

**FACULDADE CAPIXABA DE NOVA VENÉCIA – MULTIVIX
ENGENHARIA CIVIL**

**CLÓVES LEÔNIDAS MARTINS DE SOUZA
EWAGNER SANTOS AZEVEDO
FERNANDO LANGA DIAS
SAULO HONORIO ANDRÉ
SÁVIO BRITO ROCHA**

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA
PRODUÇÃO DO CONCRETO**

**NOVA VENÉCIA
2016**

CLÓVES LEÔNIDAS MARTINS DE SOUZA
EWAGNER SANTOS AZEVEDO
FERNANDO LANGA DIAS
SAULO HONORIO ANDRÉ
SÁVIO BRITO ROCHA

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA
PRODUÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso Superior de Engenharia Civil da Faculdade
Capixaba de Nova Venécia, como requisito parcial
para a obtenção de aprovação no grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

NOVA VENÉCIA
2016

**CLÓVES LEÔNIDAS MARTINS DE SOUZA
EWAGNER SANTOS AZEVEDO
FERNANDO LANGA DIAS
SAULO HONORIO ANDRÉ
SÁVIO BRITO ROCHA**

**UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA
PRODUÇÃO DO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Civil da Faculdade Capixaba de Nova Venécia, como requisito parcial para a obtenção de aprovação no grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 01 de Dezembro de 2016

COMISSÃO EXAMINADORA

**Profº William Martins Valente Muniz
Faculdade Capixaba de Nova Venécia
Orientador**

**Profº
Faculdade Capixaba de Nova Venécia
Membro 1**

**Profº
Faculdade Capixaba de Nova Venécia
Membro 2**

À Deus, pelo dom da vida, por dar-nos força para trilhar essa caminhada;
Aos nossos familiares, que nos apoiaram em todos os momentos;
Às empresas Concremix e MCL Mineração que nos receberam de braços abertos e nos apoiaram em toda a pesquisa;
Ao nosso professor e orientador, o Engº William Martins Valente Muniz pelas valiosas sugestões;
A todos os amigos que participaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

UTILIZAÇÃO DO PÓ DE PEDRA EM SUBSTITUIÇÃO A AREIA NATURAL NA PRODUÇÃO DO CONCRETO

Clóves Leônidas Martins de Souza¹

Ewagner Santos Azevedo²

Fernando Langa Dias³

Saulo Honório André⁴

Sávio Brito Rocha⁵

RESUMO

A utilização do pó de pedra no concreto pode ser uma alternativa, tendo em vista o baixo custo comparado à areia natural em algumas regiões como o Noroeste do estado do Espírito Santo, e também, pelos danos ambientais que a exploração da areia pode causar. O presente trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade da utilização do pó de pedra, proveniente da britagem de rocha basáltica na cidade de Nova Venécia - ES, em substituição à areia natural quartzosa, com os objetivos de aplicá-lo na produção do concreto. Foram realizados ensaios de consistência e resistência à compressão do concreto produzido para o mesmo traço, com modificação das porcentagens de pó de pedra (0%, 50% e 100%). Os resultados obtidos apresentaram aumento da absorção de água e diminuição da resistência à compressão no traço com 100% pó de pedra, devido à maior demanda de água. No entanto, foi constatado a obtenção da resistência desejável e a viabilidade econômica do traço com 50% do pó de pedra.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Pó de pedra. Agregado miúdo.

ABSTRACT

The utilization of stone dust in concrete can be an alternative taking into consideration the low cost to sand in some areas like the northeast in the estate of Espírito Santo, besides that the extraction of sand can cause environmental damages. The present work shows a study of the viability of the use of stone dust, from crushing basaltic rock in the town of Nova Venecia in exchanging for quartzose sand. Some experimental tests for consistency and resistance for compression of concrete produced for the same trace have been done, with variation on the percentage of stone dust (0%, 50% and 100%). The results obtained were the increase of water absorption and decrease of resistance to the compression trace with 100% of stone dust, due to increased demand for water. Nevertheless, it was found the obtention of desirable strength and economic viability of the trace with 50% of stone dust.

KEYWORDS: Concrete. Stone Dust. Fine aggregates.

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o setor da construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social. Seja nos mais variados setores da sociedade, as construções são realizadas de maneira a atender o bem-estar daqueles que as utilizam. Deste setor, as construções de

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX.

² Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX.

³ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX.

⁴ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX.

⁵ Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia – MULTIVIX.

concreto armado englobam um dos materiais mais utilizados pela humanidade: o concreto. Mehta e Monteiro (2014), classificam o concreto como o segundo material mais utilizado no mundo, perdendo em utilização apenas para a água. Este grande consumo, pelo efeito do crescimento da construção civil, vem acarretando o aumento da demanda de insumos para a sua produção.

