

RELATÓRIO DE ESTUDO DA APLICABILIDADE DE PRODUTO SECUNDÁRIO ALUMINOSO EM MASSAS DE PORCELANAS ELÉTRICAS QUARTZOSAS E ALUMINOSAS

RAP: 002-2009

Data: 18/05/2009

Material: Pó | Código: Produto secundário aluminoso

Cliente: Elfusa

Iniciado em: 24/03/2009

Finalizado em: 16/05/2009

1 – Objetivos:

Indicar o potencial de uso de produto secundário aluminoso em massas de porcelanas elétricas quartzosas e aluminosas.

Indicar a adequabilidade do produto à utilização em suspensões, à conformação por prensagem e extrusão e à queima, individualmente e em misturas com minerais industriais.

2 – Materiais e métodos

2.1 – Materiais

2.1.1 – Produtos

Para avaliação da homogeneidade do produto secundário aluminoso e preparação das misturas para os experimentos de estudo de aplicabilidade, a Elfusa encaminhou para a T - cota um conjunto de amostras, com variações de composição química e granulométrica, conforme registrado no relatório de controle RCO 001/09 (31/03/2009). Um novo conjunto de amostras foi enviado para a T-cota a fim de complementar a primeira amostragem; estas novas amostras também apresentaram variações de composição química e granulométrica, conforme registrado no relatório de controle RCO 024/09 (25/05/2009).

Para os experimentos em laboratório, preparou-se material a partir de misturas das amostras recebidas.

O **produto secundário padrão tal qual (produto tal qual)** – mistura equilibrada das amostras recebidas – foi submetido à deferrização, em laboratório, conforme procedimento apresentado no relatório de análise RAN 008/09 (21/01/2009). Da deferrização obteve-se o **produto padrão deferrizado (produto deferrizado)**. As composições químicas do produto padrão tal qual e do produto padrão deferrizado são apresentadas na tabela abaixo:

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂	PbO	P.F.
Produto tal qual	9,86	56,58	10,44	1,78	8,35	2,96	1,27	0,50	0,95	0,66	6,65
Produto deferrizado	9,86	59,19	8,44	1,91	6,90	2,96	1,26	0,51	1,00	0,67	7,32

Observa-se redução do teor de ferro, bem como uma significativa redução na quantidade de óxido de potássio e aumento de óxido de alumínio, no material deferrizado.

2.1.2 – Massas de porcelanas elétricas quartzosas e aluminosas

Para análise do efeito da adição dos produtos secundários, em propriedades mecânicas e na sinterização de porcelanas elétricas quartzosas e aluminosas, selecionaram-se duas massas, uma de **base quartzosa** e outra de **base aluminosa**, às quais se aditou quantidades variáveis de produto deferrizado (PD) e produto tal qual (PTQ), conforme tabela abaixo.

	ISO- QUART. STD	ISO- QUART. PD50	ISO- QUART. PD	ISO- QUART. PTQ	ISO- ALUM. STD	ISO- ALUM. PD50	ISO- ALUM. PD	ISO- ALUM. PTQ
Base quartzosa	83,00	83,00	83,00	83,00				
Base aluminosa					60,00	60,00	60,00	60,00
Areia quartzosa	17,00	8,50						
Alumina					40,00	20,00		
Produto tal qual				17,00				40,00
Produto deferrizado		8,50	17,00			20,00	40,00	
<i>Somatório</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>	<i>100,00</i>

