



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE  
Curso de Tecnologia em Cerâmica  
Trabalho de Conclusão de Curso



**DESENVOLVIMENTO de placas cerâmicas para revestimento de baixa densidade**

**Giovani Nesi**

**Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin<sup>1</sup>**

**Resumo:** A indústria cerâmica é grande geradora de resíduos, normalmente depositados em aterros, sua recuperação e reciclagem, do ponto de vista econômico e ambiental, são soluções atraentes, sendo hoje uma realidade nas indústrias cerâmicas. Desta forma, o presente trabalho trata da reutilização dos resíduos denominados de raspa de esmalte oriunda da estação de tratamento de efluentes da Cerâmica Novagres no desenvolvimento em laboratório de placas cerâmicas para revestimento externo com baixa densidade. O resíduo vítreo foi caracterizado (FRX) e carbeto de silício (0,05%) foi adicionado à raspa de vidro como agente de expansão e à mistura foi adicionado CMC (10%) como ligante. A mistura foi granulada (7% de água) e compactada em dupla carga com uma massa padrão de grés segundo um planejamento experimental tipo fatorial completo  $2^k$ , onde a proporção de grés em relação ao resíduo na dupla carga e a pressão de compactação foram os fatores. Após secagem os compactos foram queimados em um forno industrial a 1180°C em ciclo de 44 min. Após queima as amostras foram caracterizadas quanto a expansão térmica, módulo de resistência à flexão, absorção de água e densidade aparente. Os resultados mostraram claramente o efeito da dupla carga sobre as propriedades analisadas, tendo sido possível obter placas de baixa densidade (0,8 g/cm<sup>3</sup>) com estrutura celular.

Palavras-chave: Reciclagem. Placas cerâmicas. Vidrados. Cerâmica celular.

## 1 Introdução

Nos dias atuais, grande parte da população mundial tem em suas casas algo referente à cerâmica. Os produtos cerâmicos possuem funções técnicas e estéticas para maior conforto e satisfação de seus usuários. Com isso, as empresas aprimoram-se

---

<sup>1</sup> professor orientador

tecnologicamente e esteticamente para oferecer produtos de alta qualidade a seus clientes, visando sempre a questão ambiental. Os produtos cerâmicos seguem uma classificação segundo as normas ISO 13006 e NBR 13818, como, por exemplo, o produto tipo grés, que pela norma pertence à classe Blb, com absorção de água entre 0,5 e 3% e módulo de ruptura maior que 30 MPa.

Todo processo cerâmico inicia-se pelas matérias-primas. A composição adequada de uma massa cerâmica é função das características físicas e químicas desejadas no produto final. Tais características serão obtidas a partir de fatores que devem ser observados na seleção das matérias-primas, tais como as propriedades químicas e mineralógicas das argilas (COSTA, 2002). Independente do sistema de produção de um produto cerâmico, o processo sempre se inicia a partir de uma mistura das matérias-primas, formando a massa cerâmica, que com adição ou não de água será moída para redução do tamanho das partículas. A moagem úmida é usada quando se deseja uma qualidade final superior no material cerâmico (ZACCAROM, 2005)

Do resultado da moagem úmida surge uma suspensão cerâmica, que necessariamente terá de ser seca. Essa secagem é feita via atomização, que consiste na transformação da suspensão aquosa de partículas sólidas (denominada barbotina) em um material granulado seco, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida, o atomizador. Esse processo é uma técnica de obtenção de grânulos utilizada em várias indústrias, além das cerâmicas (ZACCAROM, 2005). Os grânulos depois de atomizados são armazenados em silos para homogeneização da umidade (em torno 6,5%), para depois serem prensados.

A prensagem é o processo de compactação dos granulados atomizados, que tem o objetivo de obter produtos com formas planas e dimensões variadas. Esta etapa é realizada por prensas hidráulicas que aumentam a estabilidade dimensional do produto. Na prensagem busca-se, além da conformação das peças, a redução da porosidade interna. Cada pressão específica depende do tamanho da peça que será compactada (ZACCARON, 2005). Na secagem é eliminada a umidade residual, o líquido de processamento que se encontra presente no material prensado e que acompanha o granulado atomizado. Na maior parte dos secadores, a secagem do material cerâmico é

efetuada mediante a circulação de ar quente, sendo assim uma secagem por convecção. Nesta fase do processo a placa cerâmica tem um aumento na resistência mecânica para suportar as operações que antecedem a queima. Na etapa de decoração cerâmica são aplicadas as camadas de cobertura, o engobe e o vidrado, e a decoração.