O consumo da areia natural na forma de componente para a fabricação do concreto, é de aproximadamente 320 milhões de m³ por ano, volume suficiente para construir 7100 estádios de futebol, como o Maracanã (MENOSSI 2004). Por sua vez, a extração pode causar danos aos cursos naturais d'água e consideráveis prejuízos ao meio ambiente. Neste sentido, órgãos ambientais vêm restringindo cada vez mais a extração da areia nos leitos dos rios, ocasionando a elevação de custo do material.

Analogamente, nas regiões onde ocorrem a atividade das indústrias mineradoras, especificamente no tocante à fabricação de agregados para a construção civil, são estocados grandes volumes do material classificado, comercialmente, como o rejeito do processo de britagem de rochas: o pó de pedra. Com a destinação ainda não totalmente definida, o material possui baixo valor comercial, além disso, no âmbito visual e granulométrico, o pó de pedra e a areia natural podem ser considerados materiais semelhantes. Nesse contexto, o pó de pedra surge como uma alternativa interessante na produção do concreto.

Essa prática, corrente em algumas regiões do Brasil, foi introduzida no país na década de 80, a partir de estudos que apresentaram vantagens técnicas e econômicas da utilização na obra da hidrelétrica de Itaipu, segundo Andriolo (2005). Porém, diante de algumas peculiaridades existentes no processo de beneficiamento, como: origem natural das rochas, tipo de britador, torna-se necessário realizar experimentos na região em questão. Neste estudo serão apresentados os resultados da utilização parcial e total do pó de pedra extraído em jazida de rocha basáltica, proveniente de britador do tipo mandíbula na cidade de Nova Venécia - ES, substituindo a areia como agregado para concreto.

Menossi (2004) realizou experimentos com diversas porcentagens de pó de pedra em amostras de concreto. Verificou-se a alternativa em substituição a areia natural, classificando-o satisfatoriamente como agregado. Destacou-se, também, a influência positiva no que diz respeito à estabilidade granulométrica do material na dosagem do concreto. Por outro lado, Teodoro (2013), cita a absorção de água pelo pó de pedra, e o formato irregular dos grãos, como fatores que podem afetar a trabalhabilidade da mistura, influenciando diretamente no consumo de cimento.

Segundo Mehta e Monteiro (2014, p. 353), “a dosagem é o processo de obtenção da combinação correta de cimento, agregados, água, adições e aditivos para produzir o concreto de acordo com as especificações dadas”. Relatam ainda, que todas as medidas possíveis devem ser tomadas, no momento da dosagem, a fim de reduzir o consumo de cimento, sem sacrificar, as características de desempenho e durabilidade.

Nesse contexto, mantendo-se a quantidade de cimento e a trabalhabilidade da mistura, substituindo a areia natural pelo pó de pedra nas proporções já citadas, quais dos traços atingiriam a resistência desejável?

O concreto, por ser utilizado em grande escala, necessita de materiais e inovações que contribuam com a redução dos impactos ambientais causados pela extração dos insumos para a sua confecção. Salienta-se, conforme Campos (2015), que a justificativa da utilização do pó de pedra baseia-se em princípios da sustentabilidade, como: foco na diminuição de resíduos e preservação de mananciais, além dos fatores técnicos relacionados à durabilidade das construções e às vantagens da aplicação, sob o ponto de vista econômico.

O objetivo deste estudo experimental é viabilizar, através de ensaios, a utilização dos traços com 50% e 100% do pó de pedra, em concretos com resistência mínima de projeto igual a 20MPa, tendo como objetivos específicos:

- Caracterizar a granulometria do pó de pedra;
- Verificar as consistências dos traços pelo “*Slump Test*”;
- Analisar a resistência a compressão do concreto aos 3, 7, 14 e 28 dias;
- Avaliar a viabilidade econômica entre os traços do concreto.

2 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para realização da presente pesquisa foi desenvolvido o método experimental, através da realização de ensaios conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os ensaios foram realizados no laboratório da Concremix S/A, certificado pelas normas da ABNT, localizado na cidade de Nova Venécia. Ao fim, foram apresentados os custos da produção, com base nos valores da mesma empresa. Para utilizar os materiais na mistura do concreto, os mesmos foram analisados conforme as normas ABNT NBR 7211 “Agregado para Concreto” (2009). A dosagem dos traços do concreto baseou-se no método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Por meio deste método, foi elaborado o traço (1 : 3,07 : 3,47), considerando a massa unitária seca dos agregados. Com o auxílio de uma betoneira, os materiais foram misturados para a confecção do concreto. Nesta etapa, para verificação da consistência do concreto no estado fresco, realizou-se o teste de abatimento do tronco de cone, conforme ABNT NBR NM 67 “*Slump Test*” (1998). Foram adicionadas as quantidades de água para manter os valores de consistência e trabalhabilidade das amostras. Logo após, Conforme a norma ABNT NBR 5738 “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova” (2003), foram moldados 15 corpos de prova cilíndricos, nas dimensões de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura. Os corpos de prova de concreto no estado endurecido foram levados à cura úmida até atingirem as idades de rompimento, e com o auxílio da prensa hidráulica, foram verificadas as resistências por meio do ensaio descrito pela norma ABNT NBR 5739 “Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos” (2009).

