

# PROPRIEDADES MECÂNICAS E ESTRUTURAIS DE QUARTZO NATURAL DE DUAS PROCEDÊNCIAS: SUBSÍDIOS PARA ANÁLISE DO PROCESSO DE MOAGEM ULTRAFINA EM MOINHO PLANETÁRIO

Silas Leonardo Dias Vasconcelos<sup>1</sup>; Pedro Luiz Guzzo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Minas –CTG – UFPE; Silas\_leo@hotmail.com

<sup>2</sup>Docente/pesquisador do Departamento de Engenharia de Minas – CTG – UFPE; pguzzo@ufpe.br.

**Sumário:** O trabalho tem por finalidade avançar na compreensão de diferenças anteriormente observadas na moagem ultrafina de dois tipos de quartzo (Serra Banca e Tanhaçu) por meio da caracterização de propriedades mecânicas das amostras. Para isso, foram preparadas placas orientadas dos dois tipos de quartzo. A caracterização preliminar, por análise termodiferencial e difração de raios X, mostrou que ambas as amostras são constituídas apenas por quartzo e são estruturalmente muito parecidas. Ensaio de indentação estática foram realizados para determinação da dureza (H) e do índice de tenacidade à fratura ( $K_{1c}$ ) segundo planos e direções cristalográficas definidas. Os ensaios foram realizados com penetrador Vickers com carga de 100 gf. Testes de reprodutibilidade foram realizados para avaliar a incerteza das medidas. Ataque químico foi empregado na tentativa de identificar a orientação cristalográfica das amostras de Tanhaçu. A análise das superfícies atacadas desse quartzo revelou uma textura policristalina o que dificultou uma comparação direta dos valores de H e  $K_{1c}$  com aqueles de Serra Branca. Os valores médios das durezas das duas amostras variaram entre 8,6 e 9,3 GPa. A tenacidade a fratura do plano (0001) do quartzo de Serra Branca foi de  $0,92 \pm 0,07$  MPa/mm<sup>1/2</sup>; enquanto que os valores de  $K_{1c}$  variaram entre 0,70 e 0,73 MPa/mm<sup>1/2</sup> nos demais planos das duas amostras.

**Palavras-chave:** anisotropia, microdureza, quartzo, tenacidade à fratura

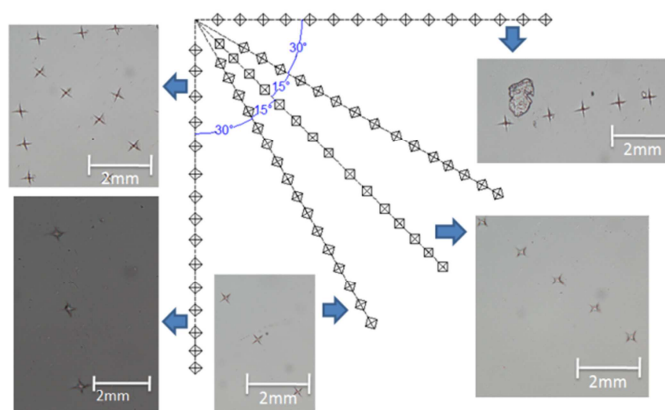
## INTRODUÇÃO

A sílica é matéria prima fundamental para diversas aplicações indústrias. Geralmente a sílica é usada na forma particulada onde, granulometria, pureza, morfologia e a reatividade das partículas são parâmetros relevantes (Sinton, 2006). A sílica é obtida por processos de moagem fina (<100 µm) e ultrafina (<10 µm) do quartzo natural. Devido aos grandes depósitos de quartzo de alta pureza e qualidade óptica encontrados no Brasil, acredita-se que investigações sobre as propriedades da sílica particulada possam contribuir para viabilizar o processamento in loco desse insumo mineral (Guzzo, 2008). A ação mecano-química dos processos prolongados de moagem aumenta a energia superficial específica das partículas, tornando-as mais reativas e, conseqüentemente, com maior capacidade de aglomeração e adensamento (He et al. 2004). Por sua vez, a aglomeração compromete a eficiência da moagem, pois o tamanho médio das partículas ultrafinas tende a aumentar com o tempo de moagem. A partir de 2011, ensaios de moagem e caracterização das modificações estruturais, têm sido realizados em amostras de quartzo de dois depósitos distintos, com características macroscópicas (morfologia dos blocos; transparência; faturamento interno) distintas, quais sejam: quartzo de veio hidrotermal (Tanhaçu, BA) e quartzo de pegmatito heterogêneo (Serra Branca/Cubati, PB). Os ensaios de moagem mostraram comportamento distinto entre os dois tipos de quartzo (Soares e Guzzo, 2013). Por isso, decidiu-se caracterizar a microdureza e o índice de tenacidade à fratura dos dois

