

## Estudo da Potencialidade da Produção de Adoquim com Massa Cerâmica Utilizada em Telhas Prensadas

Diego Silva Ferreira<sup>a\*</sup>, Renan Maycon Mendes Gomes<sup>b</sup>, Wendel Melo Prudêncio Araújo<sup>c</sup>, Roberto Arruda Lima Soares<sup>d</sup>

<sup>a</sup>*Centro Universitário Santo Agostinho – UNIFSA, Teresina, PI, Brasil*

<sup>b</sup>*Centro Universitário Novafapi – UNINOVAFAPI, Teresina, PI, Brasil*

<sup>c</sup>*Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, PA, Brasil*

<sup>d</sup>*Instituto Federal do Piauí – IFPI, Teresina, PI, Brasil*

\*e-mail: [diegof.engenheiro@gmail.com](mailto:diegof.engenheiro@gmail.com)

### Resumo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de um pavimento cerâmico, conhecido como adoquim, utilizando massa cerâmica de telhas prensadas. A matéria-prima foi caracterizada por fluorescência de raios X, difração de raios X, análise termogravimétrica e quanto a plasticidade. Moldou-se os corpos de prova por prensagem nas dimensões 250x125x80mm e em seguida foram queimados nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C. Avaliou-se os corpos de prova sinterizados quanto a retração linear de queima, massa específica aparente, absorção de água e resistência à compressão. Analisou-se também após queima a microestrutura por difração de raios X e a microscopia eletrônica de varredura. Os resultados demonstraram que o adoquim produzido na temperatura de 1150 °C apresentou os melhores resultados dentre as três temperaturas de queima estudadas, demonstrando um grande potencial o uso dessa massa argilosa na fabricação de Adoquim.

**Palavras-chave:** pavimento, massa cerâmica, queima.

## 1. Introdução

A abundância de matérias-primas naturais, fontes alternativas de energia e disponibilidade de tecnologias práticas ligadas aos equipamentos industriais, fizeram com que as indústrias cerâmicas brasileiras evoluíssem muito rápido e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos atingissem nível de qualidade internacional<sup>1</sup>.

As cerâmicas piauienses, de modo geral, apresentam produção de blocos de vedação, telhas, lajotas, blocos estruturais e peças decorativas, com destaque na produção de telhas e tijolos, mas não apresenta produto cerâmico voltado para utilização em passeios e vias públicas.

O processo de inovação deve ser contínuo e é fundamental para a indústria cerâmica conservar e incrementar a sua competitividade, pois, além de estratégia direcionada ao aumento de produção e otimização de custos, também melhora o uso dos recursos minerais e tecnológicos existentes<sup>2</sup>. Dessa forma, o crescimento do desenvolvimento do setor cerâmico do Piauí, em especial da Grande Teresina, demanda a introdução de novos produtos com alto valor agregado. O adoquim cerâmico destaca-se como potencial inovador, além de possibilitar aproveitamento de resíduos da própria indústria cerâmica, como o chamote, e de outros tipos de indústrias como matéria-prima para sua confecção.

O adoquim cerâmico é um pavimento intertravado que apresenta inúmeras características benéficas como uma grande vida útil, elevada resistência mecânica, cores naturais e facilidade de implantação e reparação, tendo

em vista que as obras podem ser liberadas ao tráfego imediatamente após a execução.

Portanto, as características do adoquim associadas ao fator do Piauí apresentar uma das melhores argilas vermelhas do país, despertou o interesse do meio acadêmico para o desenvolvimento deste pavimento para atender o mercado local, utilizando a matéria-prima das telhas prensadas.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Matéria-Prima

Na elaboração deste estudo, foi utilizada como matéria-prima a massa argilosa coletada em uma indústria cerâmica na região da Grande Teresina. Obteve-se do silo da indústria aproximadamente 150kg da argila utilizada para a fabricação de telhas prensadas, já moída e peneirada na peneira de #50 mesh, onde foram ensacadas em sacos de polipropileno e acondicionadas em laboratório.

Procedeu-se com o quarteramento de todo o material colhido para obtenção de uma amostra representativa, em torno de 2kg. Encaminhou-se em seguida para a estufa a temperatura de 110 °C para os ensaios de análises químicas, mineralógicas e físicas.

Foram analisadas as seguintes características da matéria-prima;

- Limite Liquidez;
- Limite de Plasticidade;

- Índice de Plasticidade;
- Fluorescência de Raios X;
- Difração de Raios X;
- Análise Térmica.

