

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDMAR FERNANDES DA SILVA
JOHN LENNON RODRIGUES DOS SANTOS
MARILDA TIAGO BORGES
WESLEY FERREIRA DE ALMEIDA**

**SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELA AREIA
BRITADA NO CONCRETO**

PATOS DE MINAS

2019

**EDMAR FERNANDES DA SILVA
JOHN LENNON RODRIGUES DOS SANTOS
MARILDA TIAGO BORGES
WESLEY FERREIRA DE ALMEIDA**

SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELA AREIA BRITADA NO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Raquel Resende
Rocha

PATOS DE MINAS

2019

FACULDADE PATOS DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
Curso de Bacharelado em Engenharia Civil

**EDMAR FERNANDES DA SILVA
JOHN LENNON RODRIGUES DOS SANTOS
MARILDA TIAGO BORGES
WESLEY FERREIRA DE ALMEIDA**

**SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELA AREIA BRITADA NO
CONCRETO**

Banca Examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, composta em
23 de maio de 2019.
Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela comissão examinadora constituída
pelos professores:

Orientador: Prof. Esp. Raquel Resende Rocha
Faculdade Patos de Minas

Examinador: Prof. Me. Gabriel José da Silva
Faculdade Patos de Minas

Examinador: Prof. Esp. Marcelo Malheiro de Queiroz
Faculdade Patos de Minas

*“Seu único limite é o que você coloca na sua mente.”
(Ana Maria Braga)*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que nos permitiu vivenciar ao longo de nossas vidas e não somente nestes 5 anos como universitários, mas em todos os momentos.

Aos nossos pais, esposa, namorado (a) o amor, incentivo e apoio incondicional nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

À professora Nayara de Lima pela orientação, apoio e confiança.

À nossa orientadora Raquel Resende Rocha, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivo.

Agradecemos a todos os professores por nos proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a nós, não somente por terem nos ensinado, mas por termos aprendido. A palavra mestre, nunca fará jus aos professores dedicados, aos quais sem nominar terão os nossos eternos agradecimentos.

A todos que de forma direta ou indireta fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

RESUMO

Devido à grande utilização da areia natural na construção civil, aos impactos ambientais causados pela sua extração e a possível escassez desse material novas alternativas vêm sendo pesquisadas para substituí-la. A areia britada é uma opção a ser considerada, pois reduz o impacto ambiental e é um material economicamente viável, produzido nas usinas de britagem como rejeito do processo de moagem de rochas maiores, através do reprocessamento torna-se um agregado miúdo com características próximas às da areia natural. Foram confeccionados 12 corpos de prova cilíndricos em concreto, sendo definidos 2 traços de concreto fck 25 MPa e fck 35 Mpa, com substituição de 100% da areia natural pela areia britada. A análise dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório possibilitou verificar que a areia britada confere resistência à compressão, e é viável econômica e ambientalmente. E o nosso objetivo é investigar a possibilidade de substituição da areia natural pela areia britada, em decorrência de sua escassez devido ao crescimento do setor de construção civil.

Palavras-chave: areia britada, agregado.

ABSTRACT

Due to the great use of natural sand in civil construction, the environmental impacts caused by its extraction and the possible scarcity of this new alternative material have been researched to replace it. The crushed sand is an option to be considered, because it reduces the environmental impact and is an economically viable material, produced in crushing plants as a reject of the grinding process of larger rocks, through the reprocessing becomes a kind aggregate with characteristics close to the natural sand. Twelve concrete cylindrical test specimens were made, with 2 traces of concrete (fck 25 MPa and fck 35 MPa, with 100% replacement of the natural sand by the crushed sand. The analysis of the results obtained in the laboratory tests allowed to verify that the crushed sand confers resistance to compression, and is economically and environmentally. And our objective is to investigate the possibility of replacing natural sand by crushed sand, due to its scarcity due to the growth of the construction sector.

Keywords: crushed sand, aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária	17
Figura 2	Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	17
Figura 3	Dimensões do cone	25
Figura 4	Peça de corpo de prova deformado	26
Figura 5	Peça de corpo de prova cilíndrico (fck 25 MPa e fck 35 MPa) ...	26
Figura 6	Slump test (fck 25 MPa)	27
Figura 7	Método ABCP - software de dosagem do traço de concreto (fck 25 MPa)	31
Figura 8	Método ABCP - software de dosagem do traço de concreto (fck 35 MPa)	31
Figura 9	Ensaio de resistência à compressão PCP 4	33
Figura 10	Ensaio de resistência à compressão PCP 5	33
Figura 11	Ensaio de resistência à compressão PCP 6	34
Figura 12	Ensaio de resistência à compressão PCP 10	34
Figura 13	Ensaio de resistência à compressão PCP 11	35
Figura 14	Ensaio de resistência à compressão PCP 12	35
Figura 15	PCP no ensaio	36
Figura 16	PCP rompida	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Descrição do material utilizado	21
Tabela 2	Caracterização do cimento Portland pozolânico	21
Tabela 3	Dosagem do traço de concreto	26
Tabela 4	Composição granulométrica da areia britada	28
Tabela 5	Tipo de material, diâmetro e módulo de finura (areia britada)	29
Tabela 6	Composição granulométrica da brita 0	29
Tabela 7	Tipo de material, diâmetro e módulo de finura (brita 0)	30
Tabela 8	Resultados do ensaio de resistência à compressão	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Curva granulométrica da areia britada	28
Gráfico 2	Curva granulométrica da brita 0	30

