ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NO CONCRETO

Raissa Hammes [1]

Raquel Zydeck [2]

Eder Pedrozo [3]

Luis Eduardo Kosteski [4]

Resumo:

A indústria da construção civil é o setor que mais consome recursos naturais do planeta. Com isso tem inúmeros estudos referentes à aplicação de resíduos que substituam parcialmente ou totalmente alguns materiais, como os agregados miúdos, desta maneira reduzindo o impacto ambiental causado pela extração da areia natural, comumente usada. A aplicação do pó de pedra gerado do processo de britagem, empregado como um agregado para a produção do concreto é uma alternativa, tendo em vista o alto custo da areia natural e o grande número de pedreiras, principais geradoras do resíduo de britagem, presentes no Brasil. Neste trabalho buscou-se uma pesquisa experimental e análise estatística dos resultados encontrados na resistência à compressão axial, para a substituição parcial da areia natural por pó de pedra na produção de concreto, substituindo nas proporções de 0%, 20%, 35% e 50%. Após a análise dos resultados obtidos de todos os ensaios, pode-se observar que com uma substituição de um teor de 35% de pó de pedra, obteve uma resistência superior aos outros traços, e assim desse modo dando uma correta destinação ao resíduo de britagem.

Palavras-chave: Pó de pedra, Concreto, Resistência à compressão

Modalidade de Participação: Pós-Graduação

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NO CONCRETO

[1] Aluno de pós-graduação. raissa.hammes@gmail.com. Autor principal

[2] Aluna de pós graduação. raquel.zydeck@gmail.com. Co-autor

[3] Docente. eder.pedrozo@unijui.edu.br. Co-orientador

[4] Docente. luiskosteski@unipampa.edu.br. Orientador

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA NO CONCRETO

1 INTRODUÇÃO

A indústria do concreto tem um papel fundamental no desenvolvimento da infraestrutura de um país, entretanto, representa a maior fonte consumidora de recursos naturais, ao passo que deve haver a obrigação de se incorporar novas tecnologias, adequadas, na procura por minimizar os problemas ambientais (MEHTA, 1999). Os grandes impactos ambientais são características marcantes no mundo industrializado e, nesta luz, a substituição da areia natural pelo pó de pedra pode ser uma solução viável na redução dos mesmos. (ALMEIDA E SAMPAIO, 2002).

No Brasil, a utilização dos agregados miúdos de britagem, em concretos de cimento Portland, como substituição parcial ou total da areia natural, intensificou-se nos últimos anos, motivada, principalmente, pelo aumento das restrições ambientais e a escassez das jazidas de areia natural de boa qualidade (WEIDMANN, 2008). A areia de britagem proporciona a fabricação de concretos e argamassas, econômicos, de modo que o custo dos serviços é mais baixo, e o produto chega pronto para o uso em obra, sem a necessidade de peneiramento e separação dos grãos indesejados. (BASTOS, 2005)

O uso do planejamento experimental é baseado em princípios estatísticos, onde os pesquisadores podem extrair o máximo de informações necessárias, o autor ainda comenta que o planejamento não é apenas uma análise de dados mas e sim um planejamento dos experimentos, em quais as informações devem ser obtidas, onde quando não é feita de um modo adequado, o resultado pode se tornar inútil e nem mesmo uma análise aprofundada do estudo (BARROS NETO et al. 2003).

O presente estudo buscou fazer uma análise estatística dos resultados obtidos na resistência a compressão, utilizando o planejamento fatorial geral, método de Fischer e análise de resíduo (ANOVA).

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu na coleta dos materiais necessários para a pesquisa, caracterização das matérias-primas (cimento, areia, brita e pó de pedra). A etapa de caracterizações físicas dos materiais foi realizada no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Unijuí no Campus de Santa Rosa - RS. Definidos a caracterização e o traço, foi executado o estudo da resistência à compressão.

Os materiais utilizados para a obtenção do concreto foram: Brita e pó de pedra de origem basáltica proveniente de uma pedreira localizada no município de Santa Rosa – RS; Areia média, proveniente da região de Santa Maria – RS; Cimento Portland CP II F 40; Água proveniente de poço artesiano que abastece o LEC.

Para a análise das propriedades dos materiais, moldagem e cura do concreto, todas foram desenvolvidas de acordo com os procedimentos normativos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para a dosagem do concreto, optou-se em utilizar o método clássico de dosagem IPT/EPUSP, segundo Helene e Terzian (1992).