A queima é a fase na qual as peças são submetidas a um tratamento térmico, que promove as transformações necessárias à obtenção de produtos com as características tecnológicas e estéticas desejadas. É na queima que ocorre um conjunto de transformações que afetam o suporte e o vidrado (FONSECA, 2002). Por fim é realizada a classificação visual do produto, onde se avalia a superfície do material com o adjetivo de retirar os defeitos visíveis ao olho humano, e em seguida ocorre a inspeção de tamanho e ortogonalidade das peças sob um controle de qualidade pré-estabelecido por norma (NBR 13818), então as peças são levadas a expedição (ZACCARON, 2005).

Como resultado de todos esses processos, a indústria cerâmica é geradora de grande quantidade de resíduos, normalmente depositados em aterros. A recuperação e reciclagem de resíduos, do ponto de vista econômico, é uma solução atraente em relação à reutilização, a fim de reduzir custos e impactos ambientais (BERNARDIN et al., 2007). Uma forma encontrada é o estudo das possibilidades de reduzir a quantidade de resíduos industriais, utilizando-os de alguma forma, sendo que a reciclagem de resíduos industriais é hoje uma realidade nas indústrias cerâmicas. (COSTA, 2002). Os setores que geram a maior parte de resíduos líquidos nas indústrias cerâmicas são o setor de preparação de vidrados e a linha de decoração, onde é utilizada grande quantidade de água para fabricação das placas cerâmicas e limpeza dos equipamentos.

Por sua vez, o setor de polimento é responsável pelo acabamento de determinados produtos cerâmicos. O polimento da placa cerâmica consiste em submeter a superfície do material a um desbaste provocado pela abrasão entre a ferramenta abrasiva e a peça cerâmica utilizando-se água corrente, e é nesta fase que há geração de resíduos, tanto a pedra abrasiva quanto o material sendo polido.

Para o tratamento dos efluentes gerados no decorrer do processo industrial são utilizadas as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), que através da filtragem da água com os resíduos gera como subprodutos os resíduos sólidos, denominados de lodo, caso do resíduo de polimento, e raspa de esmalte para o caso do resíduo referente à preparação de vidro e linha de decoração.

A Estação de Tratamento de Efluentes da Cerâmica Novagres Ltda. gera cerca de 30 toneladas de raspa de esmalte por mês, tendo um gasto de R\$ 220,00 por tonelada para depositar em aterro, e R\$ 950,00 de frete a cada 15 toneladas, tendo-se um gasto mensal de R\$ 8.650,00, afetando também o meio ambiente. Esses subprodutos podem ser reutilizados diretamente ou aproveitados como matéria-prima no processo industrial (CASAGRANDE, 2008).

Finalmente, com relação ao planejamento experimental estatístico, segundo Barros Neto (1995), em análise estatística uma série de conceitos e notações devem ser empregados. Os fatores consistem nas variáveis em estudo. Níveis são os valores dados aos fatores. Tratamentos ou ensaios são as combinações dos fatores com todos os seus níveis. Variável de resposta é a propriedade ou o fenômeno que está sendo analisado. Erro experimental é a variação ou flutuação de uma observação ou medida; é uma variável aleatória e não controlável. O modo de analisar as variáveis de resposta é pela análise de variância (ANOVA), que visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. Dessa forma, permite que vários grupos sejam comparados a um só tempo, fazendo uso de médias quadráticas e somas quadráticas das diferenças dos fatores estudados em relação a uma média, comparando-se os resultados com testes estatísticos de significância, como o teste de Fisher (F).

Desta forma, o presente trabalho teve como principal objetivo a utilização dos resíduos denominados como raspa de esmalte da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa Novagres, no desenvolvimento em laboratório de placas cerâmicas para revestimento externo com baixa densidade.

## 2. Materiais e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido na empresa Cerâmica Novagres Ltda., com a utilização do resíduo industrial da ETE, denominado raspa de vidro. Inicialmente foi coletada uma amostra de 5 kg e colocada para secar em estufa de laboratório à temperatura de 110°C durante 24 horas. Após secagem, a amostra foi desagregada em moinho de laboratório e peneirada em malha 50 mesh ABNT.

A desagregação foi realizada a seco em moinho excêntrico com jarro de porcelana (500 mL) e elementos moedores de alta alumina, com distribuição de 70% de esferas pequenas e 30% médias, durante 30 min. Após peneiramento, foi adicionado 0,05% em massa de carbeto de silício e foi feita mistura manual em um recipiente. O SiC foi utilizado como agente de expansão para redução da densidade das placas. A análise química do resíduo vítreo – raspa – foi determinada por fluorescência de raios X (Philips mod. PW2400).

