

Fabricação de Vetrosas com a Utilização de Resíduos de Vidro Plano e Vidro de Bulbo de Lâmpadas

Marcelo Dal Bó^{a,c*}, Luciano Silva^b, Vilmar de Oliveira^a

^aSENAIsc – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Santa Catarina, Unidade Criciúma, Rua General Lauro Sodré, 300, Bairro Comerciário, 88802-330 Criciúma - SC, Brasil

^bEndeka Cerâmica Ltda.,

Av. Ministro Roberto Cardoso Alves, 1351, Núcleo Industrial, 13849-212 Mogi Guaçu - SP, Brasil

^cPrograma de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PGMAT,

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC,

Campus Reitor João David Ferreira Lima, Bairro Trindade, 88040-970 Florianópolis - SC, Brasil

*e-mail: marcelodalbo@hotmail.com

Resumo: A reciclagem atualmente começa a se tornar não só um diferencial, mas sim um princípio básico para as indústrias em todos os ramos fabris. Com isso foi estudado um método de viabilidade da reutilização do resíduo de vidro plano e vidro de bulbo de lâmpadas, ambos transparentes, na fabricação de vetrosas, produto de alto valor agregado utilizadas para a fabricação de peças especiais de cerâmica de revestimento, fabricadas pelo processo de terceira queima a uma temperatura aproximada entre 800 a 1040 °C.

Palavras-chave: *resíduos, vidro, vetrosa, terceira queima.*

1. Introdução

As indústrias cerâmicas atualmente demonstram uma preocupação com o meio ambiente, juntamente com a satisfação de seus clientes, desenvolvendo produtos inovadores com preços competitivos no mercado. Observando-se esta realidade, tem-se como objetivo nesta pesquisa desenvolver uma frita com baixo custo, por meio do reaproveitamento de resíduos de vidro.

A vetrosa é uma granilha feita de uma frita cerâmica com baixo ponto de amolecimento (600 a 700 °C) e com dilatação térmica entre 50 a $65 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ com características adequadas para terceira queima: Temperaturas entre 750 a 950 °C e ciclos que geralmente variam entre 40 a 120 minutos.

Visando atender as necessidades do setor cerâmico em produzir uma frita com ponto de amolecimento baixo para fabricação de vetrosa de 3ª queima, buscou-se utilizar uma das melhores fontes, que é o aproveitamento de resíduos de vidro. Por ser um material totalmente isento de bolhas, altamente fundente e com ponto de amolecimento baixíssimo (550 a 620 °C), apresentando-se também economicamente viável para este tipo de aplicação, visto que a vetrosa atualmente é um produto com alto valor agregado para a fabricação de revestimentos cerâmicos.

Desta forma, pode-se conseguir um produto tão nobre quanto e com baixo custo de produção. Percebendo-se, porém que existe um problema a ser ajustado no processo que é a dilatação térmica linear do material, visto que o vidro plano e o vidro de bulbo de lâmpadas apresentam dilatação térmica linear aproximada entre 88 e $95 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e a vetrosa ideal para a terceira queima geralmente deve apresentar dilatação térmica linear entre 50 e $65 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Neste trabalho serão apresentados resultados dos testes conseguidos em laboratório, com dois tipos de vidro: resíduos de lâmpadas e resíduos de vidro plano, bem como as fundamentações teóricas e os resultados práticos obtidos.

2. Justificativa

Devido ao alto custo para fabricar uma frita para ser usada como vetrosa de 3ª queima, teve-se como intenção desenvolver

uma pesquisa para o aproveitamento de resíduos de lâmpada e vidro plano existentes no mercado, procurando contribuir para o aproveitamento deste tipo de resíduo, diminuindo assim o impacto ambiental minimizando os custos de produção.

Este trabalho buscou oportunizar uma pesquisa que além de oferecer idéias para recuperar um resíduo existente no mercado gerado em grandes quantidades, irá reduzir os custos na fabricação de uma nova frita no portfólio da empresa, economizando matéria-prima, gás, energia elétrica e térmica; e conseqüentemente, elevando a lucratividade da empresa.

3. Fundamentação Teórica

3.1. A origem do vidro

A fabricação do vidro teve início após o homem descobrir o fogo, e deve ser posterior à metalurgia e à cerâmica².

