



UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO DO CONCRETO

Bruno Souza dos Santos (*), Raquel Ferreira do Nascimento, Suelen Silva Figueiredo Andrade, Larissa Santana Batista

*Universidade Federal de Campina Grande, souzasbruno1@gmail.com.

RESUMO

O elevado consumo de recursos naturais por parte da construção civil tem levado ao agravamento das preocupações com a preservação do meio ambiente, motivando assim, inúmeros estudos referentes à utilização de resíduos que possam substituir na sua totalidade ou parcialmente alguns materiais, dentre eles, os agregados, diminuindo assim o impacto ambiental causado pelos rejeitos gerados pela indústria da construção civil. Entre os materiais mais empregados, está o pó de pedra, resíduo oriundo do processo de britagem de rochas, a aplicação do mesmo se dá de maneira bastante promissora, tendo em vista o alto custo das areias naturais, sua escassez próximo aos grandes centros, além dos danos ambientais que sua exploração ocasiona ao meio ambiente. Neste contexto, visando à retirada do resíduo da natureza e sua aplicação em produtos alternativos, este trabalho de pesquisa buscou analisar a viabilidade da utilização do pó de pedra, em substituição total e parcial do agregado miúdo do concreto. No desenvolvimento deste trabalho foi realizada a caracterização física das matérias primas aplicadas: granulometria, massa unitária, massa específica e finura. Após a caracterização física, estabeleceu-se o traço e a dosagem do concreto que foi moldado em corpos cilíndricos com dimensões de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, e colocado em cura submersa nas idades de 7, 14 e 28 dias. As proporções de resíduo utilizadas foram 25%, 50%, 75% e 100% sendo também moldados corpos de prova com concreto convencional a fim de servir como parâmetro comparativo. Por fim, realizou-se o ensaio mecânico de resistência à compressão simples (RCS) verificando que, para todas as proporções de pó de pedra incorporado, o concreto apresentou resultados satisfatórios de resistência à compressão.

PALAVRAS-CHAVE: concreto, resíduo, construção, impacto ambiental.

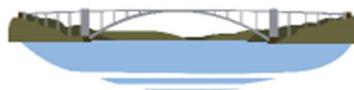
ABSTRACT

The high consumption of natural resources by the construction industry has led to the aggravation of the concerns about the preservation of the environment, motivating, therefore, numerous studies concerning the use of waste that can substitute in its totality or partially some materials, among them, the aggregates, thus reducing the environmental impact caused by tailings generated by the construction industry. Among the most used materials is the stone powder, the residue from the rock crushing process, the application of the same occurs in a very promising way, due to the high cost of the natural sands, its scarcity near the great centers, besides of the environmental damages that its exploitation causes to the environment. In this context, aiming at the removal of the waste from nature and its application in alternative products, this work sought to analyze the feasibility of the use of stone powder, in total and partial replacement of the small aggregate of the concrete. In the development of this work the physical characterization of the applied raw materials was carried out: granulometry, unit mass, specific mass and fineness. After the physical characterization, the trace and the dosage of the concrete that was molded in cylindrical bodies with dimensions of 100 mm of diameter and 200 mm of height were established and placed under submerged healing at the ages of 7, 14 and 28 days. The proportions of residues used were 25%, 50%, 75% and 100%, and specimens were also cast with conventional concrete to serve as a comparative parameter. Finally, the mechanical test of resistance to simple compression (RCS) was carried out verifying that, for all proportions of embedded stone powder, the concrete presented satisfactory results of resistance to compression.

KEY WORDS: concrete, residue, construction, environmental impact.

INTRODUÇÃO

Antes do grande desenvolvimento e crescimento da população mundial, assim como o aumento de recursos naturais e de energia, o ser humano, em seus primórdios, sobrevivia à base de ferramentas e atividades elementares, que para a época, mesmo tendo seus rejeitos lançados ao meio ambiente não geravam grandes impactos. Com o avanço técnico e o surgimento da industrialização (produção de objetos de consumo em larga escala e introdução de novas embalagens no mercado) a proporção de resíduos cresce e passa, então, a ser de diversas naturezas, fato esse que influencia no processo



continuo de deterioração do meio ambiente causando serias implicações na qualidade de vida do ser humano (THEISEN, 2012).