Após mistura, foram adicionados 10% de uma solução aquosa composta de uma mistura de 10% de carboximetilcelulose (CMC), agindo como ligante, com 90% de água em massa, para se obter uma melhor compactação, e em seguida a mistura úmida foi peneirada novamente em malha 50 mesh ABNT para granulação. A mistura úmida permaneceu em repouso por 24 horas para homogeneização.

Em seguida, foram compactados em dupla carga corpos de prova em uma prensa hidráulica de laboratório (Gabbrielli Sesto Fiorentino, Itália, mod. 056) segundo um planejamento experimental estatístico. A dupla carga consistiu de uma base cerâmica da tipologia grés, sendo então completada com a massa úmida do resíduo de raspa de vidro, nas proporções de 1/3 e 2/3 da base grés, com ponto central de 1/2 (50% de base e 50% de resíduo). As pressões de prensagem foram de 300 e 600 kgf/cm<sup>2</sup>, com ponto central de 450 kgf/cm<sup>2</sup>, resultando em peças de 100 mm de comprimento por 30 mm de largura e 5 mm de espessura. Desta forma, os fatores do planejamento experimental foram a fração da dupla carga e a pressão de compactação.

Foram prensados seis corpos de prova de cada teste, codificados e levados a secar em estufa de laboratório a 110°C por 2 horas até atingir massa constante. Os corpos de prova foram todos queimados na Cerâmica Novagres Ltda. em forno a rolo industrial

(Barbieri & Tarozzi mod. 2650/148740) de 157 metros, com ciclo total de queima de 44 min à temperatura máxima de 1180°C, com patamar de queima de 3,4 minutos.

Após a queima dos corpos de prova, foram realizados os seguintes ensaios físicos: densidade aparente, expansão de queima, módulo de ruptura à flexão e absorção de água. A densidade aparente a verde e após queima foi determinada pelo método de imersão em mercúrio. O teste de expansão de queima foi realizado medindo as dimensões dos corpos de provas antes e após a queima (com base na NBR 13818:1997 parte S). O módulo de ruptura à flexão foi determinado em um crômetro (Gabbrielli Sesto Fiorentino, Itália, mod. CR4), com taxa de aplicação de carga de 1 MPa/s, até a ruptura do material (NBR 13818:1997 parte C). O teste de absorção de água foi determinado pelo método da fervura com imersão das amostras por 2 horas em água fervente (NBR 13818:1997 parte B). Todos os ensaios seguem a norma da NBR/ABNT 13818.

Finalmente, foram preparadas amostras de 2cm x 2cm para análise microestrutural por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Todos os resultados foram interpretados por análise de variância (ANOVA) e por curvas de nível, obtidas de superfícies de resposta.

#### 4. Resultados e Discussões

A tabela 1 apresenta a composição química do resíduo vítreo, e a tabela 2 apresenta o planejamento experimental 2<sup>k</sup> com quatro blocos e dois pontos centrais, além dos resultados para densidade aparente a verde e após queima, absorção de água, expansão de queima e módulo de ruptura à flexão.

Tabela 1. Análise química do resíduo vítreo (FRX)

Óxido (% massa)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF
Resíduo vítreo	63,1	16,7	6,1	2,3	2,0	1,7	1,3	0,6	0,3	5,7

Fonte: Autor, 2011

A análise da composição química do resíduo vítreo – raspar de vidrado – mostra a composição típica de uma mistura das fritas mais utilizadas na indústria cerâmica, com

presença majoritária de sílica e alumina, e de óxidos fundentes alcalinos e alcalino-terrosos, além de contaminantes como os óxidos de ferro e titânio e presença de matéria orgânica, dada pela perda ao fogo (PF), pois o resíduo foi obtido de uma ETE. Cabe destacar a presença de zircônia, comum em fritas brancas. Na análise não foi possível determinar a presença dos elementos lítio e boro, não identificáveis por FRX.

