

Luis Felipe Moreira Bassani

Graduando em Engenharia civil pelo Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.
luisbassani@gmail.com

Raphael de Oliveira Melo

Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM.
raphael.topografo87@gmail.com

Rachel Cristina Santos Pires

Mestre em Desenvolvimento Local, Engenheira Civil e Professora Universitária no
Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM
rachelpireseng@gmail.com

Leonardo Reis dos Santos

Engenheiro Civil e Engenheiro de Petróleo pelo Centro Universitário Augusto Motta. MBA em
Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas-FGV

RESUMO

O pó de pedra, também denominado areia artificial ou areia de britagem, pode ser uma opção para a produção de concretos que utilizam cimento Portland. Considerando a progressiva escassez, o alto custo de recursos como areias naturais e os impactos ambientais de sua extração. Este trabalho pretende analisar a viabilidade da troca da areia natural pela areia de britagem proveniente da região localizada na baixada fluminense, no estado do Rio de Janeiro. Visando quantificar a parcela possível para esta substituição, foram realizados três traços experimentais em laboratório para verificação do abatimento e da compressão axial. Os traços de concretos foram produzidos com diferentes porcentagens de pó de pedra (0%, 50% e 100%). Após os testes, foi possível concluir que ao aumentar a quantidade de areia de britagem, maior é a retenção de água no concreto, propiciando a adição de mais água no traço, dentro de níveis normatizados. A resistência à compressão também aumenta, pois, a areia de britagem, no que tange à granulometria, preenche melhor os espaços vazios do concreto.

Palavras-chave: Areia Natural; Areia Artificial; Pó de Pedra; Concreto; Resistência.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais do mundo. Os principais recursos utilizados na construção civil são: areia natural, argamassa e concreto. De acordo com Thorns (2018), estima-se que 25 bilhões de toneladas de areia e cascalho sejam utilizados a cada ano no mundo, sendo 90% extraídos de leitos de rios e 10% de outras fontes.

No Brasil, a extração ilegal de areia natural é um dos crimes mais lucrativos e danosos ao meio ambiente, com faturamento entre 7 e 8 bilhões de reais ao ano, perdendo apenas para o tráfico de drogas e para a pirataria, afirma Ramadon (2019). A alta demanda pelo material implica na constante extração de agregados utilizados em sua fabricação que, por serem não renováveis, caminham para um esgotamento em regiões próximas aos grandes centros consumidores, motivando explorações em locais distantes aos de suas utilizações e ocasionando a elevação dos custos de transporte.

O setor da construção civil é responsável por aproximadamente um terço de toda emissão de gases do efeito estufa do planeta, a maior parte é relacionada ao processo de fabricação dos materiais de construção e execução de obras. Nesta parcela, não se contabiliza o pó de pedra, considerado um resíduo, sua inserção no processo produtivo é configurada como sustentável, visto que este material é descartado, mas em forma de areia de brita como agregado miúdo, pode ser incluído na produção de concretos e argamassas, qualifica Benite (2010).

Considerado como produto básico pela indústria da construção civil, o concreto que possui como base o cimento Portland utiliza, por metro cúbico, uma média de 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos. Assim, é possível verificar que, aproximadamente, 80% do concreto é constituído por agregados, relata Sbrighi (1999).

Segundo Giammusso (1992), qualquer material mineral natural ou artificial, que seja quimicamente inerte em relação ao cimento, pode ser usado como agregado para concreto. Mesmo utilizando aqueles que podem reagir, segundo o referido pesquisador, é possível recorrer a formas de neutralizar os efeitos dessa reatividade.

Os agregados são classificados quanto à sua origem, dimensões dos grãos e pelo peso específico aparente. A ABNT NBR 7225 (1993) define como agregado o material natural, de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 152 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm (ABNT, 1993).