A partir daí, a problemática ambiental que envolve a geração de resíduos tomou proporções de ampla magnitude, assim tornou-se prioridade as discussões que buscassem reduzir a produção desses resíduos, assim como maneiras de destinação final aos mesmos.

Hoje, a indústria da construção civil está entre as atividades humanas responsáveis por grande geração de resíduos. Ao passo que, representa um dos setores da economia que continua desenvolvendo-se apesar da recessão mundial. De acordo com os dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção do IBGE, em 2016, o setor foi responsável pela geração de R\$ 319,6 bilhões de valor adicionado (VA) no Brasil, este valor representa 29,5 % do VA total produzido na economia nacional, lembrando que valor adicionado é uma aproximação do PIB do setor, uma espécie de PIB da construção civil líquido de impostos indiretos. Ainda neste mesmo ano, a região Nordeste foi a região que mais registrou um ganho de participação no período de 2007 a 2016 na parcela de VA que a indústria da Construção tem na economia nacional, partindo de 19,5% em 2007 para 21,4% em 2016. Apesar disso, segundo Dias (2010), observa-se que este setor, em meio ao crescimento dos impactos ambientais provocados pelas atividades humanas, é o setor no qual é preponderante e crescente a geração e acúmulo de enormes quantidades de resíduos, que, via de regra, são indiscriminadamente descartados no meio ambiente.

A indústria da construção civil esta aproveitando os bons resultados acumulados nos últimos anos, que têm funcionado como propulsores diante dos impactos que apresentam em função da retração da economia nacional. Segundo Agopyan (2013) a construção civil é a indústria mais poluente, sendo responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria prima produzida no Planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o da água. Para cada ser humano, são produzidos 500 quilos de entulho, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano.

Na confecção do concreto, que é comumente composto da mistura de cimento, areia natural, brita e água, são usadas matérias primas, classificadas como bens minerais não renováveis, exemplo dos agregados miúdos e graúdos. Diante disso, Carlos (2018), propôs a utilização dos resíduos minerais em setores industriais que possam incorporar o concreto ou argamassa, que venham substituir, pelo menos, parcialmente os agregados no processo produtivo, contando que haja a conservação da qualidade e/ou produzindo novos produtos com propriedades equivalentes ou produtos diferenciados e ambientalmente corretos.

Os resíduos têm custo reduzido, quando comparados ao agregado miúdo natural, isto aumenta à medida que a extração de areia natural está sendo rigidamente controlada e frequentemente coibida pelos órgãos ambientais, tendo em vista, sua escassez. Isto, além de reduzir o custo final do concreto, é benéfico para o meio ambiente.

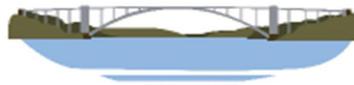
Dentre os resíduos, um desponta como principal alternativa para substituir os agregados miúdos naturais, o pó de pedra, proveniente da britagem de rochas, que pode ser incorporado à confecção tanto de concreto como da argamassa, substituindo, em parte, o agregado miúdo, pode ser uma alternativa importante e tecnicamente viável.

Andriolo (2005) define pó de pedra como sendo o material fino, com partículas de diâmetro inferior a 4,8 mm, obtida pela britagem de rocha. Essa areia de britagem apresenta uma distribuição granulométrica bem homogênea, decorrente do processo de cominuição adotado. No entanto, os grãos assim como a brita, possui um formato anguloso e superfície áspera que podem reduzir a trabalhabilidade no concreto. Quando em forma cúbica, como as provenientes de granitos, pedra e com grande proporção de sílica, possibilitam uma maior interação com a mistura, acarretando uma diminuição na quantidade de vazios do concreto.

O agregado miúdo do concreto tem como principal função a de enchimento, ou seja, é um material inerte, de tal forma que a sua substituição por materiais de características semelhantes, não compromete a qualidade final. No entanto, o tamanho e a geometria dos grãos definem características importantes do material, como a resistência e a trabalhabilidade e por isso deve ser levada em consideração nos estudos realizados.

Desta forma, objetiva-se estudar a influência da substituição total e parcial do agregado miúdo no concreto pelo pó de pedra, visando comparar o desempenho do concreto em diferentes frentes, como resistência à compressão simples, absorção de água, e sua trabalhabilidade, a fim de sugerir uma destinação diferente aos resíduos, reduzindo os impactos ambientais provocados pela disposição inadequada dos mesmos.

