

**RESÍDUO DE CAULIM COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO EM CONCRETOS PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Thyago Lima Souza (*), Larissa Santana Batista, Suélen Silva Figueiredo Andrade, Wily Santos Machado, Jonatas Kenedy Silva de Medeiros

* Universidade Federal de Campina Grande, thyago.limasouza@gmail.com

RESUMO

O descarte de resíduos proveniente das atividades de mineração gera enormes impactos negativos na natureza. Dentre os minerais extraídos, o caulim gera uma grande quantidade de resíduo, proveniente do seu processo de beneficiamento, podendo apresentar-se como um agregado na produção do concreto por conter minerais como o quartzo em sua composição. O estudo da utilização desse rejeito se faz necessário, pois além de proporcionar uma destinação adequada do mesmo, reduz também a demanda e consequentes problemas causados pela extração, por exemplo, da areia na natureza, já que a construção civil é responsável por consumir uma enorme quantidade de matéria-prima extraída do meio ambiente. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo a substituição do agregado miúdo por resíduo de caulim nas proporções de 10%, 20% e 30%, analisando a viabilidade de sua utilização em concretos para peças de pavimento intertravado. Inicialmente, foram realizados os ensaios de caracterização física dos materiais utilizados, incluindo o resíduo. Em seguida, as peças de concreto foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, conforme prescreve a ABNT NBR 9781/13, além do ensaio de resistência à tração por flexão, de acordo com a ABNT NBR 12142/10. Conforme os resultados de resistência à compressão aos sete dias, quanto maior o teor de utilização do resíduo de caulim, menor os valores de resistência em comparação ao traço convencional. Analisando a resistência à compressão aos 28 dias, o traço com substituição de 10% do agregado miúdo pelo resíduo de caulim alcançou resistências superiores a 35 MPa, que é a mínima exigida por norma.

PALAVRAS-CHAVE: Paver, Resíduo de Caulim, Concreto, Pavimento.

ABSTRACT

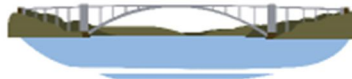
The proven waste disposal of mining activities creates enormous negative impacts on nature. Among the extracted minerals, kaolin generates a large amount of residue, from its beneficiation process, and can present itself as an aggregate in the production of the concrete because it contains minerals such as quartz in its composition. The study of the use of this waste is necessary because, in addition to providing adequate disposal, it also reduces the demand and consequent problems caused by the extraction, for example, of sand in nature, since the construction industry is responsible for consuming a huge amount of raw material extracted from the environment. Therefore, the present work has the objective of replacing the small aggregate by kaolin residue in proportions of 10%, 20% and 30%, analyzing the feasibility of its use in concretes for interlocked pavement pieces. Initially, the physical characterization tests of the materials used, including the residue, were carried out. Then, the concrete pieces were submitted to the tests of resistance to simple compression and water absorption, as prescribed by ABNT NBR 9781/13, in addition to the tensile strength test according to ABNT NBR 12142/10. According to the results of compressive strength at 7 days, the higher the kaolin waste utilization content, the lower the resistance values compared to the conventional trace. By analyzing the compressive strength at 28 days, the trace with 10% substitution of the small aggregate by the kaolin residue reached resistance above 35 MPa, which is the minimum required by norm.

KEY WORDS: Paver, Kaolin waste, Concrete, Pavement.

INTRODUÇÃO

O pavimento intertravado está ganhando cada vez mais espaço nas estradas e passeios de todo o mundo, pois além de sua estética, o mesmo proporciona facilidade na execução e manutenção, conforto térmico, liberação imediata para tráfego, entre outras vantagens. No Brasil, de acordo com a Portland (2010), esse tipo de pavimento chegou na década de 70 e é utilizado em calçadas, praças, parques, pátios e ruas.

O pavimento intertravado é composto por várias camadas de modo a receber e distribuir as cargas solicitadas por pessoas e/ou veículos. A camada de revestimento, responsável por receber diretamente esses esforços, é formada por peças de concreto dispostas de maneira a formar um intertravamento umas com as outras, onde além de impedir que elas se desloquem, transmitem os esforços para as demais peças vizinhas (KNAPTON, 1976).



Os pavers são assentados sobre uma fina camada de areia ou pó de pedra como forma de regularizar a superfície que vai receber esse revestimento, além de serem rejuntados também com esses materiais granulares, propiciando uma maior permeabilidade do pavimento e facilitando na manutenção. Essas peças são confinadas por dispositivos de contenção, como meio-fio, em suas bordas. Nas demais camadas têm-se a base e a sub-base, recebendo os esforços do revestimento para distribuir no subleito, que é a “fundação” do pavimento (ABNT, 2011).

