

INFLUENCIA DA DENSIDADE APARENTE A SECO NAS PROPRIEDADES DE MASSA CERÂMICA PARA ADOQUIM

V. S. Cândido, R. M Pinheiro, S. N. Monteiro, C. M. F. Vieira*

Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV

Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF

Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, 28013-602, Brasil.

*e-mail: vieira@uenf.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influencia da densidade aparente a seco em formulações de massa desenvolvidas para a fabricação de pavimento intertravado para vias públicas - adoquim. Amostras cilíndricas foram conformadas por prensagem uniaxial em duas faixas de densidade, 1,99-2,05 e 2,18-2,23, a partir de três formulações elaboradas com argilas, argilito e chamote para queima nas temperaturas de 850 e 950°C. As propriedades avaliadas foram: absorção de água e resistência à compressão uniaxial. Os resultados indicaram que o de empacotamento a seco é um parâmetro de grande importância tecnológica, pois influencia de forma significativa nas propriedades avaliadas.

Palavras-chaves: Adoquim, Cerâmica Vermelha, Densidade aparente a seco.

INTRODUÇÃO

O pavimento rústico cerâmico, adoquim, é um produto não decorado cujas principais características são, entre outras, sua coloração natural e aspecto rústico⁽¹⁾. O adoquim é pequeno e de fácil manejo, suas formas geométricas foram desenvolvidas, não só para obter facilidade de instalação, mas também para uma correta distribuição de cargas impostas pelos diversos tipos de tráfego. Suas geometrias permitem uma diversidade de combinações, proporcionando um ambiente com uma estética harmoniosa. Os adoquins permitem a pavimentação de

estradas para todos os tipos de tráfego, calçadas, zonas de pedestres, pátios e jardins, dentre outros ⁽²⁾.

Esse tipo de material é produzido a partir de uma mistura de argilas naturais que proporcionam plasticidade e coloração desejada com materiais não plásticos, como o chamote, por exemplo. Essa mistura pode facilitar a etapa de secagem e conferir padrão estético desejado⁽³⁾.

No Brasil ainda não existe uma legislação que estabeleça os padrões tecnológicos para produção do adoquim. Entretanto, com a crescente demanda de inovação tecnológica na indústria cerâmica e também com a expansão do produto no mercado, há uma necessidade de criação de normas voltadas para a fabricação deste produto.

Em países como a Espanha, Colômbia e os Estados Unidos a produção do adoquim é mais consolidada que no Brasil. Nesses países existem normas como da UNE-NE (Espanha), NTC (Colômbia) e ASTM (Estados Unidos) que visam determinar as especificações tecnológicas para a produção desse tipo de material.

Todas as normas citadas tendem a seguir o mesmo modelo. Porém, é importante ressaltar que as condições ambientais e climáticas de cada país são diferentes. O Brasil por ser um país tropical não apresenta variações climáticas tão expressivas como alguns desses países, então algumas normas não se aplicam a produção do adoquim no país. Por esse motivo e também por esse produto apresentar-se como uma alternativa para a pavimentação intertravada, é interessante a elaboração de uma norma técnica brasileira que especifique as características técnicas aceitáveis para sua produção.

A Tabela 1 apresenta as características técnicas de acordo com norma da UNE-NE-1344/2002⁽⁴⁾ para a produção do adoquim na Espanha. Para a absorção de água e densidade aparente a norma regulamentadora é a DIN 18503/2003⁽⁵⁾. Segundo essa norma a absorção de água não deve ultrapassar 6% e a densidade aparente de apresentar uma média mínima de 2 kg/dm³ e valor único mínimo de 1,9 kg/dm³.

Nos Estados Unidos e na Colômbia as normas da ASTM 1272/2006⁽⁶⁾ e a NTC 5282/2002⁽⁷⁾, respectivamente, estabelecem os requisitos para utilização do adoquim para pavimentação de vias com tráfego veicular pesado, calçadas

comerciais e aplicações industriais. Já a ASTM C 902/2006⁽⁸⁾ e a NTC 3829/2002⁽⁹⁾ estabelecem o emprego do adoquim em locais de tráfego veicular leve, tráfego com baixa, média e alta circulação de pedestres. A Tabela 2 apresenta as especificações tecnológicas da ASTM e NTC para o adoquim.

