

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL

BÁRBARA PANZENHAGEN BOHN

**RECICLAGEM DO VIDRO EM PAVIMENTOS COM ARGILA**

Feliz  
2019

BÁRBARA PANZENHAGEN BOHN

**RECICLAGEM DO VIDRO EM PAVIMENTOS COM ARGILA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais para obtenção do grau de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento de Materiais de Engenharia

Orientador: Dr. André Zimmer

FELIZ

2019



Dissertação intitulada 'Reciclagem do Vidro em Pavimentos com Argila', de autoria de 'Bárbara Panzenhagen Bohn', aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

Prof. Dra. Alessandra Smaniotto  
'Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul'

Prof. Dr. Juliano Cantarelli Toniolo  
'Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul'

Prof. Dr. Marcelo Dal Bó  
'Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina'

Prof. Dr. André Zimmer – Orientador  
'Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul'

Prof. 'Douglas Simon'  
Coordenador(a) do PPG-TEM

Data de aprovação: 04, de dezembro de 2019

Rua Princesa Isabel, 60 | Bairro Vila Rica | CEP: 95770-000 | Feliz/RS

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Maurício e Ivanir pelo incentivo ao estudo e ao Arthur pelo apoio e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao professor André Zimmer pela sua orientação, tempo e dedicação a este estudo. À Cristiane Von Muhlen pela participação e auxílio em laboratório. Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Feliz por disponibilizar o laboratório e os insumos necessários à pesquisa.

## RESUMO

O vidro é um material amplamente utilizado, entretanto, está longe de ser reciclado em sua totalidade. Uma boa alternativa à reciclagem do vidro é a sua incorporação em massas cerâmicas que necessitam de queima, uma vez que nestas, o vidro atua como fundente. Diversos estudos investigam a adição de vidro descartado em massa cerâmica para produção de tijolos, telhas, blocos e até porcelanatos, porém ainda não há estudos que tratam da adição de vidro descartado em pavimento intertravado de argila. Portanto, o presente estudo propõem a incorporação de vidro descartado em pavimento intertravado de argila vermelha e caulim, caracterizado por seu aspecto rústico e coloração natural. Para tanto, a presente pesquisa estuda o comportamento físico e mecânico de corpos de prova em função da concentração de vidro e da temperatura de queima. O estudo divide-se em um artigo e uma patente de invenção. O artigo investiga as propriedades físicas (retração linear de queima, absorção de água e densidade) e mecânicas (resistência mecânica à compressão e flexão) de uma massa cerâmica constituída de argila vermelha e adição de 40% de vidro sodo-cálcico e queima entre 900 e 1100 °C. Já a patente estuda as propriedades de um pavimento intertravado de argila caulim com incorporação de 40 e 60% de vidro sodo-cálcico descartado, proveniente de garrafas. Além disso, a patente de invenção descreve o processo que deve ser adotado para a obtenção de um pavimento com as propriedades necessárias às solicitações de cada classe de pavimento. Em ambos os estudos demonstrou-se viável a incorporação de vidro em massas cerâmicas. Durante a queima de cerâmicos o vidro atua como fundente devido à presença de óxidos alcalinos, reduzindo poros e densificando o material em temperaturas inferiores às tradicionais para cerâmicos, traduzindo-se em uma economia de energia. Para a produção de pavimentos intertravados para tráfego veicular leve e de pedestres, tráfego veicular pesado e piso industrial, revelou-se ser mais eficaz a utilização de argila do tipo caulim devido a sua concentração ideal de óxidos refratários. De maneira geral, foi possível a incorporação de quantidades bastante significativas (40 e 60%) de vidro sodo-cálcico em massas cerâmicas para produção de pavimento intertravado de argila.

**Palavras-chave:** Pavimento intertravado de argila, Vidro descartado, Argila vermelha, Argila caulim.

## ABSTRACT

Glass is a widely used material, however, it is far from being recycled in its entirety. A good alternative to glass recycling is its incorporation in ceramic masses that need to be burned, since in these, the glass acts as a flux. Several studies investigate the addition of discarded, since glass acts as a flux in these. Several studies investigate the addition of discarded glass in ceramic mass for the production of bricks, tiles, blocks and even porcelain tiles, but there are no studies that deal with the addition of discarded glass in interlocked clay pavement. Therefore, the present study proposes the incorporation of discarded glass in an interlocked pavement of red clay and kaolin, characterized by its rustic appearance and natural coloration. Therefore, this research studies the physical and mechanical behavior of specimens as a function of glass concentration and firing temperature. The study is divided into an article and an invention patent. The article investigates the physical (linear shrinkage, water absorption and density) and mechanical properties (mechanical compressive and flexural strength) of a ceramic mass consisting of red clay and 40% addition of soda-lime glass and burning between 900 and 1100 °C. The patent studies the properties of an interlocked kaolin clay floor with 40 and 60% incorporation of discarded soda-lime glass from bottles. In addition, the patent describes the process that must be adopted to obtain a floor with the properties required for the requirements of each floor class. In both studies the incorporation of glass in ceramic masses was feasible. During the firing of ceramics, glass acts as a flux due to the presence of alkaline oxides, reducing pores and densifying the material at temperatures lower than traditional ceramics, resulting in energy savings. For the production of interlocking pavements for pedestrian and light vehicular traffic, heavy vehicular traffic and industrial floor, the use of kaolin clay proved to be more effective due to its ideal concentration of refractory oxides. In general, it was possible to incorporate very significant quantities (40 and 60%) of soda-lime glass into ceramic masses for the production of interlocked clay floor.

**Keywords:** Interlocked clay floor, Discarded glass, Red clay, Kaolin clay.



## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	1
1 INTRODUÇÃO.....	2
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA .....	6
1.2 OBJETIVOS.....	7
1.2.1 Objetivo geral.....	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
2 CAPÍTULO 1 - ARTIGO/PATENTE: DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUEIMA PARA MASSA CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DE VIDRO.....	10
3 CAPÍTULO 2 - ARTIGO/PATENTE: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA, CERÂMICA E USO DE UMA CERÂMICA.....	21
4 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS .....	51

## **APRESENTAÇÃO**

Essa dissertação foi estruturada nas seguintes sessões: Introdução, dois Capítulos e Conclusão.

A Introdução trata sobre o processo produtivo de pavimentos intertravados constituídos de argila, suas matérias-primas, sua aplicação nos mais diversos tipos de tráfego, além do emprego do vidro sodo-cálcico residual em massas cerâmicas constituídas de argila e suas propriedades pós queima. Além disso, apresenta e argumenta a respeito de pesquisas que utilizam diferentes resíduos incorporados em blocos cerâmicos.

Os capítulos apresentam-se na forma de um artigo científico publicado nos anais do 63º Congresso Brasileiro de Cerâmica e um depósito de patente submetido ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial).

O artigo e a patente tratam do emprego de vidro residual em massas cerâmicas constituídas de argila para produção de pavimentos intertravados e a avaliação e discussão de suas propriedades após a queima.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de pavimentação que usam tanto misturas betuminosas, como os de cimento Portland, predominam em sistemas viários, o primeiro devido a suavidade do tráfego conferido pela uniformidade na pavimentação, e o segundo devido ao simplificado processo de fabricação e conseqüente baixo custo, entretanto, com juntas que propiciam um leve maior ruído e trepidar com as rodas dos veículos.

Os pavimentos de tijolos são feitos para fornecer a superfície de desgaste de rodovias, ruas, calçadas, passarelas, pátios e aplicações similares (ASTM C1232, 2017). Estes são produtos de fácil instalação e reparo, podem ser utilizados em uma ampla variedade de aplicações, incluindo vias domésticas, calçadas, e também pode ser usado onde cargas de tráfego são esperadas.

As unidades de pavimentação permeáveis podem ser especificadas para uso em pavimentação de pedestres e tráfego leve (ASTM C902, 2015), para unidades de pavimentação de concreto sólido (ASTM C936, 2018), ou para tijolo de pavimentação veicular pesado (ASTM C1272, 2017).

Argila e xisto são provenientes de rochas sedimentares sendo os mais difundidos nos continentes, cerca de 42% em volume (RONOV; YAROSHEVSKY, 2013). Esta abundância e a sua facilidade de ser encontrada praticamente pronta para uso em materiais cerâmicos tradicionais, tais como tijolos, telhas, revestimentos, tornam as argilas matérias-primas amplamente utilizadas. Apesar disso, não existem muitos trabalhos na literatura a respeito de pavimentos cerâmicos a base de argila.

Em relação ao processo de fabricação dos pavimentos de argila, estes apresentam um processo de produção similar aos tijolos de argila. O processo de queima sinteriza as partículas de argila, conferindo aos tijolos propriedades específicas como alta resistência e durabilidade (PHONPHUAK; CHINDAPRASIRT, 2015). Devido à alta demanda energética do processo de sinterização, são adicionados fundentes, que diminuem a temperatura necessária para formação da fase vítrea.

Nos trabalhos de Amaral et al. (2019) e Vieira et al (2015) foi utilizado o resíduo de rochas ornamentais como agente fundente, e se constatou que é viável esta utilização para alguns tipos de pavimentos de argila. Portanto, a indústria de

cerâmicos permite acomodar subprodutos e resíduos como aditivos fundentes (TURGUT, 2012).

Outra matéria-prima também abundante nos continentes é a sílica, o principal constituinte da maioria dos vidros (SHELBY, 2005). Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2015), a produção de vidro no país em 2015 foi de 11,5 milhões de toneladas, sendo que destas, somente 3 milhões foram recicladas, o que corresponde a 26,4% do total produzido.

Heriyanto, Pahlevani e Sahajwalla (2018) reiteram que, no mundo todo, o vidro descartado não reciclado é um fardo crescente, sendo urgentemente necessárias novas soluções que incorporem grandes volumes desse resíduo e deem-no um destino ambientalmente amigável.

Neste contexto, reciclar o vidro após o seu uso é um desafio, principalmente devido ao baixo custo de suas matérias-primas, que acabam mitigando este processo. Em cerâmicas tradicionais, existem investigações para reciclar o vidro em tijolos (LORYUENYONG et al., 2009; PHONPHUAK; KANYAKAM; CHINDAPRASIRT, 2016), porcelanas (BRAGANÇA; BERGMANN, 2004), louça sanitária (MARINONI et al., 2013), porcelanatos (LUZ; RIBEIRO, 2007; MATTEUCCI; DONDI; GUARINI, 2002; RAMBALDI et al., 2007; SOUZA et al., 2004). Nestes trabalhos, a temperatura de queima varia entre 900 e 1250 °C, com adições de até 45% em peso de vidro.

Em se tratando da composição química do vidro sodo-cálcico, Zimmer e Bragança (2019) analisaram a literatura e constataram que a composição destes é similar em trabalhos realizados nas mais variadas regiões do planeta.

Silva et al. (2018) apresentaram uma revisão da literatura relativa ao potencial uso, como matéria-prima, de vidro descartado com ênfase a produtos cerâmicos para a construção civil, tal como tijolos. Como conclusão deste trabalho, afirma-se ser oportunidade única de aumentar as receitas e diminuir a carga ambiental desse setor, considerando que é possível obter propriedades mecânicas equivalentes às de tijolos convencionais queimados em temperaturas mais altas.

Mustafi et al., (2011); Chawakitchareon e Tiansiri (2008); Chidiac; Federico (2007) afirmam que o vidro sodo-cálcico, comumente utilizado em telas monitores, garrafas e demais recipientes, possui propriedades fundentes devido ao seu teor de óxido de sódio e

sua composição não cristalina, diminuindo a temperatura necessária para a sinterização, o que caracteriza uma forma alternativa de economizar energia durante o processo de produção de tijolos. (SOUZA et al., 2004; RAMBALDI et al., 2007; TOPCU e CANBAZ, 2004). Além da redução energética, pesquisas demonstram bons resultados em propriedades mecânicas e físicas de porcelanatos produzidos com vidro descartado (LUZ; RIBEIRO, 2007).

