

## **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE AGREGADO SINTÉTICO DE ARGILA CALCINADA PARA USO EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA A CIDADE DE MANAUS**

M. S. OLIVEIRA, P. A. T. VILELA, V. S. ARAUJO  
Universidade do Estado do Amazonas  
Av. Darcy Vargas, nº 1200, Pq. Dez de novembro  
oliveirasmichelle@gmail.com

### **RESUMO**

*A pesquisa sobre a produção de agregados cerâmicos e sua utilização em pavimentação no país teve seu início na década de 80. Na busca de um material alternativo que pudesse substituir o seixo ou a pedra britada, estudou-se a argila, considerada um recurso mineral abundante em virtude de ser o solo predominante nessa região e com os quais foram confeccionados os agregados sintéticos de argila calcinada (ASAC), visando sua aplicação em pavimento permeável de concreto motivado pela ausência de áreas permeáveis. O estudo é composto pela caracterização dos materiais para confecção das placas de concreto permeável e pela avaliação dos efeitos do agregado sintético sobre as suas propriedades no estado fresco e endurecido. As massas cerâmicas foram submetidas a ensaios de difração de raios X, determinação de composição química e plasticidade. Os resultados obtidos indicam que a utilização de agregados sintéticos é uma alternativa viável na produção de concreto poroso.*

Palavras-chave: Argila calcinada, permeabilidade, pavimentos permeáveis.

### **ABSTRACT**

*Research on the production of ceramic aggregates and their use in paving in the country began in the 80's in the search for an alternative material that could replace the pebble or crushed stone, studied the clay, considered an abundant mineral resource by virtue of being the predominant soil in this region and which were made synthetic calcinated clay aggregates (ASAC), for their application in permeable paving concrete motivated by the lack of permeable areas. The study consists of the characterization of materials for manufacture of concrete slabs permeable and the assessment of the effects of synthetic aggregate on its properties in fresh and hardened state. The ceramic bodies were subjected to tests of X-ray diffraction, determination of chemical composition and plasticity. The results indicate that the use of synthetic clusters is a viable alternative for the production of porous concrete.*

Keywords: Calcined clay , permeability, permeable pavements .

## **INTRODUÇÃO**

Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos (BAUER, 2001). Em outras palavras é um material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte que apresenta características adequadas para uso em construção (MARIANO, 2014). Exemplos de agregados são a areia, o seixo rolado, a vermiculita e a barita. Quanto a origem os agregados são considerados naturais e industrializados, neste último está incluso o objeto de estudo deste, os agregados de argila calcinada o qual tem sua composição particulada obtida por processo industrial (BAUER, 2001).

A argila é um material muito fino, constituído de grãos lamelares de dimensões inferiores a dois micrômetros, formada em porções muito variáveis, de silicato de alumínio e óxidos de silício, ferro, magnésio e outros elementos (BAUER, 2001). As pesquisas relacionadas à utilização de agregados sintéticos de argila calcinada vêm sendo desenvolvidas na região amazônica, objetivando solucionar as dificuldades de obtenção de agregado rochoso, baseando-se na formação geológica predominante sedimentar, desfavorável ao aproveitamento da rocha como brita, bem como o assoreamento das margens dos cursos d'água provocado pela extração do seixo rolado do leito dos rios (CABRAL, 2008).

A formação geológica peculiar supracitada é tomada como um grande obstáculo ao desenvolvimento, posto que mais da metade do estado do Amazonas é coberto por sedimentos finos como argila, silte e areia (SOARES, 2001). O agregado artificial de argila calcinada é o produto proveniente da transformação de um solo ou folhelho argiloso previamente processado, em um material inerte e com resistência mecânica satisfatória para determinada finalidade (NASCIMENTO, 2005).