Tabela 1: Características técnicas para produção do adoquim cerâmico extrudado e prensado estabelecidas pela UNE-NE-1344/2002.

Propriedades	Adoquim cerâmico extrudado	Adoquim cerâmico prensado
Resistência ao gelo/degelo	Resistente	Resistente
Carga de ruptura transversal	Valor médio ≥ 80 N/mm	Valor médio ≥ 30 N/mm
Resistência à abrasão	Valor médio ≤ 450 mm ³	Valor médio ≤ 450 mm ³
Resistência ao deslizamento	≥ 45	≥ 45
Resistência aos ácidos (perda de massa média de 5)	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$
Tolerância dimensional por dimensão	$\leq 0,5 \sqrt{d}$ mm	$\leq 0,5 \sqrt{d}$ mm

Tabela 2: Especificações técnicas para adoquim de acordo com as normas americanas (ASTM) e Colombianas (NTC).

Normas		Especificações técnicas (média para 5 unidades)			
ASTM		AA (%)	RC (MPa)	IA	VA (cm ³ /cm ²)
C 1272	Tipo R	6	55,2	0,11	1,7
C 1272	Tipo F	6	60,7	0,11	1,7
C 902/	SX	8	55,2	-	-
C 902	MX	14	20,7	-	-
C 902	NX	Sem limite	20,7	-	-
NTC					
5282	Tipo R	6	55	0,11	1,7
5282	Tipo F	6	69	0,11	1,7
3829	Tipo I	8	55,2	0,11	1,7
3829	Tipo II	14	38	0,25	2,7
3829	Tipo III	Sem limite	20,7	0,50	4

AA – Absorção de água; RC – Resistência à compressão; IA – Índice de abrasão; VA – Volume de abrasão.

Os tipos **R** e **F** significam, respectivamente sistemas de implantação rígidos e flexíveis. **SX** significa que os pavimentos são indicados para a aplicação em ambientes exteriores submetidos a situações ambientais adversas como congelamento e descongelamento. **MX** significa que o pavimento é indicado para uso exterior, porém em ambientes não expostos a temperaturas frias, e **NX** significa que o pavimento é indicado para uso interior.

No que se refere à legislação brasileira pode-se citar a norma da ABNT 97810/1987⁽¹⁰⁾ que regulamenta as especificações técnicas para a produção do das peças pré-moldadas de concreto (**PPC**). A Tabela 3 apresenta esses requisitos.

Tabela 3: Especificações técnicas para a produção de **PPC** segundo a ABNT 97810/1987.

Requisitos físicos		Limites admissíveis
Tolerância dimensional (mm)	Comprimento	$\pm 3,0$ mm
	Largura	$\pm 3,0$ mm
	Altura	$\pm 5,0$ mm
Resistência à compressão axial (MPa)	1	$\geq 35,0$ p/ veículos comerciais leves
	2	$\geq 50,0$ p/ veículos especiais ou cargas que produzem acentuados efeitos de abrasão

O **PPC** é um produto que já tem uma produção expressiva no Brasil e é o concorrente direto do adoquim no mercado. Sendo assim torna-se necessário a comparação das especificações técnicas entre eles com a finalidade de eliminar as dúvidas a respeito da qualidade do adoquim.

Como pode ser observado nas tabelas apresentadas, o adoquim é um produto que requer uma performance técnica bem superior aos produtos convencionais de cerâmica vermelha, como os blocos de vedação. Neste caso, se faz necessário um maior controle das matérias-primas, uma formulação de massa mais criteriosa, bem como um maior controle de parâmetros de processamento.