OBJETIVOS



O trabalho tem como objetivo geral estudar a viabilidade técnica de substituição do agregado miúdo natural por pó de pedra na produção de concreto. Assim descrevem-se os objetivos específicos:

- Caracterizar as matérias primas convencionais e alternativas, quanto ao aspecto físico.
- Caracterizar tecnologicamente as propriedades físico-mecânicas do concreto incorporado com o resíduo por meio do ensaio de resistência à compressão simples (RCS).
- Comparar os resultados obtidos do concreto incorporado com resíduo, entre si, com o convencional e com os valores estabelecidos em norma.

METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas.

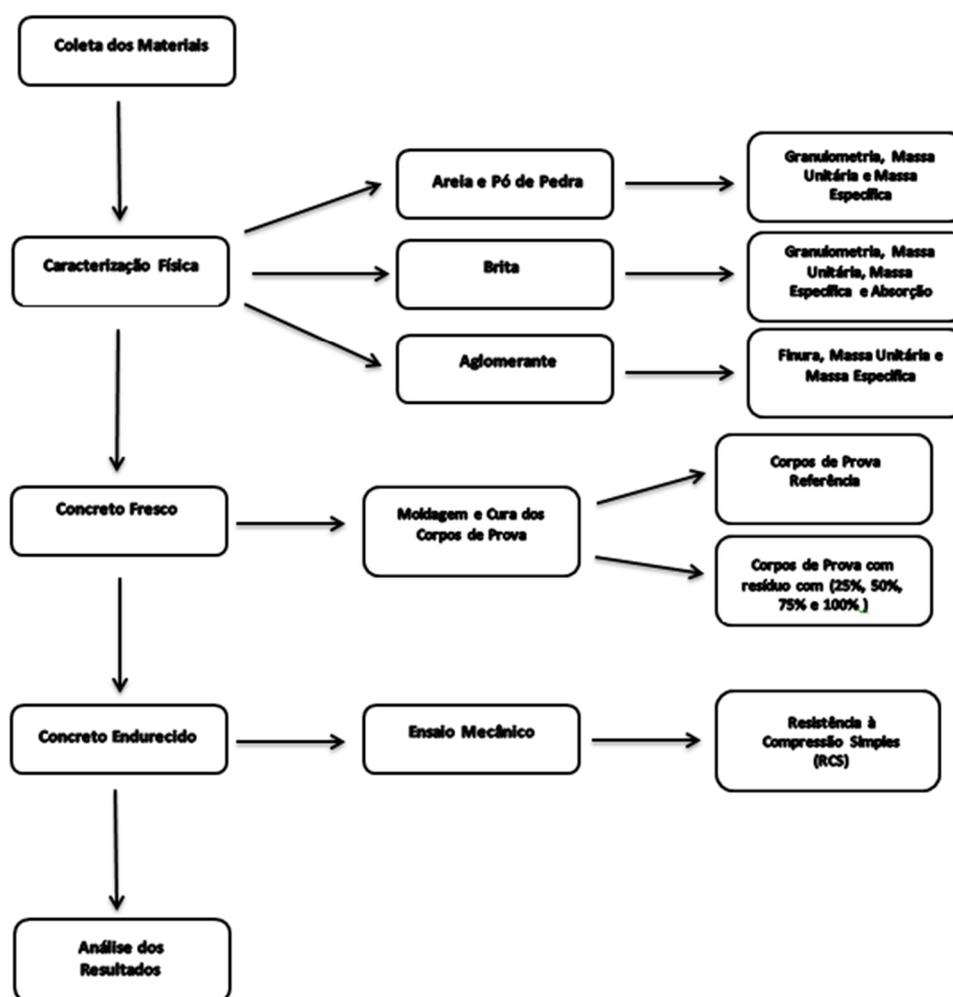
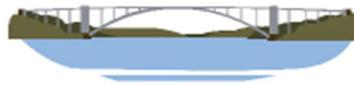


Figura 1: Fluxograma das atividades desenvolvidas. Fonte: Autor do Trabalho

Inicialmente foi realizada a coleta do resíduo do pó de pedra, no município de Caicó – RN. Com base nas normas da ABNT, foram realizados os ensaios de caracterização física do resíduo e dos demais materiais – areia, brita e cimento - (análise granulométrica e determinação das massas unitária e específica e absorção da brita). Em seguida determinou-se o traço através de estudos prévios e realizaram-se as moldagens dos corpos de prova, com dimensões básicas de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. As substituições parciais da areia pelo resíduo no traço (1:3:3 – em massa) foram feitas nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100%, além da composição de concreto convencional, sem adição de resíduo. Após a cura submersa dos mesmos (7, 14 e 28 dias), deu-se início ao ensaio de resistência à compressão simples, a fim de verificar o desempenho do concreto alternativo.