tipos de quartzo por meio de ensaios de indentação estática através do método Vickers (Guzzo et al., 2001).

### MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram preparadas a partir de dois blocos de quartzo, um proveniente de Tanhaçu (BA) e outro de Serra Branca (PB). Eles foram limpos em solução ácida (HF 5%) durante 24 horas. Em seguida foram seccionadas 6 placas com espessura variando entre 1,5 e 4mm, com uma serra de disco diamantado. Na amostra de Serra Branca foi possível identificar os eixos cristalográficos, enquanto que no bloco de Tanhaçu não foi possível identificar sua orientação. Assim, para o bloco de Tanhaçu foi estabelecida uma orientação arbitrária para servir de referência. Os cortes foram realizados em duas orientações distintas em cada bloco. No bloco Tanhaçu foram paralelas aos planos YZ e XZ, enquanto que no bloco Serra Branca, foram os planos (0001) e (1010). Para cada plano foram seccionadas três placas. Uma das placas foi selecionada para ser novamente cortada e produzir as amostras (~ 10x10 mm<sup>2</sup>) destinadas aos ensaios de indentação. Essas amostras foram lapidadas manualmente com alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) com granulometria decrescentes (até 6µm). O polimento óptico foi realizado em disco rotativo com suspensão de alumina com granulometrias de 1e 0,3µm. As análises com difração de raios X foram realizadas no equipamento Bruker D2 Phaser (30 kV, 10mA), com irradiação de Cu-Kα<sub>1</sub> = 1.54060 Å e usando o detector Lynxeye. A indexação foi realizada utilizando o aplicativo EVA. A análise termodiferencial foi realizada no aparelho Shimadzu DTG-60H, entre 25 e 600 °C, a uma taxa de 25°C/min até 525°C, e a 1°C/min até a temperatura final de 600°C. Foi realizado um ataque químico, com solução ácida (40%HF), na amostra de Tanhaçu para determinar sua orientação cristalográfica (Heising, 1946). As indentações foram realizadas no microdurômetro Buehler Micromet 5103, usando uma carga de 100 gf, durante 1 minuto com penetrador Vickers (Guzzo et al, 2001). Para cada amostra, referente a um plano cristalográfico específico foi realizadas 15 indentações em diferentes direções identificadas pelos ângulos de 0°, 30°, 45°, 60° e 90°, totalizando 75 indentações por amostra, ilustradas na Figura 1. Os valores de 2a (comprimento diagonais) e 2c (extensão trincas radiais) foram medidos logo após a realização da indentação.

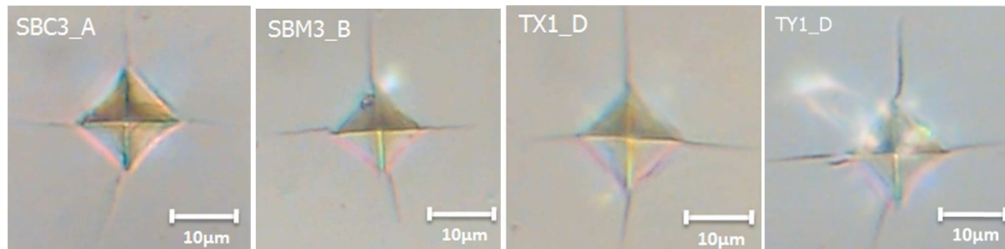


**Figura 1:** Esquema ilustrativo do procedimento para cada plano e imagens de seqüência de indentações realizadas (amostra Serra Branca SB\_m3B; ângulo zero // a [1120]).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na difração de raios X, a indexação dos picos mostrou que não há outra fase mineral além do quartzo. Na análise térmica, houve um acidente térmico próximo a temperatura de 566° nas duas amostras constatando que ambas as amostras são muito semelhantes com relação à sua composição mineralógica. O ataque químico realizado na amostra Tanhaçu, revelou uma textura granular na superfície das amostras, indicando que se trata de um quartzopolicristalino. Apesar do procedimento empregado nas medidas de indentação ter