Dentre os parâmetros de processamento que influenciam na qualidade dos materiais está a densidade aparente a seco, que está associada ao empacotamento das partículas. Um maior empacotamento após a etapa de conformação contribui para a redução da retração e pode ainda facilitar a sinterização das partículas devido à maior área de contato.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a influencia da densidade aparente a seco em formulações de massa desenvolvidas para a fabricação de adoquim utilizando argilas cauliníticas, argilito e chamote queimadas em duas temperaturas típicas de queima de cerâmica vermelha, 850 e 950°C.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados dois tipos de argilas cauliníticas, argilito de Itú e chamote de blocos de vedação queimados a 600°C.

Foram elaboradas três composições, contendo massa argilosa, argilito e chamote. A massa argilosa, composição **M**, é constituída da mistura em partes iguais de duas argilas cauliníticas da região. A composição **M50A** corresponde à mistura da massa argilosa com 50% em peso de argilito. Já na composição **M50A10CH**, o chamote foi incorporado na quantidade de 10% em peso em substituição à massa argilosa.

Posteriormente, as formulações foram umedecidas com 8% de água para a preparação, por prensagem uniaxial, de corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 20,2 mm e altura ao redor de 9 mm. Os corpos de prova após conformação foram secos em estufa a 110°C até alcançarem peso constante.

A Tabela 4 também apresenta os valores de densidade aparente a seco dos corpos de prova. A faixa de variação **I** para a densidade aparente a seco foi é de 1,99 a 2,05 g/cm³. A faixa de densidade aparente a seco **II** foi é de 2,18 a 2,23.

A queima foi realizada em forno de laboratório tipo mufla da EDG, modelo 3P-S à 850°C e 950°C. A taxa de aquecimento utilizada foi de 2°C/min. Os corpos de prova foram mantidos na temperatura patamar por 30 minutos e resfriados por convecção natural desligando-se o forno. As propriedades tecnológicas determinadas foram: absorção de água e resistência à compressão uniaxial.

Tabela 4: Densidade aparente a seco das composições.

Composições	Faixa de densidade aparente a seco (g/cm ³)	
	I	II
M	1,99 ± 0,03	2,18 ± 0,01
M50A	2,05 ± 0,02	2,23 ± 0,01
4M50A10CH	2,01 ± 0,02	2,20 ± 0,02

RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o comportamento da absorção de água das composições. Para a faixa de densidade aparente a seco I, nota-se que não ocorre mudança significativa da absorção de água das três composições investigadas em função da variação da temperatura. Por outro lado, observa-se que as massas reformuladas com argilito e chamote, **M50A** e **M40A10CH**, apresentam uma absorção de água ligeiramente inferior à massa argilosa pura, **M**. Isto ocorre, sobretudo, em virtude do empacotamento a seco ligeiramente maior destas massas em comparação com a massa **M**, conforme indica a Tab. 4, além da menor perda de massa durante à queima, já que tanto o argilito quanto o chamote apresentam uma menor perda ao fogo em comparação com as argilas cauliníticas de Campos dos Goytacazes⁽¹¹⁻¹²⁾. Além disso, o maior teor de óxidos fundentes do argilito também pode ter contribuído para a redução da porosidade aberta das massas **M50A** e **M40A10CH** devido à maior formação de fase líquida. uma queda da absorção de água em relação à massa argilosa.

Já para a faixa de densidade aparente a seco II, nota-se que ocorre uma redução significativa da absorção de água para as três composições e nas duas temperaturas de queima em comparação com a faixa de densidade aparente a seco I, ou seja, menor empacotamento. Para esta faixa de densidade maior, faixa II, nota-se também que o aumento da temperatura exerceu uma maior influência na absorção de água das composições. Isto está associado à maior área de contato das partículas que favoreceu a sinterização. Para esta faixa de densidade, o comportamento das massas reformuladas, **M50A** e **M40A10CH**, foi também similar à faixa anterior, ou seja, a absorção de água foi menor que a massa argilosa pura, **M**.

