

## ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA AREIA DE FUNDIÇÃO EM MASSA DE CERÂMICA VERMELHA

**Bruno Borges Frasson<sup>1\*</sup>, Tatiana Peruchi Pellegrin<sup>2</sup>, P.Q. Mantas<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Centro Universitário Barriga Verde - UNIBAVE

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, CICECO, Universidade de Aveiro-UA

\*brunofrasson@hotmail.com

**Resumo:** a expansão da economia com o advento da globalização tem provocado distorções no que diz respeito ao uso e conservação dos recursos naturais. Em função disso, é crescente a preocupação pelo modo como as nossas sociedades irão se desenvolver e igualmente necessário o planejamento para um desenvolvimento que seja capaz de preservar os recursos naturais de determinada região. Desta forma, almeja-se um desenvolvimento sustentável, que segundo o Relatório da Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente das Nações Unidas (1998), é aquele capaz de suprir as necessidades da população mundial sem comprometer as necessidades das populações futuras. É notável o crescimento industrial dos últimos anos e com ele a quantidade de resíduos gerados. Um exemplo disso são as indústrias de fundição de metais, onde um dos maiores problemas verificados é a produção de resíduos sólidos devido as areias residuais utilizadas nos moldes dos fundidos. Com o propósito de contribuir na garantia da sustentabilidade de nossa região, verifica-se a importância de investigar a viabilidade de utilização da areia de fundição empregada na moldagem de peças metálicas como matéria-prima para a produção de massa de cerâmica vermelha a fim de reduzir a quantidade de areia a ser descartada em aterros e minimizar a extração de matérias primas para a fabricação de cerâmica vermelha. A areia de fundição foi incorporada numa massa de cerâmica vermelha, constituída por uma argila vermelha e uma amarela, em proporções ponderais crescentes. Para comparação com resultados fabris, foi também preparada nas mesmas condições uma massa padrão. Os resultados de retracção linear após secagem (110 °C) e cozadura (965 °C) dos corpos de prova mostram que é benéfica a incorporação da areia de fundição até 16%. Acima desse valor, a resistência mecânica da massa cozida deteriora-se bastante, fruto do aumento da porosidade do material. A incorporação de areia de fundição na massa vermelha é, assim, uma alternativa válida para diminuir o descarte da mesma em aterros sanitários, uma vez que no Brasil são depositadas mais de dois milhões de toneladas por ano desse tipo de areia.

**Palavras-Chave:** Sustentabilidade, desenvolvimento regional, cerâmica vermelha, areia de fundição.

### 1 INTRODUÇÃO

O processo de fundição é muito antigo e através dele pode-se dar forma a uma peça metálica seja de maneira artesanal ou com técnicas mais aperfeiçoadas de siderurgia. Normalmente, os processos de fundição consistem em alimentar a cavidade de um molde com o formato requerido com metal líquido, seguindo-se de um resfriamento, a fim de produzir um objeto sólido resultante de solidificação. No caso da moldagem em areia, constrói-se um molde para cada peça a ser fundida e posteriormente ele é rompido para remover-se o fundido, ou seja, para desmoldá-lo. O maior constituinte dos moldes de areia modernos é a sílica devido a seu baixo custo, refratariedade e fácil aglutinação com argilas ou outros aditivos como por exemplo resinas fenólicas. Atualmente cerca de 80% dos produtos fundidos são fabricados através do processo de moldagem utilizando areia aglomerada. Estima-se que para uma tonelada de metal fundido seja gerado uma tonelada de

resíduo gerado mil quilogramas de resíduo, no caso areia de fundição a ser descartada. Reaproveitar esta areia é de suma importância, uma vez que o descarte inadequado deste resíduo polui o meio ambiente e o seu descarte em aterros industriais implica em custos adicionais às indústrias de fundição. Deste modo, o trabalho tem como proposta verificar a viabilidade de utilização da areia de fundição in natura em massa de cerâmica vermelha destinada a confecção de blocos cerâmicos de vedação (tijolos), avaliando as propriedades do material em relação a um padrão no que diz respeito a plasticidade da massa, retração linear de secagem e queima, absorção de água e resistência mecânica do produto final. Além do exposto, a possibilidade de utilização da areia de fundição em massa de cerâmica vermelha implica na redução de matérias primas a serem utilizadas, o que reflete na conservação de fontes não renováveis.

