

## O efeito do teor de alumina na sinterabilidade de porcelas elétricas aluminosas

C. Schultz<sup>1</sup>, D. M. Winter<sup>1</sup>, M. V. Folgueiras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC Centro de Ciências Tecnológicas – CCT Departamento de Engenharia Mecânica – DEM Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGCEM Campus universitário Avelino Marcante s/n Bairro Bom Retiro – Joinville – SC  
Dem2mvf@joinville.udesc.br

### Resumo

*As porcelanas são materiais obtidos pela combinação de matérias primas naturais que constituem o triaxial argila caulinitica, feldspato e sílica, e que podem ser utilizados em inúmeras aplicações. No setor elétrico, a porcelana tem sua aplicação associada à elevada eficiência como material isolante. A inclusão de alumina na composição da porcelana permite a obtenção de porcelanas aluminosas adequadas para uso como isoladores elétricos de alta voltagem. O comportamento de sinterização e as propriedades da porcelana obtida dependem do teor de alumina empregado, que aqui atua como um material refratário. Neste trabalho foi avaliado o efeito do aumento do teor de alumina no comportamento de sinterização de porcelanas aluminosas, com percentual entre caolim e feldspato constante de 45/55. . Os resultados mostraram que o aumento do teor de alumina reduz a sinterabilidade, entretanto reduz também o efeito de expansão e favorece o controle dimensional dos componentes obtidos.*

*Palavras-chave: Porcelanas, sinterização, cerâmicas elétricas.*

### INTRODUÇÃO

As porcelanas são as mais complexas das cerâmicas e são produzidas com matérias-primas naturais[1]. Existe uma grande variação de tipos de porcelana para diversos fins, uma delas é para fins elétricos. Como apresentam ligações iônicas com forte caráter covalente que restringem a mobilidade dos elétrons, as porcelanas são bons isolantes elétricos e conseqüentemente tem uma grande aplicação na indústria eletroeletrônica.

Dentre os vários tipos de porcelanas, o mais usado como isoladores elétricos são as porcelanas triaxiais que são compostas por argila, feldspato e quartzo ou alumina. A argila deve ser caulinítica e confere plasticidade à massa, a caulinita durante a sinterização se decompõe formando cristais de mulinita. No caso das composições que utilizam caulin ao invés da argila como fonte de mulita, é necessário adicionar argilas plásticas para fornecer conformabilidade à massa e resistência a verde. O feldspato atua como fundente, possibilitando a sinterização via fase líquida. O quartzo é o material refratário que forma a estrutura do produto. Porém, durante o resfriamento o quartzo não dissolvido durante a sinterização pode comprometer a resistência mecânica devido à expansão volumétrica durante a mudança de fase de  $\beta \rightarrow \alpha$ [2][3].

A substituição de quartzo por alumina é uma boa opção para promover o aumento da resistência mecânica do material, já que a alumina não apresenta mudança de fase no resfriamento, entretanto podem apresentar redução da resistência ao choque térmico[4]. As porcelanas aluminosas são formadas por alumina, feldspato e caulim e são utilizadas na fabricação de isoladores elétricos de alta voltagem, visto que apresentam propriedades dielétricas adequadas associadas a uma elevada resistência mecânica. Neste caso, um importante aspecto é a necessidade de redução, ou até, de eliminação da porosidade aberta e fechada.

Durante a sinterização as diversas reações químicas que ocorrem são afetadas pelo tempo, temperatura e atmosfera do forno. Após a sinterização a microestrutura da porcelana elétrica consiste em grãos grosseiros de quartzo ou alumina misturados a finos grãos de mulinita mantidos juntos por uma matriz vítrea. O tamanho e a forma dos cristais de mulita são controlados pela viscosidade do líquido onde eles se formam e crescem[5]. A viscosidade do líquido por sua vez é controlada por sua composição e temperatura.