Em termos de definição, as argilas são matérias-primas constituídas primordialmente de silicatos hidratados, de granulometria geralmente menor que 2 micrômetros, que apresentam comportamento plástico quando adicionada uma determinada quantidade de água (VELDE; MEUNIER, 2008).

Os argilominerais exibem uma grande diversidade em composição por causa de suas amplas faixas composicionais de soluções sólidas e sua capacidade de formar cristais polifásicos por interstratificação, por isso, o mais importante é entender por que sua estrutura cristalina lhes proporciona uma diversidade de composição de alcance (MEUNIER, 2005). Além disso, um único depósito de argila pode conter uma variedade de argilominerais juntamente com impurezas (FAHRENHOLTZ, 2008). Com isso, o mineral argila é constituído fundamentalmente de argilominerais minoritariamente consorciados a impurezas, tais como matéria-orgânica coloidal, quartzo, feldspato, carbonatos e sulfatos.

Quando expressadas quimicamente na forma de óxidos, os minerais argila apresentam um predomínio de  $\text{SiO}_2$ , geralmente entre 40 e 70% em massa, também é comum haver de 10 a 30 % em massa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Adicionalmente, óxidos alcalinos compõem praticamente o restante. Também podem estar presentes como resultados de análises químicas óxidos de metais de transição, tais como os de ferro e titânio.

As argilas podem ser classificadas de distintas formas, Motta et al., (2004) classifica as argilas em dois grupos principais, com base na cor de queima: argilas de queima avermelhada e argilas de queima clara. As argilas exibem cor de queima clara devido ao baixo teor de óxidos corantes, como o de ferro, e normalmente por serem constituídas do argilomineral caulinita. Já as de queima avermelhada possuem maior quantidade de óxido de ferro, geralmente superior a 4% (JUNIOR et al., 2008).

Normalmente, argilas de queima clara são constituídas mais notadamente do argilomineral caulinita, neste caso chamadas de caulim, um aportador fundamental do  $Al_2O_3$  na composição química de formulações cerâmicas.

Um produto cerâmico que ainda não foi investigado quanto a inserção do vidro é o pavimento intertravado produzido com argilas, proposta a qual o presente trabalho busca avaliar, em especial, a produção de pavimentos intertravados através da reciclagem do vidro via moagem, prensagem e sinterização com argila do tipo vermelha e caulim.

Para avaliar se a adição de vidro e as diferentes temperaturas de queima são fundamentais para a obtenção das propriedades pelo pavimento faz-se uso de ferramentas estatísticas. Cita-se a análise de variância (ANOVA) que é um método para o estudo de fontes de variação nas respostas e compara a variação resultante de fontes específicas com a variação entre indivíduos que devem ser semelhantes. De modo geral, a análise de variância testa se várias populações têm a mesma média, comparando o afastamento entre as médias amostrais com a variação existente dentro das amostras. O valor de F da análise de variância para o teste da igualdade de várias médias é obtido através do quociente da variação entre as médias amostrais e a variação entre indivíduos na mesma amostra. A estatística F só pode assumir valores que sejam zero ou positivos, sendo que ela só é zero quando todas as médias amostrais são idênticas, e torna-se maior quando essas médias se afastam umas das outras. Grandes valores de F indicam contrariedade à hipótese nula (de que todas as médias populacionais são iguais) (MOORE, NOTZ e FLIGNER, 2014). Portanto, se  $F > F_c$  e  $p\text{-valor} < 0,05$  (significância do ensaio de 95%) rejeita-se a hipótese nula, ou seja, afirma-se que os corpos de prova têm propriedades diferentes

Nota-se que a análise de variância aceita ou rejeita a hipótese nula, da igualdade das médias populacionais testadas. Se a hipótese nula é rejeitada, admite-se que pelo menos uma das médias é diferente das demais, porém quais médias devem ser consideradas diferentes de quais outras? No caso de comparações múltiplas entre amostras de tamanhos iguais, um procedimento eficiente é o teste tukey que utiliza valores críticos da amplitude studentizada. A análise é realizada levando-se em conta um certo nível de significância desejado. (COSTA NETO, 2002).

Se  $T > T_c$  e  $p\text{-valor} < 0,05$  (significância do ensaio de 95%) os pares de médias analisados são estatisticamente diferentes.

## 1.1 Justificativa e problema

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos (ABIVIDRO, 2019) e Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2019), em 2011 foi reciclado cerca de 47% das embalagens de vidro no Brasil, o que corresponde a 470 mil toneladas/ano. Nos Estados Unidos, esse número foi ainda menor, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2018), a produção de vidro no país em 2015 foi de 11,5 milhões de toneladas, sendo que destas, somente 3 milhões foram recicladas, o que corresponde a 26,4% do total produzido.

Um problema que impossibilita a reutilização de vidros pela indústria vidreira é a contaminação dos cacos por terra, areia, metais, plásticos e demais impurezas. Além disso, vidros de diferentes cores não podem ser reprocessados juntos devido a mistura de pigmentos gerar um produto de tonalidade diferente da original.

No cenário atual há cada vez mais estudos que demonstram a viabilidade de incorporação de resíduos, como matérias primas, no segmento cerâmico. Destacam-se a utilização de vidro descartado na produção de tijolos, telhas, porcelanatos, entre outros. Nesse sentido ainda não há pesquisas a respeito da adição de vidro descartado para produção de pavimento intertravado de argila.

O pavimento intertravado de argila (Figura 1) é um pavimento que, por característica de suas matérias-primas, tem condições de oferecer benefícios como: longa vida útil, resistência mecânica elevada, cores naturais e facilidade de implantação e reparação. Estes fatores, associados à condição do Campus Feliz estar localizado em um polo industrial de cerâmica vermelha, o Vale do Caí, acabou despertando o interesse para o desenvolvimento deste pavimento utilizando as condições locais de matérias-primas e processos já conhecidos. O Vale do Caí é tradicional e relevante perante o Estado do Rio Grande do Sul na produção de cerâmica vermelha (tijolos, telhas e blocos cerâmicos), sendo que o estado é o terceiro maior produtor de cerâmica vermelha no país (RODRIGUES, 2012). Além da cerâmica vermelha, também investigou-se o comportamento do vidro descartado frente a uma

argila de cor de queima clara como o caulim, abundante na região de Pantano Grande (RS).



Figura 1 - Pavimento intertravado de argila

A produção de produtos de concreto destinados ao suporte na pavimentação também destaca-se na região. Estes produtos de concreto poderiam ser fabricados a partir de argilas, as quais são abundantes e de boa qualidade nesta mesma região. Espera-se que os pavimentos de argila apresentem maior resistência ao desgaste e conservação da cor frente a ação da radiação solar e de chuvas, que tem um leve caráter ácido.

Apesar de o pavimento de argila fazer parte dos insumos utilizados na construção civil, este possui um mercado distinto dos tijolos e telhas cerâmicas. Além disso, o processo tecnológico da produção de blocos cerâmicos está intimamente relacionado ao processo de produção de pavimentos intertravados de argila, bem como ambos os processos podem operar utilizando a mesma planta produtiva. Essa diversificação de produtos pode ser uma importante alternativa de renda para empresas do ramo. Além disso, o mercado de pavimentos intertravados é crescente, haja visto a quantidade de vias que ainda precisam ser adequadamente pavimentadas.

Desse modo, o desenvolvimento deste estudo justifica-se em decorrência da preocupação ambiental a respeito da disposição de vidro descartado não reutilizado, somados à condição inovadora e benefícios gerados pela produção de um produto de valor agregado como o pavimento intertravado de argila.

## 1.2 Objetivos

A presente pesquisa propõe estudar a possibilidade de produção de um pavimento intertravado preparado a partir de formulações de argila e vidro sodocálcico descartado proveniente de garrafas. Este pavimento pode ser utilizado em pavimentações de parques, jardins, calçadas, entre outros, sujeitos ao tráfego de



pedestres, veículos pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos. Dessa maneira, pretende-se formular uma composição ideal de argila e vidro para obtenção de melhores propriedades físicas e mecânicas do pavimento e a reutilização de um resíduo como o vidro e sua incorporação em um produto de valor agregado.

### 1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral desenvolver um produto cerâmico de caráter inovador, pois este é pouco difundido no Brasil, o qual consiste em um pavimento produzido a partir de argilas com incorporação de vidro descartado sodo-cálcico, e que apresente características suficientes ao seu emprego na pavimentação. Dessa forma é necessário identificar as proporções argila/vidro ideais bem como conhecer suas propriedades e características após queima.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Verificar a possibilidade de inserção de vidro sodo-cálcico descartado na formulação com argilas, empregando argila vermelha e argila caulim;
- Determinar uma formulação com a quantidade ideal de vidro sodo-cálcico para obtenção de um pavimento que atenda às solicitações necessárias ao tipo de pavimentação ao qual será destinado;
- Determinar a melhor faixa de temperatura de queima para a obtenção de um pavimento com propriedades físicas e mecânicas ideais para determinada categoria de tráfego;
- Estipular o tempo de moagem necessário para obtenção da granulometria ideal das matérias-primas;
- Estimar a pressão de compactação necessária para obtenção de um pavimento coeso e com dimensões uniformes;
- Avaliar o tempo e temperatura necessários para secagem e queima do produto;
- Investigar as propriedades físicas do pavimento intertravado de argila através da determinação da retração de queima e absorção de água. Determinar suas propriedades mecânicas em relação à resistência à flexão e compressão, além de determinar a densidade dos pavimentos antes e após a queima e avaliar seu comportamento frente ao ataque ácido;

- Por consequência das propriedades investigadas, deseja-se enquadrar os pavimentos intertravados de argila, segundo as normas ASTM (American Society for Testing and Materials), para cada classe de tráfego solicitado.

**2 CAPÍTULO 1 - ARTIGO/PATENTE: DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUEIMA PARA MASSA CERÂMICA VERMELHA COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DE VIDRO**

## **Determinação de parâmetros de queima para massa cerâmica vermelha com incorporação de pó de vidro**

### **(Determination of burning parameters for red ceramic mass incorporating glass powder)**

B. P. Bohn; C. V. Muhlen, A. Zimmer  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Feliz  
Rua Princesa Isabel, 60, Feliz-RS, 95770000  
barbarapbohn@gmail.com

#### **Resumo**

*O vidro é um material amplamente utilizado, entretanto, está longe de ser reciclado em sua totalidade. Uma boa alternativa à reciclagem do vidro é a sua incorporação em massas cerâmicas, uma vez que nestas, o vidro atua como fundente. O presente trabalho investiga a curva de gresificação do vidro em uma massa cerâmica constituída de argila vermelha, de forma a obter uma representação gráfica das variações da absorção de água e retração linear de queima. Foram avaliadas duas formulações, uma constitui-se somente em argila vermelha, e a segunda de 60% argila vermelha e 40% resíduo de vidro. Variou-se as temperaturas de queima entre 900, 1000 e 1100°C e verificou-se o comportamento dos corpos de prova em relação a absorção de água, retração linear e resistência à flexão. As amostras contendo vidro residual apresentaram melhores propriedades mecânicas após a queima, sendo possível sua utilização como matéria-prima alternativa em massas cerâmicas*

*Palavras chave: argila vermelha, pó de vidro, janela de queima, curva de gresificação*

#### **Abstract**

*Glass is a widely used material, however, it is far from being recycled in its entirety. A good alternative to the recycling of glass is its incorporation in ceramics, once glass acts as a flux. The present work investigates the glass gresification curve in a ceramic clay constituted by red clay, in order to obtain a graphical representation of the variations of water absorption and linear shrink of burning. Two formulations were evaluated, one consisting only by red clay, and the second by 60% red clay and 40% glass residue. The burning temperatures were varied between 900, 1000 and 1100°C and the behavior of the proof bodies in relation to water absorption, linear shrink and flexural strength were verified. Samples containing residual glass presented better mechanical properties after burning, being possible to use them as an alternative raw material in ceramics.*

*Keywords: red clay, glass powder, burning window, gresification curve.*

## INTRODUÇÃO

O vidro é um material amplamente utilizado, entretanto, não é reciclado em sua totalidade. Ele pode ser reciclado, reutilizado e também incorporado a massas argilosas para fabricação de cerâmica vermelha, já que possui uma composição química similar a das argilas e fornece fundentes à massa cerâmica, sendo vantajosa sua incorporação [1].