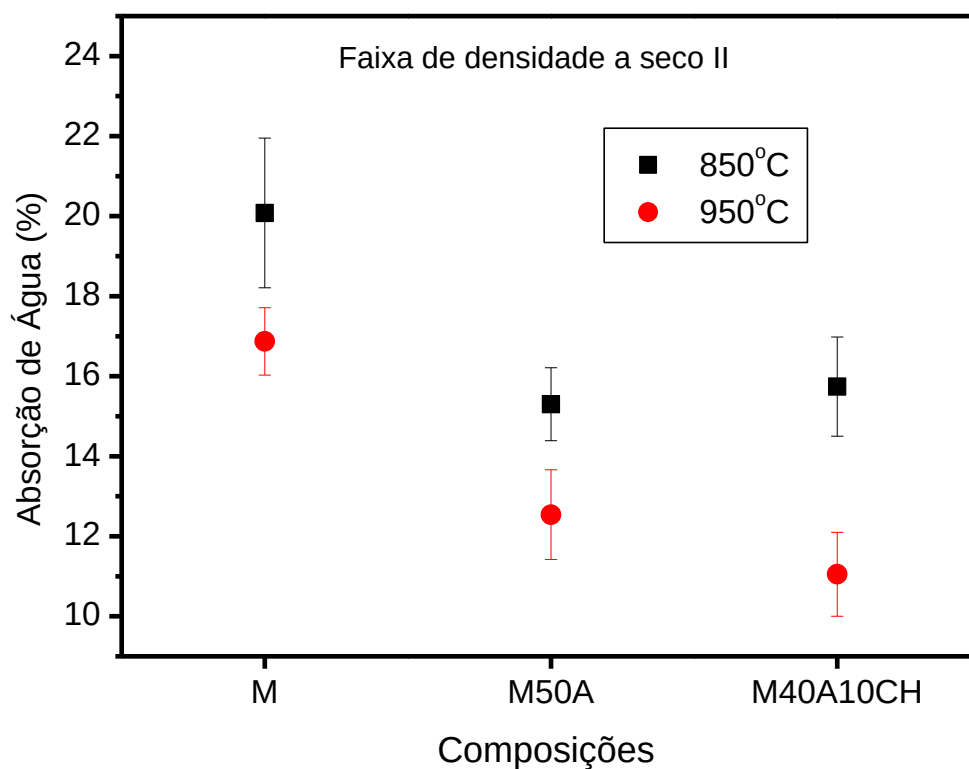
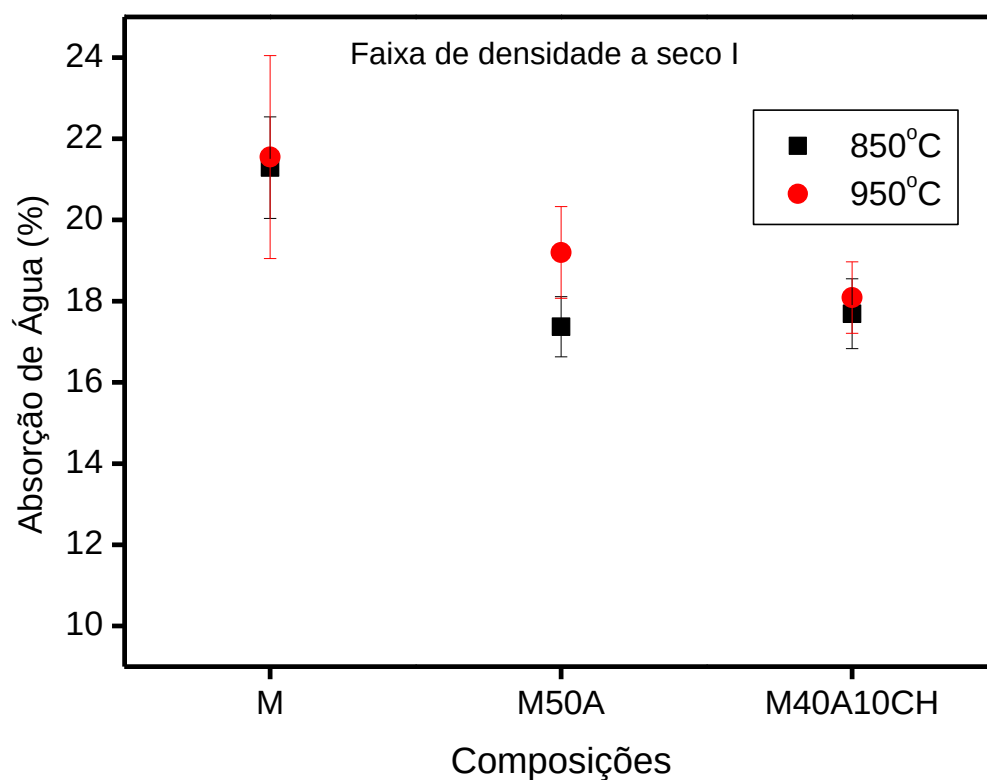


