



## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO

Thyago Lima Souza (\*), Adriano Lopes Gualberto Filho, Marcos André Lira Silva, Larissa Santana Batista, Suelen Silva Figueiredo Andrade

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

### RESUMO

O estudo da utilização do rejeito de caulim tem valor científico e socioambiental por proporcionar uma destinação adequada, reduzindo a demanda e consequentes problemas oriundos da sua extração, tendo em vista que o ramo da construção civil é consumidor de uma quantidade significativa de matéria-prima. Dessa forma, o estudo tem como objetivo a substituição do agregado miúdo por resíduo de caulim nas proporções de 10%, 20% e 30%, verificando sua viabilidade para peças de pavimento intertravado. Foi utilizado o resíduo de caulim com e sem material fino, sendo realizados ensaios de caracterização física dos materiais, e posteriormente as peças de concreto foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água conforme prescreve a ABNT NBR 9781:2013. De acordo com os resultados e analisando a resistência à compressão aos 28 dias, os traços com substituição de 10% do agregado miúdo pelo resíduo de caulim atingiram resistências superiores a 35 MPa, parâmetro aceitável normativo, tanto para o resíduo com finos como o sem finos, tornando viável a sua utilização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Paver, Resíduo de Mineração, Concreto, Caulim, Pavimentação.

### ABSTRACT

The study of the use of kaolin waste has scientific and socio-environmental value by providing an appropriate destination, reducing the demand and consequent problems arising from its extraction, considering that the construction industry is a consumer of a significant amount of raw material. Thus, the study aims to replace the fine aggregate by kaolin waste in the proportions of 10%, 20% and 30%, verifying its feasibility for interlocking sidewalk pieces. The kaolin waste was used with and without fine material, and physical characterization tests of the materials were performed, and then the concrete pieces were subjected to compressive strength and water absorption tests as prescribed by ABNT NBR 9781:2013. According to the results and analyzing the compressive strength at 28 days, the mixtures with replacement of 10% of fine aggregate by kaolin waste reached strengths greater than 35 MPa, an acceptable normative parameter, both for the waste with fines and without fines, making its use feasible.

**KEY WORDS:** Paver, Mining Waste, Concrete, Kaolin, Paving

### INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países mais ricos em matérias-primas, onde a extração de minerais ocupa uma posição muito importante na economia (Da 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.

Por outro lado, o caulim é um mineral bastante utilizado em papéis, plásticos, tintas, cerâmicas, suporte de catalizadores e várias outras aplicações (Bertolino et al., 2012). Os resíduos 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).

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 nova utilização a esses materiais que muitas vezes são descartados na natureza, diminuindo assim os impactos causados por essa má destinação.

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.



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 e absorção de água das peças, conforme as normativas técnicas exigidas pela norma vigente, propondo uma aplicação adequada para este resíduo.

### OBJETIVOS

O estudo tem como objetivo a substituição do agregado miúdo por resíduo de caulim na proporção de 10% verificando sua viabilidade para peças de pavimento intertravado.

### METODOLOGIA

Foi realizada a caracterização dos materiais, a determinação da porcentagem de utilização da areia e do pó de pedra na constituição do agregado miúdo, a relação a/c, a composição do traço de referência e os teores de utilização do resíduo de caulim. Com isso, foram produzidos os pavers de referência a fim de serem submetidos aos ensaios físicos e mecânicos. A Figura 1 mostra a sequência das atividades realizadas.