Neste trabalho é mostrado o efeito da quantidade de alumina no que diz respeito a propriedades associadas ao efeito de sinterização. Serão mostrados os resultados de quatro composições de porcelanas aluminosas, as quais apresentam uma variação de 0% a 50% na quantidade de alumina. A relação entre caulin e feldspato é mantida constante em 45:55. Os resultados serão utilizados como base para explicar o comportamento mecânico dos componentes obtidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a formulação da porcelana foram utilizados caolim, feldspato potássico, argila plástica e alumina. Todas as matérias primas são classificadas como produtos comerciais.. A proporção de caolin e feldspato foi mantida constante em 45/55 em peso, enquanto o teor de alumina variou de 0 a 50% em peso (tabela 1).

Para a homogeneização das composições foi utilizado moinhos de bolas, sendo mantido o processo por uma hora. Este material foi umidificado até atingir teor de umidade de 10%, e homogeneizado por passagem em peneira 200 mesh. Este material foi utilizado para a obtenção de corpos de prova por prensagem uniaxial, empregando pressão de 40 MPa. As amostras, assim confeccionadas foram sinterizadas em temperaturas entre 1100 °C e 1500 °C. A taxa de aquecimento foi de 10 °C/min em atmosfera oxidante, com permanência de 1h na temperatura de sinterização.

A caracterização das matérias primas foi realizada por fluorescência de raios-x para definição de sua composição. O comportamento térmico das massas formuladas foi avaliado pela construção das curvas de gresificação. Paralelamente foram utilizados as técnicas de calorimetria diferencial de varredura (DSC) e análise termogravimétrica (TG). Ambos ensaios foram realizados em atmosfera oxidante. A difratometria de raios-x (DRX) foi empregada para avaliar o efeito da temperatura sobre as fases presentes, principalmente no que diz respeito à formação de fase líquida.

A caracterização microestrutural foi realizada empregando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) para superfícies polidas.

Tabela 1: Proporções das porcelanas formuladas (CP)

CP	% em peso		
	Alumina	Caolim	Feldspato
01	0,0	45,0	55,0
02	20,0	36,0	44,0
03	30,0	31,5	38,5
04	50,0	22,5	27,5

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos resultados de análise química das matérias primas empregadas foi determinada a composição das 4 porcelanas formuladas. Os dados, apresentados na tabela 2, permitem verificar que o aumento do teor de alumina presente na formulação resulta em redução dos teores de óxidos de potássio e

sódio, presentes nos feldspatos. Ocorre também redução na perda ao fogo e aumento da relação entre o percentual de alumina e o percentual de óxido de silício.

Tabela 2: Composição, em óxidos das quatro porcelanas formuladas

CP	% em massa					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	PF	Outros
1	57,66	27,27	6,68	1,81	6,01	0,57
2	46,13	41,82	5,34	1,44	4,80	0,47
3	40,36	49,09	4,67	1,26	4,20	0,42
4	28,83	63,64	3,34	0,90	3,00	0,29

Desconsiderando-se a perda ao fogo pode-se também afirmar que existe uma relação linear entre o teor de sílica e o teor de alumina presentes em cada composição. (Figura 1).

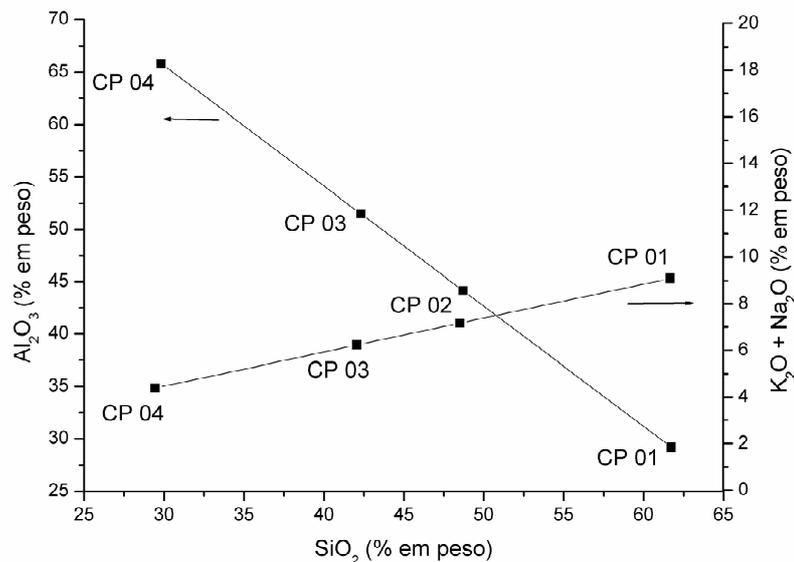


Figura 1 – Representação gráfica da variação do teor alumina e teor de óxidos fundentes, em função do teor de sílica para as composições estudadas.