## 2 METODOLOGIA

Nos estudo realizado utilizou-se como matérias primas, areia de fundição (Figura 1a), argilas vermelha (Figura 1b) e amarela (Figura 1c), areia e chamote. O chamote presente na formulação padrão são sobras queimadas provenientes de quebras ocorridas durante o processo de fabricação.

**Figura 01-** Matérias primas utilizadas no estudo:

(a) Areia de fundição; (b) Argila vermelha; (c) Argila amarela



Fonte: arquivo do autor

De posse das matérias primas a serem utilizadas, iniciou-se o trabalho através da preparação das mesmas. As argilas foram secas em uma estufa numa temperatura de aproximadamente 110°C, depois passaram pelo processo de desagregação através de um britador de mandíbulas e posteriormente moagem através de um moinho de martelos e logo em seguida verificou-se a distribuição de tamanho de partículas através do método

de difusão. Posteriormente as formulações foram pesadas conforme composições mostradas na Tabela 1.

**Tabela 01-** Proporções dos materiais utilizadas em peso.

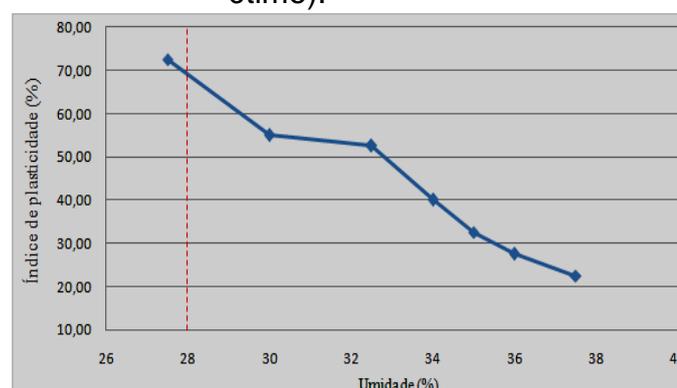
Composição	Caco* (%)	Argilas** (%)	Areia de Fundação (%)
Padrão	16	84	0
1	0	88	12
2	0	84	16
3	0	80	20
4	0	76	24
5	0	72	28

\* O caco é uma mistura de 10% areia comum e 6% de chamote.  
 \*\* Proporção argila vermelha e amarela 1:1

Fonte: arquivo do autor

A homogeneização para cada composição foi realizada manualmente em um recipiente até atingir uniformidade. Após a homogeneização, as composições foram umedificadas com 28% de umidade conforme foi estabelecido através do ensaio de plasticidade de Pfefferkorn, umidade esta considerada ideal para extrusão (figura 2). O índice de plasticidade determinado por este método corresponde ao percentual para a qual o corpo de prova apresenta uma deformação de 30% em relação à sua dimensão inicial. Sendo uma razão da medida inicial com a final, este percentual de umidade ideal é de 28%.

**Figura 02 -** Índice de plasticidade da massa padrão (o tracejado indica o índice ótimo).



Fonte: arquivo do autor

Todas as composições ficaram em repouso por período de 24 horas acondicionadas dentro de sacos plásticos para que não houvesse perda da umidade, prejudicando assim a extrusão dos corpos de provas.

Os corpos de prova foram conformados por extrusão a vácuo numa extrusora laboratorial utilizando formato de barras de seção cilíndrica, com aproximadamente 0,15 m (150 mm) de comprimento e 0,0124 m (12,4 mm) de diâmetro.

Posteriormente os corpos de prova foram submetidos a secagem em estufa (aproximadamente 110°C) oito horas e em seguida queimados em um forno elétrico numa temperatura de 965°C com taxa de aquecimento de 10°C/min e patamar de duas horas na temperatura máxima de queima. Para determinação da temperatura ideal de queima foram feitas duas queimas preliminares com a composição padrão a uma temperatura de 960°C e outra a 980°C. Após a queima os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de absorção de água e obtiveram 10,3% e 6,8% respectivamente. Comparados com a absorção obtida na amostra da fábrica (9,4%), desta forma optou-se pela temperatura acima mencionada. O resfriamento foi realizado de forma natural, com o desligamento do forno após as peças serem mantidas na temperatura de patamar pelo tempo estabelecido.

Após a queima os corpos de prova foram caracterizados a partir da análise das propriedades físicas: retração linear de queima, absorção de água e resistência mecânica a flexão do produto final. A retração linear foi determinada a partir da diferença entre a medida inicial e final, antes e depois da queima respectivamente. A resistência mecânica à flexão foi realizada por meio de uma máquina universal de ensaios com célula de carga de 1kN (1000 N). Os resultados obtidos correspondem a média dos valores obtidos a partir de cinco corpos de prova para cada formulação.