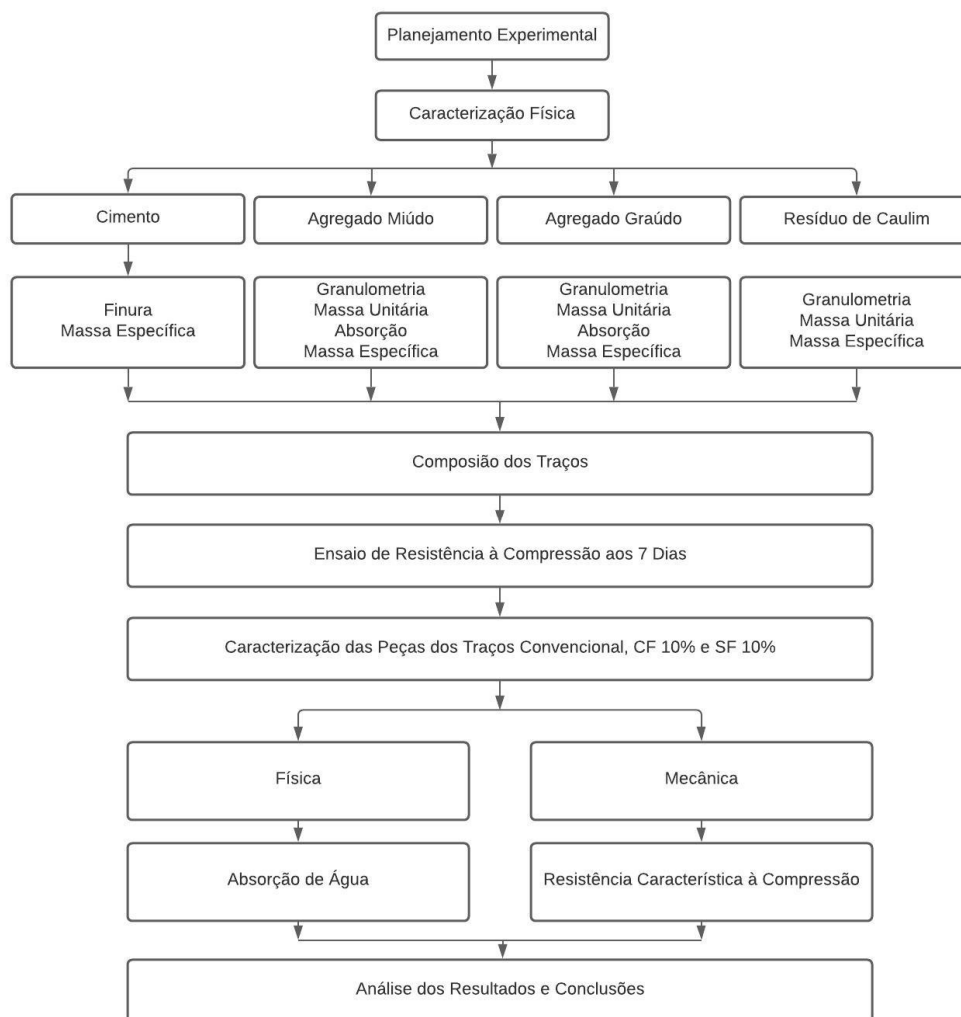


Figura 1: Fluxograma. Fonte: Autores, 2021.



### • Caracterização dos materiais

Os normas e os ensaios foram baseados na ABNT para realizar a caracterização dos materiais, Tabela 1 estão dispostos os métodos, as normas e o material utilizado

**Tabela 1. Ensaio dos Métodos da Caracterização dos Materiais e Normas**  
Fonte: Autores, 2021.

Ensaio dos Métodos da Caracterização dos Materiais	Normatização	Material
Finura do Cimento	ABNT NBR 11579. (2013)	Cimento
Massa específica do cimento	ABNT NBR 16605. (2017).	Cimento
Análise granulométrica	ABNT NBR NM 248. (2003) e ABNT NBR 7211. (2013).	Agregado Graúdo, Miúdo e Resíduo
Massa unitária	ABNT NBR NM 45. (2006).	Agregado Graúdo e Miúdo e Resíduo
Massa específica e absorção de água dos agregados	ABNT NBR NM 52. (2009), ABNT NBR NM 30 (2001) e ABNT NBR NM 53 (2009).	Agregado Graúdo e Miúdo e Resíduo

### • Composição do traço de referencia

A determinação do fator água/cimento se deu de acordo com o cimento utilizado e a resistência mecânica que se deseja alcançar para o concreto, com base na Tabela 2.

**Tabela 2. Resistência média do concreto em MPa em função da relação a/c para vários tipos de cimentos brasileiros.**

Fonte: HELENE e ANDRADE, 2007.

Tipo e Classe de Cimento	Relação a/c				
	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
CP I 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	36	41
CP V ARI. RS	30	33	38	42	46
CP V ARI	33	38	42	47	53

Notas:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 1 Agregados de origem granítica | 2 Diâmetro máximo dos agregados de 25mm      |
| 3 Abatimento entre 50mm e 70mm  | 4 Concretos com aditivo plastificante normal |

Como o cimento utilizado foi o CP V ARI e deseja-se obter um concreto com resistência mecânica de 35 MPa, a relação a/c foi de 0,60.