3 CONCRETO E O PÓ DE PEDRA

Conhecido, também, como pó de brita, areia britada, areia de britagem, são várias as nomenclaturas utilizadas para definir o resíduo produzido pela britagem de rochas nas regiões onde concentram-se as indústrias de mineração. Nesta presente pesquisa, estabeleceu-se que tal agregado será chamado levando em consideração seu nome comercial na região: pó de pedra.

Em pesquisa realizada por Sá (2006), o pó de pedra foi classificado como o rejeito da

exploração de pedreiras, representando em torno de 15 a 20% da produção de uma instalação e citou, ainda, a existência de discrepâncias entre as origens, as granulometrias e os teores de materiais pulverulentos em diferentes indústrias. De acordo com a análise granulométrica de Andriolo (2005), o pó de pedra foi caracterizado como sendo o material fino, ou agregado miúdo, com partículas de diâmetro inferior a 0,075mm, com formas irregulares e superfícies rugosas, proveniente da produção do agregado graúdo.

Nugent (*apud* MENOSSI, 2004, p.2), afirma que o pó de pedra já era utilizado desde o século passado por países como o Canadá e os Estados Unidos. Segundo Almeida e Silva (2005) a evolução dos equipamentos de britagem contribuiria significativamente com a produção de agregados para utilização na construção civil, como é o caso da disponibilidade na Região Noroeste do estado do Espírito Santo. Cuchierato (2000) estimou a produção de pó de pedra na Região Metropolitana de São Paulo. Essa quantidade representou cerca de 3,6 milhões de m³/ano, correspondendo de 30 a 50% da produção total de pedras britadas. Diante desses dados, pode-se concluir o elevado volume de produção do material, e que fatores além dos ambientais, como a distância dos grandes centros às jazidas naturais de areia, tornam o pó de pedra como uma alternativa com logística favorável.

Outro fator diz respeito à classificação do pó de pedra. A NBR 7211 “Agregados para Concreto - Especificação” (2009) classifica a areia como um agregado miúdo. Além disso, define que os agregados podem ser de origem natural (areia) ou resultante da britagem de rochas. O pó de pedra enquadra-se na forma de agregado miúdo com origem da britagem de rochas, ou ainda como agregado total, também, nos casos de misturas com outros tipos de agregados, como a areia natural. Especificamente, a NBR 7211 (2009, p.4), define agregado total como:

Agregado resultante da britagem de rochas cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada, possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto a ser preparado com esse material. Os limites desta norma referentes ao agregado total devem atender aos critérios de ponderabilidade em massa entre os agregados graúdos e miúdos que o compõem.

Contudo, ainda não existem normas que caracterizem o produto como é chamado comercialmente. Bastos (2003) e Menossi (2004) salientam a diferença entre pó de pedra e a areia artificial, sendo descartada desta última a fração fina abaixo de 0,075mm das peneiras. No entanto, o mesmo possui características que se adequam àquelas classificadas pelas normas da ABNT para a utilização de agregados em concreto. Baseado no pouco valor significativo, aliado aos fatores de estocagem e meio ambiente, os quais seriam do ponto de vista das pedreiras, fatores determinantes à comercialização deste material, na maioria dos casos, classificado como rejeito. Menossi (2004) já afirmava ser interessante a utilização do pó de pedra. Dentre as principais vantagens, cita o aproveitamento integral das pedreiras, sem descarte de materiais.

Contudo, existem fatores que devem ser considerados. No que diz respeito a granulometria, pois o formato inadequado dos grãos pode influenciar diretamente na trabalhabilidade e no consumo de água, bem como o de cimento. Almeida (2005), explica que a aplicação da areia de britagem, produz efeitos diferentes aos da areia natural, em especial nas propriedades no

estado fresco, como diminuição da plasticidade e aumento na demanda de água. Isso ocorre, pois a britagem, em geral, confere ao material uma maior porcentagem de material pulverulento, com dimensões inferiores a 0,075mm. Em outras palavras, as superfícies da porção de finos criam áreas de contato, e diminuem os vazios entre os grãos. Menossi (2004) constatou através de ensaios que a absorção do pó de pedra é, aproximadamente, 7 vezes maior do que a areia natural, o que explica a perda de trabalhabilidade e o aumento da demanda de cimento para manter a resistência. Almeida (2005) reitera que a textura e a forma dos grãos é outro fator que pode colaborar para a modificação das características dos concretos e argamassas no estado fresco. Neste estado, são exigidas as características de consistência e trabalhabilidade.

Isaia (2011, p. 456) relata que:

Os conceitos de trabalhabilidade e consistência surgem da necessidade de serem explicitadas as características desejáveis dos concretos durante suas etapas de mistura, transporte, lançamento, consolidação e acabamento [...]. Sob essa ótica, é comum o surgimento de termos subjetivos como “concreto pesado, mole, sopa, farofa, seco, liguento, etc.