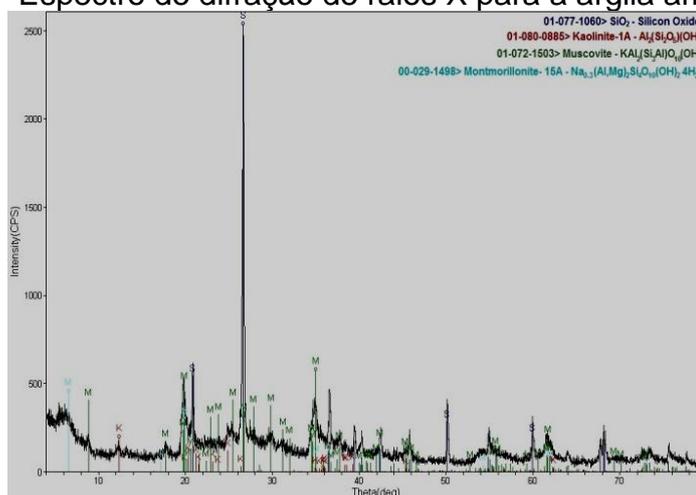
Paralelamente ao ensaios de caracterização acima mencionados também foram realizadas análises microestruturais na superfície de fratura, que possibilita a visualização da topografia e porosidade do material. A técnica utilizada foi a microscopia eletrônica de varredura (MEV) junto a espectroscopia dispersiva de energia (EDS). É importante também destacar a realização de análise mineralógica das matérias primas utilizadas como forma de identificar os óxidos e fases presentes através da análise por difração de raios-X (DRX).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

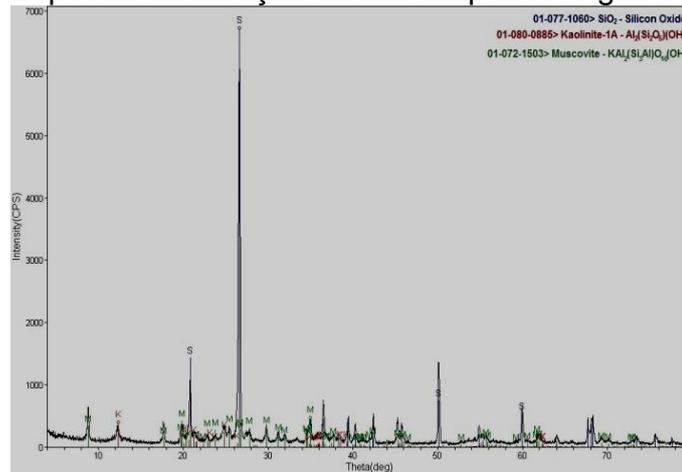
#### 3.1 Análise mineralógica

As figuras 3 e 4 apresentam os difratogramas de raios X das argilas vermelha e amarela. Para ambas as argilas os resultados mostram a presença de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita ( $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ ) e muscovita ( $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), além da montmorilonita ( $\text{Na}_{0,3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), presente apenas na argila vermelha. As argilas montmoriloníticas são mais plásticas em relação às demais, devido uma área superficial maior para a interação com a água, ou seja, é mais eficiente que as demais argilas na tarefa de estender as forças de ligação da água com os sólidos, é o caso da argila vermelha. O difratograma de raios X da areia de fundição apresentou picos característicos de quartzo e tridimita residual (figura 5). Como nos moldes de fundição apenas uma pequena parcela da areia é aquecida de cada vez a temperaturas superiores a  $867^\circ\text{C}$  e o tempo de permanência a tais temperaturas é relativamente curto, apenas uma quantidade desprezível de grãos de areia tem possibilidade de transformar-se em tridimita e/ou cristobalita.

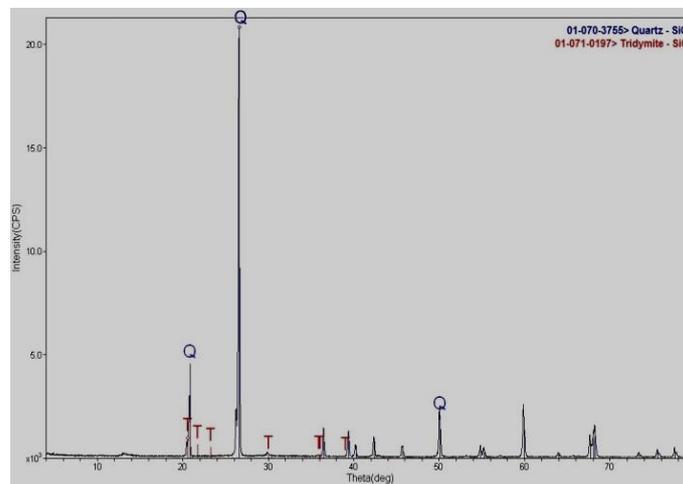
**Figura 03** - Espectro de difração de raios X para a argila amarela.