Figura 1: Absorção de água das composições para as faixas I e II de densidade aparente a seco.

De acordo com as normas americanas e colombianas somente as formulações **M50A** e **M50A10CH** obtidas com densidade aparente a seco na faixa II estariam com valores de absorção de água dentro da especificação para uso exterior, tipos **MX** e **II**, respectivamente. Já para uso interior, tipo **NX** e **III**, não há especificação para esta propriedade, portanto, todas as composições estariam adequadas.

A Figura 2 apresenta o comportamento da resistência à compressão uniaxial das composições. Nota-se que para as duas faixas de densidade aparente a seco, não ocorreu variação significativa desta propriedade com a variação da temperatura. Entretanto, nota-se um aumento significativo, ao redor de 60%, da resistência mecânica para todas as composições com o aumento do grau de empacotamento a seco, ou seja, para a faixa de densidade aparente a seco **II**. Estatisticamente, observa-se que as massas reformuladas, **M50A** e **M50A10CH**, não apresentam variação da resistência mecânica em comparação com a massa argilosa pura, **M**, para as duas faixas de densidade aparente a seco investigadas.

De acordo com as normas americanas⁽⁶⁾ e colombianas⁽⁷⁾, 20,7 MPa é o valor mínimo aceitável de resistência à compressão para a fabricação de adoquim. A norma americana indica uso em ambientes exteriores não submetidos a temperaturas frias e também em ambientes interiores. Já para a norma colombiana, 20,7 MPa também é o valor mínimo aceitável de resistência à compressão para adoquim usado em pavimentação de vias de tráfego de pedestres. Assim, os valores obtidos de resistência mecânica para todas as formulações, nas duas temperaturas de queima e nas duas faixas de densidade aparente a seco, atendem às indicações anteriores.

Já para usos mais severos, a resistência à compressão das composições com a faixa de densidade aparente a seco **II** até atendem algumas destas aplicações, de acordo com as Tabelas 2 e 3. Entretanto, conforme já apresentado, a absorção de água não atende.

Em comparação com o **PPC**, praticamente todas as formulações nas duas faixas de densidade a seco investigadas, apresentam resistência mecânica acima de 35 MPa. A exceção é a formulação **M50A10CH** para a faixa de densidade **I**. Ainda segundo a norma da ABNT para **PPC**⁽¹⁰⁾, valores de resistência à compressão iguais

ou superiores à 50 MPa indicam uso para pavimentação de vias de tráfego pesado que produzem acentuados efeitos de abrasão. Assim todas as composições, da faixa de densidade a seco II atendem à exigência.