Genericamente, a consistência pode ser definida como a facilidade de escoamento nas etapas mencionadas acima, nos termos do ensaio de abatimento do tronco de cone. Devido a simplicidade e facilidade de execução, este ensaio, também conhecido como *Slump Test* é utilizado no Brasil e tem seus parâmetros definidos pela norma ABNT NBR NM 67 “*Slump Test*” (1998).

Na tabela abaixo encontra-se os valores de referência da consistência, medida nos termos do *Slump Test*, segundo Ripper (1995, p. 253):

TABELA 1 – VALORES DE CONSISTÊNCIA

| TIPO DE OBRA/SERVIÇO | CONSISTÊNCIA | CONCRETO COM CONTROLE RAZOÁVEL E VIBRAÇÃO MANUAL OU MECÂNICA | |
|---------------------------------------|------------------|--|-------------|
| | | MÍNIMO (mm) | MÁXIMO (mm) |
| FUNDAÇÕES E MUROS NÃO ARMADOS | FIRME | 20 | 60 |
| FUNDAÇÕES E MUROS ARMADOS | FIRME A PLÁSTICO | 30 | 70 |
| ESTRUTURAS USUAIS E LASTROS | PLÁSTICO | 50 | 70 |
| PEÇAS COM ALTA DENSIDADE DE ARMADURAS | PLÁSTICO A MOLE | 70 | 90 |
| CONCRETO APARENTE | PLÁSTICO A MOLE | 60 | 80 |
| CONCRETO BOMBEADO ATÉ 40m | MOLE | 80 | 100 |
| CONCRETO BOMBEADO A ALTURAS >40m | MUITO MOLE | 90 | 130 |

Fonte: RIPPER (1995)

Vale destacar, também, que elevados teores de água, sem a adição de cimento ou aditivos, podem elevar a porosidade do concreto. É o que destacam Sato e Agopyan (1998). Neste sentido, o fator denominado como relação água/cimento apresenta-se como a proporção entre os constituintes responsáveis pela trabalhabilidade e resistência do concreto.

Basílio (1995) indicou que a granulometria ideal seria aquela que, para uma mesma consistência e mesma relação água/cimento, sem elevar o consumo de cimento, atinja a resistência pretendida, sem considerar o uso de aditivos. Menossi (2014), concluiu que o concreto com pó de pedra, sem uso de aditivo, exigiu uma demanda maior de água para apresentar um mesmo abatimento que um concreto produzido com areia natural, sem, contudo, prejudicar consideravelmente na resistência à compressão em relação às amostras sem o pó de pedra.

No que diz respeito a presença de materiais pulverulentos, a norma NBR 7211 (2009) limita em até, no máximo, 12%, para concreto protegido do desgaste superficial. Nestes parâmetros, caso a porcentagem esteja dentro dos limites apresentados na norma, os finos podem ser significativamente favoráveis. Isto se deve a capacidade de preenchimento dos vazios pelos finos do agregado. Nelson e Guillot (2006), definiram que as partículas menores se encaixam nos vazios das partículas médias, que por sua vez ocupam os vazios das partículas maiores. A compacidade na pasta de cimento no concreto é realizada utilizando-se um material de maior granulometria e outro de menor granulometria. Destaca-se neste quesito, a influência positiva destes fatores na resistência do concreto.

Segundo Metha e Monteiro (2014, p.51) o termo resistência de um material “é definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper”. Reiteram que a resistência à compressão é a propriedade habitualmente especificada em projetos de estruturas de concreto. Neste aspecto existe uma relação fundamental entre resistência e proporção de vazios existentes (porosidade). A porosidade limita a resistência do concreto, uma vez que os agregados utilizados no concreto possuem formas e volumes diferentes, é importante garantir que exista uma transição entre os vazios formados nos agregados e o cimento, garantido a resistência mínima determinada pela ABNT NBR 6118 (2004). Helene (1996) cita que:

A resistência a compressão é a propriedade de concreto adotada por ocasião do dimensionamento da estrutura. Portanto, está diretamente ligada com a segurança estrutural. A obra deve ser construída com um concreto de resistência a compressão igual ou superior aquele valor adotado no projeto.

As estruturas de concreto quando acabadas possuem características diferenciadas das que foram especificadas pelo conjunto de documentos que compõem o projeto estrutural. Sendo assim necessário, devido aos fatores que podem influenciar na resistência final, majorar e monitorar os valores de resistência.