As curvas de análise termogravimétrica e calorimetria diferencial de varredura (Figura 2) indicam que para todas as composições estudadas ocorreram apenas a decomposição do argilomineral, em temperatura próxima a 500°C e a formação da mulita a 1000°C. A redução da perda de massa com o aumento do teor de alumina,

que variou de 0 a 50% em peso, está diretamente associada à redução do teor de argilomineral presente na mistura.

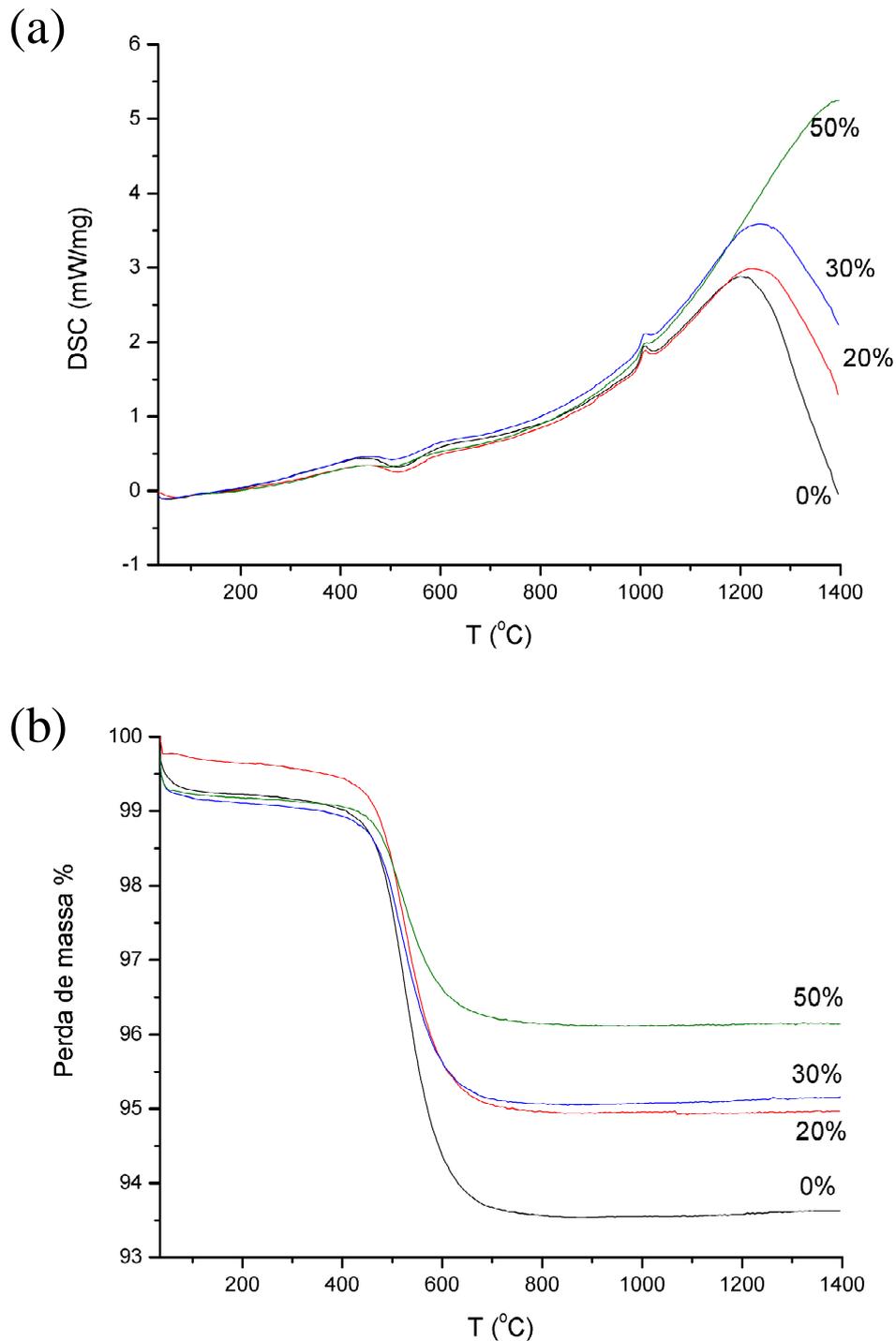


Figura 2 – Curvas de análise térmica das porcelanas desenvolvidas. (a) DSC; (b) TG