Para cada tipo de aplicação dos agregados é exigido o conhecimento de um conjunto de suas propriedades. A caracterização tecnológica de agregados para uso como material de construção é realizada através de técnicas adequadas que permitem conhecer as propriedades do conjunto ou

de forma isolada. Todos os agregados devem ser caracterizados tecnologicamente antes de suas inserções na construção. A norma exige uma caracterização executada por procedimentos padrões, o que é denominado normalização, e o produto é chamado de norma. A normalização torna o tratamento dado a um determinado assunto mais homogêneo e preciso, como por exemplo: Execução de ensaios e de análises; Denominação adequada de materiais e processos; Representação iconográfica e matemática das propriedades; Especificação de qualidade requerida para materiais e serviços, dentre outros procedimentos, (NETO, 2006).

A solução dos impactos da alta exploração da areia natural pode ser a substituição pelo pó de pedra. Em países mais desenvolvidos, essa substituição é realizada desde os anos 70, aproximadamente dez anos após a produção em larga escala dos primeiros equipamentos utilizados na britagem do material fino, viabilizando a produção de pó de pedra em escala comercial, contextualiza Almeida & Sampaio (2002).

No Brasil, Andriolo (2005) relata que a utilização do pó de pedra no concreto ocorreu a partir da década de 80, respaldada por estudos técnicos realizados na hidrelétrica de Itaipu, evidenciando vantagens técnicas e econômicas. O autor ainda aborda que estudos mais avançados foram realizados pelos engenheiros da construtora Norberto Odebrecht, na construção da barragem de Capanda na Angola, em 1987.

A ABNT NBR 7211 (2005), determina as características para a produção de agregados miúdos e grãos de origem natural, obtidos em forma de fragmentos resultantes da britagem de rochas, e define a areia ou agregado miúdo como sendo de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, permitindo, também, ser uma mistura de ambas.

Entretanto, a areia de brita possui material pulverulento, ou seja, coberto por pó, passante na peneira #200, considerando-o uma substância danosa para o concreto, quando em quantidades superiores às especificadas pela norma: 3% para concreto submetido a desgaste superficial e 5% para concreto protegido deste desgaste.

As formas dos grãos interferem diretamente na resistência à compressão do concreto, um fator indispensável e que deve ser comprovado para elaboração de um projeto estrutural, permitindo a avaliação de toda segurança da estrutura. A ABNT NBR 6118 (2003) define a sigla FCK do inglês, *Feature Compression Know*, traduzida para o português como Resistência Característica do Concreto à Compressão, que por sua vez, engloba técnicas estatísticas de dimensionamento ao controle da qualidade do concreto.

Um concreto que utiliza o pó de pedra terá um agregado muito lamelar, onde a espessura é pequena em relação às outras dimensões, apresentando menor trabalhabilidade, fato que não ocorre com a utilização de agregados com características cúbicas ou arredondas, os quais terão melhor interação entre os demais componentes e menor porcentagem de vazios no concreto.

A utilização do pó de pedra como agregado miúdo no concreto é atrativa por aspectos econômicos e sua característica de durabilidade, contudo, ainda que o apelo ambiental seja forte, os benefícios financeiros ainda sobressaem, tendo em vista que as pedreiras poderão comercializar um produto considerado rejeito e sem valor que, além disso, ocasiona transtornos em relação à busca da redução de custos na forma de estocagem com impactos ambientais pequenos.

A proposta deste estudo, é utilizar dados extraídos de cartas-traço após ensaios seguindo as normas ABNT NBR NM 67 (1998) que determina o a consistência do concreto e ABNT NBR 5739 (2018) aferindo a sua capacidade de compressão, ambas regulamentam de forma científica os parâmetros adequados do concreto como produto final, o que permite a comercialização e aplicação direta do material.

Nesta análise serão abordados comparativos entre os traços:

- a) Traço composto por 100% de areia natural como agregado miúdo constituinte do concreto;
- b) Traço com 50% de pó de pedra integrado a 50% de areia natural;
- c) Traço com 100% de areia artificial;

Os parâmetros para análise dos traços que utilizam pó de pedra em sua constituição, utilizando são:

- Alcance de uma resistência de 30 MPa (medida em Megapascal, sendo 1 MPa resistente a aproximadamente a 10 kgf/cm²);
- Diferença tolerada para aceitação do concreto de 10 cm com uma margem de mais ou menos 2 cm.