A execução dos ensaios da mistura argilosa coletada e a utilização da aparelhagem seguiram as padronizações das ABNT NBR 6459/16<sup>3</sup> e NBR 7180/16<sup>4</sup>.

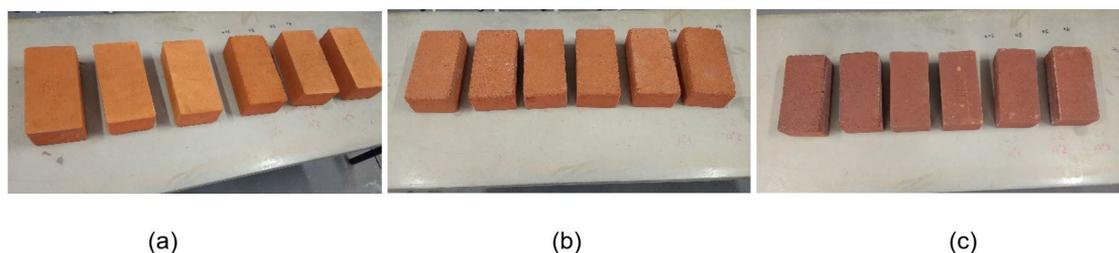
O ensaio de fluorescência de raios X por energia dispersiva foi realizado no espectrômetro por fluorescência de raios modelo Epsilon 3 – XL da PANalytical, presente no laboratório de materiais do IFPI. O ensaio de difração de raios X foi realizado utilizando-se amostragem em pó, no equipamento XRD-6000 Shimadzu com tubo de Cu ( $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$ ). A tensão utilizada foi de 40 kV e a corrente foi de 30 mA, com varredura de 2° a 80° para 2 $\theta$ , com velocidade de 2°/min e passo de 0,02°/passo.

A avaliação térmica da matéria-prima foi realizada no Analisador Termogravimétrico TGA-51H SHIMADZU alocado no laboratório de materiais do IFPI. Para a análise, foi utilizada em torno de 15 mg da mistura argilosa, com granulometria inferior a 200 mesh, sob um fluxo de ar sintético de 50 mL/min. A taxa de aquecimento foi de 10°C/min entre 27°C e 1150°C. A análise dos resultados e a obtenção da curva derivada da TG denominada DTG, foram realizadas utilizando-se o programa de computador denominado TA-60 WS Collection, para análises térmicas da SHIMADZU.

Realizou-se o ensaio de água residual para a identificação da quantidade de água a adicionar para a moldagem dos corpos de prova por prensagem. No processo de prensagem dos corpos de prova com dimensões de 250x125x80mm, utilizou-se a prensa manual Verde Equipamentos, figura 1a, e para a queima utilizou-se o Forno Jung modelo LF10014, figura 1b com taxa de aquecimento de 2 °C por minuto com patamar de 90 minutos nas temperaturas de 950 °C, 1050 °C e 1150 °C, figura 2a, b e c.



**Figura 1.** Equipamentos de moldagem e queima dos corpos de prova; (a) prensagem dos corpos de prova; (b) forno para queima dos corpos de prova.



**Figura 2.** Pavers cerâmicos queimados nas diferentes temperaturas; (a) 950 °C; (b) 1050 °C; (c) 1150 °C.

Nas peças cerâmicas sinterizadas foram aferidas as características abaixo listadas;

- Retração Linear de Queima;
- Absorção de Água;
- Massa Específica Aparente;
- Resistência à Compressão;
- Difração de Raios X;
- Microscopia Eletrônica de Varredura.

A execução dos ensaios, nos corpos de prova queimados, seguiu as normatizações das ABNT MB-305<sup>5</sup>, NBR 12.766/92<sup>6</sup> e NBR 9781/13<sup>7</sup>. Na difração de raios X utilizou-se o mesmo equipamento citado acima. No ensaio de microscopia eletrônica de varredura utilizou-se o modelo SSX-550 da marca SHIMADZU. Os procedimentos normativos foram realizados no laboratório de materiais do IFPI, com exceção do ensaio de resistência à compressão que foi executado no laboratório mecânico da UNIFSA.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Resultados de caracterização da matéria-prima

Os limites de consistência de Atterberg podem ser classificados segundo Senai<sup>8</sup>, conforme consta na tabela 1.