Por sua vez, o aumento da temperatura de início de fusão em função do aumento do teor de alumina, identificado pelo ponto de máximo na curva de DSC,

acima de 1100°C, está associado não apenas à inclusão de um óxido de elevada temperatura de fusão, mas também pela redução do teor de fundentes, na forma de feldspato. Analisando as curvas pode-se verificar que não existe uma relação linear entre a temperatura início de fusão e o teor de alumina empregado.

As curvas de gresificação, representadas pela variação da densidade aparente e a absorção de água, em função da temperatura de sinterização estão representadas nas figuras 3a e 3b.

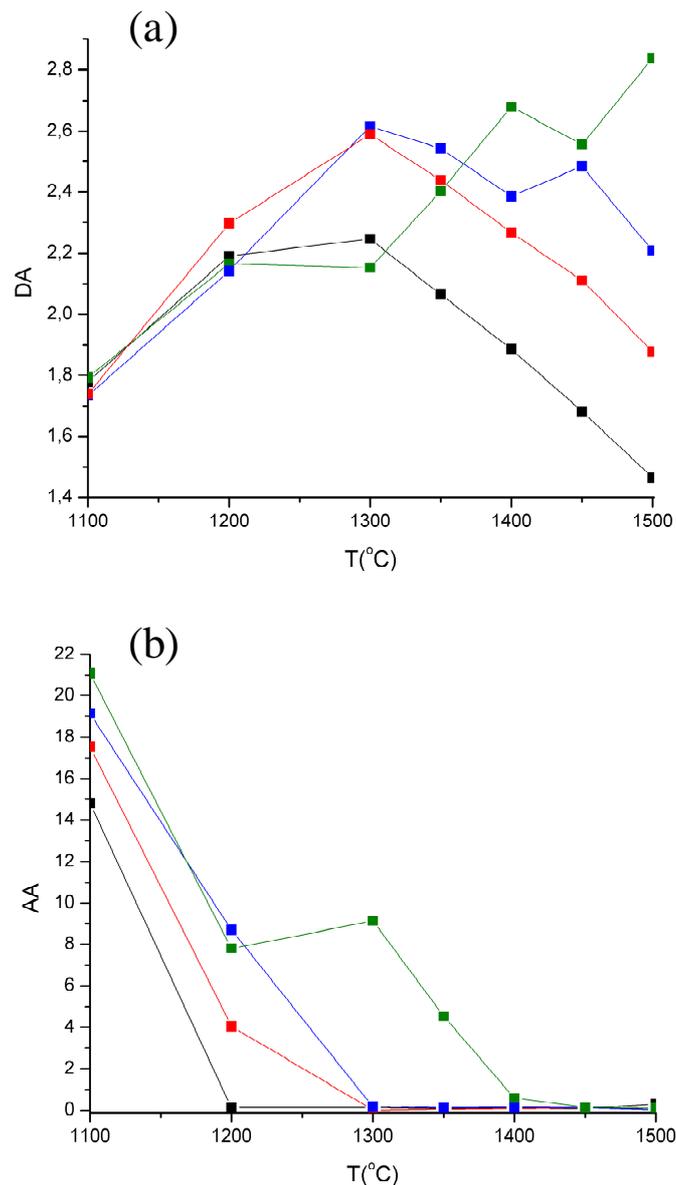


Figura 3 – Curva de gresificação para as composições 1,2,3 e 4. (a) Densidade aparente; (b) absorção de água