Para a avaliação da resistência à compressão, os corpos de prova são submetidos a ensaios de ruptura sob carga axial (ABNT NBR 5739: 2007). A mesma norma destaca a importância do processo de preparação dos topos dos corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compressão axial. Neste contexto, conforme Toralles-Carbonari e Mindess (*apud* Chies; Rohden e Silva Filho, 2014, p. 789) são indicados três procedimentos para este fim: o arremate com pasta de cimento, o capeamento e a retificação. Reiteram que as técnicas de tratamento superficial podem ser classificadas em três categorias: Sistemas aderentes (argamassas de enxofre ou argamassas de cimento), sistemas não aderentes (pratos metálicos com revestimento elastomérico confinado ou placas de madeira) e sistemas com desgaste

mecânico (utilização de diferentes retíficas ou serras circulares). O procedimento de cura é responsável por manter a água necessária à hidratação do cimento durante o endurecimento do concreto, além disso, a perda de água na mistura, pode causar grande retração e afetar a resistência à compressão. (AİTCIN, 2000; ACI 363 R-92, 2001). As partículas não hidratadas de cimento continuam a formar produtos de hidratação com a idade, assim, de forma geral, a resistência do concreto aumenta com a idade (AİTCIN, 2000; NEVILLE, 1997). Mehta e Monteiro (2014, p. 52) citam:

Embora a maior parte do concreto esteja sujeito simultaneamente a à combinação de tensões, [...] o ensaio de resistência à compressão para o concreto aos 28 dias é aceito universalmente como um índice geral da resistência do concreto.

4 RESULTADOS

4.1 AGREGADOS

A tabela 2 apresenta os resultados da composição granulométrica da areia natural, de graduação fina, utilizada na confecção do concreto.

TABELA 2 – GRANULOMETRIA DA AREIA NATURAL

| COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - ABNT NBR NM 248 (2003) | | |
|---|----------|--------------------|
| PENEIRA | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA |
| 4,75mm | 0,3 | 0,3 |
| 2,36mm | 4,7 | 5,0 |
| 1,18mm | 23,1 | 28,2 |
| 0,60mm | 29,3 | 57,6 |
| 0,30mm | 17,1 | 74,7 |
| 0,15mm | 12,3 | 87,0 |
| <0,15mm | 13,0 | 100,0 |
| MÓDULO DE FINURA | | 2,53 |
| DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) | | 2,36mm |
| TEOR DE UMIDADE | | 3,52% |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

A tabela 3 apresenta as características granulométricas do pó de pedra. Observa-se que não foi realizado nenhum tipo de beneficiamento, utilizando-se o material original.

TABELA 3 – GRANULOMETRIA DO PÓ DE PEDRA

| COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - ABNT NBR NM 248 (2003) | | |
|---|----------|--------------------|
| PENEIRA | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA |
| 4,75mm | 1,6 | 0,2 |
| 2,36mm | 16,2 | 16,4 |
| 1,18mm | 15,4 | 31,8 |
| 0,60mm | 17,7 | 49,5 |
| 0,30mm | 16,3 | 65,8 |

| | | |
|--|--------|-------|
| 0,15mm | 14,8 | 82,0 |
| <0,15mm | 18,0 | 100,0 |
| MÓDULO DE FINURA | 2,53 | |
| DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) | 4,75mm | |
| TEOR DE UMIDADE | 0,25% | |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

Na tabela 4 são apresentados os valores da composição granulométrica do agregado graúdo utilizado na mistura. A dimensão máxima característica resultou em 19mm.

TABELA 4 – GRANULOMETRIA DA BRITA

| COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - ABNT NBR NM 248 (2003) | | |
|---|----------|--------------------|
| PENEIRA | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA |
| 19mm | 5 | 5 |
| 12,5mm | 36 | 44 |
| 9,5mm | 32 | 76 |
| 6,3mm | 21 | 97 |
| 4,75mm | 2,0 | 99 |
| 2,36mm | 1,0 | 100 |
| 1,18mm | 0,0 | 100 |
| 0,60mm | 0,0 | 100 |
| 0,30mm | 0,0 | 100 |
| 0,15mm | 0,0 | 100 |
| <0,15mm | 0,0 | 100 |
| MÓDULO DE FINURA | 6,79 | |
| DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA (mm) | 19mm | |
| TEOR DE UMIDADE | 0,45% | |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

Na figura 1 são apresentadas as curvas granulométricas dos agregados miúdos, dentro das zonas de utilização estabelecidas pela NBR 7211 (2009).