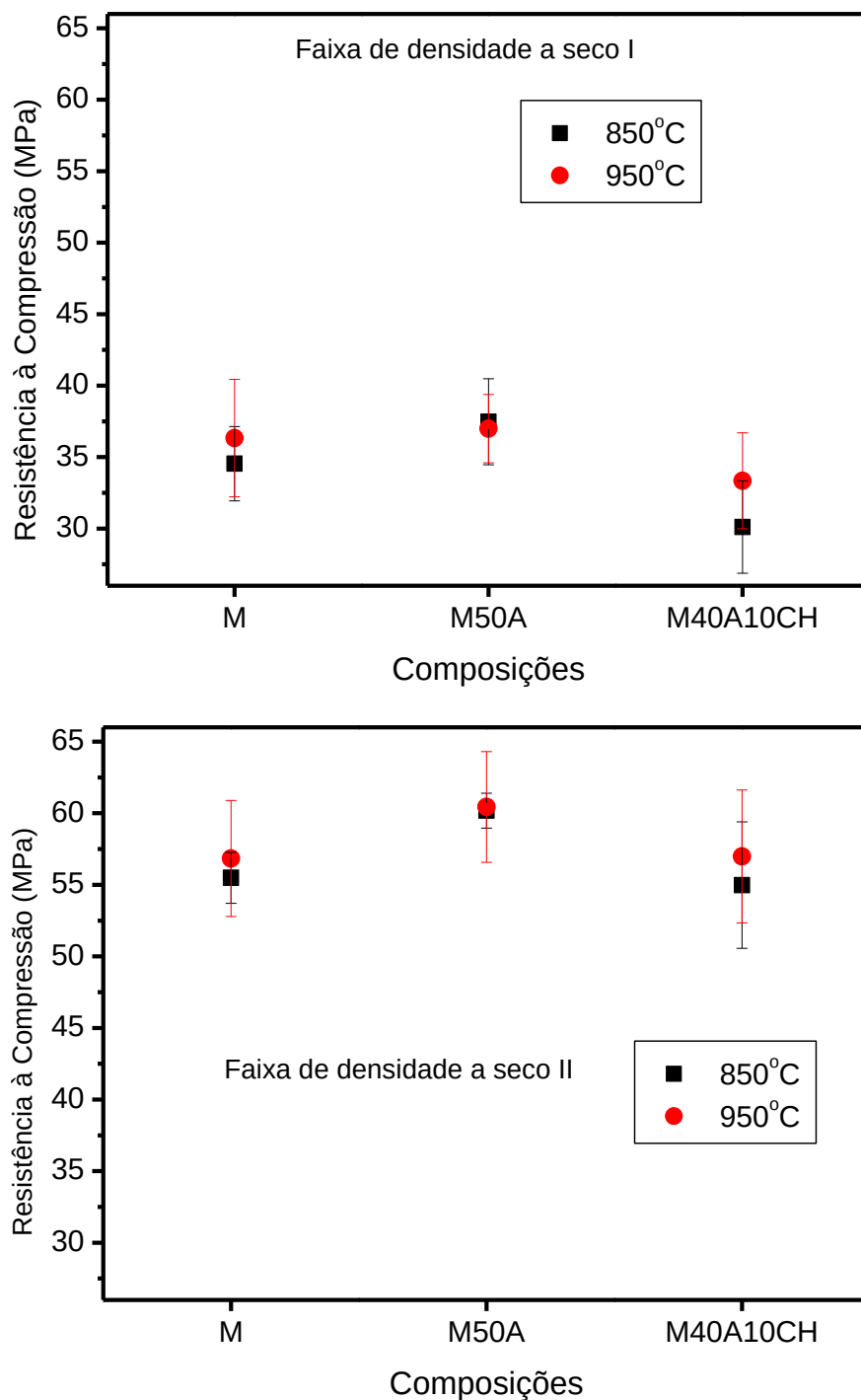


Figura 2: Resistência à compressão uniaxial das composições para as faixas I e II de densidade aparente a seco.

CONCLUSÕES

O grau de empacotamento das partículas influenciou positivamente nas propriedades tecnológicas avaliadas. As composições com maior empacotamento a seco apresentaram menor absorção de água e maior resistência mecânica. Para a massa argilosa pura **M** queimada a 950°C, por exemplo, a absorção de água foi reduzida em x%. Já a resistência à compressão uniaxial aumentou em r%. Para a massa com a incorporação de 50% de argilito, esta redução da absorção de água e incremento da resistência mecânica a 950°C, foi de e e e %, respectivamente. Desta forma, durante a conformação, seja por prensagem ou extrusão, deve-se priorizar incrementar a densidade aparente das peças. Os resultados mostraram, inclusive, que o aumento da densidade aparente a seco em aproximadamente 10% influencia mais nas propriedades de absorção de água e de resistência mecânica que o aumento da temperatura de queima de 850 para 950°C.