O Brasil é um dos países mais ricos em matérias-primas, onde a extração de minerais ocupa uma posição muito importante na economia (SILVA, 2017). Porém, a extração de uma das matérias-primas mais consumidas no mundo, a areia, traz enormes prejuízos sociais e ambientais, como a modificação e poluição dos cursos d’água e degradação das matas, motivando a busca por soluções alternativas para amenizar essa situação.

Diante disto, diversos tipos de resíduos e materiais alternativos são estudados como substitutos do agregado miúdo no concreto, com o propósito de, também, dá uma serventia a esses materiais que muitas vezes são descartados na natureza, diminuindo assim os impactos causados por essa má destinação.

O caulim é um mineral bastante utilizado no preparo de papel e pastas cerâmicas, além de ser aplicado, em menor escala, na fabricação de plásticos, borrachas, materiais refratários, tintas, cimentos, adesivos, pesticidas, produtos alimentares e farmacêuticos, fertilizantes, cosméticos e em vários outros produtos (MÁRTIRES, 2009). Os rejeitos resultantes do seu beneficiamento são, quase sempre, descartados a céu aberto, descumprindo as exigências de utilização de aterros e implicando em sérios problemas ambientais, afetando o meio físico e biótico, e sociais, causando danos à saúde de moradores rurais que residem próximos a esses "depósitos" (MENEZES, et al., 2009).

Segundo Mendonça et al. (2017), esse resíduo apresenta um grande potencial mineral, pois possui em sua constituição caulim, mica moscovita e quartzo, motivando, assim, estudos para o desenvolvimento de tecnologias visando o aproveitamento desse material em diversas áreas.

Portanto, esse trabalho tem como finalidade avaliar o uso do resíduo de caulim como substituto parcial do agregado miúdo no concreto para uso na fabricação dos pavers, analisando as resistências à compressão, à tração e a absorção de água das peças, conforme as normativas técnicas exigidas pela norma vigente, visando aumentar o ciclo de vida deste resíduo.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a produção de peças de concreto para pavimento intertravado (pavers) com a utilização de resíduo de caulim como substituto parcial do agregado miúdo, verificando se as peças com a substituição atendem os requisitos para a sua utilização, propondo a utilização desse rejeito que é descartado na natureza e minimizando os impactos causados pela extração dos agregados.

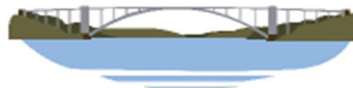
METODOLOGIA

Visando alcançar o que se objetiva neste trabalho, realizou-se as atividades de caracterização dos materiais, moldagem dos pavers e avaliação física e mecânica do concreto convencional e com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de caulim.

Os materiais utilizados nesta pesquisa estão descritos a seguir:

- Cimento CP V – ARI;
- Agregado miúdo composto de areia e pó de pedra;
- Agregado graúdo composto de brita 0;
- Resíduo de caulim, obtido na cidade de Junco do Seridó – PB;
- Água, obtida da rede de abastecimento de água do estado da Paraíba.

A tabela 1 mostra as normas utilizadas na caracterização dos materiais utilizados na produção do concreto.

**Tabela 1. Normas ABNT. Fonte: Autor do Trabalho.**

Ensaio	Normas
Massa Unitária dos Agregados	NBR NM 45/2006
Massa Específica dos Agregados Miúdos	NBR NM 52/2009
Massa Específica do Agregado Graúdos	NBR NM 53/2010
Granulometria	NBR NM 248/2003
Agregados para Concreto	NBR 7211/2009

Após a caracterização dos materiais, foi definido o traço de referência, bem como os traços com as substituições do agregado miúdo pelo resíduo de caulim nas proporções de 10%, 20% e 30%. A tabela 2 mostra os traços utilizados na produção dos concretos.