Tabela 2. Planejamento experimental 2<sup>k</sup> e resultados dos ensaios

Ensaio	Dupla carga	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	D <sub>ap</sub> verde (g/cm <sup>3</sup> )	D <sub>ap</sub> queima (g/cm <sup>3</sup> )	AA (%)	EQ (%)	MRF (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	0,33	300	1,97	0,85	2,15	5,7	56,26
2	0,66	300	1,65	1,17	3,33	2,2	74,31
3	0,33	600	2	0,86	2,16	7,14	66,6
4	0,66	600	1,6	1,16	3,03	1,98	91,6
5	0,33	300	1,98	0,78	2,13	6,67	62,04
6	0,66	300	1,63	1,13	3,18	2,48	78,05
7	0,33	600	1,99	0,85	3,3	6,34	63,37
8	0,66	600	1,62	1,13	2,94	2,45	96,75
9 (C)	0,50	450	1,61	1,13	2,84	3,79	89,38
10	0,66	600	1,61	1,14	2,4	1,91	87,11
11	0,33	600	1,98	0,84	2,26	7,55	70,2
12	0,66	300	1,62	1,16	3,33	2,26	76,62
13	0,33	300	1,97	0,83	2,16	6,66	55,15
14	0,66	600	1,59	1,13	3,09	1,97	89,67
15	0,33	600	1,99	0,84	2,32	7,2	68,25
16	0,66	300	1,61	1,1	3,15	2,66	71,7
17	0,33	300	1,97	0,85	2,17	5,88	56,18
18 (C)	0,50	450	1,6	1,02	2,81	3,7	89,1

Onde: D<sub>ap</sub> é a densidade aparente; AA é a absorção de água; EQ é a expansão linear após queima; e MRF é o módulo de ruptura à flexão.

Fonte: Autor, 2011.

A partir dos resultados apresentados na tabela 2, foi calculada a análise de variância para a densidade aparente a verde, tabela 3. Para a análise do fator mais influente sobre a densidade aparente (dupla carga ou pressão de prensagem), inicialmente deve-se verificar o fator F (de Fisher), que indica qual a maior fonte de variabilidade, ou seja,

qual modelo é o mais significativo para todos os ensaios realizados nesse trabalho. O  $F_{\text{experimental}}$  deve ser maior que o  $F_{\text{tabelado}}$  para que a hipótese ( $H_0$ ) da variabilidade do fator seja verdadeira, ou seja, maior será a significância para o modelo testado.

A análise de variância mostra que o fator estatisticamente mais significativo, dado pelo teste F, é somente a dupla carga, com 100% de confiabilidade dos resultados, dada pelo teste p. Os demais fatores não são estatisticamente significativos, pois apresentaram um valor para o teste  $F_{\text{experimental}}$  inferior ao valor tabelado. A partir dos dados da análise de variância, os resultados para densidade aparente a verde foram representados graficamente como médios em função do efeito da dupla carga, figura 1.

Tabela 3. Análise de variância para a densidade aparente a verde das placas cerâmicas

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Dupla carga (%)	0,532900	1,000	0,532900	109,0155	0,000000
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,000025	1,000	0,000025	0,0051	0,944000
Dupla carga × Pressão	0,001600	1,000	0,001600	0,3273	0,576318
Erro	0,068436	14,000	0,004888		
SQ total	0,602961	17,000			

Onde: SQ são as somas quadráticas; gL os graus de liberdade (diferença entre o número total de experimentos e o número de experimentos independentes); MQ as médias quadráticas; F e p são os testes de confiabilidade.

Fonte: Autor, 2011.

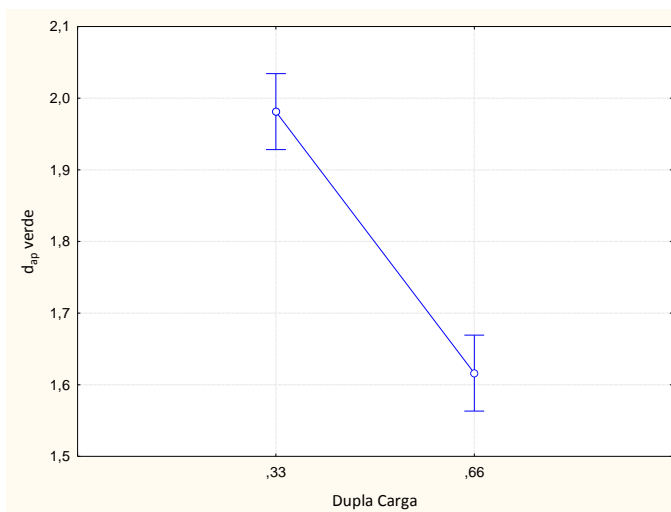


Figura 1. Médias para a densidade aparente a verde em função do efeito da dupla carga