Caracterização física: A determinação da massa unitária dos materiais foi realizada segundo a ABNT NBR NM 45/06. Utilizando-se um recipiente com volume conhecido, pesaram-se três amostras dos materiais e fez-se a média dos valores encontrados, subtraindo-se a massa do recipiente. A massa unitária foi obtida pela divisão da média das massas pelo



volume do recipiente. A massa específica da areia e dos resíduos foi obtida segundo a ABNT NBR NM 52/09 e a do cimento baseou-se na ABNT NBR 16605/17. A finura do cimento foi determinada de acordo com a ABNT NBR 11579/13.

Moldagem e cura dos corpos de prova: Os corpos de prova foram moldados conforme previsto na norma ABNT NBR 5738/16 utilizando-se moldes cilíndricos, com dimensões básicas de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura (Figura 5). Durante a moldagem, cada corpo de prova foi formado a partir de três camadas. O adensamento dos mesmos foi realizado pela aplicação de 25 golpes em cada uma, golpes estes executados pelo manuseio de uma haste de adensamento. O traço usado para a confecção desses corpos (1:3:3 – em massa) foi feito com os materiais comuns à composição do concreto (cimento + areia + brita + água) e com o resíduo que será utilizado em substituição a areia, em quatro proporções: 25%, 50%, 75% e 100%, sendo também confeccionados corpos de prova convencionais, sem adição do resíduo, a fim de servir de parâmetro de referência e comparação, como também verificação das propriedades pretendidas neste trabalho. Foram moldados 3 corpos de prova para cada composição de cada traço e para cada idade de cura. O tipo de cura utilizada foi a cura submersa, na qual os corpos de prova, após moldados, foram colocados submersos em água durante 7, 14 e 28 dias (idades de cura).

Análise da resistência à compressão simples: após a moldagem e cura dos corpos de prova para estudo, foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples. Para tanto, os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica manual SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN, de acordo com a ABNT NBR 5739/18.

RESULTADOS

Análise Granulométrica: o procedimento foi realizado em conformidade com a ABNT NM 248/03. A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas do resíduo do pó de pedra, da areia e os limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/09. É possível perceber semelhanças entre as curvas granulométricas, da areia e do pó de pedra (Figura 2), pois apresentam quantidades próximas de grãos no intervalo compreendido entre 2,4 mm e 0,60 mm. No entanto, existe uma maior quantidade de partículas de diâmetro igual a 1,2 mm no pó de pedra em relação a areia o que pode proporcionar preenchimento de vazios com tais dimensões, não supridos totalmente pelo agregado natural.

O pó de pedra apresenta uma quantidade maior de finos que a areia (material passante na peneira 0,15 mm), o que apesar de proporcionar maior trabalhabilidade, exige maior quantidade de água na mistura acarretando em uma diminuição de resistência no concreto. A areia, por sua vez, contém maior quantidade de grãos com dimensões iguais a 0,60 mm e 0,30 mm, quando comparada ao resíduo, que juntamente com as partículas do pó de pedra proporcionam um preenchimento mais eficaz dos vazios.