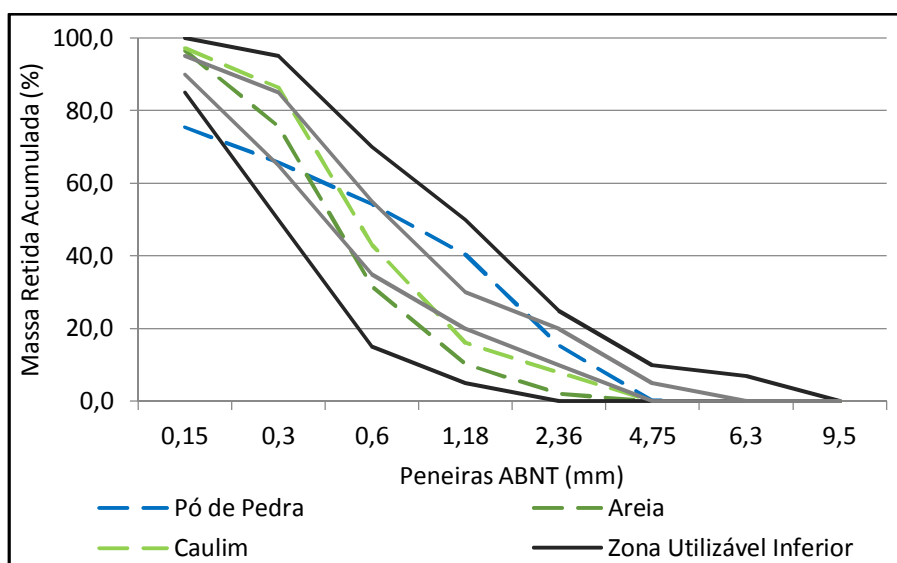
Tabela 2. Traço em massa. Fonte: Autor do Trabalho

Traço	Materiais				
	Cimento	Agreg. Miúdo	Agreg. Graúdo	Água	Resíduo
REF	1	1,8	2,8	0,6	0
RC10%	1	1,6	2,8	0,6	0,2
RC20%	1	1,4	2,8	0,6	0,4
RC30%	1	1,2	2,8	0,6	0,6

Os pavers foram moldados em moldes prismáticos com dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm. Em seguida, foram colocados em cura úmida por 7 dias. Com isso, foi realizado o ensaio de resistência à compressão, a fim de avaliar qual teor de resíduo apresenta uma melhor resistência. Após o rompimento das peças mencionadas anteriormente, foram confeccionados pavers, para a idade de cura de 28 dias, com o traço de referência e com o traço que apresentou melhor resultado de resistência a compressão aos sete dias. Estes foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração e absorção de água.

RESULTADOS

O ensaio de granulometria dos agregados foi realizado conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). A figura 1 mostra as curvas granulométricas dos agregados miúdos, bem como as zonas limites definidas pela NBR 7211 (ABNT, 2009). É possível observar que todas as curvas dos agregados estão dentro dos limites estabelecidos por norma, tornando adequado às suas utilizações na produção do concreto.

**Figura 1. Curva granulométrica dos agregados miúdos. Fonte: Autor do Trabalho**



A figura 2 mostra a curva granulométrica do agregado graúdo, realizada de forma análoga ao procedimento de granulometria dos agregados miúdos. Observa-se que a brita 0 se enquadra nos limites da norma. Com isso, a brita poderá ser utilizada como agregado graúdo no concreto,

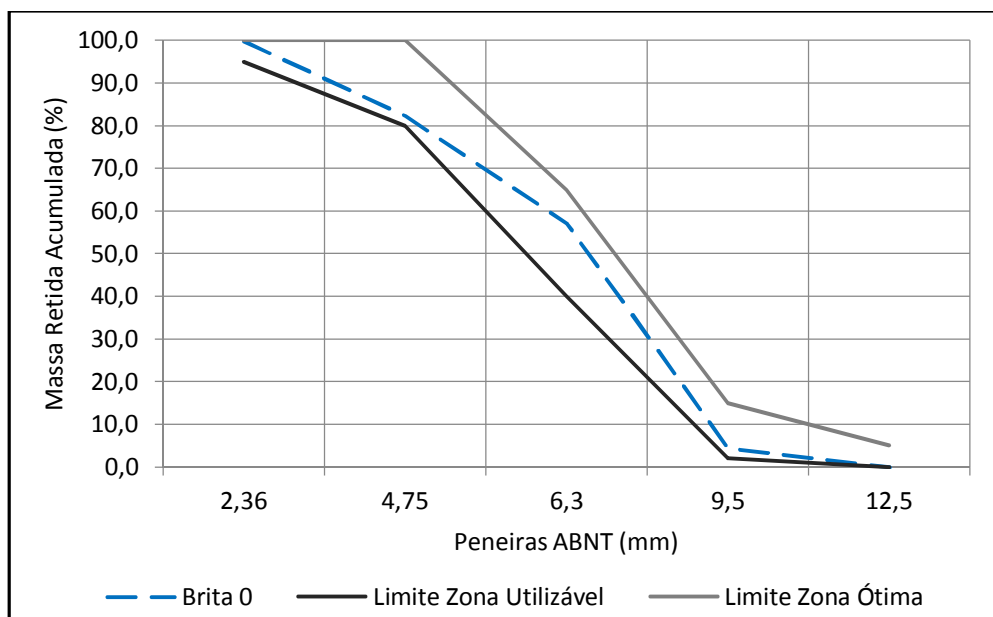


Figura 2. Curva granulométrica do agregado graúdo. Fonte: Autor do Trabalho

A figura 3 ilustra os valores de resistência característica à compressão das peças aos 7 dias de cura com os seus referidos teores de substituição do agregado miúdo pelo resíduo.