A areia artificial denominada como pó de pedra e utilizada nas análises foi obtida por meio de um estudo praticado em campo, na pedreira da indústria de propriedade do grupo empresarial Santa Luzia, localizada na cidade de Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro, mesmo endereço do laboratório onde os dados foram coletados através dos ensaios de abatimento e compressão.

REVISAO BIBLIOGRÁFICA

Agregados

Os agregados são obtidos na natureza de forma granular, com geometria e volumes variados, entretanto, as dimensões e propriedades são estabelecidas de acordo com a finalidade do uso na construção civil. É possível citar como exemplo: a pedra britada, areias naturais e cascalho, o quais podem ser obtidos a partir de rochas moídas. Estes agregados podem ser considerados naturais ou artificiais: define-se como natural, o agregado

encontrado na natureza em forma de partículas, exemplificada pela areia. O agregado artificial, por sua vez, é proveniente de processos industriais, por exemplo, o pó das pedras a partir da britagem das rochas (SERPA & REZENDE, 2017):

A norma ABNT NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm.

Britagem

No processo fragmentação de rochas para a produção de britas é produzida uma grande quantidade de resíduos na forma de partículas finas consideradas rejeitos, que são depositadas nas pedreiras e empresas de mineração, propor uma utilidade para este rejeito significa beneficiar o meio ambiente e, em contrapartida, aumentar os lucros das empresas que não utilizariam este material (NEVILLE, 2015).

Cimento CP III

O cimento tem a função de aglomerante hidráulico, é indispensável para a ligação dos agregados, conforme estabelece a ABNT NBR 16697 (2018), os cimentos Portland são classificados de acordo com o tipo, correspondendo às adições de outros elementos que os caracterizam. Neste estudo, é possível identificar o CP III, adotado por possuir o menor custo entre os demais, com a resistência satisfatória para esta análise, e denominado seguindo os critérios:

- CP: Cimento Portland;
- III: Indica um subtipo de cimento que possui em sua composição uma porcentagem de escória de alto forno.

Aditivo químico para o concreto

Nos traços de concreto desta pesquisa, o aditivo utilizado foi o MIRA SET 28, segundo a empresa fabricante GCP (2018), o produto deve representar até 1,0% sobre o peso do cimento, visa diminuir a quantidade de água utilizada, promovendo alto poder dispersante e boa manutenção de abatimento de acordo com a ABNT NBR 11768-1 (2019) que, por sua vez, o define como um aditivo plastificante, o qual não modifica a consistência do

concreto no estado fresco, reduz o conteúdo de água e interfere na consistência do concreto aumentando o abatimento (ABNT, 2019).

Análise de viabilidade

A análise da viabilidade de substituição parcial da areia natural pela areia de brita é proveniente de resultados de experimentos integrados aos materiais que constituem os traços de concretos propostos, produzindo assim, um paralelo entre as características dos traços produzidos com a areia natural incorporada aos demais componentes versus as análises daqueles fabricados com a areia de brita, de acordo com Araújo et al. (2018). A fim de avaliar as diferentes performances e comportamentos ao longo do tempo de cura de cada um destes concretos.

Dosagem dos elementos do concreto

A dosagem para a execução do concreto é de extrema importância, garante a produção de estruturas seguras e duráveis. Materiais muito heterogêneos constituindo o concreto, geram complexidade no seu comportamento, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, o que representa um desafio na fabricação e emprego dos concretos. Em cada concretagem há uma dosagem específica, dependendo de fatores que variam em cada circunstância, como: Tamanho das peças a concretar; Resistência desejada; Trabalhabilidade adequada; Equipamentos disponíveis; Tipo, marca, classe e idade do cimento a empregar; Características dos agregados; Umidade da areia; Condições do ambiente onde será empregado o concreto. (HELENE & TERZIAN, 1995).

Concreto FCK 30 com pedrisco (brita 0) ou brita 1

O concreto com FCK 30 MPa, utilizado na análise, é comumente aplicado na concretagem de bases de edificações residenciais superiores a dois pavimentos, especificamente em tipos de fundações superficiais, por exemplo: Baldrames, sapatas e radier; Pavimentação de superfícies apropriadas para o tráfego de veículos pesados, como caminhões; Estruturas que necessitam grande resistência (SANTANA, 2019).