Nesta pesquisa o agregado de argila calcinada é um produto de cerâmica vermelha, pois este é moldado com a mesma matéria-prima, obtém o mesmo

processamento, tais como a secagem e queima, e apresenta fenômenos físico-químico durante a queima semelhantes aos que ocorrem com os tijolos e com as telhas. É importante salientar que o agregado exerce uma influência nas propriedades do concreto no estado fresco e no endurecido (MARIANO, 2014).

O concreto poroso é constituído basicamente pelos mesmos materiais que o concreto convencional, diferindo no teor de agregado miúdo que é bem baixo, ou geralmente nulo, para facilitar a formação de vazios interconectados na estrutura interna do material (TENNIS et al., 2004), o agregado de argila calcinada foi tomado como material partícipe na composição deste revestimento de concreto poroso.

Para elaboração do concreto poroso pode-se trabalhar com agregados graúdos de granulometria contínua, uniforme ou descontínua, onde a contínua apresenta grãos de diferentes tamanhos, a uniforme praticamente todos os grãos de material tem o mesmo tamanho e a descontínua carece de um tamanho para completar sua curva granulométrica. Deste modo, para permitir a máxima drenagem de água recomenda-se a uniforme e para ter um melhor comportamento mecânico a contínua, alguns autores recomendam que o diâmetro máximo nominal seja 10 mm (CASTRO et al., 2009).

Diante desse campo de pesquisa, o presente trabalho busca realizar a caracterização e análise da viabilidade do emprego de agregado de argila calcinada de Manaus na composição de um pavimento permeável de concreto poroso.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

As amostras dos solos argilosos provenientes do município de Manaus foram selecionadas baseado na utilização dos mesmos em olarias, para a fabricação de tijolos e no baixo ponto de fusão, alta plasticidade e elevado teor de ferro, condições estas necessárias para a produção de agregado sintético de argila calcinada, conforme o DNER (1981).

A fim de realizar a potencialidade à calcinação, realizaram-se os seguintes ensaios preliminares com as amostras no estado natural: granulometria, limite de liquidez, descrito na NBR 6459, limite de plasticidade, NBR 7180 e difração de raio x.

Após caracterização, procedeu-se com a confecção industrial dos agregados sintéticos de argila calcinada (ASAC). A metodologia utilizada foi: 1) correção da umidade e homogeneização, 2) moldagem de tarugos de argila para facilitar o corte dos agregados com tamanhos predeterminados, 3) após serem cortados nos tamanhos desejados os agregados foram submetidos a um processo de secagem ao ar, 4) por fim, os agregados foram calcinados.

As amostras de ASAC também foram caracterizadas segundo suas massas específicas dos grãos, massas específicas aparentes dos grãos e absorção de água, determinadas com base na NBR NM 53 e NBR 9937, respectivamente. Assim como foi realizada a difração de raio x a partir da queima e granulometria segundo a NBR NM 248.

A caracterização mineralógica foi realizada por análise de difração de raio-x (shimadzu modelo XRD6000, com tubo CuK $\alpha$ ), sendo identificadas as fases cristalinas presentes. A caracterização química foi realizada por espectrometria de fluorescência de raio-x, através de energia dispersada (shimadzu modelo EDX700HS), sendo quantificados os respectivos elementos químicos. A análise térmica foi realizada em um SDT Q600, a amostra foi aferida em torno de 10 mg, a taxa de gás N 5.0 de 30 ml/min e o cadinho utilizado no teste foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa.

Visto que as pesquisas sobre a dosagem de concreto poroso estarem sendo desenvolvidas em diversos países, adotou-se o traço em massa de 1:3,26, com uma relação água cimento (a/c) de 0,32, o mesmo foi utilizado na pesquisa de VELÉZ (2010), na Colômbia, o qual avaliou as propriedades mecânicas, mas não as hidráulicas, deste modo, optaram-se pelo aperfeiçoamento com o traço em massa apresentado. Ressalta-se que não foi utilizado aditivo químico e nem adição mineral na realização deste traço.