2.2 – Métodos

- **Determinação da consistência de materiais extrudados** – determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova extrudados verdes.
- **Determinação da propensão para a ocorrência de racho de secagem** – determinação comparativa, através de análise visual, da propensão ao racho de corpos-de-prova extrudados e secados em laboratório.
- **Determinação da densidade aparente de corpo-de-prova seco** – determinação da densidade aparente de corpo-de-prova seco pelo método de imersão em mercúrio.
- **Determinação da resistência mecânica a flexão a seco** – determinação da resistência mecânica a flexão em 3 pontos, de corpo-de-prova seco. Ensaio executado em Flexímetro.
- **Determinação do % de retração de queima** – determinação da retração linear que corpo-de-prova seco experimenta na queima.
- **Determinação do % de absorção de água pós-queima** – determinação do percentual de água absorvida por corpo-de-prova queimado imerso em um deprimômetro.
- **Determinação da densidade aparente de corpo-de-prova queimado** – determinação da densidade aparente de corpo-de-prova queimado, pelo método de imersão em mercúrio.
- **Determinação da resistência mecânica a flexão pós-queima** – determinação da resistência mecânica a flexão em 3 pontos, de corpo-de-prova queimado. Ensaio executado em Flexímetro.
- **Determinação da deformação pirolástica** – determinação, em mm, da flecha formada no centro de corpo-de-prova queimado em relação às suas extremidades apoiadas.
- **Determinação da composição química** – ensaio realizado em corpo-de-prova prensado seco, via espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX), com equipamento PANalytical.

Condições de processamento das amostras

Massas preparadas em laboratório

Moagem

Massa Aluminosa para isoladores elétricos: Resíduo de moagem #325 = 4,5 – 5,0%

Massa Quartzosa para isoladores elétricos: Resíduo de moagem #325 = 1,0 – 1,2%

Conformação – prensagem

Umidificação: 5,5% de água

Pressão específica de prensagem (kgf/cm²): 243

Conformação – extrusão

Umidificação: 21,5% de água

Vácuo de extrusão: 600mmHg

Ciclo de queima (forno mufla): patamar de 180 minutos

Massa atomizada industrialmente

Atomizado desagregado em moinho tipo periquito

Umidade (%H₂O): 6,0

Pressão específica de prensagem (kgf/cm²): 300

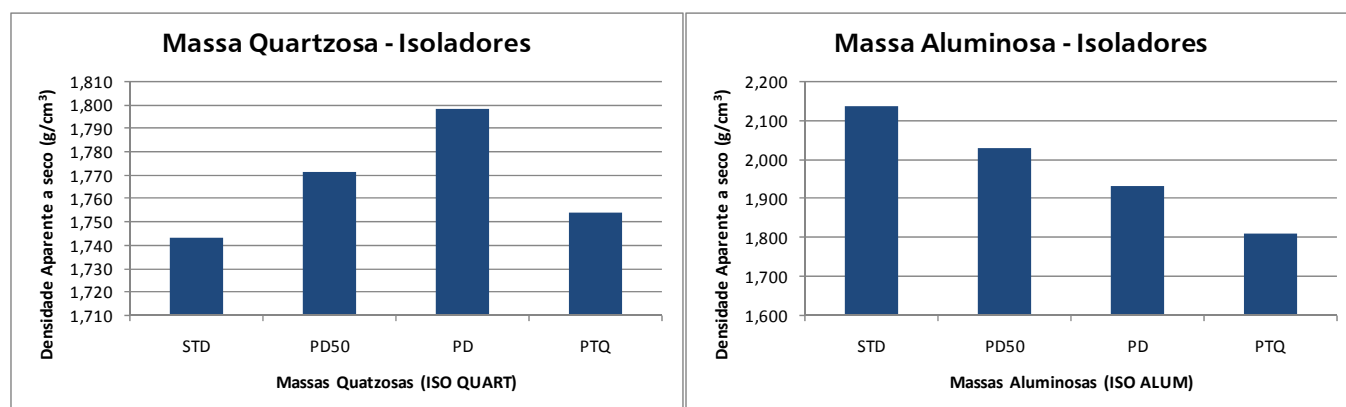
Ciclo de queima em forno a rolos (min): 36

3 – Resultados

3.1 – Avaliação do comportamento tecnológico dos produtos pré-queima | corpo-de-prova prensado seco

Determinação da densidade aparente

	ISO-QUART. PTD	ISO-QUART. PD50	ISO-QUART. PD	ISO-QUART. PTQ	ISO-ALUM. PTD	ISO-ALUM. PD50	ISO-ALUM. PD	ISO-ALUM. PTQ
Densidade Aparente (g/cm ³)	1,743	1,771	1,798	1,754	2,135	2,027	1,929	1,809



Gráficos 1 e 2: Empacotamento das composições quartzosas e aluminosas.