A descoberta da fabricação do vidro se deu através dos Fenícios, que navegavam pelo Rio Belo, na Síria, e resolveram parar às margens do rio para fazerem suas refeições, colocavam sobre as margens arenosas blocos de salitre para apoiar seus caldeirões. Passados algum tempo, notaram que do meio do fogo, corria um filete líquido que se solidificava imediatamente.

Por volta de 5000 a.C., os egípcios já fabricavam peças inteiramente de vidro, que foram encontradas nos túmulos dos faraós.

O primeiro grande passo da indústria do vidro se deu em 250 a.C., com a descoberta na Síria, do método de soprar o vidro. Com essa descoberta, a indústria do vidro teve enorme desenvolvimento e se espalhou por todo o mundo, principalmente no Império Romano o vidro soprado teve grande impulso, tornando-se o maior centro da indústria vidreira da era cristã. Nesta época, o vidro não era transparente, era translúcido, com cores esverdeadas pela ação da contaminação de ferro das matérias-primas².

Por volta de 1200, à fama dos Venezianos já se espalhava pelo mundo, e Veneza alcançou, nesta época, sua idade de ouro com os recursos obtidos pela exportação de suas peças de vidros. O vidro Veneziano se distinguia principalmente pelas finuras de suas peças, denominadas de “Cristallo”. Após nasceram os vidros chamados Ônix ou Ágata, feitos pela infiltração de tênues fios de vidro, brancos e opacos, técnica complexa que é da filigrana ou vidro “Reticella”.

No século XVII a indústria do vidro se espalhou por vários países, principalmente Alemanha, França e Inglaterra.

Em 1664 os Franceses descobriram uma nova maneira de fabricar os espelhos, prateando o vidro plano, desta forma os franceses produziam espelhos de alta tecnologia. O espelho teve seu ponto alto com a construção da Galeria dos Espelhos no Palácio de Versalhes.

Com o progresso da ciência e da indústria, o vidro obteve várias alternativas de uso como o da iluminação de aparelhos científicos e ópticos. Em 1675 foi descoberto o emprego do óxido de chumbo no vidro, Schwab e depois Scheele e Lavoisier investigaram a durabilidade química do vidro quando exposto à ação da água e de ácidos fracos.

O vidro óptico se baseia em sílica fundida em alta temperatura (acima de 1700 °C) e altamente viscosa, a dificuldade é retirar as bolhas que se formam no interior pela alta viscosidade. Isso foi conseguido pela pirólise à alta temperatura do tetracloreto de silício num queimador de propano-oxigênio, para depositar sílica fundida num substrato quente. Assim podem ser feitas peças de 1,5 m de diâmetro e 15 cm de espessura, devido ao baixo coeficiente de expansão térmica linear.

Pyroceram, uma das mais notáveis descobertas dos últimos tempos. As características da família dos Pyroceram é que são mais duros que o aço carbono, mais leves que o alumínio e até nove vezes mais resistentes que o vidro plano. Uma das aplicações do Pyroceram é na fabricação do nariz dos mísseis.

As fibras óticas, fios finíssimos feitos de vidro de sílica, cujas impurezas não podem passar de umas poucas partes de bilhão.

Além dos vidros citados acima, existem outros usados em aparelhos eletrônicos para transmissão de dados, vidros de halogenetos, vidros fotocromicos, vidros para células solares, para implantes ósseos e outros.

3.2. A reciclagem no processo cerâmico

Conforme Menezes³ a reciclagem da cerâmica de revestimento é possível através da reutilização dos resíduos sólidos da fabricação. Os resíduos originários do processamento do azulejo, através do processo de biqueima constituem peças finas, porosas e frágeis. São recicladas para a fabricação de novos revestimentos e/ou pavimentos por moagem a úmido, onde são misturados a outras matérias primas para a obtenção da massa cerâmica.

O chamote de pavimentos gresificados é o resíduo sólido do processo de fabricação do revestimento cerâmico, descartado por quebras ou defeitos visuais e dimensionais, que inviabilizam sua utilização. A cerâmica já queimada não é biodegradável tendo como saída ecologicamente correta à reciclagem. Os resíduos de pavimentos gresificados passam por um processo mais complicado de reciclagem, por terem características mais resistentes e maior densidade devido ao processo de monoqueima onde as peças são queimadas entre 1130 a 1220 °C. Métodos inovadores de reciclagem de pavimentos gresificados utilizam o chamote moído a seco, o transformado em pó, e depois misturado à massa cerâmica, num percentual de reutilização em média de 3% de resíduos.