Em estado fresco foi medida a propriedade de trabalhabilidade (*slump test*), segundo a ABNT NM 67:1998. Em seguida, a medição de vazios em estado endurecido a partir do ensaio de permeabilidade com o intuito que avaliar a capacidade drenante do material pelo método de ensaio proposto no Anexo A da NBR 16416:2015.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características físicas e químicas do solo

Por meio do exposto na Tabela 1 e Tabela 2 são apresentados a granulometria e os limites de liquidez e de plasticidade, respectivamente, os quais indicam que a matéria-prima é muito plástica. Em relação ao critério SUCS as amostras são enquadradas como argilas inorgânicas com alta plasticidade (CH). Para efeito de produção do agregado sintético, foi utilizado o teor de umidade próximo do limite de plasticidade, considerando que o uso da umidade próximo do limite de liquidez produzia um agregado mais poroso.



Figura 1: Amostras de solos

Tabela 1: Composição textural das amostras

| Amostra (%) | Pedregulho grosso | Pedregulho médio | Pedregulho fino | Areia grossa | Areia média | Areia fina | Silte | Argila |
|-------------|-------------------|------------------|-----------------|--------------|-------------|------------|-------|--------|
|             | 0,00              | 0,91             | 3,83            | 8,71         | 10,46       | 5,44       | 44,52 | 26,22  |

Tabela 2: Limites de consistência das amostras

| Amostra (%) | Limite de liquidez | Limite de plasticidade | Índice de plasticidade |
|-------------|--------------------|------------------------|------------------------|
|             | 64,25              | 25,83                  | 38,45                  |

O material foi caracterizado como solo silto argiloso vermelho escuro com massa específica de 2,69 g/cm<sup>3</sup>.