3.2 – Avaliação do comportamento tecnológico dos produtos na queima | corpo-de-prova prensado seco

■ Avaliação do comportamento da retração linear em função da temperatura

Massas	Temperatura (°C)											
	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200	1220	1240	1260	1280	1300
ISO QUART. STD		7,82	9,53	10,27	11,13	11,27	11,23	11,04	10,76			
ISO QUART. PD50			10,62	11,21	11,73	11,62	11,47	11,18	10,55			
ISO QUART. PD			11,38	11,70	11,90	11,77	11,31	10,94	9,83			
ISO QUART. PTQ		10,41	11,95	12,13	11,77	11,44	10,34	9,47	7,39			
ISO ALUM. STD	3,84	5,21	5,72	6,35	7,26	7,95	8,47	9,03	9,35	9,52	9,58	9,18
ISO ALUM. PD50				8,43	9,72	10,24	10,37	10,18				
ISO ALUM. PD		7,90	9,71	11,11	11,43	10,95	9,97	9,74				
ISO ALUM. PTQ	6,93	10,94	13,12	12,56	10,48	9,85						

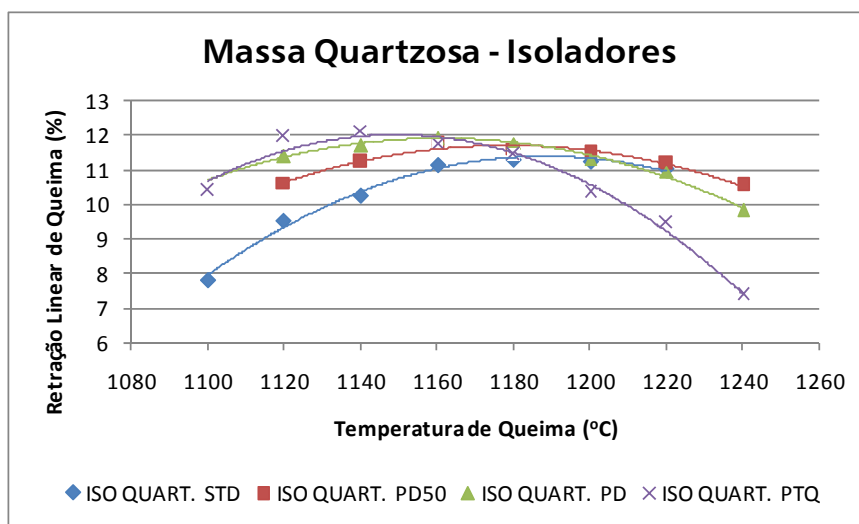


Gráfico 3: Retração linear em função da temperatura de queima para composições quartzosas.