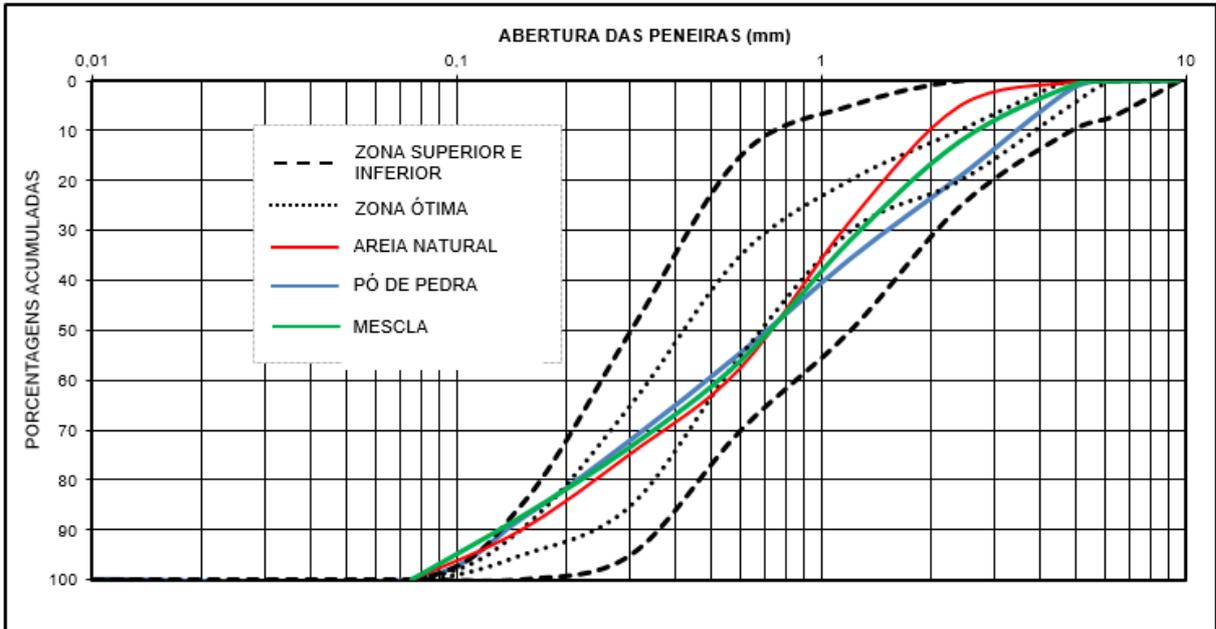


FIGURA 1 – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS MIÚDOS

A mescla refere-se à composição do agregado miúdo no traço com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra. Nota-se que ambos, em suas maiorias, são ajustados às zonas inferiores e superiores, com distribuição uniforme dos grãos, porém, com algumas discrepâncias nos finos passantes à peneira de 0,075mm.

4.2 DOSAGEM DOS MATERIAIS

Na tabela 5 são apresentados os consumos de materiais por metro cúbico de concreto nos traços apresentados.

TABELA 5 - CONSUMO DOS MATERIAIS/M³

| MATERIAIS | TRAÇO 1 | TRAÇO 2 | TRAÇO 3 |
|----------------------------------|---------|---------|---------|
| CIMENTO (Kg/m ³) | 285,71 | 285,71 | 285,71 |
| AREIA (Kg/m ³) | 876,00 | 438,00 | 0,00 |
| PÓ DE PEDRA (Kg/m ³) | 0,00 | 438,00 | 876,00 |
| BRITA (Kg/m ³) | 992,00 | 992,00 | 992,00 |
| ÁGUA (l/m ³) | 206,43 | 218,50 | 228,57 |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

Conforme já mencionado, a dosagem dos traços baseou-se no método da ABCP, considerando a massa seca unitária dos agregados. Foram elaborados os seguintes traços: Traço 1 (1 : 3,07 : 3,47 : 0,72) – Sem adição do pó de pedra; Traço 2 (1 : 3,07 : 3,47 : 0,76) – 50% de adição de pó de pedra e 50% de areia natural, e Traço 3 (1 : 3,07 : 3,47 : 0,80) – 100% de adição de pó de pedra. A água utilizada para o processo foi retirada de poço, sem a presença de contaminantes. Vale destacar que objetivou-se nesta etapa não utilizar qualquer tipo de aditivo.

4.3 CONSISTÊNCIA

Ao realizar o *Slump Test*, verificou-se maior demanda de água para manter a consistência dos traços com o pó de pedra. Nesta etapa, o objetivo foi adicionar apenas água para manter a trabalhabilidade das amostras, elevando, conseqüentemente, os valores do a/c, conforme a tabela 6.

TABELA 6 – VALORES DE CONSISTÊNCIA

| RESULTADOS | TRAÇO 1 | TRAÇO 2 | TRAÇO 3 |
|-------------|---------|---------|---------|
| SLUMP (mm) | 80 | 70 | 75 |
| RELAÇÃO A/C | 0,72 | 0,76 | 0,80 |

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

Conforme a tabela de Ripper (1995), a consistência dos traços podem ser classificadas como de plástica a mole, para utilização em estruturas usuais, peças com densidade de armaduras e concretos aparentes.

4.4 RESISTÊNCIA

Logo após atingirem o estado endurecido, as amostras foram levadas ao tanque de cura úmida à temperatura de (21 ± 2) C°, sem exposição à gotejamento ou ação de água em movimento, até atingirem as idades de 3, 7, 14 e 28 dias. A planificação das superfícies dos corpos de prova foi realizada por meio de desgaste mecânico, com o auxílio de uma retífica. Os resultados das resistências à compressão são apresentados na figura 2.