Para a definição do traço foi utilizado o método da ABCP. Primeiramente, determina-se o consumo de água aproximado em função da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, fixado 70 mm de acordo com o  $f_{ck}$  requerido e as condições de uso para esse concreto, e a dimensão máxima do agregado graúdo, como mostra a Tabela 3.

**Tabela 3. Consumo de água aproximado (l/m³).**

Fonte: RODRIGUES, 1983.

Abatimento (mm)	D <sub>máx</sub> agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Em seguida, foi determinado o consumo de cimento para 1 m³ de concreto, dado pela Equação 1.

$$\frac{a}{c} = \frac{C_a}{C_c} \quad \text{equação (1)}$$

Onde  $a/c$  é a relação água/cimento,  $C_a$  é o consumo de água em l e  $C_c$  é o consumo de cimento em Kg. O consumo de agregado graúdo é dado pela Equação 2.

$$C_{ag} = V_{ag} * \gamma_{ag} \quad \text{equação (2)}$$

Onde  $\gamma_{ag}$  é massa específica do agregado graúdo e  $V_{ag}$  é o volume, em m³, de brita por m³ de concreto, obtido a partir da dimensão máxima e do módulo de finura da brita, de acordo com a Tabela 4:

**Tabela 4. Volume do agregado graúdo por m³ de concreto.**

Fonte: RODRIGUES, 1983.

MF	Dimensão máxima (mm)			
	9,5	19,0	25,0	32,0
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

Para a determinação do consumo de agregado miúdo utiliza-se a seguinte Equação 3.

$$C_{am} = \gamma_{am} * V_{am} \quad \text{equação (3)}$$

Onde  $\gamma_{am}$  é a massa específica do agregado miúdo e  $V_{am}$  é o volume, em m³, de agregado miúdo por m³ de concreto, obtido pela Equação 4.

$$V_{am} = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \text{equação (4)}$$

Onde  $\gamma_c$ ,  $\gamma_{ag}$ , e  $\gamma_a$  são as massas específicas do cimento, da areia e da água, respectivamente.

Com isso, foi definido o traço de referência, em massa, utilizado para a produção dos pavers. A definição das porcentagens do pó de pedra e da areia como constituintes do agregado miúdo se deram pela realização do empacotamento, onde verificou qual composição apresentaria um menor índice de vazios para a mistura. O agregado miúdo foi substituído pelo resíduo de acordo com os teores definidos em cada traço, mas sem alterar a composição padrão do traço de referência.



### • Moldagem dos pavers

As peças foram moldadas em fôrmas prismáticas de PVC com dimensões de 20 cm x 10 cm x 6 cm, devidamente limpas e untadas com desmoldante. O concreto foi misturado em uma betoneira e adensado em uma mesa vibratória, com tempos de execução adotados de acordo com a análise visual da mistura.

Foram produzidos pavers com substituição de 10% do agregado miúdo (areia e pó de pedra) por resíduo de caulim com finos e os mesmos teores de substituição por resíduo de caulim sem finos. Com isso, foi realizado o ensaio de resistência à compressão aos sete dias de cura, a fim de avaliar a resistência.

Após o rompimento das peças com sete dias de cura, foram confeccionados pavers, para as idades de cura de 7 e 28 dias, com o traço de 10% (caulim com fino e sem fino). Posteriormente, foram submetidos aos ensaios de absorção de água e resistência à compressão baseada na norma ABNT NBR 9781/2013.

## RESULTADOS

### • Análise granulométrica

A Figura 2 apresenta a curva granulométrica da areia, do pó de pedra e do caulim, que representam os agregados miúdos que serão utilizados na elaboração do intertravado.