Fonte, Autor, 2011

Pelo gráfico percebe-se claramente o efeito da dupla carga sobre a densidade aparente a verde: os maiores valores de densidade aparente (~2 g/cm<sup>2</sup>) ocorrem para dupla



carga com 1/3 de massa base de grés. Como o resíduo do vidrado (raspa) foi misturado a um ligante, a maior fração de raspa durante a compactação (menor fração de grés) resulta em maior densidade aparente a verde devido a maior plasticidade da raspa de vidrado formulada com o ligante. Deve ser observado que o ajuste dos resultados observados, dado pelo fator  $R^2$ , é bom ( $R^2=0,89$ ). O ajuste perfeito dos resultados ao modelo estudado seria dado pelo valor de  $R^2=1,00$ .

A tabela 4 apresenta a análise de variância para a densidade aparente após queima. A análise de variância mostra que o fator estatisticamente mais significativo é novamente apenas a dupla carga, com 100% de confiabilidade dos resultados. Os demais fatores não são estatisticamente significativos.

Tabela 4. Análise de variância para a densidade aparente após queima das placas cerâmicas

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Dupla carga (%)	0,366025	1	0,366025	193,9205	0,000000
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,000400	1	0,000400	0,2119	0,652335
Dupla carga x Pressão	0,000400	1	0,000400	0,2119	0,652335
Erro	0,026425	14	0,001888		
SQ total	0,393250	17			

Fonte: Autor, 2011.

A partir dos dados da análise de variância, os resultados para densidade aparente após queima foram representadas graficamente como médias em função do efeito da dupla carga, figura 2.

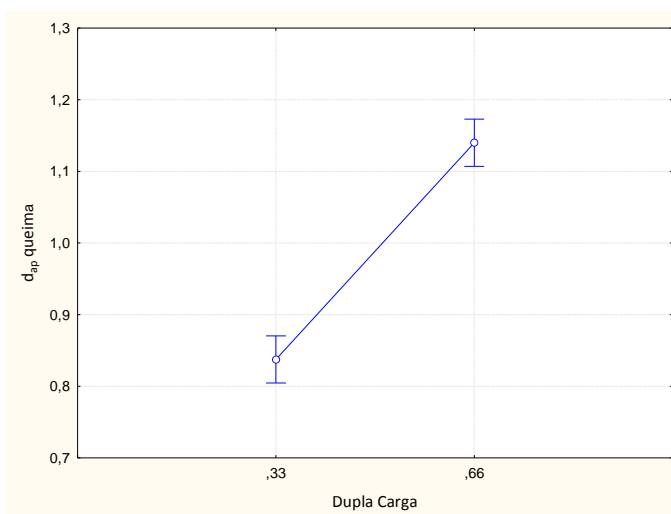


Figura 2. Médias para a densidade aparente após queima em função do efeito da dupla carga  
Fonte: Autor, 2011

Pelo gráfico percebe-se novamente o efeito da dupla carga sobre a densidade aparente após queima; porém, neste caso, os maiores valores de densidade aparente (~1,1 g/cm<sup>2</sup>) ocorrem para dupla carga com 2/3 de massa base de grés, o que seria esperado, pois a camada de resíduo sofre expansão durante a queima, reduzindo assim a densidade do produto final.

Desta forma, a menor densidade é obtida para a menor fração do grés durante a dupla carga, ou seja, maior quantidade da raspa de vidro. A baixa densidade ocorre devido à expansão da raspa durante a queima, pois o carbetto de silício sofre oxidação a partir de 1000°C, resultando em SiO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, e como nesta temperatura o vidro está em estado plástico viscoso, o resultado é a formação de bolhas de CO<sub>2</sub> que solidificam no resfriamento, criando a estrutura celular de baixa densidade. O ajuste dos resultados observados é muito bom (R<sup>2</sup>=0,93).

A tabela 5 apresenta a análise de variância para a expansão após queima. A análise de variância mostra que, para a expansão de queima, há dois fatores estatisticamente significativos: novamente a dupla carga, com 100% de confiabilidade dos resultados, mas também a interação entre a dupla carga e a pressão de prensagem, com confiabilidade de 97,9%. A pressão de prensagem isoladamente apresentou menor confiabilidade para os resultados, 72,8%.

Tabela 5. Análise de variância para a expansão após queima das placas cerâmicas

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Dupla carga (%)	77,57206	1	77,57206	394,6065	0,000000
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,25756	1	0,25756	1,3102	0,271555
Dupla carga x Pressão	1,32826	1	1,32826	6,7568	0,021003
Erro	2,75213	14	0,19658		
SQ total	81,91000	17			

Fonte: Autor, 2011.