Para se verificar a plasticidade da amostra argilosa precisa-se obter antes os valores de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) para em seguida aplicar a expressão  $IP = LL - LP$ , conforme a NBR 7180/16<sup>4</sup>.

Os resultados obtidos dos limites de consistência realizados na matéria-prima estão representados na tabela 2, onde foi classificada como excelente, conforme classificação acima.

Conforme os resultados obtidos nos ensaios de composição mineralógica (DRX), composição química (FRX) e análise racional ilustrados na Figura 3 e Tabelas 3 e 4,

respectivamente, a amostra de argila analisada apresenta, predominantemente, materiais argilosos do grupo illita  $[(K,H_3O)Al_2Si_3Al_{10}(OH)_2]$  que é amplamente utilizada na produção de produtos de base vermelha. A presença do quartzo na massa melhora a secagem e a liberação de gases de queima, minimizando a retração além de apresentar um importante papel na microestrutura da peça cerâmica. A dolomita encontrada contribui na melhoria da estabilidade dimensional e resistência mecânica dos corpos cerâmicos.

No ensaio termogravimétrico, figura 4, observa-se que para a faixa de temperatura de 450 °C e 625 °C ocorre a maior perda de massa decorrente da queima da matéria orgânica e da dissociação da água de constituição dos argilominerais. Na faixa de 625 °C a 1150 °C a perda de 2,8% deve-se principalmente a decomposição da dolomita com a saída do CO<sub>2</sub>.

#### 3.2. Caracterização física dos corpos de prova queimados

A Tabela 5 e a Figura 5 apresentam os resultados dos ensaios de Retração Linear de Queima (RLQ), Absorção de Água (AA), Massa Específica Aparente (MEA) e Resistência à Compressão (RC). Observa-se que as retrações de queima crescem com o aumento da temperatura de queima. Isto ocorre devido a maior densificação dos corpos cerâmicos, decorrentes da mais intensa sinterização. Vale informar que as normas para pavers cerâmicos não especificam requisitos quanto a RLQ, mas observou-se que na temperatura de 1150 °C apresentou a maior retração linear de queima, favorecendo a estabilidade dimensional do produto cerâmico.

O resultado da absorção de água indica uma redução significativa com o aumento da temperatura. Esta redução deve estar atribuída ao maior grau de sinterização adquirida com o crescimento da temperatura de queima, ratificando com o aumento da retração linear de queima. Os dados obtidos da massa específica mostram um aumento gradual com a elevação da temperatura de queima, o que se justifica pela sinterização por fluxo viscoso (vitrificação)

**Tabela 1.** Classificação da argila ou caulim, quanto ao índice de plasticidade.

Argilas	Excessivamente plástica	Excelente	Boa	Regular	Fraca	Material de capa
Índice de Plasticidade (%)	19 a 25	17 a 18	15 a 16	13 a 14	11 a 12	5 a 10

**Tabela 2.** Limites de consistência de Atterberg da matéria-prima.

Matéria-prima	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Classificação
Massa argilosa	45	27	18	Excelente

**Tabela 3.** Análise química por fluorescência de raios X.

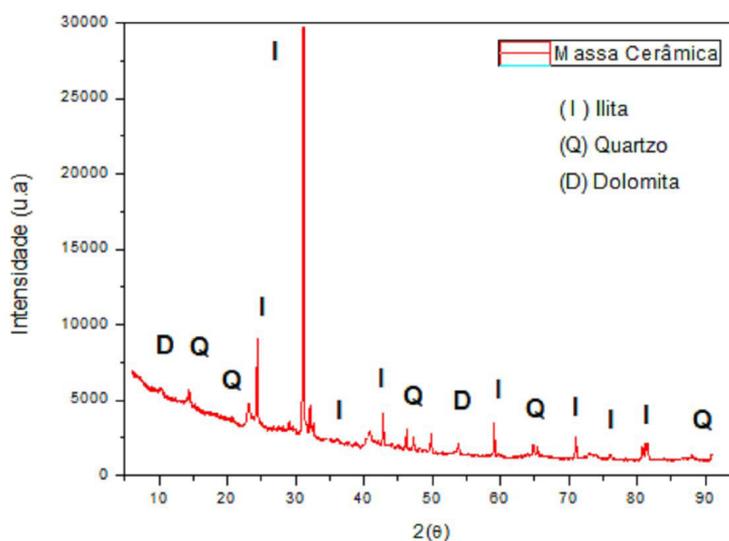
Amostra	Análise Química por Florescência de Raios X da Matéria-prima (% em peso)							
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	K2O	CaO2	MgO	TiO3	Outros
Massa Cerâmica	55,19	20,65	12,63	5,43	1,34	2,41	1,53	0,82