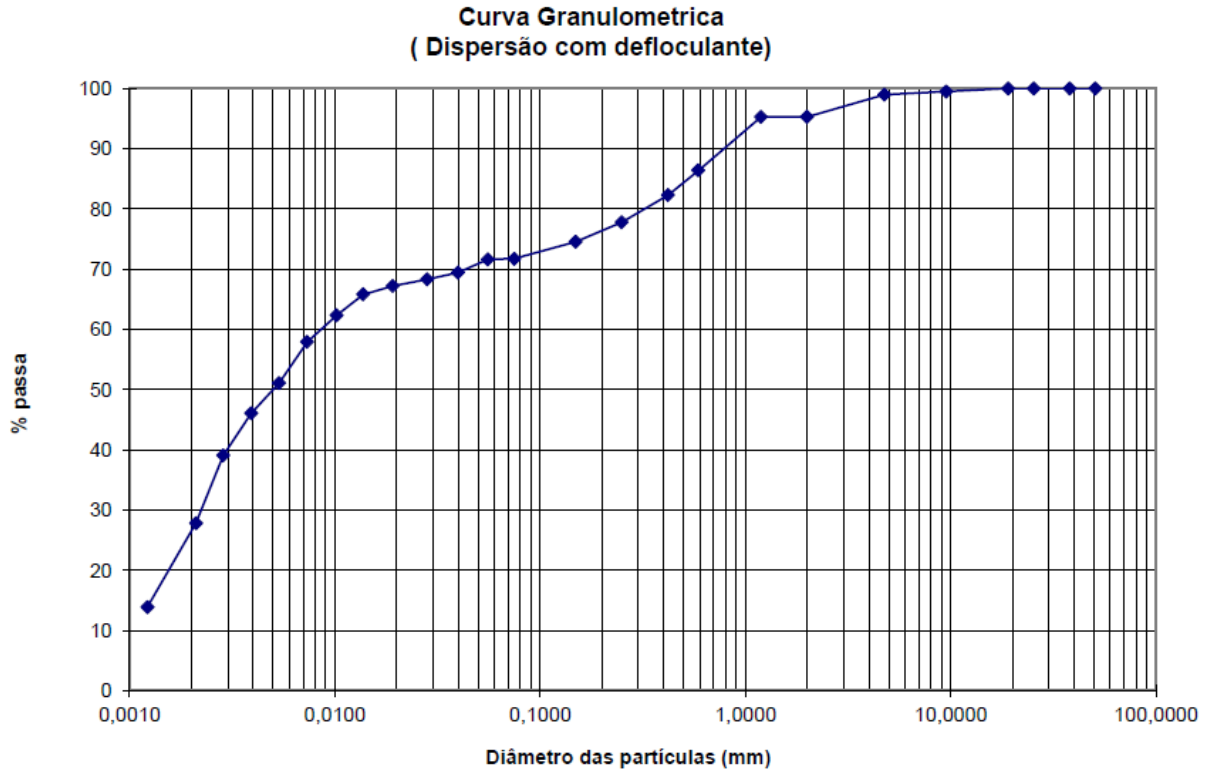


Figura 2: Granulometria da argila

A presença do elemento alumínio, conforme Tabela 3, componente fundamental da alumina ( $Al_2O_3$ ) que é um indicativo da existência de minerais argilosos. Este percentual justifica os elevados limites de consistência encontrados para este solo, bem como pode-se observar a ocorrência de um teor superior a 17,20% de ferro, elemento que constitui o óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ), responsável pela cor avermelhada dos agregados sintéticos antes e após a queima.

Tabela 3: Composição dos elementos químicos das amostras

| Amostras | Si     | Al     | Fe     | K     | Ti    | Ca    | Mg    | Ag    | Zr    | S     |
|----------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Solo     | 52,283 | 20,879 | 17,196 | 4,090 | 2,702 | 1,059 | 0,416 | 0,387 | 0,224 | 0,192 |

A figura abaixo mostra o gráfico de difração de raio x, onde se observa que os picos de maior intensidade estão associados à presença de quartzo e alumina,

assim como a presença de hematita, argilomineral que contribui para a coloração avermelhada.

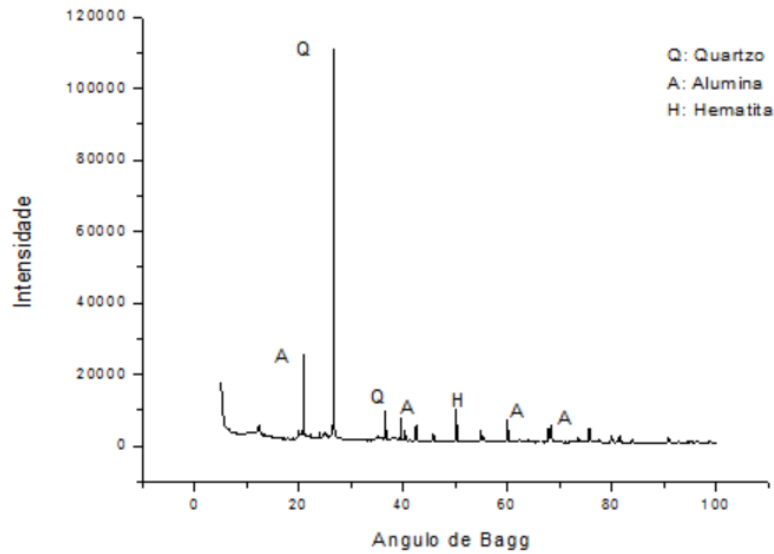


Figura 3: Resultado da difração de raio-x do solo

### **Características dos agregados**

O agregado calcinado a 950°C com dimensão máxima característica 12,5 mm, obteve massa específica do agregado seco de 2,77 g/cm<sup>3</sup>, massa específica do agregado na condição saturado superfície seca de 3,07 g/cm<sup>3</sup>, massa específica aparente de 3,99% e a absorção de água de 21,96%.