Determinação da consistência

O teste de abatimento, também conhecido como slump test é um controle tecnológico utilizado para medir a consistência do concreto e realizado antes de sua aplicação.

A ABNT NBR NM 67 (1998) determina o condicionamento e a localização da retirada da amostra que deve ser moldada em um troncocônico com a base menor voltada para cima seguindo as dimensões:

- Diâmetro da base de 20 cm;
- Diâmetro superior de 10 cm e altura de 30 cm;

Neste molde, é necessário preencher 10 cm de altura com a amostra do concreto, em seguida, compacta-la com vinte e cinco golpes utilizando uma barra com 16 mm de diâmetro. Refazendo o procedimento para as duas camadas de 10 cm até completar os 30 cm determinados por norma.

A diferença na altura entre o molde compactado e o troncocônico preenchido com concreto fresco, traduz o abatimento ou slump, em centímetros (cm). Neste caso, verifica-se o limite de mais ou menos 2 cm de tolerância para aceitação do concreto.

A ABNT NBR NM 67 (1998) também indica a coesão adequada, onde não há separação dos componentes da massa. A aplicação do pó de pedra no concreto, por representar um material fino, requer uma análise prática que consiste em passar a colher de pedreiro sobre a superfície da massa ainda fresca, introduzindo e levantando verticalmente, possibilitando analisar se há vazios na superfície, o que indica falta de argamassa (cimento, areias e água). Outra análise pertinente para coesão é o ato levantar e girar a colher de pedreiro para baixo com uma pequena parte do concreto, caso o desprendimento da amostra ocorra de forma compacta e homogênea, conclui-se que o teor de argamassa é apropriado, o que ocorreu nos três traços de concreto estudados.

De acordo com os testes de abatimento, o traço 1 alcançou um abatimento inicial de 17 cm e um abatimento final de 12 cm, conforme a figura 1.

Figura 1: Abatimento do traço com 100% de areia natural como agregado miúdo



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

O traço 2 iniciou com a marca de 15,5 cm de abatimento e terminou com 11,5 cm, representado na figura 2.

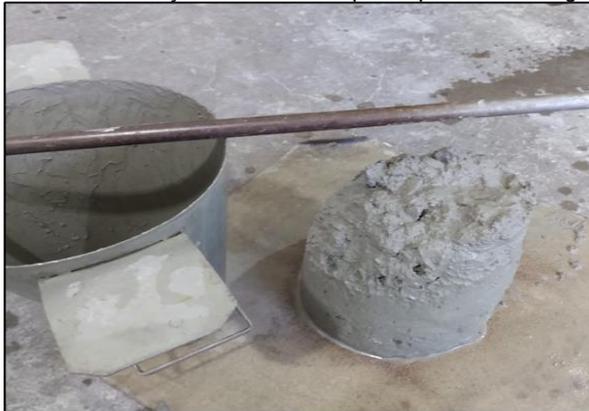
Figura 2: Abatimento do traço com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra como agregados miúdos



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

O traço 3 teve de início um abatimento de 15 cm finalizando com 10 cm, representado na figura 3.

Figura 3: Abatimento do traço com 100% de pó de pedra como agregado miúdo



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Ensaio de Resistência à Compressão do Concreto

O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos é regulado pela ABNT NBR 5739 (2018) indica qual a tensão o concreto pode resistir antes de se romper, tensão que, por sua vez, resulta da divisão entre a força e a área de atuação.

A realização deste ensaio utiliza corpos de prova de formatos cilíndricos que são inseridos em uma máquina de compressão que permite a

aplicação controlada da força exercida em kgf sobre os corpos de prova, em laboratório por meio de compressão axial.

Assim, a máquina aplica forças sobre o corpo de prova até que ele se rompa, e a resistência é obtida, por meio do cálculo: força exercida em kgf dividida pela área do topo do corpo de prova em cm^2 , encontrando o resultado em kgf/cm^2 é possível estabelecer a tensão de ruptura em MPa, dividindo este valor obtido por 10.