A reciclagem deste tipo de material diminui o impacto ambiental e os custos de produção da empresa caem, pois os próprios resíduos são reutilizados como matéria-prima, retornando ao início do ciclo de produção da cerâmica de revestimento.

3.3. A reciclagem do vidro

O vidro não é um produto biodegradável, ou seja, quando descartado na natureza, ele não se decompõe. Por isso é necessário que seja reciclado¹.

O processo de reciclagem do vidro pode ser através da fusão do vidro e a formação de novos utensílios, como garrafas, vasilhames, telhas, calhas, fritas para cerâmica, etc.

A maior preocupação com o resíduo de vidro é a contaminação. O vidro que vai para o derretimento (fusão) não pode conter materiais como metal, plástico, areia, material orgânico em excesso, etc. para não contaminar o produto final diminuindo a qualidade do produto que será formado.

Embalagens de vidro podem ser totalmente reaproveitadas no ciclo produtivo, sem nenhuma perda de material. A produção a partir do próprio vidro também consome menor quantidade de energia e emite resíduos menos particulados de CO₂, o que também contribui para a preservação do meio ambiente.

Outro aspecto é o menor descarte de lixo, reduzindo os custos de coleta urbana, e aumentando a vida útil dos aterros sanitários.

O vidro é 100% reciclável e pode ser reciclado inúmeras vezes, pois é feito de minerais como, areia, barrilha, calcário e feldspato. Ao agregarmos o caco na fusão, diminuimos a retirada de matéria-prima da natureza, como demonstrado na Tabela 1.

A estimativa de geração de resíduos de vidro no estado de Santa Catarina esta estimada entre 1.500 a 1.800 t.mês⁻¹, do vidro plano, lâmpada (bulbo) e ampola. O custo desta matéria-prima fica em torno de R\$ 0,30/kg.

Tabela 1. Comparação de material reciclado de vidro e seus ganhos ecológicos.

Material	Ganho ecológico
10% de “cacos”	4% de ganho energético no processo
1 t de “cacos”	Economia de 1,2 t de matérias-primas
10% de “cacos”	Reduz em 5% a emissão de CO ₂ (Protocolo de kyoto)

Tabela 2. Ilustra as melhores formulações realizadas para a fusão das vetrosas testes utilizando o vidro plano e de bulbo como matéria-prima base.

Óxidos / Formulações	FV/A (%)	FV/B (%)	FV/C (%)
RO / R ₂ O	1,00	1,00	1,00
R ₂ O ₃	0,78	0,98	1,06
RO ₂	4,00	5,20	5,57

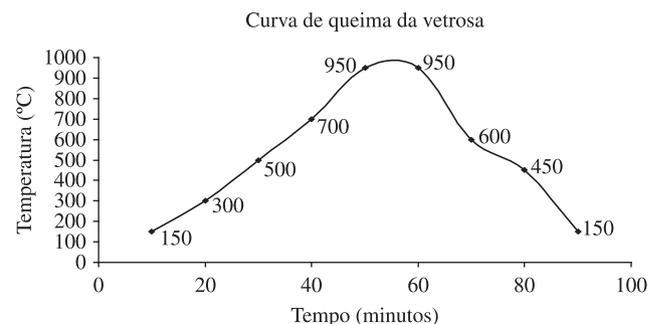


Figura 1. Representação da curva de queima onde foram queimados os testes das vetrosas a nível industrial.

4. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do presente projeto de pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Vidro de Bulbo de Lâmpadas: Coletados em empresas de reciclagem;
- Vidro Plano: Coletado em vidraçarias; e
- Matérias-primas cruas: Ácido Bórico, Quartzo, Caulim, Nitrato de Potássio, Barrilha (Na_2CO_3).

Foram desenvolvidas várias formulações utilizando o resíduo de vidro como matéria prima base para a fabricação de uma fritas visando à produção de vetrosa para 3ª queima, estão mencionadas na Tabela 2 as formulações com melhores resultados ilustradas de acordo com a fórmula de Seger⁴.

As formulações FV/A; FV/B e FV/C possuem respectivamente 50; 40 e 30% de resíduos de vidro.