As amostras foram constituídas a partir de 12 misturas, com teores de substituição parcial de areia natural por pó de pedra de respectivamente, 0%, 20%, 35% e 50%. Optou-se pela produção de três traços unitários, em massa, com proporções de 1:3,5, 1:5,0, 1:6,5 e adotou-se a consistência padrão de (90 ± 10) mm.

A mistura com 0% de substituição serviu como parâmetro para a determinação da quantidade de água necessária para o alcance da trabalhabilidade desejada.

Aos 28 dias e 56 dias de cura, foi realizada o ensaio de resistência à compressão axial. Os ensaios foram realizados na prensa Emic PC200, a uma velocidade conforme a norma NBR 7222.

Com todos os ensaios realizados, foi feito um planejamento experimental estatístico, o qual tem como objetivo verificar se ocorreu alguma variância significativa ou algum erro nos resultados. Visto isso se optou em utilizar o método fatorial geral, método de Fischer e análise de resíduo (ANOVA).

O método fatorial geral permitiu observar os tratamentos ou níveis de um único fator, onde consideramos que os demais fatores podem influenciar nos resultados obtidos nos ensaios. Nesse trabalho foi considerado três tipos de fatores, estes sendo: tipo de concreto (A), tempo (B) e porcentagem de teores de substituição de pó de pedra (C), assim o fator A possui três níveis, o fator B dois níveis enquanto o fator C possui quatro níveis. O planejamento fatorial foi realizado com duas réplicas. A distribuição dos dados para a análise está apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Dados para a análise fatorial geral.

Tipo de concreto A	**Tempo B**							
	28 dias				56 dias			
	% de teor de substituição C				**% de teor de substituição C**			
	0%	20%	35%	50%	0%	20%	35%	50%
m – 3,5	58,62	63,49	62,08	45,66	67,07	67,28	60,02	54,73
	57,92	40,93	60,00	40,37	70,38	67,28	74,08	55,34
m – 5,0	45,64	47,70	52,66	35,78	51,66	54,29	59,13	51,07
	46,27	44,69	47,51	39,19	55,49	51,67	56,64	50,26
m – 6,5	37,06	38,39	44,15	31,03	44,87	46,52	50,84	40,41
	36,34	40,75	42,73	33,59	42,96	45,12	53,50	41,78

Fonte: do autor, 2018.

O método de Fischer da Mínima Diferença Significativa (MDS) permite comparar todas as médias dos grupos. Acaso a subtração da média do grupo analisado ser maior que o MDS é porque ocorre variação significativa entre os resultados encontrados. Para esse trabalho foi considerado um intervalo de 95% de confiança. Já a análise residual é fundamental para que seja possível avaliar a qualidade do ajuste de qualquer modelo. Após a realização da análise dos cálculos dos resíduos foi possível construir o gráfico de probabilidade normal dos resíduos, assim consegue-se verificar se ocorre ou não algum erro nos resultados dos ensaios. Com os dados plotados no gráfico, ajusta-se uma linha aos pontos tracejados e caso algum desses pontos permanecerem fora dessa linha tracejada é desconsiderado este resultado, pois eventualmente ocorreu algum erro duração a execução do corpo de prova.

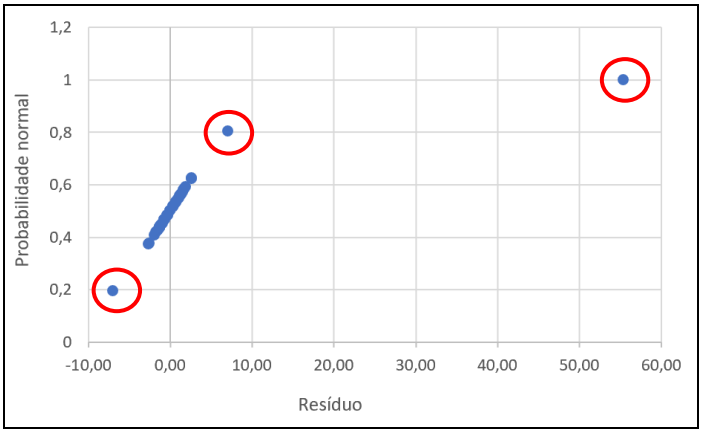
3 RESULTADOS e DISCUSSÕES

Com o planejamento fatorial realizado, verificou-se que ocorreu significância nos fatores de primeira ordem (A, B e C) e nos fatores de segunda ordem (AC e BC), de forma que para as interações de segunda e terceira ordem AB e ABC respectivamente, não ocorreu significância nos resultados.