A partir dos dados da análise de variância, os resultados para expansão após queima foram representados graficamente como curvas de nível a partir de uma superfície de resposta, figura 3.

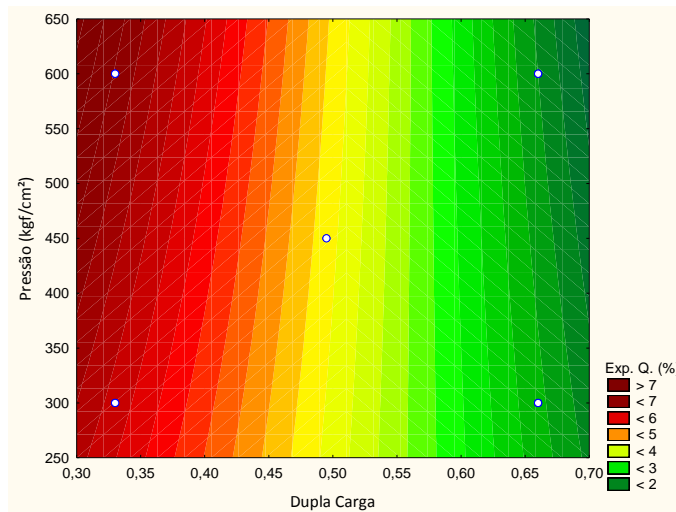


Figura 3. Curva de nível para a expansão após queima  
 Fonte: Autor, 2011

Pelo gráfico percebe-se o efeito tanto da dupla carga como da pressão de compactação sobre a expansão após queima: a combinação de 1/3 de dupla carga (base grés) e maior pressão de prensagem resulta na maior expansão após queima, pois há uma maior quantidade de resíduo de vidro (raspa) para expandir, e a maior pressão de compactação resulta em maior empacotamento de partículas, e assim na temperatura de queima utilizada houve provavelmente a formação antecipada da camada vítrea impermeável, responsável pela expansão da placa. O ajuste dos resultados observados é muito bom ( $R^2=0,97$ ).

A tabela 6 apresenta a análise de variância para a absorção de água. A análise de variância mostra que, para a absorção de água, há novamente dois fatores estatisticamente significativos: a dupla carga, com 99,98% de confiabilidade dos resultados, e a interação entre a dupla carga e a pressão de prensagem, com confiabilidade de 97,4%. A pressão de prensagem não apresentou significância estatística.

A partir dos dados da análise de variância, os resultados para a absorção de água foram representados graficamente como curvas de nível a partir de uma superfície de resposta, figura 4.

Tabela 6. Análise de variância para a absorção de água das placas cerâmicas

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Dupla carga (%)	0,235225	1	0,235225	24,31964	0,000221
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	0,000100	1	0,000100	0,01034	0,920452
Dupla carga × Pressão	0,060025	1	0,060025	6,20592	0,025905
Erro	0,135411	14	0,009672		
SQ total	0,430761	17			

Fonte: Autor, 2011.

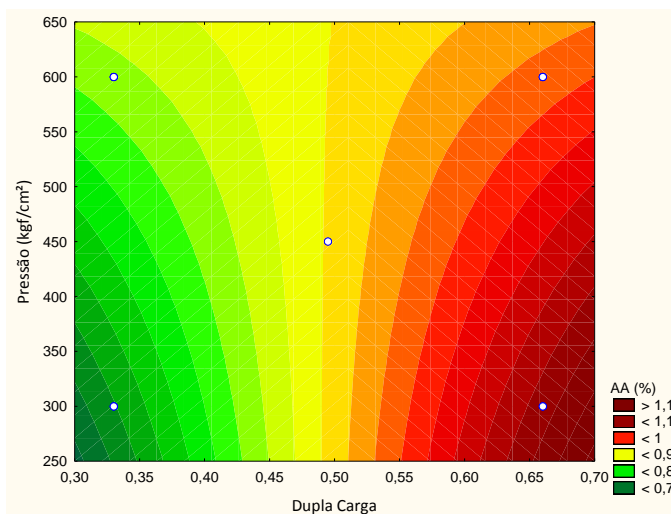


Figura 4. Curva de nível para a absorção de água  
Fonte: Autor, 2011

Pelo gráfico percebe-se o efeito tanto da dupla carga como da pressão de compactação sobre a absorção de água: os maiores valores de absorção de água (1,1%) ocorrem para a combinação de 2/3 de dupla carga (base grés) e menor pressão de prensagem, o que é coerente, pois a base grés apresenta absorção de água próxima a 2%, enquanto o resíduo de vidro não apresenta absorção de água. A menor pressão de compactação resulta em que a base grés apresente uma estrutura mais aberta após a queima, e assim maior absorção de água. O ajuste dos resultados observados é apenas razoável ( $R^2=0,69$ ).