No mundo todo o vidro descartado não reciclado é um fardo crescente, sendo urgentemente necessárias novas soluções que incorporem grandes volumes desse resíduo e deem-no um destino ambientalmente amigável [2]. No cenário atual há cada vez mais estudos científicos que demonstram a viabilidade de utilizar matérias primas alternativas em substituição a diferentes componentes do sistema argila-feldspato-quartzo [3] e [4].

Diferentes estudos têm destacado o benefício da inserção de partículas de vidro na produção de tijolos [5], porcelanatos [6] e espumas vítreas [7]. É possível utilizar resíduos de frascos de vidros de cor mista [8], vidro de janelas [9], vidro de lâmpadas fluorescentes [10], tubos de raios catódicos [11] e monitores LCD [12]. A inserção desses resíduos em produtos comerciais reduz seu descarte, minimizando os potenciais impactos ambientais de aterros sanitários [8].

O processo de queima sinteriza as partículas de argila, conferindo aos tijolos propriedades específicas como alta resistência e durabilidade [13]. Devido à alta demanda energética do processo de sinterização, são adicionados fundentes, que diminuem a temperatura necessária para formação da fase vítrea. Para tanto, a indústria de cerâmicos permite acomodar subprodutos e resíduos como aditivos fundentes [14].

O vidro sodo-cálcico, comumente utilizado em telas monitores, garrafas e demais recipientes, possui propriedades fundentes devido ao seu teor de óxido de sódio e sua composição não cristalina, diminuindo a temperatura necessária para a sinterização [15], [16] e [17] o que caracteriza uma forma alternativa de economizar energia durante o processo de queima de peças e materiais cerâmicos [18] e [19].

Além da redução energética, pesquisas demonstram bons resultados em propriedades mecânicas e físicas de cerâmicas e porcelanatos produzidos com resíduo de vidro e queimados a uma temperatura ideal [20]. Mas como saber qual é a temperatura ideal de queima de uma massa cerâmica? Para tanto utiliza-se a curva de gresificação que é uma representação gráfica das variações da absorção de água e retração linear do corpo de prova com a temperatura de queima. Dessa maneira, ao estabelecer uma faixa de absorção de água desejável e as variações dimensionais admissíveis no produto final, pode-se utilizar a curva de gresificação para identificar a temperatura de queima ideal, ou seja, a temperatura na qual a peça adquirirá melhores propriedades físicas e mecânicas [21].

O presente trabalho investiga o efeito da adição de resíduo de vidro a uma massa cerâmica

constituída de argila vermelha sobre a curva de gresificação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Diferentes produtos cerâmicos necessitam de características particulares e para tanto utilizam-se massas com diferentes composições de matérias-primas. A primeira constitui-se somente de argila vermelha, e a segunda é uma mistura de 60% argila vermelha e 40% pó de vidro. O vidro é proveniente de garrafas do tipo long neck na cor âmbar. As mesmas foram lavadas, secas em estufa a 150°C por 24h e moídas em moinho de martelos. A argila vermelha é proveniente da região do Vale do Cai/RS, caracterizada por ser composta predominantemente de caulinita, quartzo e hematita [22]. e foi seca em estufa a 120°C por 24h antes de ser moída em moinho de martelos. Após a preparação das duas diferentes formulações procedeu-se a uma segunda moagem. As formulações foram moídas em moinhos de bolas por 30 minutos. A segunda moagem tem como objetivo homogeneizar e reduzir ainda mais o diâmetro das partículas de argila e vidro. As formulações foram umidificadas com aproximadamente 10% de água e após 24h de repouso efetuou-se a prensagem uniaxial dos corpos de prova. Os mesmos obtiveram, aproximadamente, as dimensões de 76,6 x 36,6 x 12,6mm. Para cada temperatura de ensaio utilizou-se cinco corpos de prova de cada formulação.

Para garantir a qualidade e estabilidade dimensional dos corpos de prova após queima, procedeu-se a uma secagem lenta e gradual. A secagem inicia com a permanência dos corpos de prova em temperatura ambiente por 24h, logo após os mesmos são mantidos em estufa a 50°C por mais 24h e, finalmente, secos a 150°C por 24h. A fim de elaborar a curva de gresificação a queima foi realizada em três temperaturas diferentes: 900, 1000 e 1100°C em um patamar de 100°C/min. Após a queima as amostras foram caracterizadas em relação à retração linear de queima, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Para observar o efeito da adição de vidro sobre as propriedades dos corpos de prova queimados, a amostra de argila pura foi utilizada como referência

Todos os dados foram tratados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e testes tukey no software Microsoft® Excel. A análise de variância inicia-se com o pressuposto de que as amostras possuem propriedades iguais (hipótese nula). Para avaliar essa afirmação deve-se comparar os valores de  $F$  e  $F_c$  (crítico) fornecidos pelo software citado. Se  $F > F_c$  e  $P_{valor} < 0,05$  (significância do ensaio de 95%) rejeita-se a hipótese nula, ou seja, afirma-se que os corpos de prova têm propriedades diferentes. Parte-se do mesmo princípio para o teste tukey. Se  $T > T_c$  (crítico) e  $P < 0,05$  rejeita-se a hipótese nula, ou seja, afirma-se que diferentes temperaturas de queima resultam em diferentes propriedades mecânicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I exibe os resultados obtidos para as propriedades de retração, absorção de água e resistência à flexão para as duas amostras em diferentes temperaturas de queima.

Observando a Figura 1 percebe-se que a retração linear dos corpos de prova contendo somente argila vermelha aumentou, enquanto que a absorção de água diminuiu com o aumento da temperatura de queima.

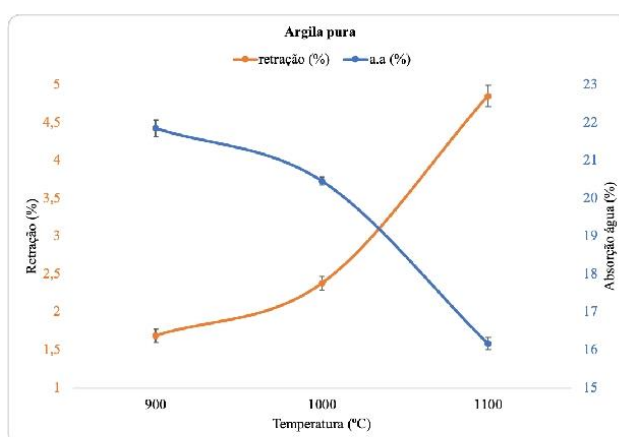


Figura 1 – Curva de gresificação para argila pura

O mesmo comportamento em relação a absorção de água ocorreu com as amostras contendo vidro (Figura 2), porém, percebe-se que esses corpos de prova absorveram muito menos água em relação àqueles constituídos de argila pura. Também fica claro que a redução da absorção de água tem relação direta com a temperatura de queima pois essa diminuiu com o aumento da temperatura. As amostras contendo pó de vidro queimadas a 900°C apresentaram uma diminuição na absorção de água da ordem de 38% comparadas às amostras de argila pura, aquelas queimadas a 1000°C apresentaram 44% de redução e as queimadas a 1100°C, 52% de redução de absorção. Acredita-se que esse comportamento a 1100°C tenha ocorrido devido a formação de poros fechados nas amostras.

Em relação à retração linear houve um aumento no mesmo com a elevação da temperatura de queima e também com a adição de pó de vidro. Observando a Figura 2 percebe-se que a menor retração linear ocorreu nas amostras queimadas na maior temperatura de queima (1100°C). Acredita-se que isso tenha ocorrido devido a sobrequeima. A sobrequeima deve ser evitada pois, além de gerar alterações dimensionais, surte prejuízos em propriedades técnicas, que são decorrentes do aumento do volume ocupado pelos poros fechados na microestrutura

63º Congresso Brasileiro de Cerâmica  
04 a 07 de agosto de 2019, Bonito, MS

final das peças. Portanto deseja-se que propriedades como baixa absorção de água e elevada resistência mecânica sejam obtidas sem que o fenômeno de sobrequeima se manifeste [23].

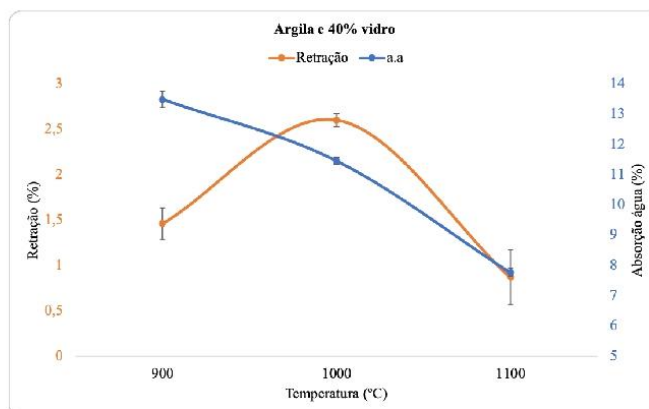


Figura 2 – Curva de gresificação para argila com adição de 40% vidro

Após a queima a 1100°C percebeu-se a formação de bolhas de vidro na superfície dos corpos cerâmicos. Supõem-se que o vidro tenha sido arrastado juntamente com os gases que deixam a peça durante a queima. A Figura 3 ilustra as peças queimadas a 1100°C em b) percebem-se as bolhas de vidro na superfície.

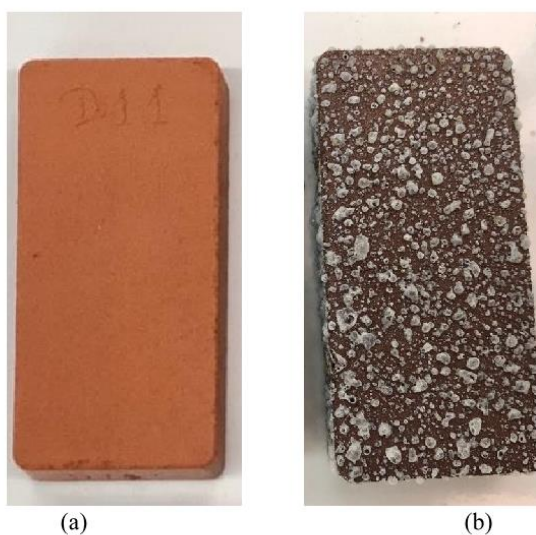


Figura 3 - Corpos de prova queimados a 1100°C. a) amostras de argila pura b) amostras de argila com adição de 40% pó de vidro.



A Figura 4 ilustra o comportamento dos corpos de prova quando submetidos à flexão em função da temperatura de queima. Fica evidente que a adição de pó de vidro e o aumento da temperatura de queima foram fundamentais para os resultados obtidos. As amostras contendo pó de vidro queimadas a 900°C mais que dobraram a resistência à flexão em comparação às amostras de argila pura, as queimadas a 1000°C apresentaram uma melhora de 83% nessa propriedade, enquanto que as queimadas a 1100°C elevaram em 73% sua resistência à flexão.

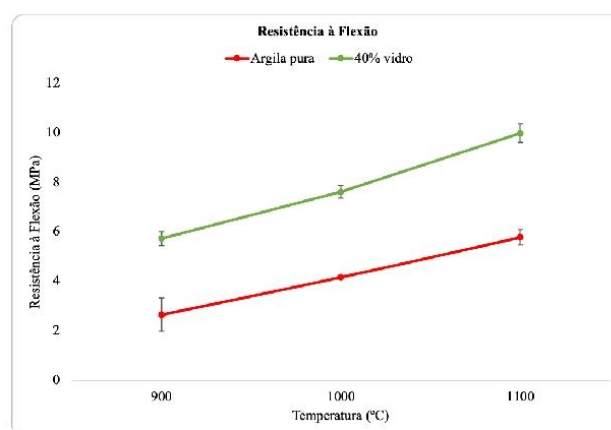


Figura 4 - Resistência à flexão dos corpos de prova de argila pura e com adição de 40% de pó de vidro

As amostras contendo pó de vidro auxiliam na sinterização do corpo cerâmico, elas envolvem as partículas de argila e reduzem a incidência de poros, densificando o material e causando sua retração, isso explica os melhores resultados de resistência à flexão e a menor absorção de água. Em se tratando dos corpos de prova queimados a 1100°C acredita-se que os mesmos poderiam ter adquirido melhores propriedades mecânicas se não tivessem sofrido sobrequeima, o que comprova que para a adição de 40% de pó de vidro essa temperatura de queima não foi adequada.