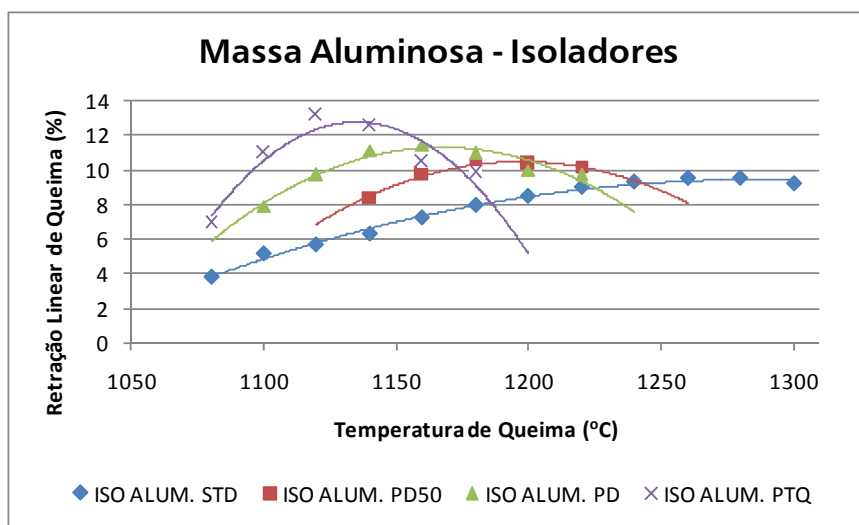


Gráfico 4: Retração linear em função da temperatura de queima para composições aluminosas.

■ Avaliação do comportamento da absorção de água em função da temperatura

Massas	Temperatura (°C)											
	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200	1220	1240	1260	1280	1300
ISO QUART. STD		6,302	3,378	1,346	0,129	0,094	0,060	0,053	0,048			
ISO QUART. PD50			1,852	0,187	0,089	0,083	0,074	0,057	0,037			
ISO QUART. PD			0,249	0,125	0,081	0,067	0,053	0,051	0,035			
ISO QUART. PTQ		4,065	0,369	0,131	0,101	0,054	0,054	0,047	0,056			
ISO ALUM. STD	9,270	6,812	6,117	5,055	3,737	2,987	1,879	0,648	0,152	0,084	0,068	0,057
ISO ALUM. PD50				3,950	1,480	0,156	0,085	0,050				
ISO ALUM. PD		7,032	4,044	0,619	0,072	0,053	0,026	0,009				
ISO ALUM. PTQ	12,274	5,530	1,498	0,062	0,044	0,038						

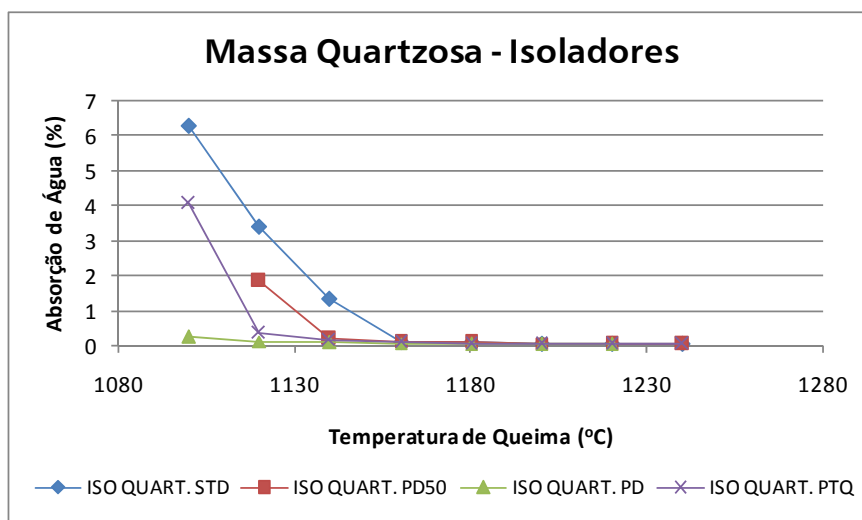


Gráfico 5: Absorção de água em função da temperatura para composições quartzosas.