Com isto se identificou que o tempo, fator B, não tem interação com o traço de concreto utilizado, porém ele muda o comportamento quando se analisa o teor de substituição utilizado (fator C).

Após essas análises verificou-se o resíduo. Com a plotagem do gráfico de resíduo pode-se verificar que três pontos ficaram longe do traçado (Figura 1), consequentemente esses pontos foram descartados, pois como eles estavam muito longe da linha concluiu-se que durante a execução do ensaio, ocorreu algum erro, este podendo ser na moldagem, ou até durante a sua cura. Os dados que foram descartados são os seguintes: traço m-5,0 , com uma resistência de 52,66 MPa na substituição de 35% de teor de pó de pedra, com 28 dias de cura, traço m-3,5 com resistência 60,02 MPa na substituição de 35% aos 56 dias, e no mesmo traço, com uma resistência de 40,37 MPa, com uma substituição de 50% porém aos 28 dias.

Figura 1 - Probabilidade normal dos resíduos.



Fonte: do autor, 2018.

Como foram descartados 3 resultados, foi realizado a ANOVA novamente, visto que agora tem três teores com apenas uma réplica. Como percebeu-se que o tempo influenciava nos resultados, optou-se em realizar esta análise separadamente, usando apenas os fatores B (tempo) e C (% de teor de substituição). Na tabela 2 está apresentado os resultados do ANOVA para os 28 dias e na tabela 3 está apresentado os resultados para os 56 dias.

Tabela 2 - Anova para os 28 dias.

Dados	Soma quadrática	Média quadrática	F	P
Tipo de concreto	1585,19	792,59	7,56	0,008
% de teor	356,02	118,67	1,13	0,378
Interação	697,3	116,21	1,11	0,415
Modelo	2993,15	272,11	2,59	0,064
Erro	1152,16	104,75	-	-
Total	4145,31	-	-	-

Tabela 3 - Anova para os 56 dias.

Dados	Soma quadrática	Média quadrática	F	P
Tipo de concreto	1504,8	752,4	304,96	0,000
% de teor	405,35	135,11	54,76	0,000
Interação	106,64	17,77	7,2	0,002
Modelo	1918,93	174,44	70,7	0,000
Erro	27,14	2,46	-	-
Total	1946,06	-	-	-

Fonte: do autor, 2018.

Quando comparado os traços aos 28 e 56 dias, verificou-se que ocorreu significância apenas no traço m-3,5, fato justificado pelo mesmo possuir menor porcentagem de substituição de pó de pedra, ou seja esse traço é rico em cimento.

Ocorreu significância aos 28 dias com 50% de substituição, quando este comparado com as outras porcentagens de teores estudadas. Aos 56 dias ocorreu significância com uma substituição de 35%, ou seja, o traço analisado possui uma maior resistência aos 56 dias, quando comparado com os outros teores analisados.

Também foi realizado um ANOVA entre os fatores A (tipo de concreto) e C (% de teor de substituição). Nas tabelas 4, 5 e 6, estão apresentados os resultados encontrados da ANOVA dos traços m-3,5, m-5,0 e m-6,5, respectivamente.

Tabela 4 - Anova para o traço m-3,5.

Dados	Soma quadrática	Média quadrática	F	P
Tempo	133,49	133,50	16,65	0,0027
% de substituição	382,29	127,43	15,89	0,0006
Modelo	461,97	115,49	14,41	0,0006
Erro	72,15	8,01	-	-
Total	534,12	-	-	-

Tabela 5 - Anova para o traço m-5,0.

Dados	Soma quadrática	Média quadrática	F	P
Tempo	952,18	952,18	6,37	0,0282
% de substituição	230,27	76,75	0,51	0,6812
Modelo	1182,45	295,61	1,97	0,1676
Erro	1643,82	149,43	-	-
Total	2826,27	-	-	-

Tabela 6 - Anova para o traço m-6,5.