A Tabela I ilustra os resultados obtidos para as propriedades avaliadas no presente trabalho. A fim de avaliar se houve diferença nas propriedades físicas e mecânicas adquiridas pelos corpos de prova com incorporação de pó de vidro e em função das diferentes temperaturas de queima realizou-se a análise de variância.

Tabela I- Resultados ANOVA

	<b>Retração</b>	<b>Absorção</b>	<b>Flexão</b>
<b>F temperaturas</b>	241,2869	4291,5391	242,2874
<b>Fc temperaturas</b>	3,4028	3,4028	3,4028
<b>F concentrações</b>	730,9829	27746,1915	684,3506
<b>Fc concentrações</b>	4,2597	4,2597	4,2597
<b>P valor temperaturas</b>	1,2700E-16	2,2094E-31	1,2198E-16
<b>P valor concentrações</b>	1,7400E-19	2,7995E-38	3,7477E-19

O ensaio foi realizado em função das concentrações e temperaturas de queima das amostras. Analisando os resultados da Tabela I pode-se afirmar que a adição de 40% pó de vidro e as diferentes temperaturas de queima resultaram em diferentes propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova. Dessa maneira procedeu-se ao teste Tukey para analisar se há diferença entre as temperaturas de queima para cada composição de massa cerâmica. Fixou-se a composição e variou-se as temperaturas de queima (Tabela II). Analisando as Tabelas I e II pode-se afirmar que a adição de pó de vidro resultou em diferentes propriedades mecânicas do corpo cerâmico, assim como diferentes temperaturas de queima influenciam nas mesmas.

Tabela II- Resultados Tukey

	<b>T</b>	<b>Tc</b>	<b>P</b>
(continua)			
<b>Retração argila pura</b>			
900 e 1000°C	11,7818	2,3060	2,4654E-06
1000 e 1100°C	32,5697	2,3646	6,6557E-09
900 e 1100°C	41,1574	2,3646	1,3034E-09
<b>Retração 40% vidro</b>			
900 e 1000°C	21,8585	2,3060	2,0244E-08
1000 e 1100°C	15,4828	2,5706	2,0410E-05
900 e 1100°C	5,1775	2,5706	0,0035
<b>Absorção argila pura</b>			
900 e 1000°C	12,7603	2,4469	1,4219E-05
1000 e 1100°C	49,2416	2,3646	3,7287E-10
900 e 1100°C	46,3033	2,3646	5,7291E-10
<b>Absorção 40% vidro</b>			
900 e 1000°C	33,3160	2,7764	4,841E-06
1000 e 1100°C	66,9787	2,7764	2,9769E-07
900 e 1100°C	70,4510	2,3060	1,8349E-12

63º Congresso Brasileiro de Cerâmica  
04 a 07 de agosto de 2019, Bonito, MS

	(conclusão)		
<b>Flexão argila pura</b>	<b>T</b>	<b>Tc</b>	<b>P</b>
<b>900 e 1000°C</b>	5,0703	2,7764	0,0071
<b>1000 e 1100°C</b>	11,0438	2,7764	0,0004
<b>900 e 1100°C</b>	9,4165	2,4469	8,1518E-05
<b>Flexão 40% vidro</b>	<b>T</b>	<b>Tc</b>	<b>P</b>
<b>900 e 1000°C</b>	10,8302	2,3060	4,6656E-06
<b>1000 e 1100°C</b>	11,4959	2,3646	8,4761E-06
<b>900 e 1100°C</b>	20,4112	2,3646	1,6989E-07

### CONCLUSÕES

A adição de pó de vidro tem efeito positivo na sinterização das massas cerâmicas de argila vermelha pois resultou em melhores propriedades dos corpos de prova queimados, pois verificou-se maior densificação das peças após queima, o que denota maior sinterização.

Analisando a curva de gresificação pode-se concluir que a temperatura de queima de 1100°C não foi adequada para as amostras contendo 40% de pó de vidro pois houve uma sobrequeima desta fórmula, o que corrobora com a afirmação de que o vidro promove a sinterização e queima das peças a uma temperatura menor que as tradicionais.

Os dados tratados estatisticamente revelam que a melhora das propriedades mecânicas dos corpos cerâmicos foi possível com a adição de pó de vidro e com o aumento da temperatura de queima, ressalvadas as características superficiais das peças queimadas a 1100°C devido a formação de bolhas de vidro. Portanto, conclui-se que em temperaturas de 900 a 1000°C houve uma melhora pouco expressiva das propriedades de resistência à flexão e absorção de água, em contrapartida a temperatura de 1100°C ultrapassa o ponto ideal de queima para a mistura argila e 40% de pó de vidro pois ocorre a sobrequeima.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFRS pelo fomento disponibilizado ao desenvolvimento de projeto em que se insere o presente artigo.

### REFERÊNCIAS

- [1] K. O. Godinho, J. N. F. de Holanda, A. G. P. da Silva, Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro, SP, 2005.
- [2] Heriyanto, F. Pahlevani, V.Sahajwalla. From waste glass to building materials - An innovative sustainable solution for waste glass. Journal of Cleaner Production, 191 (2018), p. 192-206.

- [3] Ahmad, F., Mujah, D., Hazarika, H., Safari, A. Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications. *Journal of Cleaner Production* 35 (2012) p. 102-107.
- [4] Andreola, F., Leonelli, C., Manfredini, T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: state of art and glass case studies. *Ceramics International*. 42 (2016a) p. 13333-13338.
- [5] M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, C. Zanelli. Recycling PC and TV waste glass in clay bricks and roof tiles. *Elsivier*, 29 (2009) p. 1945-1951.
- [6] Luz, A.P., Ribeiro, S. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. *Ceramics International* 33 (2007), p. 761-765.
- [7] D'Amore, G., Caniato, M., Travan, A., Turco, G., Marsich, L., Ferluga, A., Schmid, C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. *Journal of Cleaner Production*, 165 (2017) p. 1306-1315.
- [8] Gong, Y., Dongol, R., Yatongchai, C., Wren, A.W., Sundaram, S.K., Mellott, N.P. Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams. *Journal of Cleaner Production*, 112 (2016) p. 4534-4539.
- [9] Granzotto, N.; Bettarello, F.; Ferluga, A., Marsich, L.; Schmid, C.; Fausti, P.; Caniato, M., 2017. Energy and acoustic performances of windows and their correlation. *Energy and Buildings*, 136, p. 189-198.
- [10] Mugoni, M., Montorsi, C., Siligardi, F., Andreola, I., Lancellotti, E., Bernardo, L., Barbieri, L. Design of glass foams with low environmental impact. *Ceramics International*. 41 (2015) p. 3400-3408.
- [11] Singh, N., Li, J., Zeng, X. Solutions and challenges in recycling waste cathoderay tubes. *Journal of Cleaner Production*. 133 (2016) p. 188-200.
- [12] Kim, K., Kim, K. Valuable Recycling of waste glass generated from the liquid crystal display panel industry. *Journal of Cleaner Production*, 174 (2018) p. 191-198.
- [13] Phonphuak, N., Kanyakam, S., Chindaprasirt, P. Utilization of waste glass to enhance physicalemental properties of fired clay brick. *Journal of Cleaner Production*. 112 (2016) p. 3057-3062.
- [14] Turgut, P. Manufacturing of building bricks without Portland cement. *Journal of Cleaner Production*. 37 (2012), 361-367.
- [15] Mustafi, S., Ahsan, M., Dewan, H., Ahmed, S., Khatun, N., Absar, N. Effect of waste glass poder on physico-mechanical properties of ceramic tiles. *Journal of Science Research*. 24 (2011), p. 169-180.
- [16] Chawakitchareon, P., Tiansiri, W. Utilization of glass scrap as raw material for ceramic tile production. *Thai Environmental Engineering Journal*, 1(2008) p. 103- 112.
- [17] Chidiac, S.E.; Federico, L.M. Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick. *Can. J. Civil Eng.* 2007, 34, p. 1458-1466.
- [18] Rambaldi, E., Carty, W.M., Tucci, A., Esposito, L. Using waste glass as a partial flux substitution and pyroplastic deformation of a porcelain stoneware tile body. *Ceramics International*. 33 (2007), p. 727-733.
- [19] Topcu, I.B., Canbaz, M. Properties of concrete containing waste glass. *Cement Concrete Research* 34 (2004), 267-274.
- [20] L, A.P., Ribeiro, S. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. *Ceramics International* 33 (2007), p. 761-765.
- [21] F. G. Melchiades, E. Quinteiro, A. O. Boschi. A curva de gresificação: parte I. *Cerâmica Industrial*, São Carlos, 1996, 01, p. 30-31
- [22] J. E. Zorzi, S. G. Echeverregaray, J. V. Emiliano, C. A. Perottoni, R. C. D. Cruz. Caracterização de matérias-primas cerâmicas do Vale do Rio Caí. *Cerâmica* 58 (2012), p. 509-515.

63º Congresso Brasileiro de Cerâmica  
04 a 07 de agosto de 2019, Bonito, MS

[23] M. Magalhães, F. Contartesi, L. R. S. Conserva, F. G. Melchiades, A. O. Boschi. Efeitos do ciclo de queima sobre as temperaturas de mínima absorção de água e máxima densificação de porcelanatos. *Cerâmica Industrial* 19 (2), 2014, p. 20-25.

### 3 CAPÍTULO 2 - ARTIGO/PATENTE: PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA, CERÂMICA E USO DE UMA CERÂMICA



21/10/2019 870190106079  
10:29  
29409161911533753

#### Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2019 022030 9

#### Dados do Depositante (71)

---

##### Depositante 1 de 1

**Nome ou Razão Social:** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL

**Tipo de Pessoa:** Pessoa Jurídica

**CPF/CNPJ:** 10637926000146

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Jurídica:** Órgão Público

**Endereço:** Rua General Osório, 348, Centro

**Cidade:** Bento Gonçalves

**Estado:** RS

**CEP:** 95700000

**País:** Brasil

**Telefone:** (54) 34493300

**Fax:**

**Email:** nit@ifrs.edu.br

#### Dados do Pedido

---

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA, CERÂMICA E USO DE UMA CERÂMICA

**Resumo:** A presente invenção descreve um processo de produção de cerâmica, uma cerâmica obtida por esse processo e o uso dessa cerâmica como pavimento. A presente invenção se situa nos campos da Química e da Engenharia de Materiais.

**Figura a publicar:** 1

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 21/10/2019 às 10:29, Petição 870190106079

**Dados do Inventor (72)**

---

**Inventor 1 de 3****Nome:** BÁRBARA PANZENHAGEN BOHN**CPF:** 01312815000**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Estudante de Pós Graduação**Endereço:** RS 452 km 3, 160**Cidade:** Feliz**Estado:** RS**CEP:** 95770-000**País:** BRASIL**Telefone:** (51) 363 74408**Fax:****Email:** barbarapbohn@gmail.com**Inventor 2 de 3****Nome:** ANDRÉ ZIMMER**CPF:** 89100115053**Nacionalidade:** Brasileira**Qualificação Física:** Professor do ensino profissional**Endereço:** Rua Júlio de Castilhos, 282, ap 401**Cidade:** Feliz**Estado:** RS**CEP:** 95770-000**País:** BRASIL**Telefone:** (51) 363 74408**Fax:****Email:** andre.zimmer@feliz.ifrs.edu.br**Inventor 3 de 3****PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 21/10/2019 às 10:29, Petição 870190106079

**Nome:** CRISTIANE VON MÜHLEN

**CPF:** 04267919089

**Nacionalidade:** Brasileira

**Qualificação Física:** Estudante de Graduação

**Endereço:** Av Voluntários da Pátria, 1376 Bloco A, ap 103

**Cidade:** Feliz

**Estado:** RS

**CEP:** 95770-000

**País:** BRASIL

**Telefone:** (51) 363 74408

**Fax:**

**Email:** cristianevonmuhlen@gmail.com

#### Documentos anexados

---

Tipo Anexo	Nome
Declaração de período de graça	5_declarac_ão de período de grac_a.pdf
Relatório Descritivo	1_Relato´rioDescritivo.pdf
Reivindicação	2_Reivindicac_õ~es.pdf
Resumo	3_Resumo.pdf
Desenho	4_Figuras.pdf
Comprovante de pagamento de GRU 200	2019GR800053.pdf

#### Acesso ao Patrimônio Genético

---

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

#### Declaração de Divulgação Anterior Não Prejudicial

---

- Artigo 12 da LPI - Período de Graça.