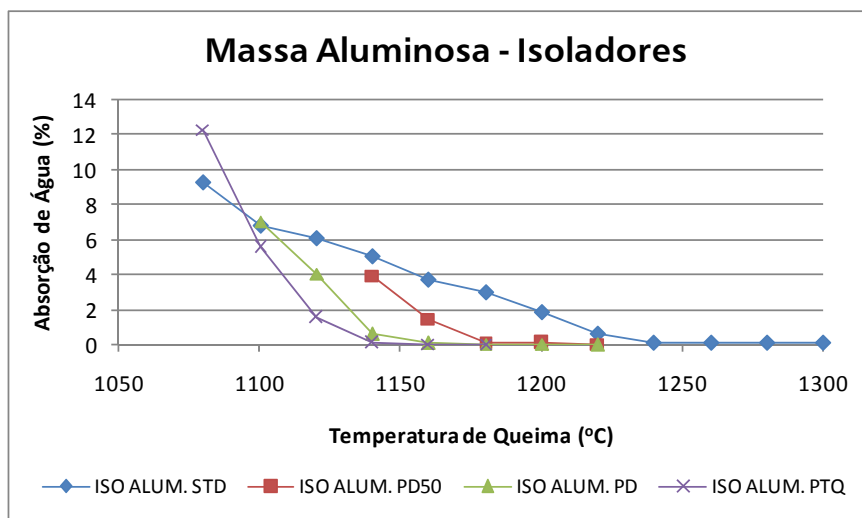


Gráfico 6: Absorção de água em função da temperatura para composições aluminosas.

■ Avaliação do comportamento da densidade aparente em função da temperatura

Massas	Temperatura (°C)											
	1080	1100	1120	1140	1160	1180	1200	1220	1240	1260	1280	1300
ISO QUART. STD		2,154	2,279	2,350	2,414	2,426	2,422	2,414	2,384			
ISO QUART. RD50			2,399	2,449	2,486	2,484	2,463	2,445	2,382			
ISO QUART. RD			2,501	2,532	2,543	2,528	2,485	2,447	2,328			
ISO QUART. RTQ		2,337	2,458	2,486	2,447	2,408	2,301	2,205	1,987			
ISO ALUM. STD	2,318	2,432	2,477	2,539	2,620	2,667	2,728	2,765	2,801	2,817	2,820	2,804
ISO ALUM. RD50				2,573	2,693	2,742	2,756	2,735				
ISO ALUM. RD		2,360	2,532	2,668	2,705	2,633	2,516	2,461				
ISO ALUM. RTQ	2,095	2,419	2,614	2,533	2,266	2,198						

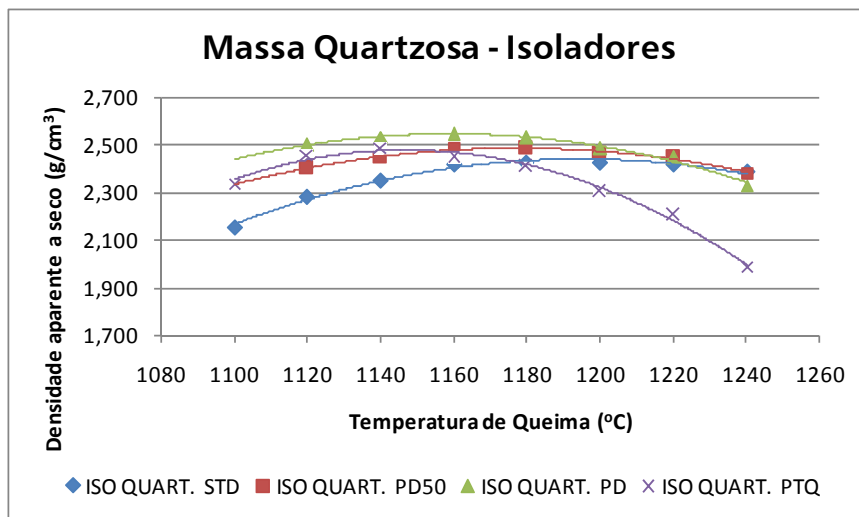


Gráfico 7: Densidade aparente em função da temperatura de queima para composições quartzosas.