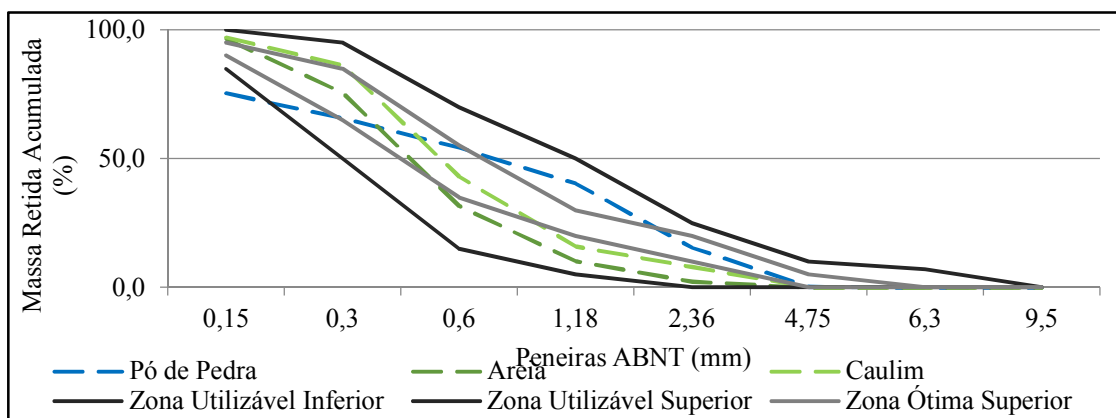


Figura 2: Curva granulométrica da areia, pó de pedra e caulim. Fonte: Autores, 2021.

O módulo de finura e a dimensão máxima característica do resíduo de caulim foram, respectivamente, 2,51 e 4,75 mm, enquadrando-se na zona ótima, possibilitando a sua utilização como agregado miúdo e a areia apresentou um módulo de finura de 2,17 e uma dimensão máxima característica de 2,36 mm.

A Figura 3 apresenta a curva granulométrica da brita 0, conforme recomendado pela ABNT.

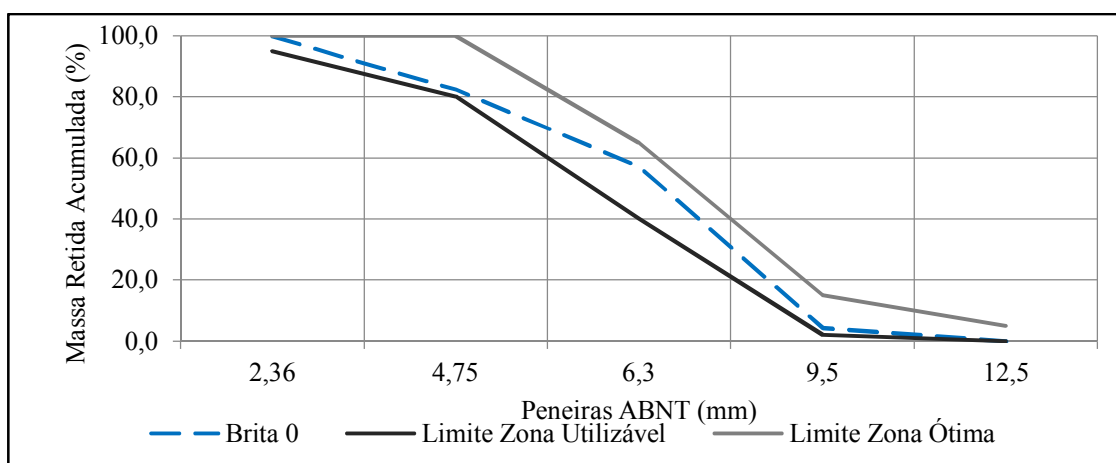


Figura 3: Curva granulométrica da brita 0. Fonte: Autores, 2021.



O agregado apresentou um módulo de finura de 5,86 e uma dimensão máxima característica de 9,5 mm, reforçando a caracterização do mesmo como brita 0.

- **Resistência característica à compressão**

A Tabela 5 mostra os resultados de resistência à compressão aos sete dias de cura dos traços convencional e com substituições de 10% do agregado miúdo pelo resíduo de caulim sem fino (SF) e com fino (CF).

**Tabela 5. Resistência característica à compressão dos pavers aos sete dias.**

Fonte: Autores, 2021

Traço		Resistência Média (MPa)	s	Resistência Característica à Compressão (MPa)
CONV		38,60	0,1056	38,50
CF	10%	29,49	0,5280	29,01
SF	10%	31,26	0,8224	30,50

De acordo com os resultados, a utilização de resíduo de caulim como agregado no concreto resultou na diminuição da resistência característica das peças, quando comparado com o concreto convencional. A baixa resistência do rejeito pode ser a causa dessa mudança de comportamento, não apresentando às mesmas características dos agregados naturais (areia e pó de pedra), explicando a continuada diminuição da resistência com o aumento de utilização do resíduo. O concreto convencional com sete dias de cura apresentou uma resistência superior a 35 MPa, podendo já ser utilizada em pavimento intertravado com solicitações de veículos leves e pedestres, conforme especifica a NBR 9781 (ABNT, 2013).

Além do traço convencional, os traços com utilização dos resíduos que apresentaram melhores resistências aos sete dias (CF 10% e SF 10%) foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão aos 28 dias. A Tabela 6 mostra os valores de resistência característica à compressão das peças aos 28 dias de cura.