Dados	Soma quadrática	Média quadrática	F	P
Tempo	239,94	239,94	137,63	0,0000
% de substituição	260,19	86,73	49,74	0,0000
Modelo	500,14	125,03	71,71	0,0000
Erro	19,17	1,74	-	-
Total	519,31	-	-	-

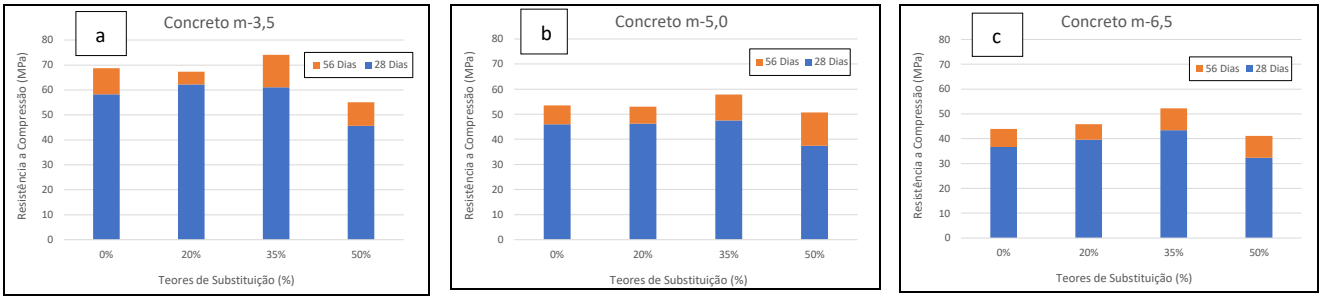
Fonte: do autor, 2018.

Através do método de Fischer verificou-se que para os traços m-3,5 e m-5,0, quando se substitui 50% de pó de pedra, comparando com os outros teores estudados, ocorre variância aos 28 dias. Já para o traço m-6,5, apenas não ocorreu variância entre as substituições de 20% vs 0%, aos 28 dias. Aos 56 dias verificou-se que para os traços m-3,5 e m-5,0, não ocorreu nenhuma variância, enquanto que para o traço m-6,5, ocorreu grande variância nos resultados.

Assim pode-se concluir que quanto maior for a substituição de pó de pedra no traço, maior é a variação da resistência a compressão axial.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados encontrados para a resistência a compressão, para todos os traços.

Figura 2 – Resistência a compressão (MPa) vs Teores de Substituição (%), a) traço m-3,5; b) traço m-5,0 e c) traço-6,5.



Fonte: do autor, 2018.

Através da figuras 2, percebe-se que o concreto rompido aos 28 dias possui uma resistência menor quando comparado aos 56 dias, isso ocorre, pois, o ganho de resistência pode ser indicio que o pó de pedra pode possuir atividade pozolânica de modo que esse material apresenta uma resistência menor nos seus primeiros dias, aumentando a resistência com idades superiores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do planejamento utilizado neste trabalho pode-se concluir que com a substituição do agregado miúdo por pó de pedra para a produção de concretos baseados no método de dosagem do IPT mostrou-se bastante viável, tendo em vista que a resistência à compressão em substituição de 35% foi superior, quando comparado com os outros teores de substituição e até mesmo com o traço de referência.

Os concretos produzidos com pó de pedra podem ser aplicados com os teores estudados. Na maioria dos casos os resultados foram superiores aos traços de referência, e consistindo em uma opção ambiental correta e economicamente viável.

Pode-se observar que com o uso do pó de pedra necessita-se maior quantidade de água para se obter uma boa trabalhabilidade, dessa forma sugere-se o uso de aditivos para que não haja perda de resistência do concreto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.L.M. e SAMPAIO, J.A.; **Obtenção de Areia Artificial com Base em Finos de Pedreiras**. Areia e Pedra, n.20, p.32-36, Dezembro de 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2011.

BARROS NETO, B.S., I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer planejamentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. 2ª. Ed. Campinas: Unicamp, 2003.

BASTOS, P. K. X. a. **Areia de britagem Pedra Sul para construção Civil – Aplicações e Resultados.** PARES – Pesquisa Argamassa e Concreto, 2005.

HELENE, Paulo R.L., **Manual de dosagem e controle do concreto /** Paulo Helene, Paulo Terzian, São Paulo: Pini; Brasília, DF: SENAI, 1992.

MEHTA, P.K. **Concrete technology for sustainable development.** Concrete International, November, 1999.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. 273 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.