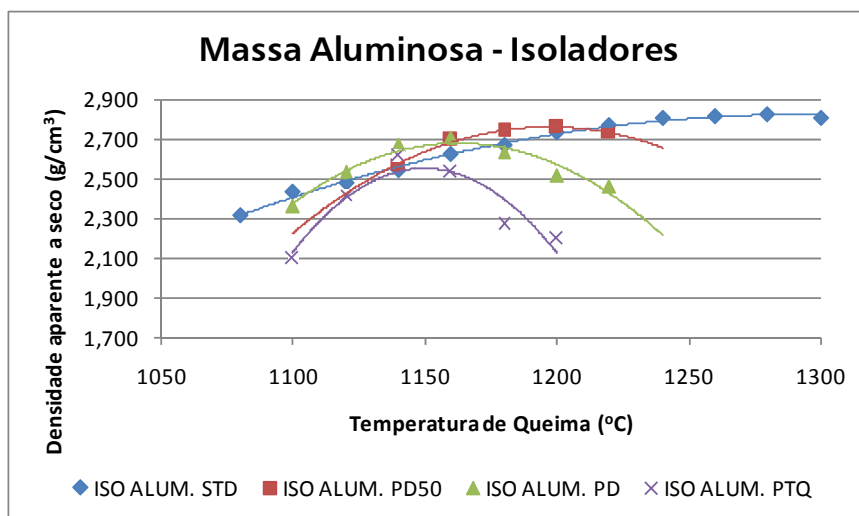


Gráfico 8: Densidade aparente em função da temperatura de queima para composições aluminosas.

■ Determinação da deformação pirolástica

	ISO- QUART. STD	ISO- QUART. PD50	ISO- QUART. PD	ISO- QUART. PTQ	ISO- ALUM. STD	ISO- ALUM. PD50	ISO- ALUM. PD	ISO- ALUM. PTQ
Flecha (mm)	6,86	6,35	7,18	6,69	10,05	10,03	10,50	11,83

3.3 – Avaliação do comportamento tecnológico dos produtos pós-queima | corpo-de-prova prensado queimado

■ Determinação da resistência mecânica à flexão

	ISO- QUART. STD	ISO- QUART. PD50	ISO- QUART. PD	ISO- QUART. PTQ	ISO- ALUM. STD	ISO- ALUM. PD50	ISO- ALUM. PD	ISO- ALUM. PTQ
*RMF (Kgf/cm ²)	782,91	869,39	925,42	845,61	1255,05	1192,76	1164,35	839,55

*RMF medida na condição de sinterização de maior densidade aparente.

3.4 – Avaliação do comportamento tecnológico dos produtos em extrusão

Selecionou-se a composição ISO-QUART. PD para avaliação do desempenho em extrusão, em oposição à massa quartzosa padrão ISO-QUART. STD.

■ Determinação da densidade aparente | corpo-de-prova seco

	ISO QUART. STD	ISO QUART. PD
Densidade aparente (g/cm ³)	1,683	1,682

■ Determinação da resistência mecânica à flexão | corpo-de-prova seco

	ISO QUART. STD	ISO QUART. PD
RMF (Kgf/cm ²)	27,87	25,79

■ Determinação da consistência | corpo-de-prova plástico

	ISO QUART. STD	ISO QUART. PD	
Consistência	Deslocamento (mm)	18,37	20,21
	Força (kgf)	75,46	53,93
	Umidade (%)	21,36	21,91