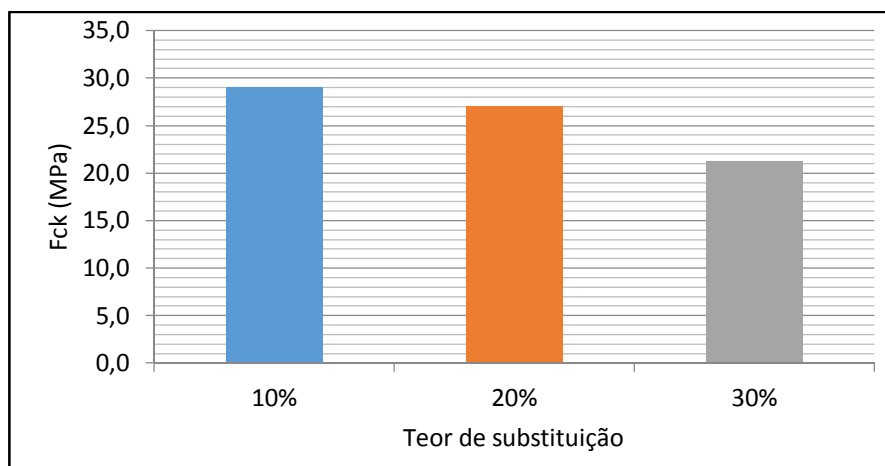
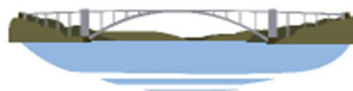


Figura 3: Resistência característica à compressão aos 7 dias. Fonte: Autor do Trabalho.

De acordo com os resultados, observa-se que o traço que apresentou melhor resistência foi o que contém 10% de substituição do agregado miúdo pelo resíduo. Com isso, o traço de referência e o traço com 10% de substituição foram submetidos aos demais ensaios físicos e mecânicos aos 28 dias.

A tabela 3 mostra os valores de absorção de água das peças de concreto ensaiadas.

**Tabela 3. Valores de absorção de água dos pavers. Fonte: Autor do Trabalho.**

Traço	Peças	m ₁	m ₂	A (%)	A (%)
REF	1	2568	2659	3,54	3,75
	2	2514	2610	3,82	
	3	2502	2599	3,88	
RC10%	1	2470	2599	5,22	4,79
	2	2580	2687	4,15	
	3	2518	2644	5,00	

De acordo com os resultados de absorção, tanto o concreto de referência como o concreto com substituição de 10% agregado pelo resíduo apresentaram valores médios de absorção menor que 6% e valores individuais menores que 7%. Com isso, os concretos atenderam às especificações da NBR 9781 (ABNT, 2013), viabilizando a substituição de 10% do agregado miúdo natural pelo resíduo de caulim.

Observa-se que a absorção de água do concreto com utilização do resíduo, com valor de absorção média de 4,79%, foi superior ao concreto de referência, que apresentou somente uma absorção de 3,75%. Isso se deve ao fato de que a utilização do resíduo de caulim como parte do agregado miúdo proporciona ao concreto uma maior porosidade, facilitando a penetração de água ou outras substâncias nocivas que comprometem a resistência e durabilidade da peça.

A tabela 4 apresenta os valores de resistência características à compressão dos pavers aos 28 dias de cura.

Tabela 4. Valores de resistência característica à compressão dos pavers aos 7 dias. Fonte: Autor do Trabalho.

Traço	Resistência Característica à Compressão (MPa)
CONV	41,71
RC10%	36,21

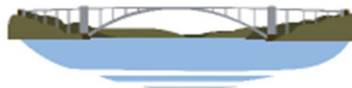
Os pavers com substituição de 10% do agregado miúdo por resíduo de caulim apresentaram resistência à compressão inferior em relação ao traço sem utilização do caulim. Porém, além do traço de referência, que apresentou resistência característica de 41,71 MPa, o traço RC10% com resistência característica de 36,21 MPa obteve resistência superior a 35 MPa, atendendo aos requisitos de utilização para pavimentos intertravados com solicitação de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, descrito conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013).