Fonte: arquivo do autor

**Figura 04 – Espectro de difração de raios X para a argila vermelha.**

Fonte: arquivo do autor

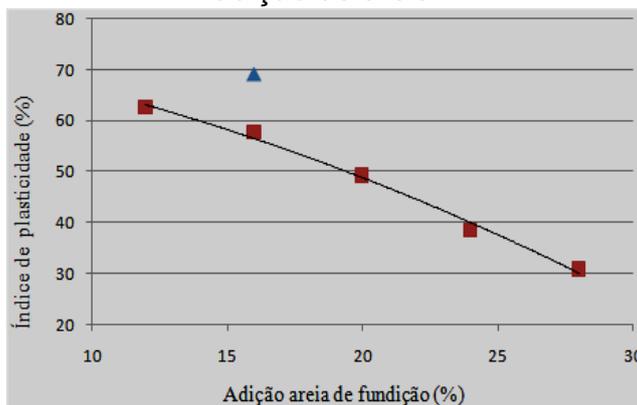
**Figura 5 - Espectro de difração de raios X para a areia de fundição.**

Fonte: arquivo do autor

### 3.2 Índice de plasticidade

As argilas, assim como as massas cerâmicas, com composições mineralógicas diferentes apresentam comportamentos plásticos diferentes, embora os seus teores em água possam ser iguais. Neste contexto buscou-se avaliar a influência da areia sobre a plasticidade da massa para uma mesma quantidade de umidade, a qual é apresentada na figura 6. É possível perceber que houve uma redução do índice de plasticidade com o aumento da quantidade da areia de fundição. Esta redução da plasticidade está relacionada com a ação da sílica livre, que diminui a plasticidade de misturas de matérias primas.

**Figura 6** - Índice de plasticidade (28% de umidade). O triângulo indica o padrão sem adição de areia.

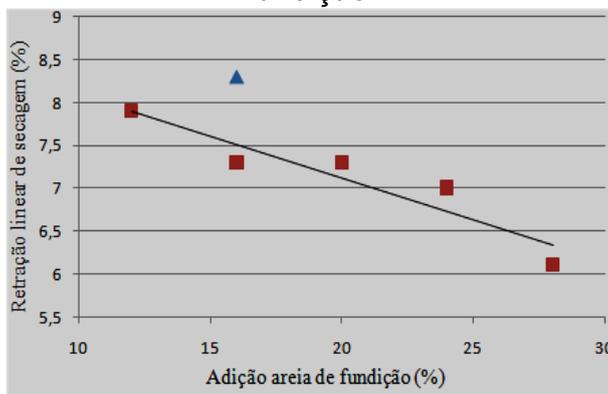


Fonte: arquivo do autor

### 3.3 Retração linear

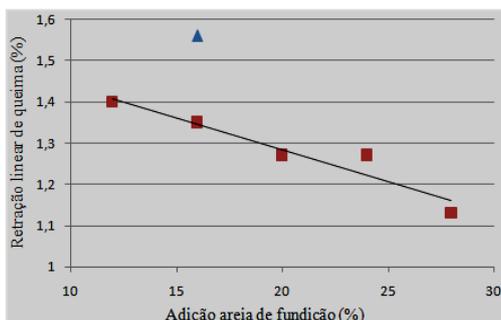
A retração linear é um parâmetro importante para a determinação das dimensões do produto final. As figuras 7 e 8 apresentam os resultados obtidos da retração linear de secagem e de queima das composições cerâmicas estudadas.