Tabela 3. Ilustra a composição química dos materiais utilizados para os testes.

Material / Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	SO_3	B_2O_3	BaO	MgO
Vidro Plano (%)	70,00	2,00	8,80	15,00	0,50	0,20	–	–	3,50
Vidro Bulbo (%)	72,90	2,20	4,60	16,30	0,20	0,20	0,20	–	3,40
Vetrosa STD (%)	71,00	7,00	0,70	8,00	1,00	–	10,00	2,30	–

Tabela 4. Ilustra a composição química das matérias primas utilizadas para a fusão em cadinho das vetrosas testes.

M.P./ Óxidos	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	Fe_2O_3	B_2O_3	P.F.	MgO
Ácido Bórico (%)	–	–	–	–	–	–	–	55,84	44,00	–
Quartzo (%)	99,77	–	–	–	–	0,02	0,03	–	–	–
Caulim (%)	46,75	38,08	0,10	0,12	–	0,06	0,43	–	14,00	0,09
Nitrato de Potássio (%)	–	–	–	0,17	45,76	–	–	–	54,00	–
Carbonato de Sódio (%)	–	–	–	58,64	–	–	–	–	41,00	–

Tabela 5. Análise térmica dos materiais.

Material	Dilatação ($\times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	Ponto de Amolecimento ($^\circ\text{C}$)
Vidro Plano	88,0	607
Vidro Bulbo	95,2	571
Vetrosa STD	60,5	618

Tabela 6. Análise térmica das fusões em cadinho.

Formulação / Variável	Dilatação ($\times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	P.A. ($^\circ\text{C}$)
FV/A	63,3	678
FV/B	54,0	703
FV/C	53,7	683
Vetrosa STD	60,5	618



Figura 3. Vidro de Lâmpada.

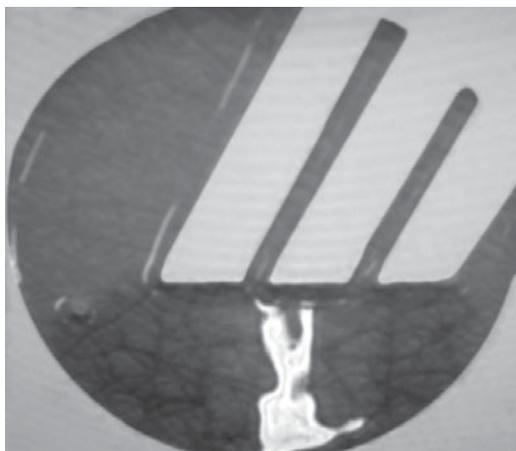


Figura 2. Vidro Plano.



Figura 4. Vetrosa STD.

Tabela 7. Ilustra todos os resultados em comparativo com a vetrosa STD.

Formulação / Variável	Dilatação ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	P.A. ($^{\circ}\text{C}$)	Gretagem	Análise da superfície
FV/A	63,3	678	OK	Ruim
FV/B	54,0	706	OK	OK
FV/C	53,7	683	OK	OK
Vetrosa STD	60,5	618	OK	OK



Figura 5. Prova FV/A.



Figura 6. Prova FV/B.



Figura 7. Prova FV/C.

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização dos resíduos

A caracterização dos resíduos de vidro plano, vidro de lâmpadas e das matérias primas cruas utilizadas para fusão foram realizadas com o espectrofotômetro de fluorescência de raios X S4 Explorer da Bruker com o auxílio da Endeka Cerâmica Ltda.

A Tabela 3 representa a composição química dos vidros: plano e de bulbo de lâmpadas, enquanto na Tabela 4 temos as composições químicas das matérias-primas cruas utilizadas nas formulações.

A Tabela 5 ilustra os ensaios térmicos comparativos entre o material a ser reciclado e o material a ser produzido (Vetrosa STD) com estes resíduos. Relaciona-se a alta dilatação térmica linear do vidro plano e vidro de bulbo de lâmpadas devido ao alto percentual de óxido de sódio encontrados na análise química da Tabela 3.

As Figuras 2 e 3 representam o vidro plano e de lâmpadas, respectivamente aplicado em malha #80/200, pode-se notar que a fusibilidade é adequada para a curva de queima de vetrosas para 3ª queima, contudo têm-se graves problemas de gretagem provocados pela alta dilatação térmica linear do vidro plano e vidro de lâmpadas comparada com a Vetrosa STD, Figura 4.