Finalmente, a tabela 7 apresenta a análise de variância para o módulo de ruptura à flexão. A análise de variância mostra que, há dois fatores estatisticamente significativos: a dupla carga, com ~100% de confiabilidade dos resultados, e a pressão de prensagem, com confiabilidade de 99,84%. A interação entre a dupla carga e a pressão de prensagem apresentou menor significância estatística.

Tabela 7. Análise de variância para o módulo de ruptura à flexão das placas cerâmicas

Fator	SQ	gL	MQ	F	p
Dupla carga (%)	1758,964	1	1758,964	40,26255	0,000018
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	666,156	1	666,156	15,24827	0,001586
Dupla carga x Pressão	41,152	1	41,152	0,94197	0,348242
Erro	611,623	14	43,687		
SQ total	1758,964	1	1758,964	40,26255	0,000018

Fonte: Autor, 2011.

A partir dos dados da análise de variância, os resultados para o módulo de ruptura à flexão foram representados graficamente como curvas de nível, figura 5.

Pelo gráfico percebe-se o efeito tanto da dupla carga como da pressão de compactação sobre o módulo de ruptura à flexão: como eram de se esperar, os maiores valores de módulo de ruptura ocorrem para a combinação entre o maior valor de pressão de compactação e a maior fração de dupla carga, devido que a raspa de vidro expandida é totalmente porosa, e assim apresenta menor resistência mecânica. Desta forma, a maior fração de grés na dupla carga, prensada na maior pressão de compactação, resulta nas placas com maior módulo. O ajuste dos resultados observados é bom ( $R^2=0,80$ )

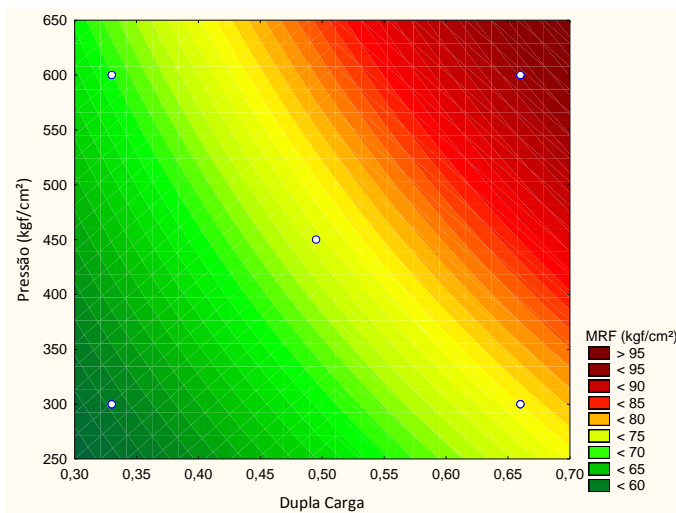


Figura 5. Curva de nível para o módulo de ruptura à flexão

Fonte: Autor, 2011

A figura 6 mostra a microestrutura da amostra com dupla carga de 33% de base grés com prensagem a 300 kgf/cm<sup>2</sup>. A figura 6a mostra a interface entre a base grés (parte inferior, mais sólida) e a figura 6b mostra o resíduo vítreo expandido (parte superior,

mas porosa). Pode-se perceber claramente o efeito o SiC como agente de expansão do resíduo vítreo, pois os poros são grandes e arredondados. Todas as propriedades descritas anteriormente são influenciadas por esta estrutura celular porosa.