**Tabela 4.** Concentração das fases cristalinas da massa cerâmica.

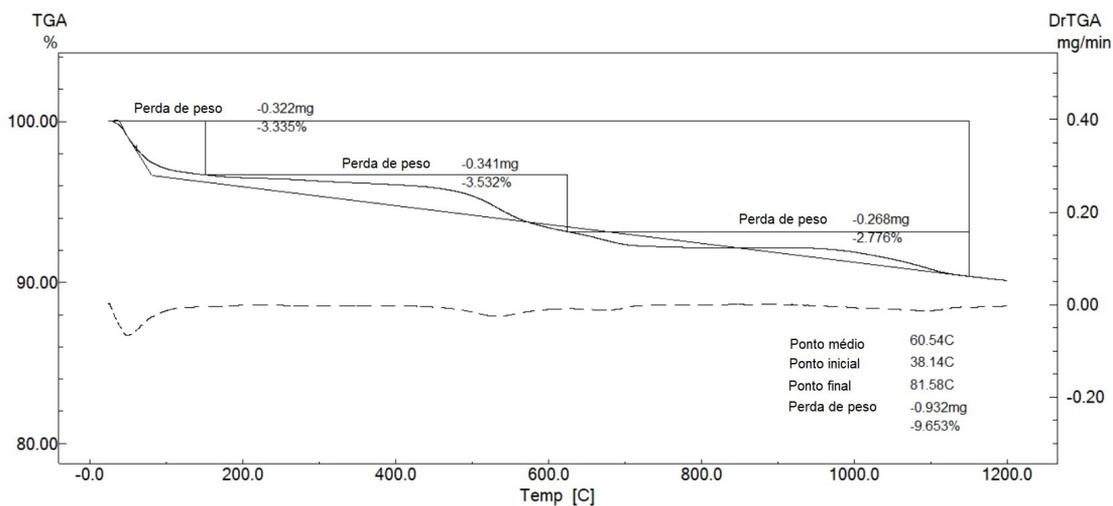
Matéria-prima	Fases identificadas (%)		
	ilita	quartzo	dolomita
Massa cerâmica	60,50	36,00	3,50

**Tabela 5.** Ensaios físicos dos corpos de prova queimados nas diferentes temperaturas.

TEMPERATURA	RLQ (%)	AA (%)	MEA (g/cm <sup>3</sup> )	RC (MPa)
950 °C	1,39	23,05	1,59	7,52
1050 °C	3,94	17,78	1,7	9,52
1150 °C	7,11	9,83	1,92	34,38



**Figura 3.** Difratograma de raios X.



**Figura 4.** Curva termogravimétrica (TG) com derivada (DTG) da massa cerâmica.

contribuindo na densificação dos corpos de prova, e estando de acordo com a RLQ e AA, pois quanto maior a densidade do corpo cerâmico menor os espaços vazios no seu interior.

No ensaio de resistência à compressão, observa-se, entre as temperaturas de 1050 °C e 1150 °C, um enorme incremento de resistência mecânica, corroborando com os ensaios de MEA e RLQ. Isto se deve provavelmente a uma maior formação de fase líquida (vitrificação) na temperatura de 1150 °C.

### 3.3. Caracterização microestrutural dos corpos de prova queimados

Nos respectivos difratogramas verificam-se picos de difração das fases cristalinas referentes a quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), espinélio ( $\text{Al}_2\text{MgO}_4$ ) e mulita ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) corroborando com o FRX que identificou os óxidos de silício, alumínio, ferro, potássio e magnésio. Observando as figuras 6-8, o quartzo e a hematita são fases presentes em todas as temperaturas

estudadas e devido ao seu alto ponto de fusão o quartzo é a fase predominante. O ortoclásio é identificado somente na temperatura de 950 °C, justificando o maior valor de AA e os menores valores de RLQ e RC. O espinélio e a mulita foram identificados somente na temperatura de 1150 °C, o que justifica o aumento de aproximadamente 260% da resistência mecânica em relação aos queimados na temperatura de 1050 °C.