■ Determinação da propensão para a ocorrência de racho | corpo-de-prova seco

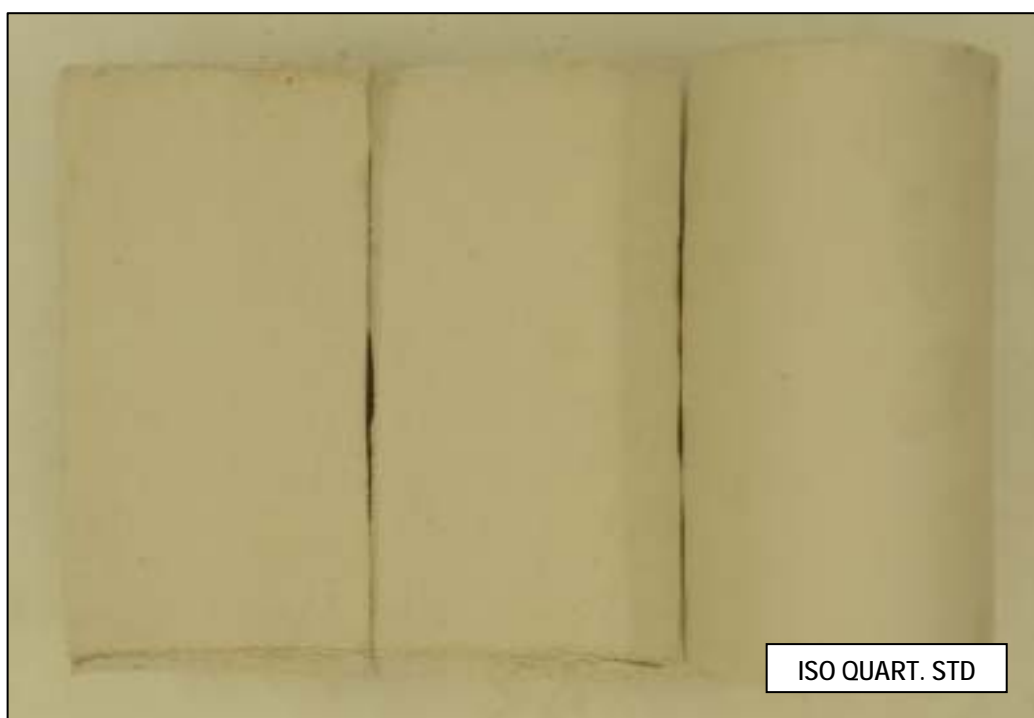


Figura 1. Corpos-de-prova massa quartzosa padrão, após ciclo de secagem.

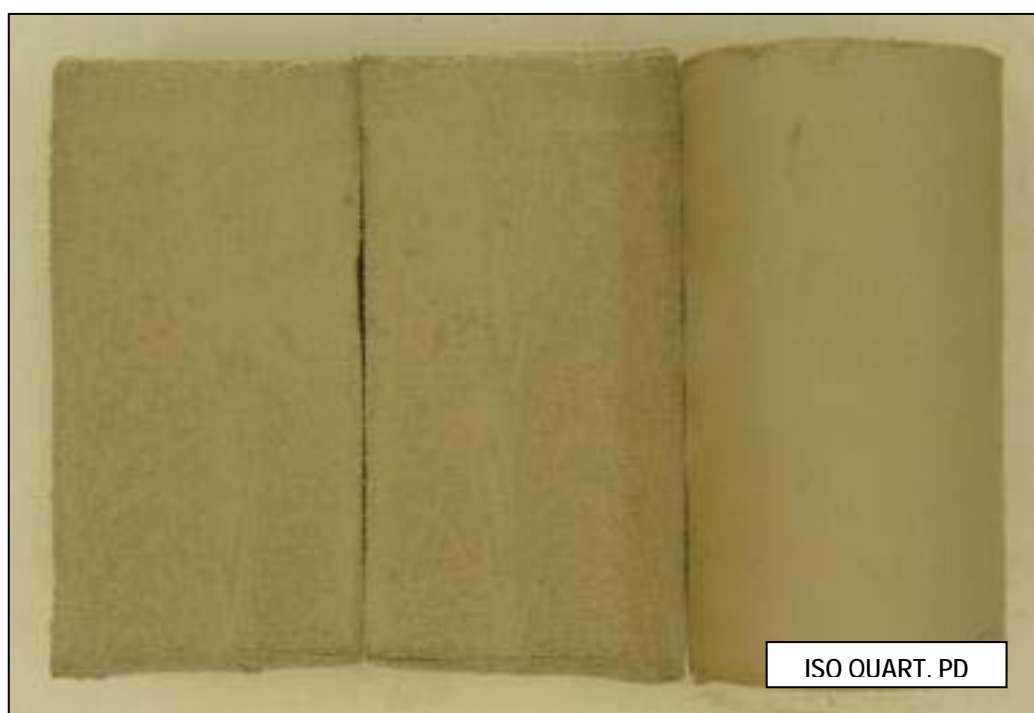


Figura 2. Corpos-de-prova massa ISO-QUART.PD, após ciclo de secagem.