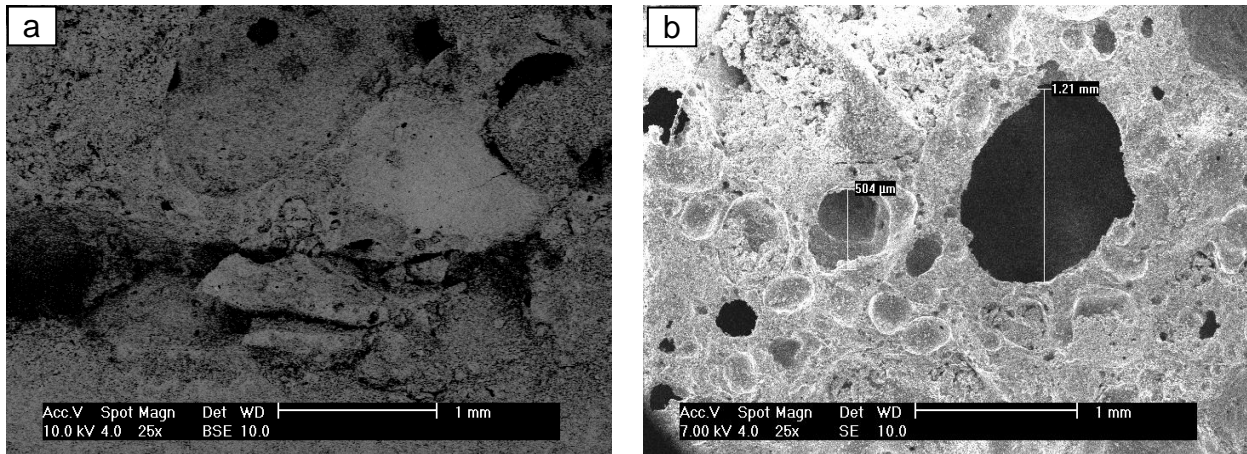


Figura 6. Microestrutura de amostra com dupla carga de 33% de base grés e prensagem a 300 kgf/cm<sup>2</sup>: a) região da interface entre a base grés e o resíduo vítreo; b) região do resíduo vítreo.

Fonte: Autor, 2011.

## 5. Considerações Finais

Foi possível obter placas cerâmicas de baixa densidade a partir de resíduos vítreos do processo de decoração de uma indústria cerâmica. Os principais resultados obtidos foram:

-A densidade aparente das placas, tanto a verde quanto após queima, é função exclusivamente da dupla carga durante compactação, sendo o resíduo de vidro – a raspa – responsável pela baixa densidade após queima.

-A expansão após queima depende da interação entre a dupla carga e a pressão de compactação, sendo a maior expansão – e assim menor densidade – função da menor quantidade da base grés da dupla carga e da maior pressão de prensagem.

-A absorção de água também é função da interação entre a dupla carga e a pressão de prensagem, sendo os menores valores obtidos para a menor fração de grés prensada com menor pressão de compactação, pois o resíduo vítreo não absorve água.

-O módulo de ruptura à flexão dos fatores dupla carga e pressão de prensagem. Os maiores módulos são obtidos para a maior fração de grés – dupla carga – prensada à

maior pressão de prensagem, pois a estrutura celular e porosa causada pela presença do resíduo vítreo diminui a resistência das placas.

Finalmente, a baixa densidade ocorre devido à expansão da raspa durante a queima, pois o carbetto de silício sofre oxidação a partir de 1000°C, resultando em SiO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, e como nesta temperatura o vidro está em estado plástico viscoso, o resultado é a formação de bolhas de CO<sub>2</sub> que solidificam no resfriamento, criando a estrutura celular de baixa densidade.

### Referências Bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13818**. Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

BARROS NETO, B; SCARMINIO, I. S.;BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Unicamp. 1995

BERNARDIN, A. M.; SILVA, M.J. ; CARVALHO, E.F.U.; RIELA,H.G. Cerâmicas celulares obtidas a partir da resíduo de polimento. São Paulo: **Cerâmica Industrial**. v.12, n.1/2, p.31-35, 2007.

CASAGRANDE, M.C. et al. Reaproveitamento de resíduos sólidos industriais: Processamento e aplicações no setor cerâmico. São Paulo: **Cerâmica Industrial**, v.13, n.1/2, p.34-37, 2008.

COSTA, M.G. et al. Reutilização in situ das lamas residuais de uma indústria cerâmica. São Paulo: **Cerâmica Industrial**, v.7, n.5, p.44-50, 2002.

DANDOLINI, M. R, **Utilização de planejamento estatístico por misturas para formulação de grês via seca**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Cerâmica), Curso de Tecnologia em Cerâmica, Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, Criciúma, 2010.

FONSECA, A. T. **Tecnologia do Processamento Cerâmico**. Lisboa: Universidade Aberta, 2000. 554p.

NANDI, V.S. et al. Reaproveitamento do lodo cerâmica da estação de tratamento de efluentes para produção de esmaltes. São Paulo: **Cerâmica Industrial**, v.15, n.1, p.34-37, 2010.

ZACCARON, V. (org.). **Curso de noções básicas de cerâmica**. Cocal do Sul, 2005.