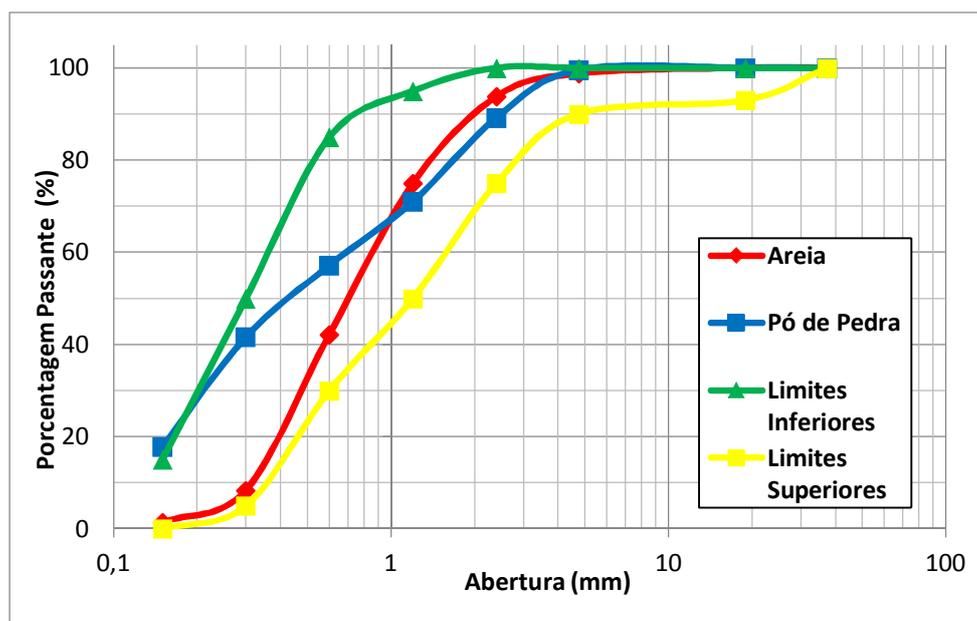


Figura 2: Curvas granulométricas pó de pedra x areia e limites. Fonte: Autor do Trabalho.

O procedimento também foi realizado para a brita, utilizada na pesquisa. A Figura 3 apresenta a curva granulométrica da brita e os limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/09. Percebeu-se que utilizando-se a peneira de abertura 19 mm foi retida uma porcentagem acumulada de 3,06%, o que mostra que a brita utilizada possui um diâmetro máximo de 19 mm.



Além disso, de acordo com a curva granulométrica montada com as porcentagens retidas acumuladas do material (Figura 3), a brita encontrou-se em condições favoráveis para produção do concreto, já que os dados encontrados mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 7211/09.

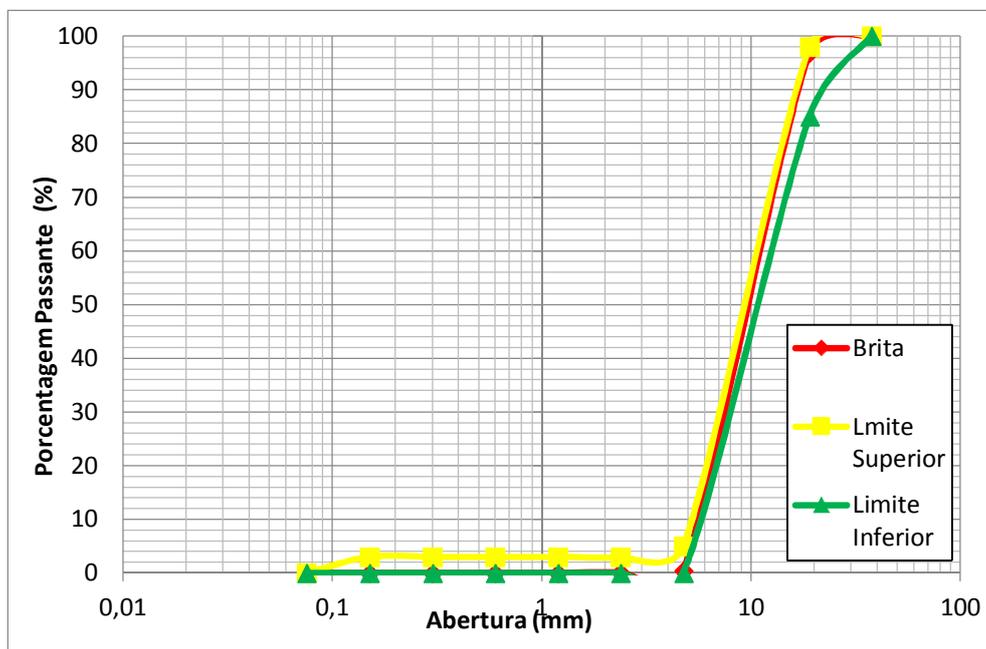


Figura 2: Curva granulométrica da brita e limites. Fonte: Autor do Trabalho.