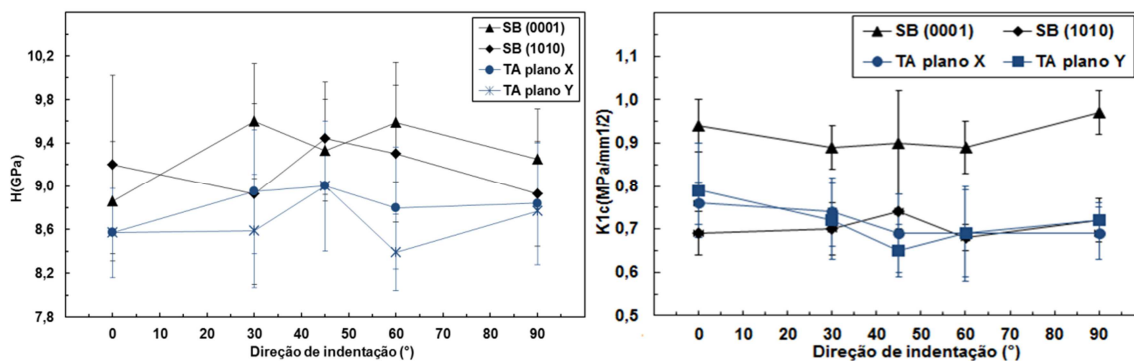
sendo o mesmo, os resultados qualitativos das indentações foram diferentes em cada amostra. A Figura 2 ilustra uma indentação típica feita em cada plano de cada amostra. A qualidade das indentações (integridade e definição dos contornos) das amostras de Tanhaçu se mostram inferiores às amostras do quartzo Serra Branca, o que dificultou a realização das leituras nessas amostras e, provavelmente, causou aumento na dispersão dos valores medidos. Em todas as lâminas, as trincas possuíam direções preferências, variando de acordo com o ângulo de realização da indentação.



(a) (b) (c) (d)

**Figura 2:** Imagens características das indentações do quartzo Serra Branca, dos planos (0001) (a) e (10 $\bar{1}$ 0) (b) e do quartzo Tanhaçu dos planos X (c) e Y (d).

A Figura 3 apresenta os resultados de microdureza e tenacidade a fratura em função da direção de indentação para as amostras de Serra Branca e Tanhaçu. Na microdureza, embora os resultados sejam estatisticamente iguais, devido à sobreposição dos desvios padrão, a dureza do quartzo Serra Branca apresenta valores sistematicamente maiores do que a amostra Tanhaçu. No gráfico de tenacidade a fratura é possível perceber que o plano Z (0001) da amostra Serra Branca apresenta maior tenacidade que os demais planos. A tenacidade da face m (10 $\bar{1}$ 0) da amostra Serra Branca se confunde com a tenacidade dos planos X e Y das amostras Tanhaçu. Para o quartzo Serra Branca foram utilizados os valores do módulo de Young do plano Y e Z, correspondentes a 78,3 GPa e 104,2 GPa respectivamente. Como não foi possível determinar o módulo de Young dos planos X e Y do quartzo Tanhaçu, foi estabelecido uma média entre os módulos de Young dos planos X (1120), Y (1010) e Z (0001) conhecidos, cujos valores são 78,3GPa, 78,3 GPa e 104,2 GPa (Guzzo et al. 2001). A incerteza associada aos resultados de microdureza e tenacidade é causada por anomalias na impressão Vickers (Souza, 1982).



**Figura 3:** Valores da microdureza e tenacidade à fratura das amostras de quartzo Serra Branca e Tanhaçu para diferentes planos e direções cristalográficas.