Tabela 4: Distribuição granulométrica

| <b>Peneira com abertura de malha<br/>(mm)</b> | <b>Porcentagem retida, em massa %</b> |
|---|---------------------------------------|
| 25,0  | 0,00                                  |
| 19,0  | 0,47                                  |
| 12,5  | 94,77                                 |
| 9,5   | 4,64                                  |
| 6,3   | 0,00                                  |
| 4,8   | 0,00                                  |
| Fundo   | 0,12                                  |
| <b>Dimensão máxima característica (mm)</b>    |                                       |
| 12,5  |                                       |

Observa-se que a composição granulométrica é descontínua, tendo dois tamanhos de grãos só na sua composição.

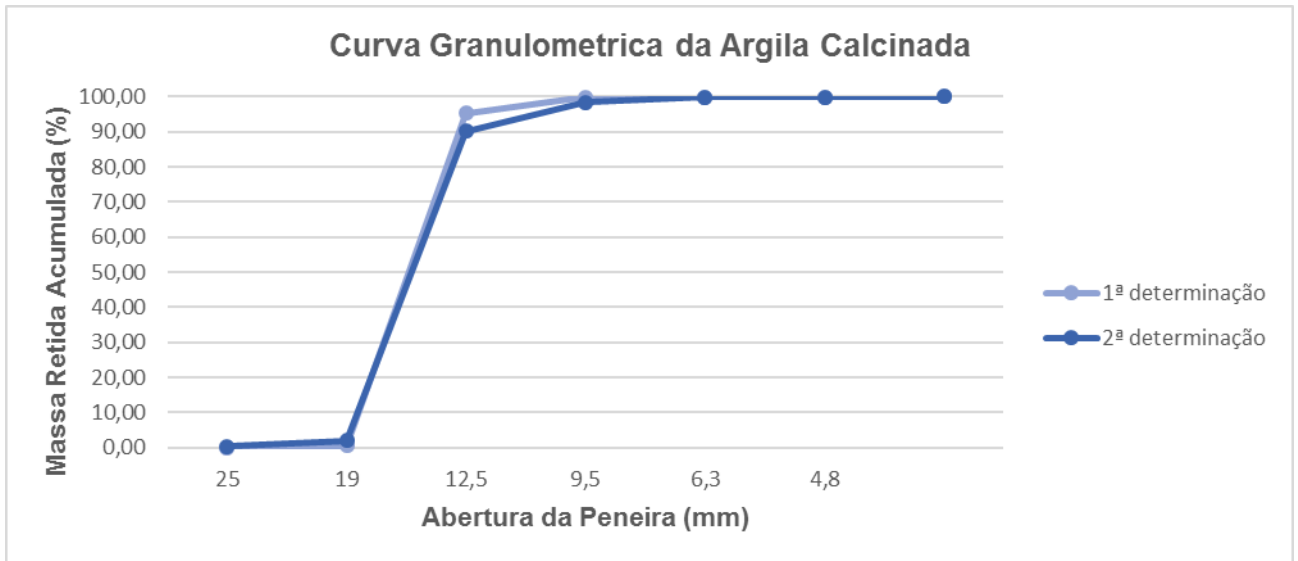


Figura 4: Curva granulométrica

A análise térmica realizada no material foi obtida considerando a contribuição do calorímetro diferencial de varredura (DSC) quanto à medida de fluxo de calor, em vista disso, podendo identificar mudanças de fase sem a variação de massa, tais como mudanças estruturais e cristalização, que passaria despercebida somente com a análise termogravimétrica.

A amostra evidenciou perda de massa em função da temperatura e devido ao grande desvio da linha de DSC no experimento, correspondente à temperatura de 52°C, contata-se neste ponto o pico da reação endotérmica, à medida que que na temperatura de 200°C ocorre o pico exotérmico durante aquecimento antes da temperatura de decomposição da amostra. A disparidade na amplitude encontrado nesta amostra pode estar relacionada à diferença no grau de ordem cristalina entre eles.