A tabela 3 mostra os valores de resistência à tração dos pavers aos 28 dias por meio do ensaio de resistência à tração na flexão, descrito conforme a NBR 12142 (ABNT, 2010).

Tabela 5. Valores de resistência característica à compressão dos pavers aos 28 dias. Fonte: Autor do Trabalho.

Traço	Força (N)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
REF	11275,8	4,89	5,28
	13464,3	5,84	
	11726,5	5,09	
RC10%	12770,5	5,54	5,56
	12330,5	5,35	
	13348,5	5,79	

A NBR 9781 (ABNT, 2013) não estabelece parâmetros para aceitação das peças de concreto quanto a essa resistência, porém, de acordo com Silva (2014), existem normas internacionais que estabelecem esses parâmetros. Segundo a autora, a norma SANS 1058/2009 da África do Sul estabelece que o valor mínimo de resistência à tração deve ser de 2,2 MPa para tráfego leve e 2,8 MPa para tráfego pesado. Além dessa, a norma NTC 2017/2004 da Colômbia determina que a resistência à tração na flexão aos 28 dias seja maior ou igual a 5 MPa para o valor médio de 5 corpos de prova ensaiados.



Conforme os resultados obtidos, observa-se que os valores de resistência à tração na flexão média do concreto de referência e do concreto com resíduo apresentaram-se superiores a 5 MPa, atendendo aos valores mínimos exigidas pelas normas colombiana e sul-africana, estando aptos até para a solicitação de tráfego pesado segundo a norma da África do Sul.

CONCLUSÕES

Com o aumento do teor de substituição do agregado natural pelo resíduo, nas proporções de 10%, 20% e 30%, houve uma redução da resistência à compressão das peças com sete dias de cura. Com isso, o traço com 10% de substituição apresentou, dentre os que possuíam o resíduo de caulim em sua constituição, o melhor valor de resistência à compressão nas idades iniciais.

Os valores de absorção de água dos pavers, tanto do traço de referência quanto dos traços com substituição de 10% do agregado miúdo pelo resíduo, apresentaram-se abaixo dos valores máximos exigidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), que são de 6% para o valor médio e 7% para as absorções individuais.

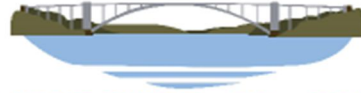
As peças com 10% de caulim apresentaram, aos 28 dias, resistências à compressão superiores a 35 MPa, valor mínimo de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013) para solicitações de pedestres e veículos leves, porém ainda com valores inferiores ao concreto convencional.

Com relação ao ensaio de resistência à tração na flexão, as peças apresentaram valores de resistência muito satisfatórios, atendendo a valores mínimos exigidos por normas internacionais, citadas por alguns autores, para a aplicação em pavimentos com solicitações pesadas.

Com isso, conclui-se que o concreto com substituição de 10% do agregado miúdo pelo resíduo de caulim apresentou-se viável para ser utilizado na fabricação de peças para pavimento intertravado, pois além de atender os critérios exigidos pela norma vigente, contribuiu para a diminuição do seu descarte na natureza, trazendo soluções sociais e econômicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto: Execução. Rio de Janeiro, 2011
2. _____. **NBR 12142**: Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
3. _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
4. _____. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação: Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
5. _____. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
6. _____. **NBR NM 45**: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
7. _____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
8. _____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.
9. KNAPTON, J. **The design of concrete block roads**. Londres: CCA, 1976.
10. MÁRTIRES, R. A. C. Caulim. In: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília-DF: DNPM, 2009. cap. 6, p. 474-483.
11. MENDONÇA, A. M. G. D. et al. Aproveitamento de resíduo de caulim na produção de blocos cerâmicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: IBEAS, 2017.
12. MENEZES, R. R. et al. Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 795-801, 2009.
13. PORTLAND, Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. 36p.
14. SILVA, A. C. da. **Impactos ambientais causados pela extração de areia no rio Paraíba, no trecho da cidade de Pilar- PB**. 2017. Disponível em: <<http://www.ccen.ufpb.br/cbblg/contents/documentos/bacharelado/trabalhos-de-conclusao-de-curso-2016.2/adriano-cavalcanti-da-silva.pdf/view>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2019.



15. SILVA, F. M. **Análise da aplicação de resíduo de borracha de pneus em piso tátil intertravado de concreto.** 2014. 129. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovação) – Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.