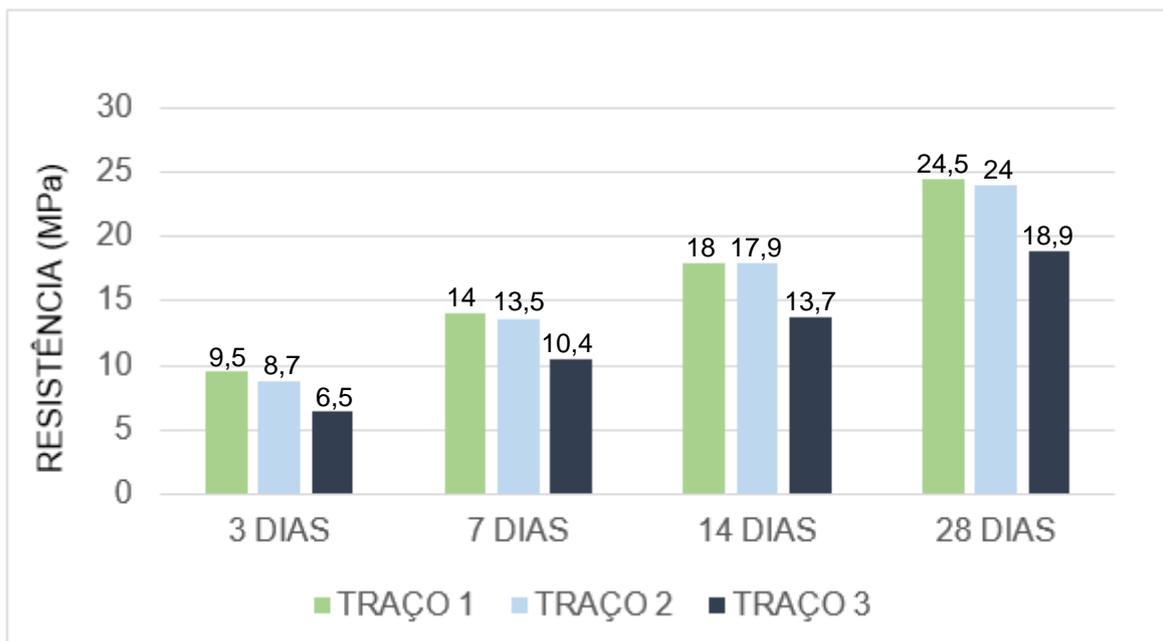


FIGURA 2 – RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO

Com base nos dados mostrados, nota-se que o traço 3, com 100% de pó de pedra, apresentou menor resistência em todas as idades. Explica-se devido pelo aumento da água para que se pudesse obter melhor trabalhabilidade. Contudo, constatou-se a resistência desejável atingida pelos traços 1 e 2.

4.5 CUSTOS

São apresentados na tabela 7 as características e os custos de cada traço. Os valores foram calculados com base no consumo dos materiais por metro cúbico de concreto e correspondem aos custos dos materiais à empresa Concremix S/A, na cidade de Nova Venécia – ES, no mês de Outubro/2016.

TABELA 7 – VALORES DOS TRAÇOS

| MATERIAIS | TRAÇO 1 | | TRAÇO 2 | | TRAÇO 3 | |
|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | CONSUMO (KG/m ³) | VALOR UNITÁRIO (R\$/Kg) | CONSUMO (KG/m ³) | VALOR UNITÁRIO (R\$/Kg) | CONSUMO (KG/m ³) | VALOR UNITÁRIO (R\$/Kg) |
| CIMENTO (Kg/m ³) | 285,71 | 0,33 | 285,71 | 0,33 | 285,71 | 0,33 |
| AREIA (Kg/m ³) | 876,00 | 0,017 | 438,00 | 0,017 | 0,00 | - |
| PÓ DE PEDRA (Kg/m ³) | 0,00 | - | 438,00 | 0,009 | 876,00 | 0,009 |
| BRITA (Kg/m ³) | 992,00 | 0,034 | 992,00 | 0,034 | 992,00 | 0,034 |
| ÁGUA (l/m ³) | 206,43 | 0,01 | 218,50 | 0,01 | 228,57 | 0,01 |
| VALOR TOTAL (R\$/m ³) | 144,97 | | 141,59 | | 138,18 | |

Fonte: Elaborada pelos autores. Custos de referência da Concremix S/A

Observa-se a redução de resistência à compressão no traço 3. Pode-se citar como economicamente viável a utilização do concreto com pó de pedra, em concretos com resistência desejável abaixo dos 20 MPa. Contudo, o traço com 50% do pó de pedra atingiu a resistência desejável na presente pesquisa, com o custo 2,38% mais baixo em relação ao traço 1.