O argilito demonstrou ser uma matéria-prima bastante apropriada para o uso em cerâmica vermelha. Entretanto, para as cerâmicas de Campos dos Goytacazes é desejável buscar matérias-primas alternativas regionais para melhorar a competitividade de preço do adoquim, embora o uso de argilito não seja inviável economicamente, já que se trata de um produto de elevado valor agregado em comparação com os blocos de vedação e que disputa mercado com as peças pré-moldadas de concreto – **PPC**.

Para uso interior, tipo **NX**, norma americana, e para uso exterior com baixa circulação de pedestres, tipo **III**, norma colombiana, todas as formulações investigadas em todas as condições de processamento atendem o valor mínimo de resistência mecânica, 20,7 MPa. Com relação à absorção de água, não há exigência. Entretanto, para uso exterior em ambientes não expostos a temperaturas frias, tipo **MX**, norma americana, e com tráfego médio de pedestres, tipo **II**, norma colombiana, somente as massas com incorporação de argilito e compactadas com uma faixa maior de densidade atendem aos requisitos de absorção de água e de resistência mecânica.

Já para uso mais severo, os valores de absorção de água ficaram acima dos limites estabelecidos pelas normas americanas e colombianas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ, processos n. E-26/111.166/2011 e E-26111.166/2011, e ao CNPq, processos n. 301778/2011-6 e 301778/2001-6.

REFERÊNCIAS

1. BELTRÁN, V. Extruded rustic floor tile, I: Impact of the composition on the body's behaviour in the prefiring process stages. *Tile e Brick Int.*, v. 11, n. 3, p.169–176, 1995.
2. CONORSA, 2010. Disponível em < <http://www.conorsa.es>>. Acesso em: Outubro de 2010.
3. SÁNCHEZ, E., GARCÍA, J., SANZ, V., OCHANDIO, E. Critérios de selección de matérias primas para La fabricación de pavimentos y revestimientos cerâmicos. *Céram. Información*, 157, 13-21, 1990.
4. UNE – ES 1344/2002 (2002). *Adoquines de arcilla cocida. Especificaciones y métodos de ensayo.*
5. DIM 18503/2003 (2003). *Clinker bricks for paving – Requirements and test methods.*
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2006). ASTM 1272/2006, *Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick.*
7. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (2002). NTC 5282/2002, *Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular pesado.*
8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2006) ASTM C902 – 11/2006, *Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick.*
9. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (2002). NTC 3829/2002, *Adoquín de arcilla para tránsito peatonal e vehicular liviano.*
10. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 97810, *Requisitos físicos para a produção de PPC.* Rio de Janeiro, RJ (1987).
11. PINHEIRO, R. M., MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C. M. F. Caracterização de Matérias-primas para Fabricação de Adoquim. *Anais: 54º Congresso Brasileiro de Cerâmica.* Foz do Iguaçu, Paraná, 2010. Disponível em: http://www.metallum.com.br/54cbc/trabalhos_tecnicos.asp?Id=3.

12. VIEIRA, C. M. F., SOUZA, E.T.A., MONTEIRO, S. N. Efeito da incorporação de chamote no processamento e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, n° 50, p. 254–260, 2004.

INFLUENCE OF THE DRY BULK DENSITY ON THE PROPERTIES OF CERAMIC PAVER BODY

ABSTRACT

This work has as objective to evaluate the influence of the dry bulk density in body formulations developed to fabricate ceramic paver. Cylindrical specimens were uniaxial mold-press into two dry bulk density ranges, 1.99-2.05 and 2.18-2.23, from three formulations elaborated with clays, argillite and grog and then fired at 850 and 950°C. The evaluated properties were: water absorption and uniaxial compression strength. The results indicated that the packing during the forming stage is an important technological parameter that significantly influences in the evaluated properties.

Key-words: *Ceramic paver, Red ceramic, Dry bulk density.*