#### Declaração de veracidade

---

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**PETICIONAMENTO  
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 21/10/2019 às 10:29, Petição 870190106079





**Título:** Desenvolvimento de Pavimentos Cerâmicos  
**Autor:** Cristiane Von Muhlen  
**E-mail do autor:** cristianevonmuhlen@gmail.com  
**Orientador:** André Zimmer  
**E-mail do orientador:** andre.zimmer@feliz.ifrs.edu.br  
**Coautores:** Tainá Klein; Bárbara Panzenhagen Bohn

Área: Pesquisa	Eixo temático: Engenharias
----------------	----------------------------

### Resumo

Este trabalho busca investigar a produção de pavimentos cerâmicos, conhecidos como adoquim, incorporando a sua formulação o vidro de vasilhames descartados. No Brasil, a utilização de adoquim é pouco difundida, geralmente utiliza-se pavimentos fabricados com concreto, relacionados por uma grande emissão do gás carbônico. O desenvolvimento do adoquim pode ser uma boa alternativa de utilização do vidro descartado. Para o desenvolvimento experimental, foram definidas formulações de argila pura, para fins de referência, outra de argila e 40% em peso de vidro e uma terceira de argila com 60% vidro. Inicia-se o processo a partir da moagem e homogeneização da mistura, umidificação, conformação por prensagem uniaxial, secagem, e queima em temperaturas de 900, 950 e 1000 °C. E, por fim, são realizados ensaios como: capacidade de atender tolerâncias dimensionais, resistência característica à flexão, absorção de água e inspeção visual. Com base nos testes já realizados, a introdução de matéria vítrea ao adoquim, a uma temperatura de 900°C, mostrou-se eficiente na melhora da sinterização do pavimento, atendendo os requisitos de resistência à flexão e absorção de água. Para temperaturas maiores, principalmente em 1000 °C, observou-se valores de aproximadamente: 6%, para a retração de queima; 0,3%, para a absorção de água; e 37 MPa, para a resistência mecânica. Conclui-se, portanto, que a introdução do vidro ao adoquim, tem possibilitado melhorias em suas propriedades finais, além de viabilizar uma queima a uma temperatura correspondente as indústrias cerâmicas da região, ou seja, entre 880 e 930°C.

### **Relatório Descritivo de Patente de Invenção**

#### **PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA, CERÂMICA E USO DE UMA CERÂMICA**

##### **Campo da Invenção**

**[0001]** A presente invenção descreve um processo de produção de cerâmica, uma cerâmica obtida por esse processo e o uso dessa cerâmica como pavimento. A presente invenção se situa nos campos da Química e da Engenharia de Materiais.

##### **Antecedentes da Invenção**

**[0002]** Argilas são matérias-primas constituídas primordialmente de silicatos hidratados, denominados argilominerais, de caráter inorgânico, de granulometria fina (menor que 2 micrômetros), que apresentam comportamento plástico quando adicionada uma determinada quantidade de água.

**[0003]** Os argilominerais exibem uma grande diversidade em composição por causa de suas amplas faixas composicionais de soluções sólidas e sua capacidade de formar cristais polifásicos por interstratificação, por isso, o mais importante é entender por que sua estrutura cristalina lhes proporciona uma diversidade de composição de alcance (MEUNIER, 2005). Além disso, um único depósito de argila pode conter uma variedade de argilominerais juntamente com impurezas (Fahrenholtz, 2008). Com isso, o mineral argila é constituído fundamentalmente de argilominerais minoritariamente consorciados a impurezas, tais como matéria-orgânica coloidal, quartzo, feldspato, carbonatos e sulfatos.

**[0004]** Quando expressadas quimicamente na forma de óxidos, os minerais argila apresentam um predomínio de  $\text{SiO}_2$ , geralmente entre 40% e 70% em massa, também é comum haver de 10% a 30 % em massa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Adicionalmente, óxidos alcalinos compõem praticamente o restante. Também podem estar presentes como resultados de análises químicas óxidos de metais

2/19

de transição, tais como os de ferro e titânio.

**[0005]** As argilas podem ser classificadas de distintas formas, Motta et al. (2004) classifica as argilas em dois grupos principais, com base na cor de queima - argilas de queima avermelhada e argilas de queima clara. As argilas exibem cor de queima clara devido ao baixo teor de íons corantes, como o de ferro, e normalmente por serem constituídas do argilomineral caulinita.

**[0006]** Normalmente, argilas de queima clara são constituídas mais notadamente do argilomineral caulinita, neste caso são chamadas de caulim, um apontador fundamental do  $Al_2O_3$  na composição química de formulações cerâmicas.

**[0007]** Argilas ricas em matéria orgânica devem ter maior controle da atmosfera de queima, a fim de que haja oxigênio o suficiente para evitar a formação de manchas escuras na superfície das peças ou o defeito chamado coração negro.

**[0008]** Matérias-primas fundentes podem ser naturais ou sintéticas ou mesmo obtidas a partir de resíduos sólidos industriais de caráter inorgânico e que tem a finalidade de diminuir a temperatura de queima das massas cerâmicas por meio da formação de fase vítrea viscosa de baixa temperatura, favorecendo o processo de sinterização, promovendo o fechamento da porosidade (OLIVEIRA e HOTZA, 2015).

**[0009]** Tradicionalmente, na fabricação de cerâmicas, os feldspatos e/ou feldspatoides são utilizados como fundentes, pois são matérias-primas abundantes.

**[0010]** Os elementos mais eficientes para promover a formação de fase vítrea são os óxidos alcalinos ( $Na_2O$  e  $K_2O$ ) e alcalino-terrosos ( $CaO$  e  $MgO$ ) (Riella, Franjndlich e Durazzo, 2002). Esses óxidos também estão presentes em vidros sodo-cálcicos. Nem todo o vidro é à base de silicato. O vidro sodo-cálcico é baseado em  $SiO_2-Na_2O-CaO$  (geralmente contendo  $MgO$  e  $Al_2O_3$ ). É relativamente barato e durável e é amplamente utilizado nas indústrias de construção e embalagem (Carter e Norton, 2013).

**[0011]** Argilas são associadas à alta plasticidade e, quando excessiva, resulta em defeitos dimensionais que ocorrem após a secagem e queima das peças. Além disso, a baixa concentração de material fundente ( $K_2O$  e  $Na_2O$ ) caracteriza um comportamento refratário e prejudica a sinterização durante a queima, resultando em maior porosidade associada a elevados valores de absorção de água e baixa resistência mecânica. (VIEIRA et al., 2007; MONTEIRO, PEÇANHA e VIEIRA, 2004).

**[0012]** Para tanto se utilizam fundentes na massa cerâmica, pois sua presença permite a obtenção de uma fase vítrea, durante a queima do material, em temperaturas mais baixas, promovendo melhor sinterização, ou seja, empacotamento das partículas, reduzindo a incidência de poros e tornando o material mais denso. É comum a utilização de feldspatos como agente fundente em massas cerâmicas, pois estes permitem reduzir a temperatura como também o tempo de queima. Outro material utilizado em massas cerâmicas é o pó de vidro. (LUZ e RIBEIRO, 2008; TUCCI et al., 2004; MATTEUCCI, DONDI e GUARINI, 2002).

**[0013]** Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2018), a produção de vidro no país em 2015 foi de 11,5 milhões de toneladas, sendo que destas, somente 3 milhões foram recicladas, o que corresponde a 26,4% do total de vidro produzido.

**[0014]** Heriyanto et al., (2018) reitera que no mundo todo, o vidro descartado não reciclado é um fardo crescente, sendo urgentemente necessárias novas soluções que incorporem grandes volumes desse resíduo e deem-no um destino ambientalmente amigável.

**[0015]** Mustafi et al. (2011); Chawakitchareon e Tiansiri (2008); Chidiac e Federico (2007) afirmam que o vidro sodo-cálcico, comumente utilizado em telas monitores, garrafas e demais recipientes, possui propriedades fundentes devido ao seu teor de óxido de sódio e sua composição não cristalina, diminuindo a temperatura necessária para a sinterização, o que caracteriza uma forma alternativa de economizar energia durante o processo de produção

de tijolos. (Rambaldi et al., 2007; Topcu e Canbaz, 2004). Além da redução energética, pesquisas demonstram bons resultados em propriedades mecânicas e físicas de porcelanatos produzidos com resíduo vítreo. (Luz e Ribeiro, 2007).

**[0016]** Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

**[0017]** O documento BR 102016006068-0 A2 revela a incorporação de até 30% de resíduos de rochas ornamentais em massa argilosa para produção de piso intertravado. Nesse sentido a rocha supre possíveis deficiências técnicas que algumas argilas apresentam (baixo teor de fundentes e comportamento refratário durante a queima), além de promover o reaproveitamento de um resíduo. Entretanto, esse piso apresenta uma secagem lenta e um ciclo de queima da argila muito longo (mais de 120 horas) além de apresentar baixa densidade de queima e alta absorção de água.

**[0018]** O documento Cândido et al. (2013) estudou o comportamento de bloco para pavimentação com argila do tipo caulinita e incorporação de argilito e chamote. O bloco apresentou elevada resistência mecânica, podendo ser aplicado em pavimentações de vias para tráfego de veículos comerciais leves.

**[0019]** O documento BR 102015032434-0 revela um processo de inserção de até 10% de resíduo de estação de tratamento de água em massa cerâmica para produção de placa cerâmica tipo piso vitrificado usando ciclo de queima rápida (60 minutos) em altas temperaturas (1190 °C a 1250 °C).

**[0020]** O documento BR 102015010129-5 A2 revela a utilização de resíduo de vidro plano e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial de matérias-primas naturais (argila vermelha e quartzo) na produção de massa cerâmica destinada à produção de revestimento poroso denominado azulejo. Esse documento revela incorporações de no máximo 5% de resíduo de vidro e de bagaço de cinza.

**[0021]** O documento Caldas, 2012 revela um processo de produção de uma cerâmica vermelha com incorporação de até 40% de resíduo de vidro. Porém é

utilizada uma argila de composição diferente da presente invenção, resultando em cerâmicas com propriedades notoriamente inferiores.

**[0022]** Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

**[0023]** Os documentos encontrados no estado da técnica utilizam baixa porcentagem (menores que 40%) de resíduos incorporados à massa cerâmica, e também realizaram a queima da cerâmica a elevadas temperaturas (maiores que 1050 °C), além de utilizarem argilas de diferentes composições. Necessitando composições de cerâmicas mais resistentes, e de processos de produção mais eficientes e baratos.

#### **Sumário da Invenção**

**[0024]** Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir de um processo de produção de massa cerâmica a partir de uma argila contendo principalmente óxidos de silício e de alumínio e um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C. As principais vantagens desse processo é que ele pode ser realizado em baixas temperaturas (entre 750 °C e 1050 °C) e a massa cerâmica final é mais resistente à flexão e absorve menos água do que comparada com outras do estado da técnica.