Massa unitária, massa específica, finura do cimento e absorção: para a determinação da massa específica foram adotados os procedimentos descritos na ABNT NBR NM 52/03. A massa unitária foi determinada no estado solto utilizando um recipiente de massa e volume conhecidos, no qual se fez três leituras para cada material e as médias dessas leituras foi o valor considerado. A finura do cimento foi determinada pela ABNT NBR 11579/12. A absorção do agregado graúdo foi determinada conforme estabelece a ABNT NBR NM 53/09. Os valores obtidos para cada material estão dispostos na Tabela 1.

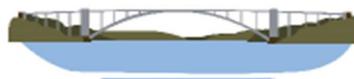
Tabela 1. Características físicas dos materiais. Fonte: Autor do Trabalho.

Material	Massa Unitária (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)	Finura (%)	Absorção (%)
Areia	1,53	2,60	-	-
Pó de Pedra	1,60	2,79	-	-
Brita	1,45	2,70	-	-
Cimento	1,40	2,96	2,7	-

Resistência à compressão simples: a Tabela 3 e a Figura 3 apresentam os resultados de resistência à compressão simples para os concretos do traço 1:3:3 para as três idades de cura (7, 14 e 28 dias).

Tabela 2. Resultados do ensaio de resistência à compressão simples (RCS) – Traço 1:3:3. Fonte: Autor do Trabalho.

Cura/proporção do resíduo	Resistência a compressão (MPa) – Traço 1:3:3 (em massa)				
	0%	25%	50%	75%	100%
7 dias	17,11 ± 0,27	19,86 ± 1,24	20,35 ± 0,45	20,65 ± 1,08	22,12 ± 1,54
14 dias	18,52 ± 0,67	21,95 ± 0,23	23,12 ± 0,05	24,24 ± 0,91	24,72 ± 1,14



28 dias

20,19 ± 0,28

24,10 ± 1,02

23,44 ± 1,51

26,77 ± 0,70

28,12 ± 0,83

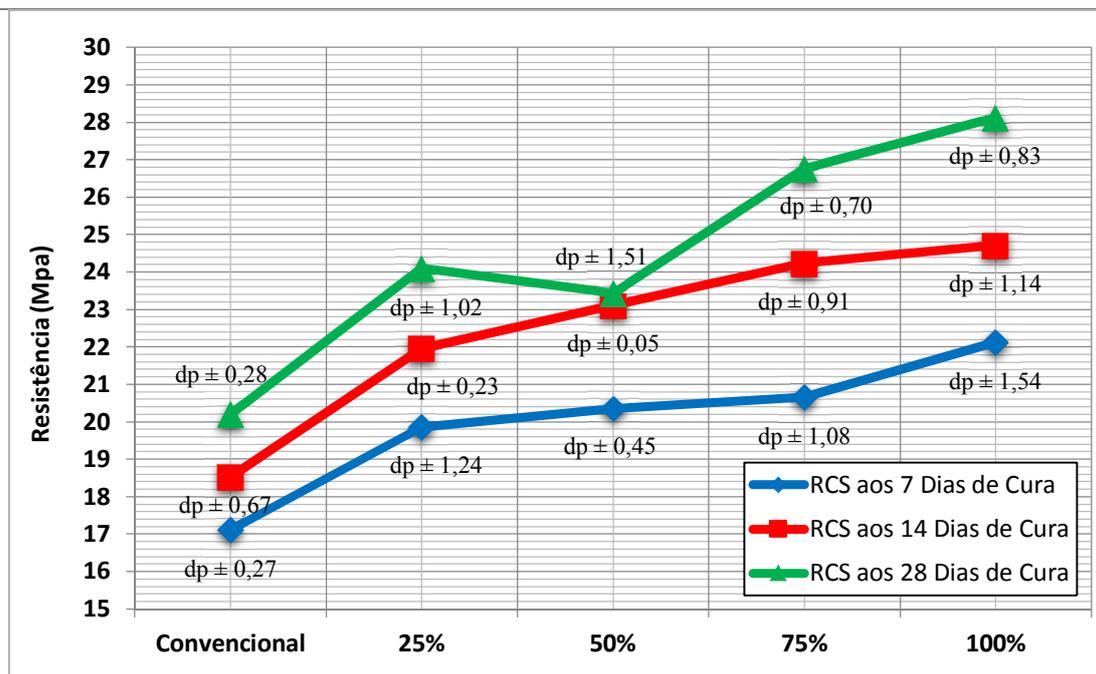


Figura 3: Resultados do ensaio de resistência à compressão – Traço 1:3:3. Fonte: Autor do Trabalho

