Para a análise petrográfica foi utilizado um microscópio petrográfico de luz polarizada, modelo: IMAGER.M2m CARL ZEISS, AXIO, marca: ZEISS, em luz transmitida seguindo a norma da ABNT, NBR 15845-1 (2015), nas amostras AM1 e AM2. Na análise de composição química (fluorescência de raios X) foi utilizado o espectrômetro (WDS-2), modelo AxiosMax (Panalytical) e as amostras AM3 e AM4 foram preparadas em prensa automática

VANEOX, utilizando como aglomerante o ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) na proporção de 1:0,3, com 2g de amostra seca à 105 °C e 0,6g do ácido para a realização do ensaio, com média de 3 leituras e determinados por análise semiquantitativa (standardless). No ensaio de difração de raios X (DRX) utilizou-se o equipamento Bruker-AXS D5005, equipado com espelho Goebel, tendo como condições de operação a radiação Co K $\alpha$  (35kV/40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02° 2 $\theta$  por passo com tempo de contagem de 1 segundo por passo e coletados de 5 a 80° 2 $\theta$ . Este ensaio foi feito apenas na amostra AM4, pois é representativa de todas as demais. Os ensaios térmicos foram realizados na amostra AM4 visando verificar a variação de teores de sílica em função das impurezas. Estes ensaios foram realizados em temperaturas de 700°C, 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C e 1200°C, permanecendo na temperatura de patamar por 30, 60 e 90 minutos cada.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise petrográfica das amostras AM1 e AM2 determinou-se a textura de ambas como holocristalina e hipidiomórfica com nenhum grau de alteração, mas a amostra AM1 apresentou um grau de microfissuramento e microdescontinuidades fraco e, a AM2 moderado. Percebeu-se que na amostra AM1 não há nenhum mineral opaco, já na amostra AM2 obteve uma porcentagem menor que 1% e com granulometria menor que 1mm. O resultado da composição química das amostras de casqueiro e resíduo fino são apresentados a seguir nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1:** Composição química do casqueiro (amostra AM4).

Composição (%)							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	MgO	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*PPC
0,20	98,50	0,46	0,16	0,12	0,17	0,13	0,28

**Tabela 2:** Composição química do resíduo fino na serragem com multifio (amostra AM3).

Composição (%)				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	*PPC
0,15	99,3	0,2	0,12	0,38

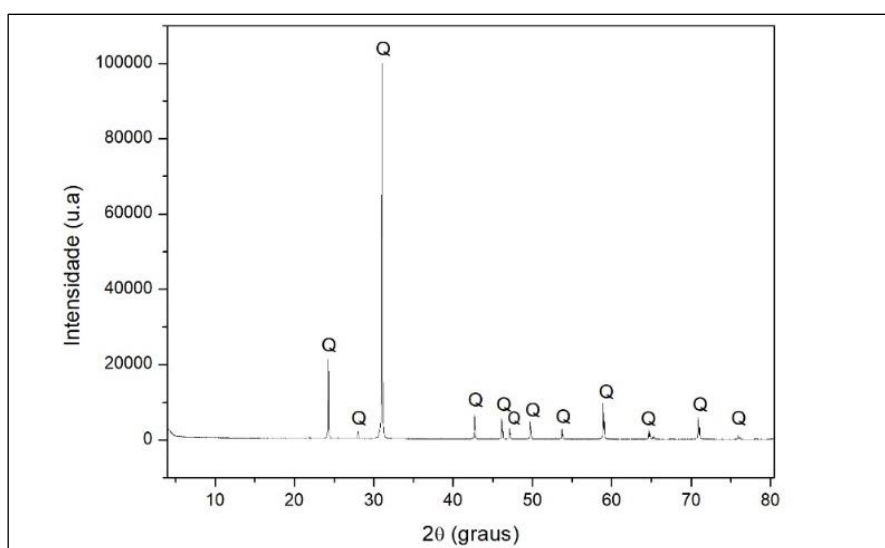
\*PPC – Perda por calcinação

Conforme analisado, percebe-se que a amostra AM4 possui um teor de SiO<sub>2</sub> com valor de 98,5% e a amostra AM3 tem 99,3%, característica marcante em rochas silicáticas devido sua gênese. Ambas estão dentro da faixa de variação do grau metalúrgico (98% - 99,5%) e podem ser utilizadas para a produção de vidro, por exemplo. Além disso, ficou evidente que quanto mais fino o material maior foi o teor de SiO<sub>2</sub> no sistema, caracterizando uma pureza maior ainda. Vale observar que há uma presença de compostos químicos incomuns, como o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e WO<sub>3</sub>. Outra observação que foi possível de perceber é que o composto Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reduziu 0,05% no fino da serragem de multifio, comparado ao casqueiro, e os compostos Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>, MgO e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, praticamente não foram encontrados. O óxido de cálcio (CaO) apresentou um teor alto nas amostras, mas foi possível de ser eliminado utilizando o tratamento térmico, o que proporcionou um aumento consideravelmente positivo no teor de dióxido de silício na amostra AM4. Após o ensaio obteve-se o resultado da composição química, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3:** Composição química após tratamento térmico da amostra AM4.