**Tabela 6. Resistência característica à compressão dos pavers aos 28 dias.**

Fonte: Autores, 2021.

Traço		Resistência Média (MPa)	s	Resistência Característica à Compressão (MPa)
CONV		43,5	1,9489	41,71
CF 10%		37,93	1,8711	36,21
SF 10%		41,14	4,1181	37,35

Os pavers com substituição de 10% do agregado miúdo por resíduo de caulim (com fino e sem fino) apresentaram resistência à compressão inferior em relação ao traço sem utilização do caulim. Porém, além do traço convencional, que apresentou resistência característica de 41,71 MPa, os traços CF 10% e SF 10%, com resistências características respectivas de 36,21 MPa e 37,35 MPa, obtiveram resistências superiores 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 resistência aos 28 dias do concreto de referência obteve somente um aumento de 8,3% em relação à resistência aos sete dias, apresentando valores bem próximos, explicado pela utilização do cimento com alta resistência inicial. Porém, os concretos CF 10% e SF 10% apresentaram, respectivamente, aumentos de 24,8% e 22,5%.



### • Absorção de água

Foi realizado o ensaio de absorção de água nos pavers para os traços: convencional (CONV), 10% de caulim com fino (CF 10%) e 10% de caulim sem fino (SF 10%) de acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7. Absorção de água dos pavers.**  
**Fonte: Autores, 2019.**

Traço	Peças	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	A (%)	A (%)
CONV	1	2568	2659	3,54	3,75
	2	2514	2610	3,82	
	3	2502	2599	3,88	
CF 10%	1	2470	2599	5,22	4,79
	2	2580	2687	4,15	
	3	2518	2644	5,00	
SF 10%	1	2542	2676	5,27	5,10
	2	2536	2662	4,97	
	3	2528	2656	5,06	

De acordo com os resultados de absorção, tanto o concreto convencional como os concretos com substituição de 10% do agregado miúdo pelo resíduo com finos e sem finos 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.

A pequena variação entre os valores de absorção dos concretos CF10% e SF10% pode ser devido a alguma pequena diferença no processo de adensamento, já que não houve mudanças significativas entre suas composições granulométricas. Um bom adensamento da mistura é determinante para uma menor capacidade de absorção de água das peças de concreto, uma vez que proporciona uma menor porosidade no concreto, reduzindo os espaços responsáveis pela retenção de água na peça.

### CONCLUSÕES

De acordo com a caracterização dos materiais, os agregados apresentaram curvas granulométricas dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2013), atestando a viabilidade da utilização dos mesmos como agregados para a produção de concreto. 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.

As peças com 10% de caulim com finos e sem finos 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. Além disso, o traço com utilização do resíduo sem finos obteve resistência superior ao concreto utilizando o resíduo com finos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica. NBR 11579: **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n° 200)**. Rio de Janeiro, 2013
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45: **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.



5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.
6. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 30: **Agregado miúdo - Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.
7. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53: **Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009
8. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: **Agregados para concreto: Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
9. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9781: **Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
10. Bertolino, L. C., Torem, M. L., Scorzelli, R. B., & Rossi, A. M.). **Caracterização mineralógica e beneficiamento do caulim de prado (BA)**. HOLOS, 5, 83-92, 2012.
11. Da Silva, A. C. **Impactos ambientais causados pela extração de areia no rio Paraíba, no trecho da cidade de Pilar- PB**. Disponível em [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=Impactos+ambientais+causados+pela+extra%C3%A7%C3%A3o+de+areia+no+rio+Para%C3%ADba%2C+no+trecho+da+cidade+de+Pilar-+PB&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Impactos+ambientais+causados+pela+extra%C3%A7%C3%A3o+de+areia+no+rio+Para%C3%ADba%2C+no+trecho+da+cidade+de+Pilar-+PB&btnG=). Acesso: 15 de fevereiro 2021.
12. Helene, P., & Andrade, T. **Concreto de cimento Portland**. In. G.C Isaia (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. (4th ed., v. 2, pp. 905-944). IBRACON, 2007
13. Menezes, R. R., Neves, G. A., Souza, J., Melo, W. A., Ferreira, H. S., & Ferreira, H. C. **Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(6), 795-801, 2009.
14. Rodrigues, P. P. F. **Parâmetros de dosagem racional do concreto**. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 1983.