5.2. Análise das formulações propostas

De acordo com os resultados de análise química encontrados na Tabela 3, comparativa entre o vidro plano, vidro de lâmpada e a vetrosa STD, nota-se que se deve ajustar principalmente o percentual dos seguintes óxidos: Al_2O_3 , CaO , Na_2O , B_2O_3 . Para isso foram propostas as formulações relacionadas na Tabela 2.

Nas formulações FV/A, FV/B e FV/C foram incorporados percentuais de ácido bórico, caulim, barrilha, nitrato de potássio e quartzo visando colocar a dilatação térmica linear a valores aceitáveis para vetrosas normais de 3ª queima.

A Tabela 6 mostra que as dilatações ficaram adequadas comparativamente com a vetrosa STD, nas Figuras 5, 6 e 7 mostram os resultados da aplicação das mesmas em curva de queima a nível industrial.

6. Conclusão

Conforme os resultados obtidos acima, decorrentes dos testes descritos com o resíduo de vidro, podemos mencionar como resultados expressivos:

- Resíduos de vidro podem ser matérias primas que, utilizadas de modo adequado, podem representar a viabilidade econômica para vários produtos utilizados na fabricação de revestimentos cerâmicos, entre eles: fritas, granilhas e vetrosas;
- Os custos alcançados com as formulações aprovadas (FV/B e FV/C) são muito menores que os custos de vetrosas existentes atualmente no mercado e com características técnicas aceitáveis;
- Neste trabalho conseguiu-se incorporar 40% de resíduo de vidro em formulações de vetrosas, com o aprimoramento deste pode-se chegar a percentuais muito maiores, reduzindo ainda mais o custo do produto final;

- O ganho ambiental com o projeto é muito grande, visto que o trabalho utilizou resíduos que antigamente eram descartados em depósitos de resíduos sólidos transformando-os em um insumo de alto valor agregado, neste caso uma vetrosa para 3ª queima; e
- A formulação FV/B apresentou melhores resultados (Tabela 7), visto que o percentual de resíduo utilizado foi maior (40%), diminuindo seu custo e suas características técnicas, como dilatação térmica linear e ponto de amolecimento, ficaram dentro dos padrões normais para vetrosas utilizadas em 3ª queima.

Referências

1. LUZ, F. A Reciclagem. **Revista BBEL**, 2008.
2. MAIA, S. B. **O Vidro e sua Fabricação**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
3. MENEZES, R. R.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.
4. SHEARER, D. **Molecular Unity Formula or Seger Formula**. 2005. Disponível em: <http://www.duncanshearer.co.nz/glaze/molecular.html>. Acessado em out. 2009



SALA



Os Sistemas de Fim de Linha e Atividades Complementares



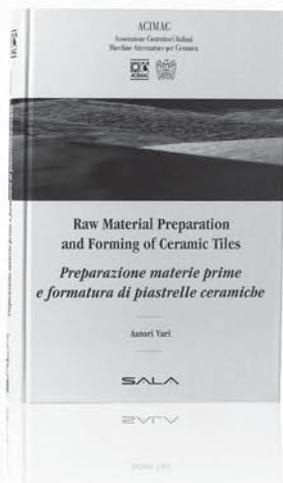
Secagem e Queima de Revestimentos Cerâmicos



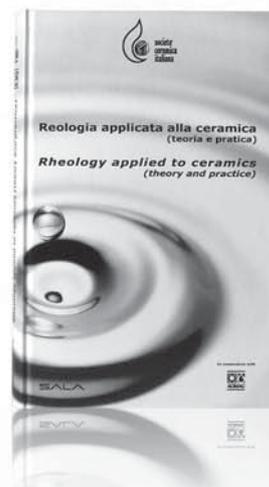
Cor, Pigmentos e Coloração em Cerâmicas



Esmaltação e Decoração de Revestimentos Cerâmicos



Preparação de Matérias-Primas e Conformação de Revestimentos Cerâmicos



Reologia Aplicada à Cerâmicas

Para comprar os livros acima, favor entrar em contato com nossa gerente editorial Patrícia:
Telefone (16) 3351.8249 • E-mail: patricia@ceramicaindustrial.org.br