**[0025]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0026]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta uma cerâmica

6/19

obtida por um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0027]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta o uso de uma cerâmica como pavimento, em que a cerâmica é obtida por um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0028]** Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

#### **Breve Descrição das Figuras**

**[0029]** São apresentadas as seguintes figuras:

**[0030]** A figura 1 mostra o resultado de um estudo comparativo entre a resistência de flexão de mistura de argila comum com vidro, e da argila utilizada na presente invenção (caulim) com vidro, variando-se a temperatura utilizada na etapa de queima. Observa-se uma clara superioridade da argila utilizada na presente invenção, principalmente em temperaturas de queima mais baixas (950 °C), e com 60% de fundente.

#### **Descrição Detalhada da Invenção**

**[0031]** Para Dondi (2006), argilas são a base das matérias-primas para a fabricação de cerâmicas tradicionais (ex: tijolos, telhas, pisos, louças sanitárias, louça de mesa etc.). Todos esses produtos são caracterizados por passarem

7/19

por vários estágios durante a fabricação, incluindo, preparação da massa, conformação, secagem e queima realizado com diferentes instrumentos e tecnologias. São três as principais linhas tecnológicas para o processamento de massas cerâmicas. Uma primeira distinção é encontrada no estágio de conformação como:

- Extrusão é usada em tijolos, telhas e algumas cerâmicas para pisos (conformação com 15% a 25% de água e queima lenta a 850 °C a 1200 °C);
- Prensagem para a maioria dos revestimentos de pisos e paredes e peças simples de mesa (conformação com 4% a 8% de água e queima rápida de 1100 °C a 1200 °C);
- Colagem por barbotina para louça sanitária ou para formas complexas de cerâmica de mesa (conformação com 30% a 45% de água e queima lenta de 1000 °C a 1300 °C).

**[0032]** As etapas de secagem e queima são realizadas com ciclos relativamente lentos para louças de mesa, sanitária, tijolos e telhas enquanto os ciclos rápidos são largamente adotados para revestimento de pisos e paredes. Além disso, diferentes condições de queima são dependentes do material cerâmico: produtos porosos (tijolos e revestimento de paredes) são queimados em baixas temperaturas em relação aos produtos densos (porcelanato).

**[0033]** Em uma concretização, a presente invenção utiliza a conformação por prensagem, necessitando menor teor de água, resultando em peças com menor retração de secagem. Segundo Biffi (2000), o excesso de umidade pode gerar uma série de problemas durante a prensagem, e por outro lado, a carência de umidade ocasiona defeitos como baixa resistência mecânica a verde.

**[0034]** Em uma concretização, com os melhores resultados, em termos de propriedades, é recomendada uma granulometria favorável ao empacotamento da massa cerâmica no momento da prensagem, ou seja, menor que 45 µm. Essa granulometria é composta por grãos mais finos provenientes da argila e



ligeiramente maiores do vidro, formando um corpo com a menor quantidade possível de vazios. Salienta-se ainda que a queima da cerâmica ocorrer em temperaturas abaixo daquelas tradicionais para revestimentos de pisos e parede (que também são obtidos pelo processo de prensagem).

**[0035]** O presente documento visa à produção de uma massa cerâmica composta pela argila com um material fundente.

**[0036]** A presente invenção apresenta um processo de produção de cerâmica com 40% a 60% de fundente, diminuindo a temperatura de queima, sendo que essa cerâmica possui propriedades físicas e mecânicas desejáveis para diversas utilidades, por exemplo, para pavimentos intertravados.

**[0037]** A fabricação de cerâmicos pode apresentar propriedades insuficientes, caso não possua 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio, em uma concretização a argila compreende menos que 2% em massa de óxido de ferro.

**[0038]** Ainda, a presente invenção apresenta em uma concretização o uso de 40% a 60% de vidro ou resíduo de vidro como material fundente para a produção de cerâmica.

**[0039]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;
- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0040]** Em uma concretização, a presente invenção apresenta um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício, pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio e

menos que 2% em massa de óxidos de ferro;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0041]** Em uma concretização, o material fundente utilizado no processo de produção de cerâmica é selecionado entre vidro, resíduo de vidro ou uma mistura de vidro e resíduo de vidro. Em uma concretização, o vidro é sodo-cálcico.

**[0042]** O vidro sodo-cálcico tem composição profundamente fundente, e neste aspecto, é mais vantajoso em relação ao feldspato. Devido à abundância e sua composição química, o vidro sodo-cálcico pode ser adicionado às massas cerâmicas para formação de fase vítrea em temperaturas de queima inferiores, resultando em materiais com reduzida porosidade, deste modo, elevando a resistência mecânica do produto cerâmico.

**[0043]** Em uma concretização, o processo de produção de cerâmica utiliza partículas de argila e material fundente com diâmetro menor que 45 µm.

**[0044]** Em uma concretização, o processo de produção de cerâmica compreende uma etapa de moagem e/ou separação de partículas de argila e material fundente, para obter tais partículas com diâmetro menor que 45 µm.

**[0045]** Em uma concretização, o processo de produção de cerâmica compreende uma etapa de queima da mistura por 10 horas a 18 horas, entre temperaturas máximas de 900 °C e 1000 °C.

**[0046]** Em uma concretização, o processo de produção de cerâmica compreende uma etapa de umidificação da mistura com 5% a 10% em massa de água. Sendo essa etapa de umidificação anterior à etapa de queima da mistura.

**[0047]** Em uma concretização, o processo de produção de cerâmica compreende uma etapa de umidificação, seguida por uma etapa de conformação por prensagem com pressão de compactação de 10 MPa a 20 MPa. Sendo essas etapas anteriores à etapa de queima da mistura.

**[0048]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta uma cerâmica

10/19

obtida por um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0049]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta o uso de uma cerâmica como pavimento, em que a cerâmica é obtida por um processo de produção de cerâmica compreendendo uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;

- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

**[0050]** Em uma concretização essas cerâmicas podem ser utilizadas como pavimento, que é amplamente utilizado em estradas para diversos tipos de tráfego, calçadas, zonas de pedestres, pátios e jardins, dentre outros. O estudo comprovou a possibilidade de utilização dessas formulações para a produção de pavimento intertravado para aplicação em pavimentação de estradas para tráfego de pedestres, tráfego veicular leve, pesado e de veículos comerciais e piso industrial.

**[0051]** Baixas concentrações de fundente (menores de 40%) dificultam a queima em menores temperaturas (reduzida densificação), e concentrações maiores de 60% dificultam propriedades de manuseio pré-queima (baixa resistência mecânica à verde), bem como favorecem defeitos de queima, tais como empenamento e sobrequeima das peças, devido ao expressivo acréscimo de fluxo viscoso que altos teores de fundente provocam.

**[0052]** É importante destacar que para a produção do pavimento cerâmico, as propriedades são intimamente influenciadas por sua densidade aparente, a qual tem relação com a porosidade, por isso é relevante que na conformação, a

11/19

densidade aparente seja, no mínimo, próxima a 2 g/cm<sup>3</sup>.

**[0053]** Ao mesmo tempo, que as composições das argilas e fundentes (vidros) são muito amplas, estes têm seus principais constituintes dentro de um espectro não tão extenso, e a formulação de pavimento cerâmico tolera bem isso.

**[0054]** A presente invenção também apresenta um destino ambientalmente correto ao resíduo de vidro não reciclável na produção de um produto com valor agregado como a massa cerâmica.

### **Exemplos**

**[0055]** Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

**[0056]** É descrito detalhadamente os resultados de formulações contendo uma argila do tipo caulinita, que pode ser denominado caulim ou argila caulínica e utilizada na composição da massa cerâmica, e é proveniente de Pântano Grande (RS). A composição química do caulim encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do caulim e perda ao fogo (P.F.) em % de massa.

<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>P.F.</b>
50,79	36,50	0,77	0,06	0,01	0,28	1,48	0,06	10,05

Fonte: CRUZ; BERGMANN e BRAGANÇA (2012)

**[0057]** As análises composicionais das principais matérias-primas de cerâmicas tradicionais são expressas na forma de óxido, pois conseguem representar todos os elementos presentes, sendo também uma boa forma de inferir propriedades de queima: refratariedade ou fundência. A argila do tipo caulinita, possui em sua composição química, uma maior quantidade de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> em sua estrutura composicional se comparada às argilas vermelhas.

12/19

Esses componentes possuem características refratárias, ou seja, possuem boa estabilidade frente a altas temperaturas devido a forte ligação química em sua rede tetraédrica formada com os átomos de oxigênio.

**[0058]** De acordo com Luz et al. (2008) quanto maior o teor correspondente ao  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em uma argila refratária, maior a sua refratariedade, sendo que esta diminui com a presença de impurezas como o ferro e óxidos alcalinos e alcalinos terrosos. Em contrapartida as argilas vermelhas possuem óxidos refratários em menor quantidade, e óxido de ferro e alcalinos em maior proporção. O teor de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) é responsável pela coloração após a queima das massas cerâmicas, quanto maior o teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mais avermelhado é o produto final. O caulim apresenta uma coloração clara, portanto baixos teores de óxido de ferro.

**[0059]** Com o aquecimento acima de  $500\text{ }^\circ\text{C}$  a caulinita perde grupos  $(\text{OH})^-$  de sua estrutura cristalina, formando um produto amorfo conhecido como metacaulinita (LUZ et al.,2008). A metacaulinita atua de forma a preencher os espaços vazios entre partículas, densificando o material, comportamento similar ao vidro, que executa o papel de agente fundentes, promovendo um produto mais denso, menos poroso e de elevada resistência mecânica.

**[0060]** É notória a atuação de óxidos alcalinos como modificadores de rede, esses se difundem na estrutura formada pelos óxidos refratários quebrando suas ligações, reduzindo as forças de ligação entre átomos, conseqüentemente prejudicando as propriedades mecânicas do produto final.

**[0061]** Analisando a Tabela 2 percebe-se que o vidro sodo-cálcico apresenta maior concentração dos óxidos de sódio e cálcio, que atuam como agentes fundentes na massa cerâmica.

**Tabela 2.** Composição química média de vidros sodo-cálcicos estudados na literatura de cerâmicas brancas com valores de % em massa.

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$
72,32	1,53	13,45	0,69	2,67	9,44	0,28	0,07

Fonte: ZIMMER e BRAGANÇA (2019)

Processo de fabricação das massas cerâmicas

**[0062]** Inicialmente, as matérias-primas, resíduo de vidro e argila, foram deixadas na forma de pós-finos em moinho de martelos e posteriormente mantidas secas em estufa a 110 °C até secagem completa.

**Tabela 3.** Propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova de três diferentes formulações após uma etapa de secagem a 110 °C.

110 °C	0%	40%	60%
<b>Retração (%)</b>	0,68 ± 0,09	0,37 ± 0,05	0,19 ± 0,10
<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	1,21 ± 0,09	0,83 ± 0,06	0,44 ± 0,06

**[0063]** Procedeu-se ao preparo das formulações de massa cerâmica; uma contendo 100% argila, outra com 60% argila e 40% pó de vidro e a última contendo 40% argila e 60% pó de vidro, sempre o correspondente em massa. Realizou-se uma segunda moagem das massas cerâmicas, dessa vez em moinho de bolas, para conferir menor granulometria às matérias-primas, além de auxiliar na mistura das mesmas. O ideal é que pelo menos 90% das partículas de argila e 70% das partículas de vidro apresentem tamanho de partícula inferior a 45 µm para promover o adequado processo de consolidação das partículas durante a queima, preferencialmente todas as partículas apresentam tamanho inferior a 45 µm. Umidificam-se as massas cerâmicas com água na proporção de 5% a 10% para possibilitar a conformação dos corpos de prova por prensagem uniaxial. Os melhores resultados são obtidos ao adicionar 8% de água, pois baixas quantidades não favorecem o deslizamento entre partículas, influenciando o empacotamento, e altas concentrações de água tornam as massas muito fluidas e pegajosas, podendo se infiltrar em frestas do molde, bem como ficarem aderidas ao molde após prensagem, prejudicando esta etapa.

**[0064]** A carga utilizada na prensagem foi de aproximadamente 16 MPa, resultando em peças (corpos de prova) com dimensões de aproximadamente

76,6 mm, 36,6 mm e 10,0 mm, respectivamente: comprimento, largura e espessura. A prensagem com pressão de compactação de 10 MPa a 20 MPa se mostrou a mais favorável, todavia, é possível utilizar maiores pressões, o que potencializa a formação do defeito denominado delaminação, em que regiões no formato de lamina se desprendem dentro do produto prensado devido a expressiva diferença de retorno elástico provocado por altas cargas de compactação.