Para temperaturas de sinterização inferiores a 1200°C o comportamento de todas as composições é semelhante, no que diz respeito a densidade aparente. Entretanto a redução do teor de alumina favorece a eliminação da porosidade aberta para temperaturas até 1200°C. Para temperaturas de sinterização superiores a 1400°C todas as composições apresentam absorção de água próximo a 0%, o que é esperados para sistemas que apresentam predominantemente sinterização por fase líquida. Apesar desta semelhança, verifica-se que o aumento do teor de alumina resulta no aumento da densidade aparente, o que é explicado pela maior densidade da alumina na forma de corindom que esta presente nestes materiais

A avaliação das curvas de variação de densidade aparente em função da temperatura de sinterização mostram também que para as composições contendo menor teor de alumina adicionada as curvas apresentam comportamento semelhante, com aumento da densidade para temperaturas de até 1300°C. para temperaturas superiores existe redução da densidade aparente. No caso de composições contendo maior teor de alumina a tendência de queda da densidade aparente com o aumento da temperatura de sinterização é minimizado e para a composição contendo 50% em peso de alumina este efeito não existe. Isto é um claro reflexo da redução do efeito de expansão resultante da formação de fase líquida.

Para avaliar o efeito do tratamento térmico sobre as transformações de fase das quatro composições, foram obtidos difratogramas de raios x para todas as composições sinterizadas em temperaturas entre 1100° e 1500°C (Figura 4). A escolha das temperaturas foi baseada no comportamento de sinterização de cada composição.

Para todas as composições são identificadas apenas as fases  $Al_2O_3$  (corindom); Feldspato Potássico; mulita e fase vítrea. Todos os difratogramas obtidos para composições sinterizadas em temperatura superior a 1300°C mostraram a presença de mulita e alumina como fases cristalinas predominantes. Em todos estes casos foi identificado um halo amorfo típico da presença de fase vítrea.