A figura 9 apresenta as micrografias da região fraturada dos corpos de prova nas temperaturas de 950 °C e 1150 °C com ampliações de 300 e 600 vezes, respectivamente, no qual observa-se que as micrografias (a) e (b) mostram uma topografia mais grosseira e rugosa, maior quantidade de poros com maior tamanho e de forma irregulares, indicando uma sinterização menos acentuada em comparação com as micrografias (c) e (d), que mostram uma topografia característica de um corpo cerâmico com bom nível de sinterização, ou seja, uma estrutura lisa e bastante vitrificada, apresentado poros isolados e de forma esférica que caracterizam a fase final de sinterização.

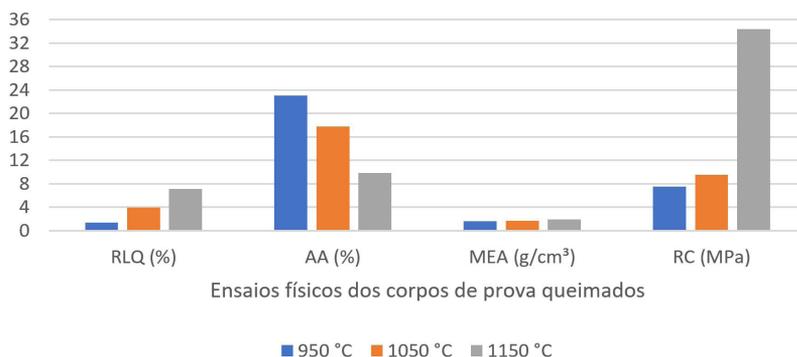


Figura 5. Gráfico dos ensaios físicos dos corpos de prova queimados nas diferentes temperaturas; RLQ – Retração Linear de Queima; AA – Absorção de Água; MEA – Massa Específica Aparente; RC – Resistência à Compressão.

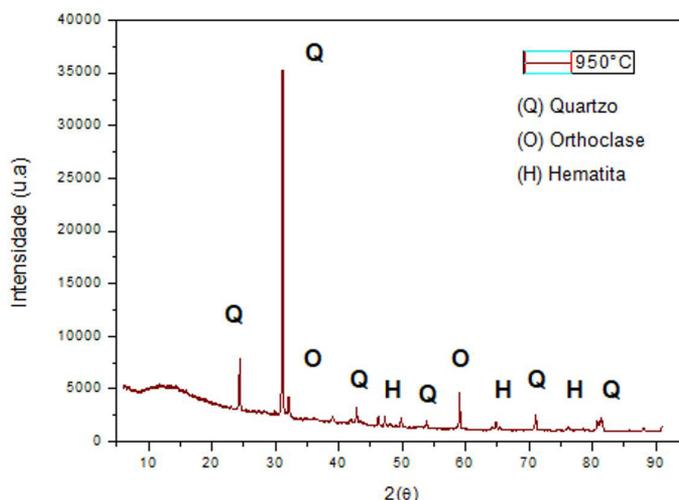


Figura 6. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 950 °C.

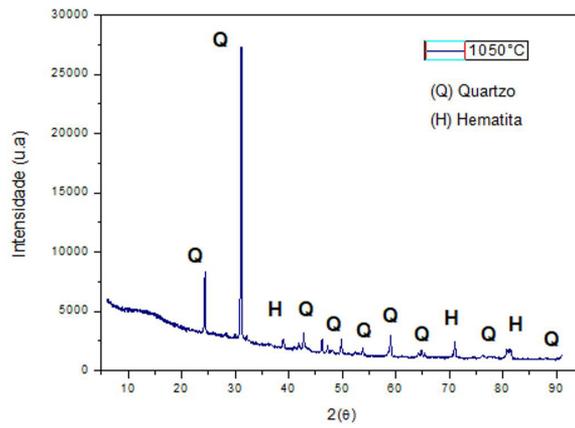


Figura 7. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 1050 °C.

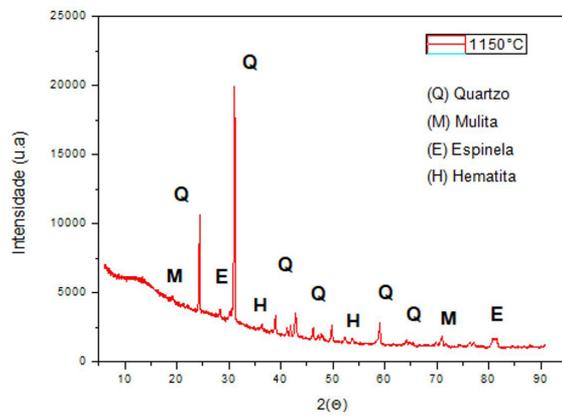


Figura 8. Difração de raios X do corpo de prova queimado a 1150 °C.