Em laboratório, para equiparar as análises e obter um parâmetro de efeito comparativo com os traços que utilizam o pó de pedra, inicialmente foi realizado o teste de compressão do corpo de prova que utilizou areia natural em sua totalidade como agregado miúdo constituinte do concreto para (figura 4), suportando uma carga axial média de 38,35 MPa após a cura de 28 dias.

Figura 4: Ensaio de compressão do traço com 100% de areia natural como agregado miúdo



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Em seguida, nas mesmas condições do traço contendo 100% de areia natural, o processo de ensaio desta vez, utilizou 50% de areia natural e 50% de pó de pedra, totalizando o agregado miúdo do traço resistiu, com 28 dias de cura, à carga média de 41,30 MPa, (figura 5).

Figura 5: Ensaio de compressão do traço com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra como agregados miúdos



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

A terceira análise quanto à compressão, utilizou 100% de pó de pedra, significando o único agregado miúdo constituinte do traço concreto que, após 28 dias de cura, resistiu à uma carga média de 42,75 MPa (figura 6).

Figura 6: Ensaio de compressão do traço com 100% de pó de pedra como agregado miúdo



Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

RESULTADOS DE PESQUISA

Inicialmente, os ensaios foram realizados para verificar as características de abatimento, ar incorporado e resistência à compressão axial, os quais demandaram a coleta dos materiais da central de concreto, localizadas na cidade de Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro, para concretos com mesmo traço:

- FCK de 30 MPa;
- Relação água/cimento: 0,55;
- Brita 1;
- Abatimento 10 cm \pm 2 cm;
- Aditivo plastificante;
- Cimento: CPIII-E-40-RS-Votoran.

A fim de minimizar erros e validar o estudo, todas as moldagens foram realizadas pelo mesmo profissional, bem como a prensa utilizada foi a mesma para todos os casos para uma melhor análise dos resultados e identificação do que leva os traços a terem efeitos distintos.

A seguir, são apresentados os dados dos resultados dos ensaios:

Ensaio do Traço 1

Os dados gerais do ensaio do traço que possui 100% de areia natural como agregado miúdo do concreto é apresentado na tabela 1, as condições do ensaio pela tabela 2, os dados referentes ao slump test pela tabela 3 e os dados do ensaio de compressão axial pela tabela 4, respectivamente:

Tabela 1: Descrição do Traço 1, com 100% de areia natural no concreto

Material	Descrição / procedência	(Kg/m ³)	Traço unitário (m ³)	Betonada 0,018 (m ³)
Aglomerante / Cimento	CPIII-40-RS-Votoran	355	1,00	6,390
Agregado Miúdo / Areia	Areal Atlântico Sul	749	2,11	13,482
Agr. Graúdo / Brita 1	Mineração Santa Luzia	1019	2,87	18,342
Água	Poço	195	0,55	3,510
Aditivo 1	Mira Set 28 - Grace	2,13	0,006	38,34

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 2: Dados obtidos no Traço 1, com 100% de areia natural no concreto

Data	Hora da 1ª água	Umidade do Ar (%)	Temperatura Ambiente (cº)	Nº de CPs Moldados
12/02/2020	08:00	21	22	8

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 3: Dados do ensaio de slump test do Traço 1, com 100% de areia natural no concreto

Slump Test	Hora	Abatimento (mm)	Tempo (minutos)
Inicial	08:05	170	0
Final	08:20	120	60

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 4: Dados do ensaio de compressão axial do Traço 1, com 100% de areia natural no concreto

3 Dias			7 Dias			14 Dias			28 Dias		
C P	Carga (Kgf)	(MP a)	C P	Carga (Kgf)	(MPa)	C P	Carga (Kgf)	(MPa)	C P	Carga (Kgf)	(MPa)
1	14,465	18,4	1	22,025	28,0	1	23,94 0	30,5	1	30,06 0	38,3
2	14,006	17,8	2	23,850	30,4	2	27,37 0	34,8	2	30,16 1	38,4