Na Tabela 1 estão os dados correspondentes à dureza obtida pelo método Vickers (N/mm<sup>2</sup>) e a dureza calculada pela área projetada (GPa). É possível notar que tanto a dureza quanto

a tenacidade à fratura e o índice de fragilidade ( $c^{3/2}/a^2$ ) apresentaram valores próximos entre os dois tipos de quartzo.

**Tabela 1:** Valores dos resultados obtidos com as medidas de 2a e 2c das indentações.

Propriedade		Serra Branca		Tanhaçu	
		Plano (0001)	Plano (10 $\bar{1}$ 0)	Plano X	Plano Y
Dureza Vickers	<b>HV(N/mm<sup>2</sup>)</b>	881,10	867,60	831,9	827,5
	DP	56,11	61,82	52,99	51,98
	CV	6,37	7,13	6,37	6,28
Dureza	<b>H(GPa)</b>	9,28	9,18	8,83	8,64
	DP	0,59	0,68	0,57	0,52
	CV	6,32	7,42	6,47	5,97
Tenacidade à fratura	<b>K1c(MPa/mm<sup>1/2</sup>)</b>	0,92	0,70	0,72	0,73
	DP	0,07	0,05	0,08	0,10
	CV	8,07	7,20	11,29	13,26
Índice de fragilidade	<b>Índice fragilidade</b>	0,96	1,06	1,06	1,10
	DP	0,09	0,09	0,14	0,15
	CV	9,31	8,84	13,54	13,86

## CONCLUSÃO

Os resultados de difração de raios X e as análises térmicas mostraram que as amostras de Tanhaçu e Serra Branca possuem constituições mineralógicas semelhantes, constituídas por quartzo. O ataque químico mostrou que o quartzo de Tanhaçu é policristalino o que dificultou a determinação da microdureza e da tenacidade à fratura em função da orientação cristalográfica. A microdureza variou na estreita faixa de 8,6 a 9,3 GPa. Por sua vez, constatou-se que o plano Z (0001) da amostra de Serra Branca mostrou-se ser o plano mais tenaz desta amostra ( $\sim 0,92$  MPa/mm<sup>1/2</sup>). Para a tenacidade a fratura da amostra de Tanhaçu, concluiu-se ser muito semelhante aquela medida para o plano (10 $\bar{1}$ 0) da amostra de Serra Branca, esses valores da tenacidade a fratura variaram entre 0,70 e 0,73 MPa/mm<sup>1/2</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao técnico Marcelo Gomes pelo auxílio na utilização dos equipamentos do laboratório e ao graduando João Pedro Bezerra pelo apoio inicial nas medidas das indentações. Aos mestrandos Alan Tino e Juliano Santos pelo auxílio na elaboração do relatório e ao PIBIC/CNPq/UFPE pela concessão da bolsa.

## REFERÊNCIAS

- Guzzo, P. L. 2008. Quartzo, cap 31. In: *Rochas e minerais indústrias usos e especificações* (A. B. Luz & F. A. Lins, eds.). CETEM/MCT, Rio de Janeiro, ed 2<sup>a</sup>, p. 681 – 689.
- Guzzo, P. L., Jacomine, L. & De Mello, J.D. B. 2001; Evaluation of hardness and fracture toughness in natural quartz by indentation experiments. Proceedings of the 16<sup>th</sup> Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Uberlândia MG, vol. 02: 155-161.
- He, M., Yanmin, W. & Forssberg E. 2004. Slurry rheology in wet ultrafine grinding of industrial minerals: a review. Powder tech 147: 94-112.
- Heising, R. A. 1946. Quartz crystals for electrical circuits, Van Nostrands CO. Inc, New York, USA, p. 563.
- Silton, C. W. 2006. Raw Materials for Glass and Ceramics: Sources, Processes and Quality Control. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, p. 63-87.

Soares, B.R. & Guzzo, P.L. 2013. Influência da procedência e da granulometria do quartzo natural sobre o tamanho e a morfologia da sílica ultrafina produzida em moinho planetário. Anais do XXI CONIC da UFPE, Recife PE, vol. 01 : 1-4.

Souza, S. A. 1982. Ensaio mecânicos de matérias metálicas. Fundamentos teóricos e práticos. cap 4, Edgard Blucher São Paulo; ed 5<sup>a</sup>, p. 181 – 186.