4- Observações

- **Sobre a determinação da densidade aparente a seco de corpos-de-prova prensados** | A adição do produto à massa quartzosa reflete em aumento da densidade aparente do corpo-de-prova prensado, sobretudo o produto deferrizado. Em contrapartida, a massa aluminosa sofreu redução em seu empacotamento.
- **Sobre o comportamento na queima** | Os resultados da determinação da densidade aparente, retração linear e absorção de água das massas revelam que a adição do produto torna-as mais fundentes, mais densas e menos estáveis com relação ao controle dimensional e de porosidade. Nas composições aluminosas, o efeito deletério do produto sobre a estabilidade dimensional e a porosidade inviabiliza a sua utilização em substituição à alumina, nas quantidades testadas. A adição de produto deferrizado à base quartzosa, nos percentuais provados, é tolerável.
- **Sobre a resistência mecânica a flexão pós-queima** | A substituição, parcial e total, de areia por produto, sobretudo o deferrizado, na base quartzosa, melhorou significativamente a sua resistência mecânica à flexão. O mesmo não ocorreu com as composições aluminosas: a substituição de alumina pelos produtos diminuiu a resistência mecânica das massas.
- **Sobre a deformação pirolástica** | A adição de produto não compromete significativamente os resultados de deformação pirolástica das massas.
- **Sobre a determinação da densidade aparente a seco de corpos-de-prova extrudados da massa ISO-QUART.PD** | A adição de produto deferrizado, em substituição ao quartzo, não alterou o empacotamento da massa.
- **Sobre a resistência mecânica à flexão seco** | A adição de produto deferrizado à massa quartzosa não modificou a sua resistência.
- **Sobre a consistência de corpos-de-prova extrudados** | Para as condições ensaiadas, típicas da extrusão, a substituição total de areia por produto deferrizado determinou diminuição da consistência dos blocos extrudados.
- **Sobre a propensão para a ocorrência de “racho de secagem”** | Não foi encontrado nenhum “racho de secagem” nos corpos-de-prova das massas avaliadas.

5- Conclusões:

- O aproveitamento do produto em massas de porcelanas elétricas mostrou-se viável apenas para massas quartzosas, nas condições testadas. A substituição da areia pelo produto deferrizado melhorou a resistência mecânica à flexão e diminuiu a temperatura de queima do produto, sem afetar negativamente suas demais características tecnológicas.
- A adição de produto – quaisquer produtos, nas quantidades testadas – à base aluminosa diminuiu excessivamente seu intervalo de queima que, por sua vez, diminuiu a estabilidade dimensional e a resistência mecânica à flexão da massa. Por esta primeira razão, o produto não é indicado para a utilização nestas massas.
- A adição de quantidades menores de produto à base aluminosa poderia viabilizar o seu uso. Ocorre que a resistência mecânica de isoladores aluminosos é requisito crítico de produto, fato que não ocorre com as porcelanas quartzosas, para as quais a solicitação elétrica é mais importante que

a mecânica. Esta segunda razão determinou a não continuidade do estudo de aplicação dos produtos secundários em porcelanas elétricas aluminosas.

■ Embora o produto secundário seja fonte generosa de alumina, benéfica ao produto, o Fe_2O_3 , também presente em grande quantidade, ao contrário, é prejudicial. Infelizmente, a “deferrização” do produto não diminuiu o seu teor de Fe_2O_3 para valores mínimos. Por essa razão o uso do produto fica restrito às condições definidas pelo estudo.

Cláusulas de Responsabilidade

- A T-cota assume a responsabilidade pela coleta e identificação das amostras.
- Os resultados de análise referem-se às amostras de material ensaiadas.
- A T-cota não se torna responsável em nenhum caso pela interpretação ou pelo uso indevido que se possa fazer dos resultados de análises, cuja reprodução parcial sem autorização expressa da T-cota é totalmente proibida.
- A contra-amostra estará à disposição do cliente em prazo máximo de até 30 dias.