dp: desvio padrão

Ao analisar os resultados referentes à resistência à compressão simples, percebe-se que quando comparado a composição referência (0% de resíduo) com a composição de 100% de pó de pedra, percebe-se que o aumento de resistência é significativo. Aos 7 dias, esse aumento é da ordem de 29,3%, aos 14 dias o concreto obteve um aumento de resistência na ordem de 33,5% e com 28 dias esta mostrou-se 39,3% mais resistente que a composição comparada. Ao analisar os resultados de resistência à compressão simples expressos na Tabela 2 e Figura 3, observa-se que aos 28 dias todas as composições atingiram ou ultrapassaram o limite mínimo de resistência do concreto para fins estruturais, que é 20 Mpa de acordo com a NBR 6118/2014.

Da mesma forma, observa-se que as composições que possuem 0%, 25% e 50% de substituição de areia pelo pó de pedra, respectivamente, tiveram um acréscimo de resistência proporcional dos 7 aos 28 dias, com exceção da composição com 50% de resíduo que apresentou aos 28 dias de cura um leve decréscimo de resistência, alcançando no máximo uma variação na ordem de 13,6%, enquanto as composições que possuem 75% e 100% de substituição, respectivamente, tiveram um ganho maior de resistência aos 28 dias. Esse ganho de resistência das composições com maiores teores de pó de pedra pode ser explicado pelas características desses agregados, conforme afirmam Leite (2001); Neville (1997), que propriedades em resíduos como textura e granulometria, influenciam positivamente o aumento da resistência. Nos concretos com substituição do agregado miúdo natural por resíduos, todos estes aspectos são significativos para o aumento da resistência. Foram encontrados também valores de resistência à compressão simples (RCS) similares ao trabalho desenvolvido por Menossi (2004), que obteve resultados satisfatórios quanto ao acréscimo de resistência à compressão do concreto com a utilização de pó de pedra. Contudo os ensaios do autor mostraram um aumento de resistência à compressão simples aos 28 dias de cura, na ordem de 66%, valor muito superior ao obtido no presente trabalho.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que a substituição do pó de pedra em concretos convencionais, em substituição à areia, em todas as composições estudadas para o traço de 1:3:3 em massa, é viável tecnicamente, já que apresentou valores de resistência superiores a norma e superiores ao concreto de referência.

A massa específica da areia e do resíduo grosso de caulim apresentam valores semelhantes, permitindo a substituição de um pelo outro, sem prejuízo ao material. Quanto à granulometria, o resíduo apresenta grãos de tamanhos semelhantes a areia, porém possui uma quantidade maior de finos se comparado ao agregado natural, característica essa que torna o material mais trabalhável.



Entre as composições de rejeito estudadas, o concreto com 100% de resíduo apresentou o melhor desempenho no que diz respeito às propriedades mecânicas de resistência à compressão simples, obtendo, aos 28 dias o valor de 28,12 Mpa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGOPYAN, V. **Construção Civil consome até 75% da matéria prima do Planeta.** In: **Globo Ciência**, 2013. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construção-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>>. Acessado em: 02 de março de 2019.
2. ANDRIOLO, F. R. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto.** In: Seminário: O uso da fração fina da britagem. II SUFFIB, São Paulo, 2005. **Anais**, São Paulo, EPUSP, 2005.
3. Associação brasileira de normas técnicas - ABNT. **Conjunto de Normas.**
4. CARLOS, E. M. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento técnico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos.** 2018. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
5. Dias, S. L. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil- avaliação da atividade pozolânica.** 2010. 36 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.
6. IBGE. **Pesquisa anual da indústria da construção.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2016/default.shtm>>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2019.
7. Leite, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 2001. 270 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, UFRS..
8. MENOSSI, R. T. **Utilização de Pó de Pedra Basáltica em substituição a Areia Natural do Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.
9. NEVILLE A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução de GIAMMUSSO, S. E. 2ª.ed. São Paulo: Pini, 1997.
10. THEISEN, J. H. **Produção e destino dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Itapiranga– Brasil.** Ijuí, 2012. 26 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.