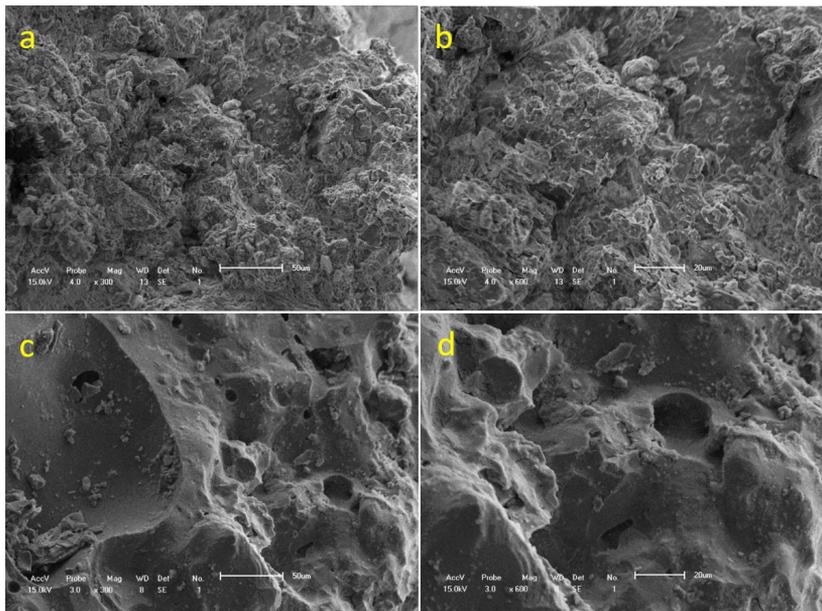


Figura 9. Fotomicrografias por MEV da superfície de fratura dos corpos de prova na temperatura de 950 °C (a) 300x e (b) 600x e na temperatura de 1150 °C (c) 300x e (d) 600x.

## 4. Conclusão

As análises química, mineralógica e térmica mostraram que a massa argilosa estudada é formada por argilas fundentes de queima vermelha com alto teor de argilomineral ilita, ou seja, são argilas típicas aplicadas na fabricação de produtos cerâmicos estruturais.

O aumento das temperaturas de queima dos corpos de prova influenciou positivamente as propriedades de absorção de água, massa específica aparente e resistência mecânica. O resultado de absorção de água mostrou um maior fechamento dos poros com o aumento da temperatura de queima. Este resultado é corroborado com o aumento da massa específica aparente no qual apresentou um aumento gradual com o incremento da temperatura.

O ensaio de resistência à compressão mostrou que o resultado na temperatura de 1150 °C obteve o maior valor entre as três temperaturas estudadas, justificado principalmente pela formação de fase líquida (vitrificação) pelas formações do espinélio e mulita corroborados pelos difratogramas de queimas e pelas fotomicrografias por MEV.

Os resultados mostraram que o uso da massa cerâmica utilizada na fabricação de telhas prensadas é uma alternativa viável para produção do pavimento cerâmico, Adoquim, tendo em vista as características adquiridas, principalmente na resistência mecânica e absorção de água.

## Referências

- 1 ABC ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA. Cerâmica no Brasil- número do setor. Disponível em: <<http://www.abeceram.org.br>>. Acesso em: 07 de março de 2018.
- 2 VIVONA, D, Visão, desafios e novos rumos da cerâmica de revestimento. *Cerâmica Industrial*, 5, 2 (2000) 17.
- 3 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-6459 – Solo Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
- 4 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 2016.
- 5 ABNT.MB 305: Associação Brasileira de Normas Técnicas - Argila, argamassas, concreto e cimento refratário – Determinação da retração linear após secagem. Rio de Janeiro, 1987.
- 6 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-12766 – Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente e absorção d'água aparente, Rio de Janeiro, 1992, 02p.
- 7 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação – Especificações e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro. ABNT, 2013.
- 8 SENAI. Departamento Regional do Piauí. Especial de Tecnologia em Cerâmica Vermelha. Teresina – PI, 2008.