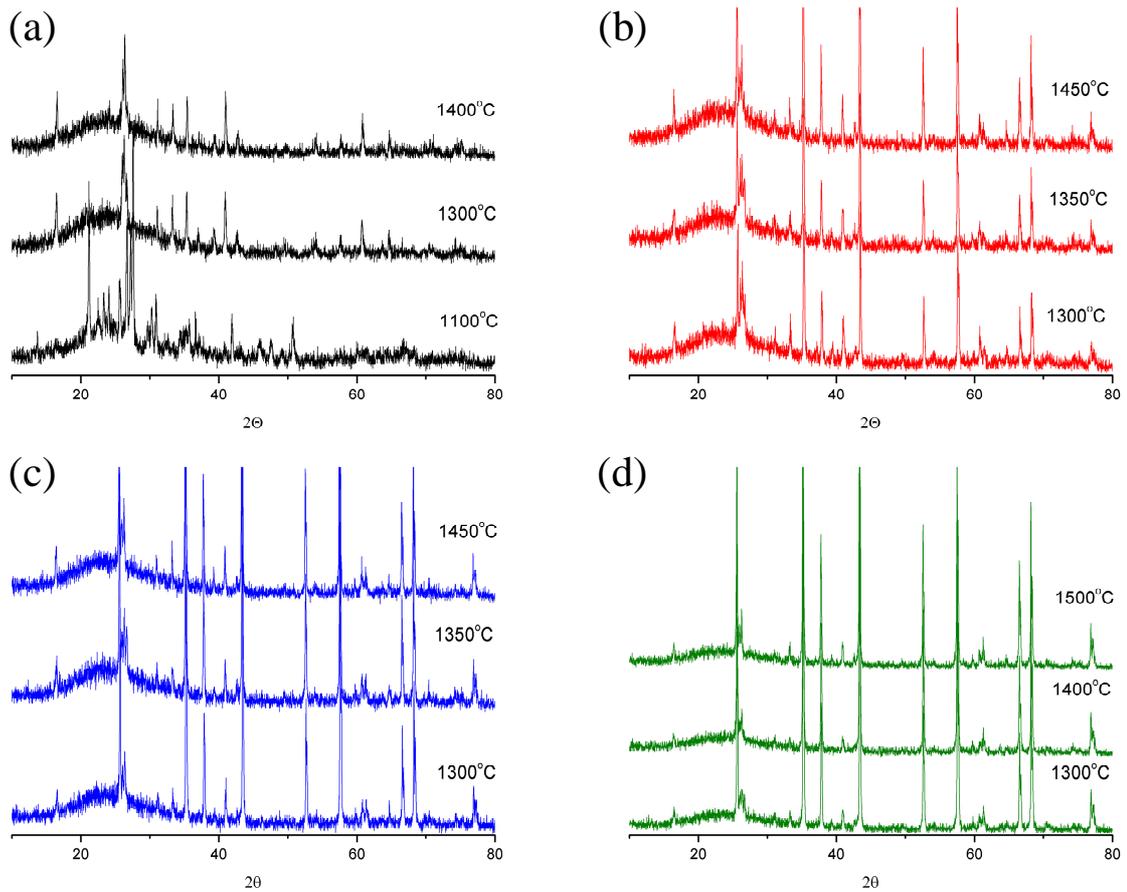


Figura 3 – Difratoogramas de raios X das porcelanas sinterizadas em diferentes temperaturas. (a) composição 01 ( com 0% de  $Al_2O_3$ ); (b) composição 02 ( com 20% de  $Al_2O_3$ ); (c) composição 03 ( com 30% de  $Al_2O_3$ ); (d) composição 04 ( com 50% de  $Al_2O_3$ )

A avaliação da figura 4 que apresenta uma comparação dos difratogramas de raios-x das composições sinterizadas a 1500°C, permitem afirmar que o aumento do teor de alumina na formulação das composições, acompanhada da redução do teor de fundentes, efetivamente favorecem a redução do teor de fase líquida formada durante o tratamento térmico de sinterização.

O efeito do maior teor de fase líquida presente pode ser avaliado quando comparadas as micrografias obtidas para as composições contendo 0 e 50% em peso de Alumina adicionada a sua composição, sinterizadas a 1400°C.(Figura 5). O maior teor de alumina resultou em microestrutura com maior volume de poros, sendo

que estes apresentam formato irregular, enquanto na ausência de alumina existe a predominância de poros fechados, com formato arredondado.

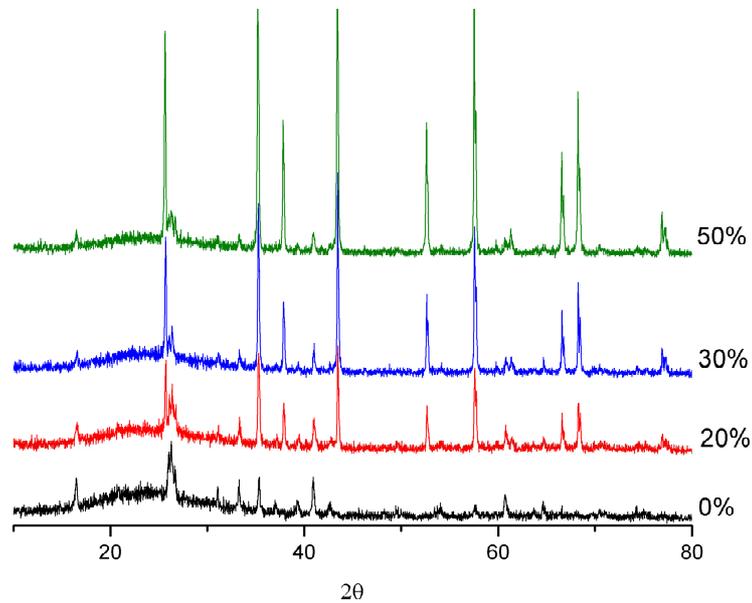


Figura 4 – Difratomogramas de raios X das composições 1,2,3 e 4, contendo respectivamente 0,20,30 e 50% em peso de alumina adicionada. Temperatura de sinterização de 1500°.C