**Figura 7** - Retração linear de secagem O triângulo indica o padrão sem adição de areia de fundição.



Fonte: arquivo do autor

**Figura 8** - Retração linear de queima (%). O triângulo indica o padrão sem adição de areia.



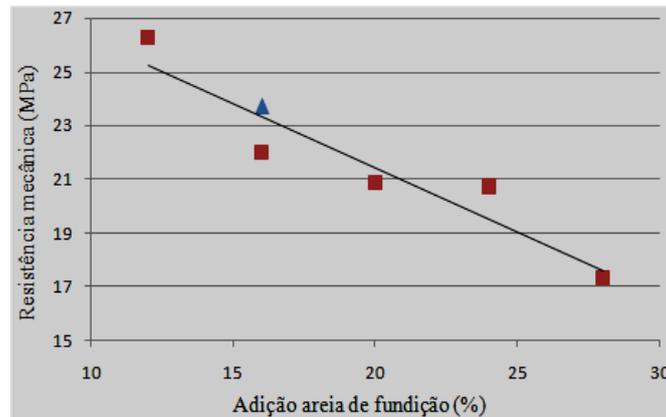
Fonte: arquivo do autor

Os resultados mostram que a incorporação do resíduo proveniente da fundição de metais adicionado na massa de cerâmica vermelha resultou numa diminuição da retração linear para secagem e queima em relação ao padrão. Os valores de retração com adição do resíduo ficaram na faixa de 6% a 8% para a secagem e 1,0% a 1,5% para a queima, permitindo uma ação benéfica na redução da retração linear de ambos, na faixa de 5% a 27% e de 10% a 28%, respectivamente. Como há quartzo na areia de fundição e de acordo com Fernandes (2008), o mesmo aumenta a permeabilidade da peça crua e, do coeficiente de expansão térmica linear da peça queimada, evitando assim que esta se deforme ou se retraia demasiadamente, tanto a seco como durante a queima, isso possivelmente explica a redução de ambas as retrações com o aumento do resíduo. Os resultados alcançados estão dentro de uma faixa apropriada para produção industrial de cerâmica vermelha, segundo Souza Santos (1989), cujo limite máximo para a retração é de 12%. A obtenção de uma redução da retração linear dos corpos cerâmicas como a que foi alcançada é importante, pois acelera o ciclo do processo, reduz gastos energéticos e diminui o risco de fissuras e defeitos dimensionais.

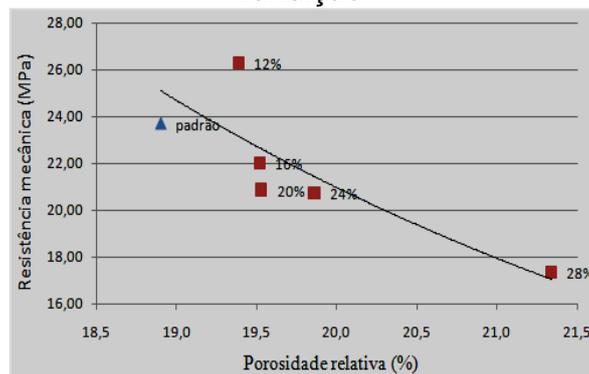
### 3.4 Resistência mecânica à flexão

Os resultados obtidos do teste de resistência mecânica à flexão estão representados nas Figuras 9 e 10 onde mostra que a adição de 12% de resíduo na massa cerâmica resultou no valor para este parâmetro resultado com um aumento de aproximadamente 10% de resistência mecânica em relação ao padrão. Entretanto, para os demais percentuais de adição do resíduo os corpos de prova ficaram mais frágeis, ou seja, houve queda de resistência mecânica. Sendo os grãos de areia grosseiros em relação aos da argila, como pode ser observado na figura 11, é provável que tenha sido este um dos fatores da redução da resistência mecânica. A resistência mecânica de um material cerâmico diminui com o aumento da sua porosidade, ou seja, quanto maior a porosidade menor a resistência mecânica. Na figura 9 é possível notar a coerência entre variações da resistência mecânica à flexão com a porosidade em função dos teores de resíduo empregados.

**Figura 9 - Resistência mecânica a flexão (o triângulo indica o padrão sem adição de areia).**



**Figura 10 - Resistência mecânica à flexão em função da porosidade relativa. Identifica-se cada composição pelo teor em areia da massa (ao lado de cada ponto). O triângulo indica o padrão sem adição de areia de fundição.**