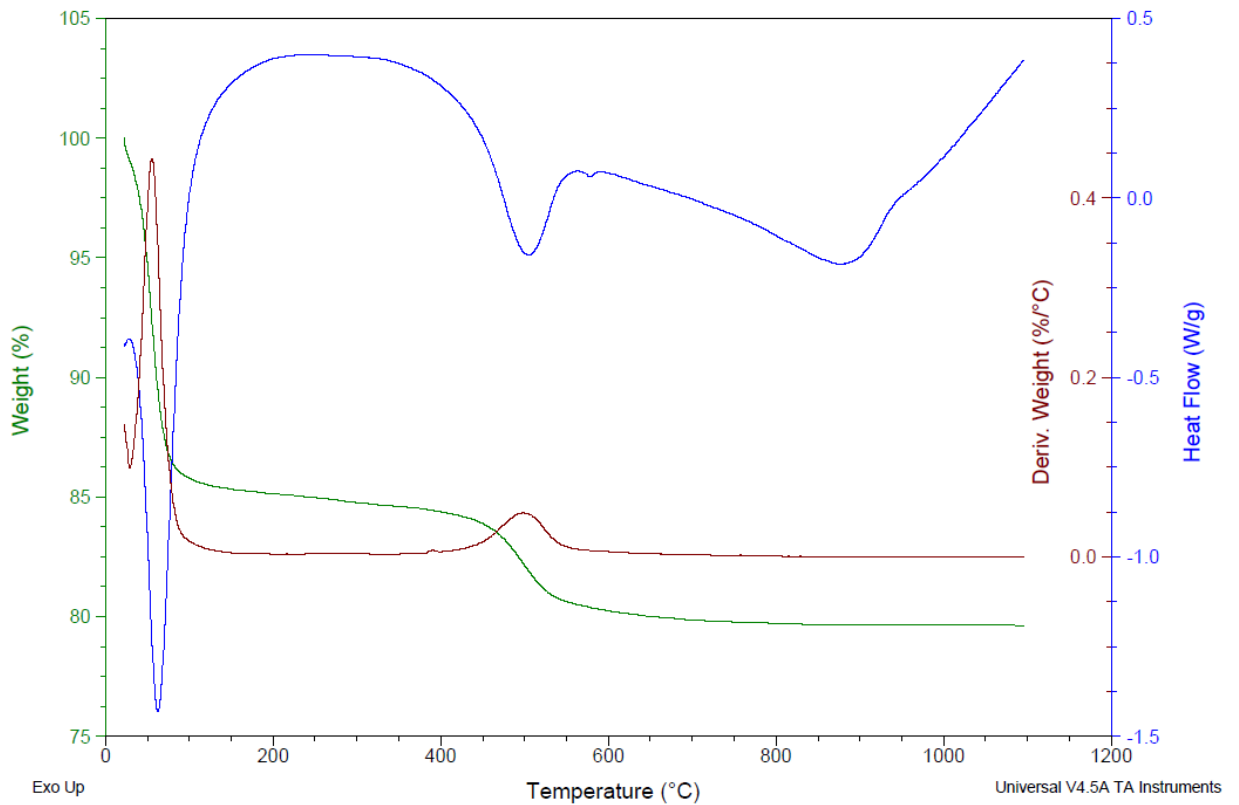


Figura 5: Análise térmica do ASAC

### Produção do concreto poroso

Preliminarmente foi executada uma verificação da propriedade de trabalhabilidade em estado fresco do material e para o estado endurecido os ensaios realizados foram a resistência à compressão e tração por flexão para a verificação das propriedades mecânicas. A verificação das propriedades hidráulicas foi executado conforme o Anexo A da NBR 16416:15.



Figura 6: Ensaio de consistência

O revestimento escolhido foram placas pré-moldadas de concreto permeável para construção de pavimento.