Temperatura (°C)	700	800	900	1000	1100	1200
SiO <sub>2</sub> (%)	99,4	99,4	99,5	99,5	99,5	99,5

Contudo ao analisar o resultado da composição química na Tabela 3 com o valor obtido no FRX apresentado na Tabela 1, ou seja, sem o tratamento térmico, pode-se observar que o teor de dióxido de silício já se encontrava dentro da faixa determinada como padrão para ser classificado em SiGM (98,0% a 99,5%). Também vale ressaltar que independente do aumento na temperatura evidencia-se a continuidade no valor de teor do SiO<sub>2</sub> a partir dos 900°C e, com isso confirmou-se que esta temperatura foi suficiente para permitir a remoção das impurezas presentes. A Figura 1 apresenta o resultado difratograma de DRX, realizado na amostra AM4 e, conforme o esperado, observa-se a alta intensidade de SiO<sub>2</sub>, confirmando somente a presença de quartzo.



**Figura 1:** DRX da amostra AM4.

## 5. CONCLUSÕES

A partir do resultado satisfatório da obtenção do SiGM, tem como continuidade a busca por novos valores de pureza, utilizando meios de purificação mais avançados. É importante ressaltar que para alcançar purezas mais elevadas, do tipo 99,99%, ou seja, grau eletrônico e solar são necessários equipamentos mais apropriados e compostos químicos mais fortes, como o ácido HF, por exemplo. Também é interessante atribuir maior importância com relação ao estudo da busca pelo teor de pureza em outros tipos de rochas ornamentais em diferentes regiões, visto que, verificando se é possível alcançar os resultados obtidos neste trabalho, ou se dependem de ensaios e diferentes formas de tratamento para tal alcance. Estes estudos atribuem uma vantagem para as empresas inseridas no ramo extrativo e produtivo das rochas ornamentais, pois com o reaproveitamento de resíduos de maneira sustentável há uma desnecessidade de custos extras com remanejamento para descarte deles em locais apropriados, podendo proporcionar rentabilidade a partir de uma possível comercialização para empresas produtoras como, por exemplo as de vidros e entre outras.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ e ao CETEM pela oportunidade dada a mim, e pelo investimento para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço ao meu orientador Francisco Wilson Hollanda Vidal, meu mestre e mentor, a minha coorientadora Mônica Castoldi Borlini Gadioli, que pode me auxiliar no projeto constantemente dando conselhos importantes e críticas construtivas. Além disso, o apoio de Vanessa Lemos de Oliveira Guimarães e da técnica Jaqueline Veloso, foi de extrema importância, pois puderam me auxiliar nos ensaios que foram utilizados para a obtenção dos resultados apresentados neste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Estudo da Competitividade Brasileira no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Brasília, abril, 2018. 168p.

ARGONZ, R. **Purificação de rejeitos de lascas de Quartzo das Indústrias de Silício**. 2001. 101p. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

CID, T.P. et al. **Caracterização e beneficiamento de quartzo e areia de quartzo da Bahia para produção de silício metalúrgico**. In: Jornada de Iniciação Científica, 2014, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, Brasil: 2014. p. 4.

DIAS et al. **Beneficiamento do quartzo de Tanhaçu/BA visando a preparação de silício grau metalúrgico de alta pureza**, HOLOS, Ano 30, vol. 3, 2014 - Edição Especial - XXV ENTMME/VII MSHNT.

GUSO, P.L. Quartzo. In: Luz. A.B., Lins, F.A.F. **Rochas e minerais industriais, 2a Ed.**, Cap. 31, 681-722, 990p. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2008.

KIM, E.; KWADWO, O. **Dissolution Windows for Hydrometallurgical Purification of Metallurgical-Degree Silicon to Solar-Degree Silicon: Eh-pH Diagrams for Fe Silicides**. *Hydrometallurgy*. v. 127-128, p. 178-186, 2012.

RANJAN, S. et al. **Silicon Solar Cell Production**. *Computers and Chemical Engineering*. v. 35, p. 1439-1453, 2011.

SOARES, et al. **Beneficiamento e caracterização de quartzo para obtenção de silício grau metalúrgico**, HOLOS, Ano 28, v. 5, p. 8, 2012.

VIDAL, et al. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. CETEM/MCTI. Rio de Janeiro, 2013. 434-492. 58p. 2013.