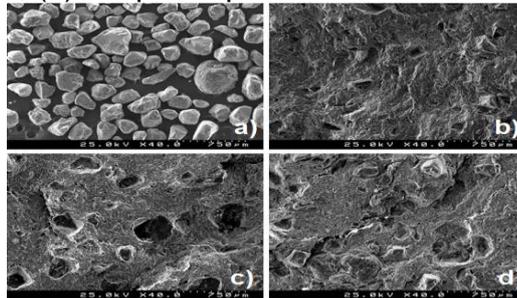
### 3.5 Caracterização microestrutural

A figura 11 mostra as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a qual foi utilizada para a avaliação das superfícies de fratura dos corpos de prova sinterizados. A figura 11a mostra os grãos grosseiros da areia de fundição tal qual pode ser confirmado sua respectiva distribuição granulométrica na figura 12. Na figura 11b é possível observar a imagem do padrão sem adição de areia de fundição, com aspecto rugoso e densificação uniforme provavelmente por uma maior energia interfacial ocasionada por tamanhos menores de grãos. A figura 11c mostra os grãos da areia de fundição no material sinterizado (para a adição de 12% do resíduo), distribuídos homogeneamente, correspondentes aos arrancamentos observados, o que possivelmente proporcionou um aumento de aproximadamente 10% na resistência mecânica. Conforme se aumentou a adição da areia de fundição esses grãos se aglomeraram formando

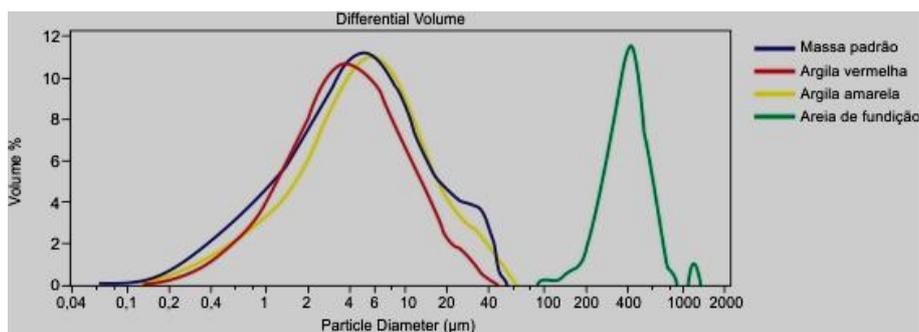
porosidades em volta deste e também surgiram trincas, como pode ser observado na figura 11d. Esses fatores ligados com os tamanhos relativamente grandes dos grãos da areia (figura 11) acabaram por conseqüência num aumento significativo de porosidade e diminuição da resistência mecânica.

**Figura 11** - Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

(a) Amostra da areia de fundição; (b) corpo de prova padrão; (c) corpo de prova com 12% de areia de fundição; (d) Corpo de prova com 28% de areia de fundição.



**Figura 12** - Distribuição do tamanho de partículas obtido através do Coulter.



## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através dos ensaios realizados mostram a viabilidade do uso da areia de fundição como matéria prima para a produção de massa para cerâmica vermelha. O resíduo tem potencial como redutor da retração linear de secagem e queima da massa cerâmica, trazendo benefícios principalmente na secagem devido ao ganho na estabilidade dimensional e redução do tempo da mesma. O teor em 12% de adição apontou melhor resultado de resistência mecânica em relação ao padrão. Porém, para as condições utilizadas neste estudo os teores de adição de até 16% mostram-se viáveis a produção de cerâmica uma vez que não apresentaram perdas significativas das propriedades técnicas. A incorporação desse resíduo à massa cerâmica é uma alternativa para diminuir o descarte do mesmo em aterros sanitários uma vez que no Brasil são depositados anualmente mais de dois milhões de toneladas de areia de fundição.

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica da Universidade de Aveiro – Portugal pela estrutura disponibilizada para esta pesquisa, as empresas Sotelha e Duritcast pela disponibilização de matérias primas para esse estudo. O autor Bruno Borges Frasson agradece ao Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE e ao SINDICER – Sindicato da Indústria da Cerâmica Vermelha de Morro da Fumaça/SC pela oportunidade de intercâmbio com a Universidade de Aveiro.

## REFERÊNCIAS

RIBEIRO, M. J., FERREIRA, A. A. L., LABRINCHA J.A. **Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas**. Revista Cerâmica Industrial, v.8, p. 37-42, 2003.

CMMAD – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas; **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Ed Fundação Getúlio Vargas, 1998.

FERNANDES, R. A. L. **Influência do Teor de Calcário no Comportamento Físico, Mecânico e Microestrutural De Cerâmicas**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra., 2008.

SOUZA, S. P. **Ciência e Tecnologia de Argilas**, 2ª edição, Vol. 1, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil, 1989.

SOARES, J.M.D., SENGER, V., QUINTANA, L.M.H., PINHEIRO, R.J.B., GONÇALVES, M.M. **Adição de resíduo de areia de fundição em massa cerâmica**. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007.