Tabela 5: Consumo de materiais por m<sup>3</sup>

| <b>Consumo de cimento (kg)</b> | <b>Consumo de agregado (kg)</b> | <b>a/c</b> | <b>Água (l)</b> | <b>Absorção do agregado (%)</b> | <b>Água de absorção (l)</b> | <b>Correção da água de amassamento (l)</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|--|
| 420                            | 1288,02                         | 0,32       | 134,3           | 1,2                             | 16,43                       | 159,23                                     |

Em relação às características mecânicas, apresentou a resistência à tração na flexão de aproximadamente 1,6 MPa e resistência a compressão, na idade de 28 dias, de 3,81 MPa.

Tabela 6: Planejamento experimental

| <b>Tipo de ensaio</b>     | <b>Ensaio</b>                              | <b>Tipo de corpo de prova</b> | <b>Dimensão do corpo de prova (mm)</b> |
|---------------------------|--|-------------------------------|--|
| <b>Ensaio mecânicos</b>   | Resistência à compressão (NBR 5739)        | Cilíndrico                    | 100 x 200                              |
|                           | Resistência à tração na flexão (NBR 15805) | Placa                         | 150 x 150 x 500                        |
| <b>Ensaio hidráulicos</b> | Permeabilidade (Anexo A NBR 16416)         | Anel cilíndrico vazado        | 300 x 50                               |

O escoamento superficial gerado pelo pavimento permeável em concreto poroso, em valor médio, o coeficiente de escoamento foi igual a 0,61.

## **CONCLUSÃO**

O emprego de agregados sintéticos de argila calcinada (ASAC) se revela alternativa viável, dada a abundância da matéria-prima necessária para a produção desse material, contudo ressalta-se que a elevada absorção do agregado de argila retira a água de amassamento reduzindo a resistência.

Em relação as propriedades hidráulicas do material, constatou-se que a distribuição granulométrica tem uma grande influência na porcentagem de vazios internos, visto que a permeabilidade está diretamente ligada à porcentagem de vazios do material, esta última característica é obtida através da distribuição granulométrica e compactação. Finalmente os agregados sintéticos de argila calcinada apresentaram um desempenho aceitável sob as condições de pesquisa, levando em consideração que não foi utilizado aditivos químicos nem adições minerais.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a CRN Cerâmica Rio Negro pela doação de insumos para a realização desta pesquisa.

### **REFERÊNCIAS**

ACIOLI, L. A., Estudo experimental de pavimentos permeáveis para controle do escoamento superficial na fonte, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, NBR 16416, Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, Rio de Janeiro, 2015;

CABRAL, E. M., SÁ, R. J., VASCONCELOS, R. P., VIEIRA, A. K. ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA ARGILA CALCINADA EM CONCRETO 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 24 a 28 de Novembro de 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil.2315;

CASTRO *et al.*, Javier C., Hernán de S., Carlos V., Bonifacio F., Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón. Revista Ingeniería de Construcción, v. 24, p. 271-284, out. 2009;

FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de Construção. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 5. Ed., V. 1 e 2, 1997, 951 p.;

FROTA, C.A., et al., Desempenho mecânico de misturas asfálticas confeccionadas com agregados sintéticos de argila calcinada, Revista Cerâmica, 2007;

NASCIMENTO, R. R. Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o estado do Acre. 2005, 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.

SANDOVAL, G.F.B., Desempenho do concreto poroso com agregados sustentáveis, Universidade Estadual de Londrina, 2014;

SOARES, E. A. A. Os depósitos quaternários na confluência dos rios Negro e Solimões, municípios de Iranduba e Manacapuru, Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, Belém, 2001. Anais... Belém: SBG – Região Norte, 2001. 1- 5 p.

TENNIS et al., Tennis, P. D., Leming, M. L. & Akers, D. J., Pervious Concrete Paviments. Portland Cement Association. Skokie Illinois, 2004.

VÉLEZ, L.M., Permeabilidad y porosidad en concreto, Rev. Tecno Lógicas, Diciembre de 2010, pp. 169-187.