**[0065]** Após a prensagem os corpos de prova foram mantidos em temperatura ambiente por 24 horas, após foram secos em estufa a 50 °C por 24 horas e depois, secos novamente em estufa a 110 °C até secagem completa. Esse processo foi empregado para garantir uma secagem lenta e gradual, evitando trincas que podem ocorrer no caso de uma secagem muito rápida e forçada. Após a secagem os corpos de prova foram queimados em forno com um patamar de 150 °C/h. O primeiro ciclo de queima foi realizado a 900 °C, o segundo a 950 °C e o terceiro a 1000 °C. Foram prensados três corpos de prova para cada formulação e temperatura de queima; cada ciclo de queima foi repetido três vezes em cada temperatura, resultando num total de 81 corpos de prova. Um ciclo de queima de 10 horas se mostrou a mais favorável, todavia, é possível realizar menores tempos de queima, o que potencializa a formação de trincas, devido ao favorecimento de tensões térmicas na peça, entre a superfície e o centro, oriundas da diferença de temperatura e consequente distintas variações das dimensões – de expansão ou retração.

**[0066]** Avaliaram-se as propriedades mecânicas dos corpos de prova queimados em função da temperatura de queima e da concentração de pó de vidro. Foram analisados retração, perda ao fogo, absorção de água e resistência à flexão dos corpos de prova queimados em diferentes temperaturas. O ensaio de compressão e a determinação da densidade dos corpos de prova foram realizados somente em amostras queimadas a 950 °C.

**[0067]** Os resultados obtidos em relação às propriedades físicas e mecânicas das peças com adição de vidro são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

Lembrando que 0% em massa caracteriza as amostras sem incorporação de vidro; 40% caracterizam as com incorporação de 40% em massa de pó de vidro e 60% as com adição de 60% em massa de pó de vidro.

**Tabela 4.** Propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova de três diferentes formulações em temperatura de queima de 900 °C.

900 °C	0%	40%	60%
<b>Retração (%)</b>	0,84 ± 0,16	2,14 ± 0,17	4,16 ± 0,12
<b>Perda ao Fogo (%)</b>	4,47 ± 0,02	2,88 ± 0,03	2,02 ± 0,03
<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	4,80 ± 0,50	10,28 ± 0,76	26,11 ± 0,83
<b>Absorção de água (%)</b>	17,08 ± 0,05	10,39 ± 0,27	5,74 ± 0,27

**Tabela 5.** Propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova de três diferentes formulações em temperatura de queima de 950 °C.

950 °C	0%	40%	60%
<b>Retração (%)</b>	1,16 ± 0,14	2,75 ± 0,07	6,85 ± 0,13
<b>Perda ao Fogo (%)</b>	5,39 ± 0,03	3,32 ± 0,03	2,21 ± 0,05
<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	7,06 ± 0,89	16,47 ± 0,91	42,35 ± 3,71
<b>Absorção de água (%)</b>	16,5 ± 0,10	9,85 ± 0,12	0,42 ± 0,04
<b>Compressão (MPa)</b>	8,64 ± 0,37	29,89 ± 5,05	61,36 ± 5,33
<b>Densidade aparente após prensagem (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,99 ± 0,01	2,02 ± 0,01	1,93 ± 0,03
<b>Densidade aparente após secagem (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,86 ± 0,01	1,87 ± 0,01	1,77 ± 0,02
<b>Densidade aparente peças queimadas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,79 ± 0,01	1,94 ± 0,05	2,12 ± 0,07

**Tabela 6.** Propriedades físicas e mecânicas dos corpos de prova de três diferentes formulações em temperatura de queima de 1000 °C.

1000 °C	0%	40%	60%
<b>Retração (%)</b>	1,3 ± 0,04	3,63 ± 0,30	6,15 ± 0,17
<b>Perda ao Fogo (%)</b>	4,81 ± 0,03	2,99 ± 0,03	2,12 ± 0,02
<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	6,8 ± 0,39	25,14 ± 1,40	38,33 ± 1,96
<b>Absorção de água (%)</b>	16,23 ± 0,10	6,94 ± 0,14	0,18 ± 0,06



**[0068]** Analisando as tabelas 4, 5 e 6 pode-se afirmar que em relação à retração linear é possível perceber que a mesma aumenta com a adição de pó de vidro e com o aumento da temperatura de queima (ressalvadas as peças de 60% vidro queimadas a 1000 °C). Esse comportamento ocorre, pois, o vidro ao atingir certa temperatura de queima, promove a sinterização das partículas via fluxo viscoso, diminuindo dessa forma a presença de poros no material, resultando em uma contração dimensional, ou seja, densificando o material, reduzindo poros e conseqüentemente tornando o produto final mais resistente mecanicamente. Percebe-se que as peças contendo 60% de vidro quando queimadas a 1000 °C apresentam menor retração que a 950 °C, o que indica o início do processo de sobrequeima, que gera alterações dimensionais nos corpos de prova devido ao aumento do volume ocupado pelos poros fechados na microestrutura previamente à temperatura final de queima, ou seja, por conseguinte há o fechamento dos poros, os quais com o aumento da temperatura, expandem, resultando numa correspondente menor retração de queima. O processo de sobrequeima pode ser evidenciado pela curva de gresificação. Ela é indicada a partir do momento em que a retração, que vem aumentando com o aumento da temperatura de queima, diminuir.

**[0069]** Em se tratando da perda ao fogo percebe-se que a amostra mais afetada foi a de argila pura devido à decomposição de impurezas e a perda de água estrutural em altas temperaturas de queima.

**[0070]** Quanto à resistência à flexão e compressão fica claro que a temperatura de queima e a adição de vidro são fatores relevantes para promover um aumento expressivo dessa propriedade, já que houve um acréscimo na resistência das peças incorporadas com pó de vidro. Esse comportamento ocorre pela formação de fase vítrea durante a queima. O vidro promove a sinterização das partículas por fluxo viscoso, densificando o material, conseqüentemente resultando em maior resistência mecânica. Aplicações de menores solicitações podem ser produzidas em 900 °C, desde que empregado o vidro, caso contrário a temperatura requerida para obter as

17/19

mesmas propriedades é maior.

**[0071]** Em relação à absorção de água o resultado é o oposto. Quanto maior a presença de vidro e maior a temperatura de queima, menor será a absorção de água dos corpos de prova. Essa propriedade está relacionada com a redução da porosidade durante a sinterização do material.

**[0072]** Em um estudo paralelo verificou-se as propriedades mecânicas de um corpo de prova composto por argila vermelha e 40% de resíduo de vidro. Percebeu-se que para as temperaturas de queima ensaiadas as amostras contendo argila vermelha e vidros apresentaram um desempenho muito inferior àquelas compostas por argila caulinitica e vidro. O resultado pode ser observado na figura 1.

**[0073]** Ou seja, utilizando a argila do tipo caulinita com maior quantidade de vidro conseguimos obter uma baixíssima absorção de água e elevada resistência mecânica, tudo isso atrelado a uma temperatura de queima inferior às tradicionais de cerâmicos que suportem maiores carregamentos que blocos e telhas cerâmicas, justamente pela concentração de vidro sodo-cálcico que atua como fundente necessitando de menor temperatura para promover a efetiva sinterização do corpo cerâmico.

**[0074]** O corpo cerâmico pode ser utilizado como pavimento intertravado de argila, que é um pavimento cerâmico de aspecto rústico, coloração natural e de fácil manejo e instalação. Suas formas geométricas permitem uma adequada distribuição de cargas impostas por diferentes tipos de tráfegos, além de permitirem diversas combinações, proporcionando um ambiente de estética harmoniosa. Os blocos intertravados são empregados na pavimentação de estradas, calçadas, pátios e jardins. (CANDIDO et al., 2013).

**[0075]** O pavimento intertravado de argila não é muito difundido no Brasil, tanto que Candido et al., (2013) questionou a não existência de uma norma que determine as propriedades técnicas para ele, que é classificado tomando como base a NBR 9781:2013 a qual é utilizada para blocos de concreto.

**[0076]** Outro fator significativo do pavimento de argila é constituir-se num

produto sustentável quando comparado ao pavimento de concreto, já que 5% das emissões globais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) resultam da produção de cimento, considerada uma das principais responsáveis pelas emissões globais de CO<sub>2</sub>. (IPCC, 2007).

**[0077]** Portanto, com base nos resultados obtidos através de dados experimentais, conclui-se que o vidro pode ser utilizado como um agente de fluxo para auxiliar a diminuir a temperatura de queima e melhorar as propriedades físicas e mecânicas das massas cerâmicas. Além disso, os pigmentos presentes no vidro propiciam uma maior possibilidade de cores à massa cerâmica, cores essas que não se perdem ao longo do tempo nem com a exposição ao sol, pois estas são estáveis; diferentemente dos corantes orgânicos que se degradam com o tempo e exposição solar.

**[0078]** Conclui-se também que as massas constituídas de argila e o resíduo vidro estão tecnicamente aptas a serem utilizadas para fabricação de pavimento intertravado para aplicação em piso industrial (ASTM C410-13) dos tipos T para as amostras contendo 40 e 60% de vidro queimadas a 950 °C e 1000 °C e para aquelas com 60% vidro queimada a 900 °C. Ainda estão aptas para aplicação como piso industrial do tipo M aquelas contendo 60% vidro queimadas a 950 °C e 1000 °C. Em se tratando de pavimentação para tráfego leve e de pedestres (ASTM C902-15) as amostras de 40 e 60% vidro enquadram-se nas classes MX e NX, inclusive as de 60% vidro ainda enquadram-se na classe SX (que exige maior resistência à compressão). Além disso, os corpos de prova incorporados com 60% de resíduo vidro também estão aptos para aplicação em pavimentações de tráfego veicular pesado (ASTM C1272-17) do tipo R. Tomando como base a norma NBR 9781, as amostras contendo 60% de vidro apresentam propriedades superiores às quais são necessárias ao emprego em pavimentação para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, além de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. O ensaio de ataque químico (ASTM C650-04) ainda revelou resistência a acidez

19/19

das amostras com incorporação de 60% vidro queimadas a 1000 °C.

**[0079]** Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

### Reivindicações

1. Processo de produção de cerâmica **caracterizado por** compreender uma etapa de queima entre 750 °C e 1050 °C de uma mistura compreendendo de:

- 40% a 60% em massa de uma argila com pelo menos 40% em massa de óxidos de silício e pelo menos 30% em massa de óxidos de alumínio;
- 40% a 60% em massa de um material fundente a uma temperatura menor que 1050 °C.

2. Processo de produção de cerâmica de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado pela** massa de argila compreender menos que 2% em massa de óxidos de ferro.

3. Processo de produção de cerâmica de acordo com a reivindicação 1 ou 2 **caracterizado pelo** material fundente ser vidro, resíduo de vidro ou uma mistura dos dois.

4. Processo de produção de cerâmica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores **caracterizado por** utilizar partículas de argila e material fundente com diâmetro menor que 45 µm.

5. Processo de produção de cerâmica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores **caracterizado por** compreender uma etapa de queima da mistura por 10 horas a 18 horas, num ciclo com temperatura máxima entre 900 °C e 1000 °C.

6. Processo de produção de cerâmica de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores **caracterizado por** compreender uma etapa de umidificação da mistura, anterior a etapa de queima, com 5% a 10% em massa de água.

7. Processo de produção de cerâmica de acordo com a reivindicação 6 **caracterizado por** compreender uma etapa de umidificação, seguida por uma etapa de conformação por prensagem com pressão de compactação de 10 MPa a 20 MPa.

2/2

8. Cerâmica **caracterizada por** ser obtida pelo processo conforme definido em qualquer uma das reivindicações anteriores.