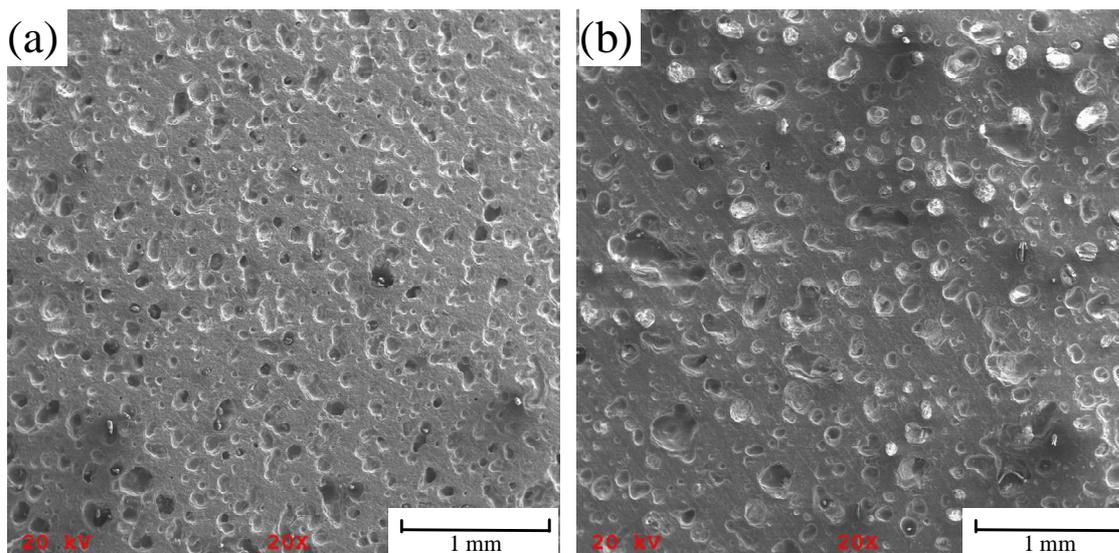


Figura 5 – Imagens da micrografia de amostras sinterizadas a 1400°.C. (a) composição 01; (b) composição 04

## CONCLUSÕES

Através dos resultados foi possível verificar que a introdução de alumina na composição de porcelanas, acompanhado da redução do teor de feldspato interfere diretamente no comportamento de sinterização das composições, aumentando a temperatura de sinterização. Entretanto, não interfere nas fases cristalinas formadas, nem na absorção de água. A partir destes resultados é importante avaliar o efeito da adição de alumina no comportamento termomecânico da porcelana, o que pode ser obtido através da avaliação da resistência ao choque térmico, determinação de módulo de elasticidade e resistência à flexão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Capes e UDESC.

## REFERENCIAS

- [1] CARTY, W.M.; SENAPATI, U. Journal American Ceramic Society, 81 [01], 3-20, 1998
- [2] CHINELATTO, A.L.; SOUZA, D.P.F. Cerâmica. 50, 62-68, 2004
- [3] NONI, A., HOTZA, D., SOLER, V>C., VILCHES, E.S. Journal of the European Ceramic Society 29, 1039-1046, 2009
- [4] OBERZAN, M. HOLC, J. BUH, M., JUSCER, D. Journal of the European Ceramic Society, 29, 2143-2152, 2009.
- [5] LEE, W.E., SOUZA, G.P., CONVILLE, C.J., TARVORNPANICH, T., IQBAL, Y. Journal of the European Ceramic Society, 28, 465-471, 2008

### ***Abstract***

#### **The effect of alumina content in the sintering of aluminous electrical porcelain.**

The porcelains are materials obtained by the combination of raw materials (materias-primas) that constitute the triaxial clay kaolinitic, feldspar and silica, which can be used

in countless (inumeros) application. In the electric sector, the porcelain has its application associated with a high efficiency like insulant (isolante) material. The alumina inclusion in the composition of the porcelain enable (permite) the obtention of aluminous porcelains suitable for the use as electrical high-voltage insulators. The sintering behavior and porcelain properties obtained depend in the content of the alumina used (empregada), In which acts as a refractory material. In this work was evaluated the effect of the increased of the alumina content in the sintering behavior of the aluminous porcelains, with a percentage between kaolin and feldspar constant 45/55. The results showed that the increasing of the alumina content decreases the sinterability, however also reduces the effect of the expansion and favors the dimensional control of the components obtained.

Key-words: Porcelain. Sintering. Electrical Ceramic.