5 CONCLUSÃO

Com o estudo realizado foi possível notar a semelhança granulométrica entre areia natural e o pó de pedra, sendo este classificado como areia média. Além disso, os finos passantes à peneira menor que 0,075mm, exercem influência significativa nas propriedades do concreto. Percebeu-se a possibilidade de realizar concretos trabalháveis com o pó de pedra. Destaca-se, porém, a absorção de água, especificamente, ocorrida no traço 3. Para manter próximos os valores de consistência, sem adição de cimento, os valores de resistência foram afetados pelo aumento do fator a/c. Fica como sugestão para trabalhos futuros manter o fator a/c, e a análise de traços com outras porcentagens de pó de pedra.

Observou-se tanto para o traço 1, como para os traços 2 e 3, que a resistência à compressão aumentou com as idades de 3, 7, 14 e 28 dias, como já era esperado. Apesar do acréscimo de resistência com as idades, o concreto com 100% do pó de pedra, mantendo-se a quantidade de cimento, não atingiu a resistência estimada, mas vale ressaltar que apesar de não ter atingido resistência mínima de 20Mpa, segundo a NBR 6122 – Projeto e execução de fundações este concreto ainda pode ser definido como concreto estrutural e aplicável em fundações. O traço 2, com 50% do pó de pedra atingiu a resistência apenas 2% menor que a do traço 1.

Com relação aos custos, os valores apresentaram economia nos traços com o pó de pedra, sendo o traço com 50% de pó de pedra, 2,38% mais econômico que o traço 1. Portanto

conclui-se, que o traço com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra, apresentou melhores resultados, com valor de 24 MPa de resistência, e melhor valor econômico.

Diante dos resultado apresentados nesta pesquisa, o campo de aplicação pode ser cada vez mais extenso e citados abaixo:

- Elaboração de traços independentes visando uma resistência final e comparar custos.
- Elaboração de um único traço substituindo apenas o agregado, modificando apenas o fator A/C em conjunto.
- Elaboração de traço específico para revestimentos.
- Elaboração de traço de blocos para alvenaria estrutural.
- Elaboração de traço para concreto de alta resistência substituindo parcialmente o cimento Portland.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. São Paulo: Pini, 2000.
2. ALMEIDA, I.R. **Concreto de alto desempenho**. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.
3. ALMEIDA, S.L.M. e SAMPAIO, J.A. **Obtenção de Areia Artificial com Base em Finos de Pedreiras**. Recife: Areia e Pedra, n.20, p.32-36, Dezembro de 2002.
4. ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. **Areia artificial: Uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM**. São Paulo, (2005).
5. 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, EFUSP, 2005.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2007.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**, Rio de Janeiro, 1994.
13. BASÍLIO, Eduardo Santos. **Agregados para concreto**. Estudo Técnico nº 41. 3.ed.ver.atual. São Paulo: ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland, fev. 1995. 44 p. 13. BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção**. Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 5. Ed., V. 1 e 2, 1997.
14. BASTOS, S. R. B. b. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial a areia fina de britagem**. (2005).
15. CAMPOS, H. F. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: Estudo experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
16. Chies, J. A.; Rohden, A. B.; Silva Filho L. C. P. **Tratamentos superficiais em corpos de prova de concreto submetidos à compressão**. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, Porto Alegre, 2014, volume 7, número 5, p. 775-800, 11, Jul., 2014.
17. CINCOTTO, Maria Alba, Maria Angélica Covelo SILVA, e Helena Carasék CASCUDO. **"Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio"**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas , 1995.
18. CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Paulo, 2000.
19. DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo. **Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland**. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto* , v. 62, n. 3, p. 399-408, 2009.
20. FREITAS, J. A. Jr. **Estudo comparativo de métodos de dosagem para concretos de alta resistência com o uso de agregados graúdos disponíveis na região metropolitana de Curitiba**. Paraná, Curitiba: 2005. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Construção Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
21. ISAIA, G. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Ibracon, 1ª edição. São Paulo, 2011.

22. HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Ed. PINI, 1ª edição. São Paulo, 1995.
23. MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 2ª edição. São Paulo, 2014.
24. MENOSSI, R.T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira: 2004.
25. NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. Editora Pini, São Paulo, 1982.
26. NELSON, E. B., GUILLOT, D., **Well Cementing**, Schlumberger, 2ª edição, U.S.A., 2006.
27. RIPPER, Ernesto. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1995. 253p.
28. SÁ, MARIA DAS VITÓRIAS, **Influência na substituição da areia natural por pó de pedra, no comportamento mecânico, microestrutura e eletroquímico dos concretos**. Universidade Federal do Rio grande do Norte, Natal, 2006.
29. SATO, N. M. N, AGOPYAN, Vahan. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. [S.l: s.n.], 1998.
30. SILVA, L. S., DEMETRIO, J. C. C., DEMETRIO, F. J. C. **Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confeção de Concreto Simples**. 5th International Workshop | Advances in Cleaner Production – Academic Work. São Paulo, 2015.
31. TEODORO, Sabrina Bastos. **Avaliação do uso da areia de britagem na composição do concreto estrutural**. 2013. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.