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Ensaio do Traço 2

Os dados gerais do ensaio do traço que possui 50% de areia natural e 50% de pó de pedra como agregados miúdos do concreto é apresentado na tabela 5, as condições do ensaio pela tabela 6, os dados referentes ao slump test pela tabela 7 e os dados do ensaio de compressão axial pela tabela 8, respectivamente:

Tabela 5: Descrição do Traço 2, com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra no concreto

Material	Descrição / procedência	(Kg/m ³)	Traço unitário (m ³)	Betonada 0,018 (m ³)
Aglomerante / Cimento	CPH-40-RS-Votoran	355	1,00	6,390
Agregado Miúdo / Areia	Areal Atlântico Sul	396	1,11	7,128
Agregado Miúdo / Areia Artificial	Mineração Santa Luzia	396	1,11	7,128
Agr. Graúdo / Brita 1	Mineração Santa Luzia	977	2,80	17,586
Água	Poço	195	0,50	3,510
Aditivo 1	Mira Set 28 - Grace	2,13	0,006	38,34

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 6: Dados obtidos do Traço 2, com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra no concreto

Data	Hora da 1ª água	Umidade do Ar (%)	Temperatura Ambiente (c°)	Nº de CPs Moldados
12/02/2020	14:45	23	24,2	8

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 7: Dados do slump test do Traço 2, com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra no concreto

Slump Test	Hora	Abatimento (mm)	Tempo (minutos)
Inicial	14:50	155	0
Final	14:05	115	60

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 8: Dados de compressão axial do Traço 2, com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra no concreto

3 Dias			7 Dias			14 Dias			28 Dias		
C	Carga (Kgf)	(MPa)	C	Carga (Kgf)	(MPa)	C	Carga (Kgf)	(MPa)	C	Carga (Kgf)	(MPa)
1	14,798	18,8	1	23,829	30,3	1	30,466	38,8	1	32,399	41,2
2	15,038	19,1	2	24,188	30,8	2	28,981	38,5	2	32,537	41,4

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Ensaio do Traço 3

Os dados gerais do ensaio do traço que possui 100% de pó de pedra como agregado miúdo do concreto é apresentado na tabela 9, as condições do ensaio pela tabela 10, os dados referentes ao slump test pela tabela 11 e os dados do ensaio de compressão axial pela tabela 12, respectivamente:

Tabela 9: Descrição do Traço 3, com 100% de pó de pedra no concreto

Material	Descrição/procedência	(Kg/m ³)	Traço unitário (m ³)	Betonada 0,018 (m ³)
Aglomerante / Cimento	CPHII-40-RS-Votoran	355	1,00	6,390
Agregado Miúdo / Areia Artificial	Mineração Santa Luzia	722	2,17	12,996
Agr. Graúdo / Brita1	Mineração Santa Luzia	1000	2,82	18,000
Água	Poço	195	0,55	3,510
Aditivo 1	Mira Set 28 - Grace	2,13	0,006	38,34

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 10: Dados obtidos no Traço 3, com 100% de pó de pedra no concreto

Data	Hora da 1ª água	Umidade do Ar (%)	Temperatura Ambiente (cº)	Nº de CPs Moldados
12/02/2020	16:00	26	25,5	8

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 11: Dados do ensaio de slump test do Traço 3, com 100% de pó de pedra no concreto

Slump Test	Hora	Abatimento (mm)	Tempo (minutos)
Inicial	16:05	150	0
Final	16:20	100	60

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

Tabela 12: Dados do ensaio de compressão axial do Traço 3, com 100% de pó de pedra no concreto

3 Dias			7 Dias			14 Dias			28 Dias		
C	Carga	(MPa)	C	Carga	(MPa)	C	Carga	(MPa)	C	Carga	(MPa)
P	(Kgf)		P	(Kgf)		P	(Kgf)		P	(Kgf)	
1	11,570	14,7	1	22,938	29,2	1	28,015	36,7	1	33,425	42,5
2	11,860	15,1	2	21,663	27,6	2	28,660	36,5	2	33,778	43,0

Fonte: Arquivo Pessoal (2020)