9. Uso de uma cerâmica conforme definida na reivindicação 8 **caracterizado pela** cerâmica ser usada como pavimento.

1/1

**Resumo****PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERÂMICA, CERÂMICA E USO DE UMA CERÂMICA**

A presente invenção descreve um processo de produção de cerâmica, uma cerâmica obtida por esse processo e o uso dessa cerâmica como pavimento. A presente invenção se situa nos campos da Química e da Engenharia de Materiais.

1/1

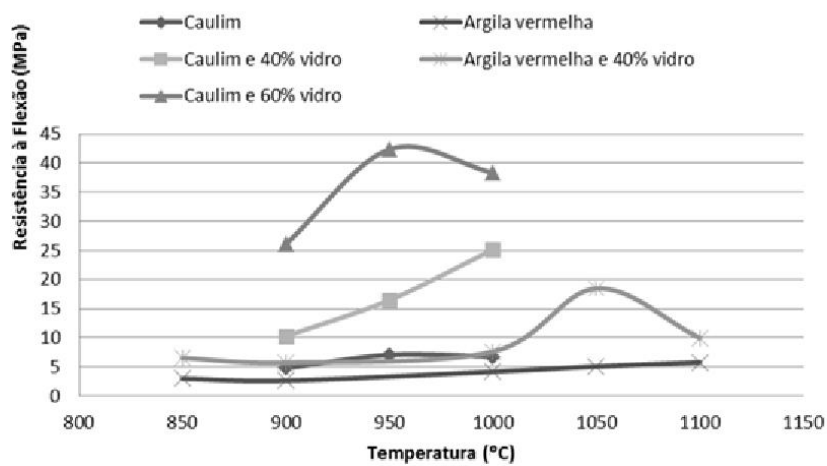
**FIGURAS**

Figura 1



\_\_ SIAFI2019-DOCUMENTO-CONSULTA-CONGRU (CONSULTA GUIA DE RECOLHIMENTO DA UNIAO  
21/10/19 10:18 USUARIO : NICOLAI  
DATA EMISSAO : 21Out19 TIPO : 1 - PAGAMENTO NUMERO : 2019GR800053  
UG/GESTAO EMITENTE : 158141 / 26419 - INST.FED.DE EDUC.,CIENC.E TEC.DO RS  
UG/GESTAO FAVORECIDA : 183038 / 18801 - INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDU  
RECOLHEDOR : 158141 GESTAO : 26419  
CODIGO RECOLHIMENTO : 72200 - 6 COMPETENCIA: OUT19 VENCIMENTO: 21Out19  
DOC. ORIGEM: 158141 / 26419 / 2019DT000051 PROCESSO : 23419.000066/2019  
RECURSO : 1  
(=) VALOR DOCUMENTO : 70,00  
(-) DESCONTO/ABATIMENTO:  
(-) OUTRAS DEDUCOES :  
(+) MORA/MULTA :  
(+) JUROS/ENCARGOS :  
(+) OUTROS ACRESCIMOS :  
(=) VALOR TOTAL : 70,00  
NOSSO NUMERO/NUMERO REFERENCIA : 00029409161911533753  
CODIGO DE BARRAS : 89610000000 0 70000001010 3 95523127220 9 00360640000 4  
OBSERVACAO  
PAGAMENTO GRU N. 29409161911533753 (EMISSÃO E ATESTE EM OUT/2019), REF. PEDIDO  
DE PATENTE DE INVENÇÃO DE AUTORIA DO SERVIDOR ANDRÉ ZIMMER, PROFESSOR EBITT DO  
LANCADO POR : 01339144026 - NICOLAI UG : 158141 21Out2019 09:25  
PF1=AJUDA PF3=SAI PF2=DADOS ORC/FIN PF4=ESPELHO PF12=RETORNA

## 4 CONCLUSÕES

A adição de pó de vidro tem efeito positivo na sinterização das massas cerâmicas de argila vermelha, pois aprimorou as propriedades dos corpos de prova queimados. Os dados estatísticos revelam que a quantidade de vidro e a temperatura de queima têm influência nas propriedades dos corpos de prova. A faixa de temperatura ideal para cerâmica vermelha com incorporação de até 40% de vidro residual encontra-se entre 900 e 1000 °C. Temperaturas superiores resultam na sobrequeima das peças, o que corrobora com a afirmação de que o vidro promove a sinterização e queima a uma temperatura menor que as tradicionais. Entretanto, mesmo respeitada a faixa de temperatura de queima ideal para argila vermelha, o incremento em suas propriedades foi pouco expressivo.

Em contrapartida, cerâmicos constituídos de caulim e vidro, queimados na mesma faixa de temperatura, apresentaram considerável melhora nas propriedades investigadas, devido a menor quantidade de impurezas, como o óxido de ferro, e a maior concentração de óxidos refratários de alumínio e silício que, combinados, promovem fortes ligações em sua estrutura cristalina. Além disso, as propriedades mecânicas são otimizadas com a presença de uma fase vítrea formada com o aquecimento do vidro, esta reduz a porosidade e densifica o material, tornando-o mais resistente mecanicamente. A menor absorção de água e maiores resistências à compressão e flexão permitem sua utilização como pavimento intertravado para tráfego veicular leve e de pedestres (formulações de caulim com incorporação de 40 e 60% vidro queimadas a 950 °C), tráfego veicular pesado (formulação de caulim com incorporação de 60% vidro queimado a 950 °C) e piso industrial (formulações de caulim com adições de 40 e 60% vidro queimados a 950 ou 1000 °C, e para a formulação de caulim com 60% vidro queimada a 900 °C), além de resistência frente ao ataque ácido para aqueles com 60% vidro queimados a 950 e 1000 °C. Portanto, conclui-se que aplicações de menores solicitações podem ser produzidas em 900 °C, desde que empregado o vidro, caso contrário a temperatura requerida para obter as mesmas propriedades é maior. O emprego de vidro em diferentes concentrações e temperaturas de queima, possibilita a produção de pavimentos para as mais diversas solicitações mecânicas e classes de tráfego. De acordo com a NBR 9781, os pavimentos intertravados de concreto necessitam de uma resistência mecânica à

compressão de pelo menos 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, e de 50 MPa para tráfegos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. Os pavimentos de argila e 60% vidro queimados a 950°C apresentaram 61,36 MPa de compressão, ultrapassando a solicitação necessária para os pavimentos de concreto.

Dessa maneira, o presente estudo demonstrou ser possível a incorporação de uma significativa quantidade de um resíduo, como o vidro sodo-cálcico descartado e não reutilizado, em uma massa cerâmica para a produção de um produto de valor agregado como o pavimento intertravado de argila. Conclui-se também que a temática abordada foi significativa, visto que ainda não há estudos a respeito da adição de vidro descartado em pavimento cerâmico intertravado de argila.

## REFERÊNCIAS

ABIVIDRO, Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. Reciclagem de vidro cresce 47% no Brasil., 2011. Disponível em: <[https://abravidro.org.br/blog/reciclagem-de-vidro-cresce-47-no-brasil-desde-1991/.](https://abravidro.org.br/blog/reciclagem-de-vidro-cresce-47-no-brasil-desde-1991/)> Acesso em: 7 nov. 2019.

CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem. 2011. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

(EPA), United States Environmental Protection Agency. **No Title**. 2015. Disponível em: <<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/glass-material-specific-data>>. Acesso em: 22 out. 2018.

AMARAL, Lucas Fonseca et al. Development of ceramic paver with ornamental rock waste. **Journal of Materials Research and Technology**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 599–608, 2019.

ASTM C1232. Standard Terminology for Masonry. **American Society for Testing and Materials**, [s. l.], p. 1–7, 2017.

ASTM C1272. Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick. **American Society for Testing and Materials**, [s. l.], 2017.

ASTM C902. Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick. **American Society for Testing and Materials**, [s. l.], p. 1–4, 2015.

ASTM C936. Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units. **American Society for Testing and Materials**, [s. l.], 2018.

BRAGANÇA, S. R.; BERGMANN, C. P. Traditional and glass powder porcelain: Technical and microstructure analysis. **Journal of the European Ceramic Society**, [s. l.], v. 24, n. 8, p. 2383–2388, 2004.

CHIDIAC, S. E.; FEDERICO, L. M. Effects of waste glass additions on the properties and durability of fired clay brick. This article is one of a selection of papers published in this Special Issue on Masonry. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 11, p. 1458–1466, 2007.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística**. São Paulo: Blucher, 2002.

- FAHRENHOLTZ, William G. Clays. **Ceramic and Glass Materials: Structure, Properties and Processing**, [s. l.], p. 111–133, 2008.
- HERIYANTO; PAHLEVANI, Farshid; SAHAJWALLA, Veena. From waste glass to building materials – An innovative sustainable solution for waste glass. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 191, p. 192–206, 2018.
- JUNIOR, M. C. et al. Argila para Cerâmica Vermelha. CETEM, Ed. 2. **Anais 2º CETEM**, 2008.
- LORYUENYONG, Vorrada et al. Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks. **Waste Management**, [s. l.], v. 29, n. 10, p. 2717–2721, 2009.
- LUZ, A. P.; RIBEIRO, S. Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures. **Ceramics International**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 761–765, 2007.
- MARINONI, Nicoletta et al. Effects of soda-lime-silica waste glass on mullite formation kinetics and micro-structures development in vitreous ceramics. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 124, p. 100–107, 2013.
- MATTEUCCI, F.; DONDI, M.; GUARINI, G. Effect of soda-lime glass on sintering and technological properties of porcelain stoneware tiles. **Ceramics International**, [s. l.], v. 28, n. 8, p. 873–880, 2002.
- MEUNIER, Alain. **Clays**. Berlin: Springer, 2005.
- MOORE, David, S.; NOTZ, William I.; FLIGNER, Michael A. **A estatística básica e sua prática**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- MOTTA, José F. M. et al. As Matérias-Primas Plásticas para a Cerâmica Tradicional : Argilas e Caulins. **Cerâmica Industrial**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 33–46, 2004.
- MUSTAFI, S. et al. Effect of waste glass powder on physico-mechanical properties of ceramic tiles. **Bangladesh J. Sci. Res.**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 169–180, 2011.
- NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. **Norma Brasileira**, 2013.
- PHONPHUAK, N.; CHINDAPRASIRT, P. **Types of waste, properties, and durability of pore-forming waste-based fired masonry bricks**. [s.l.] : Elsevier Ltd, 2015.

PHONPHUAK, Nonthaphong; KANYAKAM, Siwadol; CHINDAPRASIRT, Prinya. Utilization of waste glass to enhance physical-mechanical properties of fired clay brick. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 112, p. 3057–3062, 2016.

RAMBALDI, E. et al. Using waste glass as a partial flux substitution and pyroplastic deformation of a porcelain stoneware tile body. **Ceramics International**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 727–733, 2007.

RODRIGUES, J. Panorama da Indústria de Cerâmica Vermelha no Brasil. [s. l.], p. 1–83, 2012.

RONOV, A. B.; YAROSHEVSKY, A. A. Chemical Composition of the Earth's Crust. In: [s.l: s.n.].

SHELBY, James Emeritus. **Introduction to Glass Science and Technology**. Second ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005.

SILVA, R. V. et al. The role of glass waste in the production of ceramic-based products and other applications: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 167, p. 346–364, 2018.

SOUZA, G. P. et al. Microstructural variation in porcelain stoneware as a function of flux system. **Journal of the American Ceramic Society**, [s. l.], v. 87, n. 10, p. 1959–1966, 2004.

TURGUT, Paki. Manufacturing of building bricks without Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 37, p. 361–367, 2012.

VELDE, Bruce; MEUNIER, Alain. **The origin of clay minerals in soils and weathered rocks**. [s.l: s.n.].

VIEIRA, Mauricio Carlos Fontes; MOTTA, Thiago Samarão; MONTEIRO, Sergio Neves. CHARACTERIZATION OF FORMULATIONS WITH ORNAMENTAL ROCK WASTE AND CLAYS TO PRODUCE CERAMIC PAVER. [s. l.], p. 427–428, 2015.

ZIMMER, André; BRAGANÇA, Saulo Roca. A review of waste glass as a raw material for whitewares. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 244, n. May, p. 161–171, 2019.