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa de substituição da areia natural pelo pó pedra, obtido das jazidas nas dependências da empresa Santa Luzia Mineração, seguindo os padrões de análise de concreto estabelecidos pelas normas ABNT NBR NM 67, (1998) que regula a consistência, e ABNT NBR 5739, (2018) referente à resistência e à compressão axial, é possível realizar as seguintes considerações:

- As propriedades do concreto com cimento Portland no estado fresco sofrem mais influências desfavoráveis quando comparado ao mesmo material no estado endurecido com agregados britados. Isto corre devido à geometria das partículas, os agregados artificiais possuem formas menos esféricas, exigindo mais água para uma mesma consistência;
- Em relação à consistência, de acordo com os traços experimentais utilizando o concreto no estado fresco, é identificado um menor abatimento quando o pó de pedra está inserido parcialmente ou integralmente na parcela referente ao agregado miúdo da amostra. Ainda que o abatimento resulte em uma medida inferior quando comparada ao concreto com areia natural, o traço se enquadra nos padrões exigidos pela ABNT NBR NM 67 (1998);
- Os ensaios mecânicos de compressão axial demonstraram que os concretos contendo pó de pedra possuem maior resistência à compressão em relação aos concretos contendo somente areia natural, o que pode possibilitar, dentro de parâmetros normativos, uma diminuição no consumo de cimento, logo a escolha do pó de pedra possui grande importância para minimizar o custo final do concreto;

- Comparando o traço 2 (50% de pó de pedra) com o traço 3 (100% de pó de pedra), o traço 2 apresentou um slump final mais alto, exatamente por ainda ter na sua composição areia natural. Contudo, demonstrou uma menor resistência a compressão axial;

Em suma, a análise permitiu verificar que há viabilidade do uso de pó de pedra em substituição da areia natural para concretos que utilizam cimento Portland, cada traço apresenta características particulares que podem ser adequadas ou não de acordo com a sua aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ALMEIDA, S. L. M., SAMPAIO, J. A. **Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras**. São Paulo, Revista Areia & Brita, 2002.

ANDRIOLO, F. **Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto**. São Paulo, EPUSP, 2005.

ARAÚJO, A. E. V.; GOMES, C. R. F.; NETO, G. B. M.; PINA, A. P. P.; NUNES, A. M.; COSTA, J. G.; SANTOS, A. F.; PAVÃO, J. M. S. J. **Análise sustentável da substituição da areia natural por resíduos de pedreira nos concretos de cimento Portland**. Alagoas, Revista Educação Ambiental em Ação, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5739: **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de Ensaio**. ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação**. ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7225: **Materiais de Pedra e Agregados Naturais – Terminologia**. ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 67. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 11768-1: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos**. ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. ABNT, 2018.

BENITE, A. **As emissões de carbono e a construção civil**. Revista Buildings. São Paulo, 2010.

GIAMMUSSO, S. **Manual do concreto**. Ed. Pini. São Paulo, 1992.

HELENE, P; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. Pini. São Paulo, 1995.

NETO, G. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Paraná: UFPR, 2006. p. 29-31.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. 5ª Ed. Bookman. São Paulo, 2015.

RAMADON, L. **A extração ilegal de areia no Brasil e no mundo**. Ação contra os Crimes Ambientais, Minerais e Tráfico de Animais Silvestres. Rio de Janeiro, 2019.

SANTANA, D. **Concreto de 20 ou 30 MPa**. Engenheiro de Alto Rendimento. Goiás, 2019. Disponível em: <https://engenheirodealtorendimento.com.br/concreto-de-20-ou-30-MPa/>. Acesso em: 01 de abril de 2020.

SERPA, H; REZENDE, M. **Agregados para a Construção Civil**. Agência Nacional de Mineração, Departamento Nacional de Produção Mineral, Série Estatísticas e Economia Mineral. Distrito Federal, 2017.

SBRIGHI, C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos**. Revista Areia & Brita. EMC-Editores. São Paulo, 1999.

THORNS, E. **A próxima crise da sustentabilidade: nós estamos usando tanta areia que ela pode realmente acabar**. ArchDaily Brasil. São Paulo, 2018.