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CP IV-32 – Cimento Portland Pozolânico (classe de resistência 32)

FCK – Resistência Característica do Concreto à Compressão

MPa – Mega Pascal (1 milhão de Pascal = 10,1972 kgf/cm²)

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma elaborada em conjunto pelos membros da Associação Mercosul de Normalização (AMN)

PCP – Peça de Corpo de Prova

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problemática	12
1.2	Objetivo Geral	12
1.3	Objetivos Específicos	12
1.4	Justificativa	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Concreto na construção civil.....	14
2.2	Agregados.....	15
<i>2.2.1</i>	<i>Origem.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Granulometria.....</i>	<i>16</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Massa unitária.....</i>	<i>17</i>
2.3	Tipos de rochas	18
2.4	Areia britada.....	18
2.5	Classes de resistência	19
2.6	Dosagem do concreto	20
3	MATERAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	Metodologia.....	21
3.2	Material utilizado na fabricação dos PCP	21
3.3	Caracterização do cimento	21
3.4	Ensaio de laboratório	22
<i>3.4.1</i>	<i>Granulometria.....</i>	<i>22</i>
<i>3.4.2</i>	<i>Massa unitária.....</i>	<i>23</i>
<i>3.4.3</i>	<i>Massa específica.....</i>	<i>24</i>
3.4.4	<i>Abatimento do tronco de cone.....</i>	24
3.5	Dosagem do traço de concreto	25

3.6	Fabricação dos corpos de prova de concreto	26
3.7	Ensaio de abatimento do tronco de cone.....	27
3.8	Ensaio de granulometria, massa unitária, massa específica e resistência.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1	Composição granulométrica	28
4.1.1	<i>Areia britada</i>	28
4.1.2	<i>Brita 0</i>	29
4.2	Abatimento do tronco de cone	30
4.3	Dosagem do traço de concreto	31
4.3.1	<i>Concreto fck 25 MPa</i>	31
4.3.2	<i>Concreto fck 35 MPa</i>	31
4.4	Ensaio de resistência à compressão	32
4.4.1	<i>Concreto fck 25 MPa aos 28 dias de idade</i>	33
4.4.2	<i>Concreto fck 35 MPa aos 28 dias de idade</i>	34
4.4.3	<i>Peça do corpo de prova no ensaio de 07 dias no laboratório da faculdade.</i>	36
4.4.4	<i>Peça do corpo de prova rompida.....</i>	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o produto da construção civil mais utilizado no mundo, sua composição é simples: água, areia, brita e cimento, onde forma uma pasta resistente e aderente aos fragmentos de agregados, formando um bloco monolítico.

Na busca por renovação dos produtos já existentes no mercado, através de novas fórmulas e composições que visam a preservação ambiental, a areia britada torna-se uma alternativa plausível para substituir agregados comuns na composição do concreto. Porém, deve-se levar em consideração vários fatores, os quais devem ser controlados e pesquisados, pois a areia britada como substituta da areia natural possui vantagens e desvantagens, dependendo da região do país em que é utilizada.

1.1 Problemática

A areia natural pode ser substituída pela areia britada em concretos com função estrutural, considerando a granulometria, a viabilidade econômica e ambiental, e a resistência final?

1.2 Objetivo Geral

Investigar a possibilidade de substituição da areia natural pela areia britada, em decorrência de sua escassez devido ao crescimento do setor de construção civil.

1.3 Objetivos Específicos

- Definir as características da areia britada que será substituta da areia natural;
- Obter a resistência do concreto necessária para a utilização da areia britada, com o mínimo de material necessário;
- Verificar a viabilidade ambiental da areia britada como uma opção sustentável para a construção civil.

1.4 Justificativa

A grande procura por agregados miúdos e graúdos do concreto faz com que se degrade mais o meio ambiente. Desse modo, sabendo que a areia natural é extraída de fontes não renováveis onde sua extração afeta os corpos hídricos e cuja extração produz grande impacto ambiental, a areia britada torna-se uma solução que pode ajudar a manter os corpos hídricos intactos e ao mesmo tempo ser economicamente viável.

Anteriormente, os agregados eram vistos como um material inerte no concreto, sendo usados apenas para encorpar o produto e deixá-lo mais econômico. Contudo, diversas pesquisas realizadas nos últimos anos, deixam claro que tanto agregados miúdos quanto graúdos tem grande contribuição para a resistência final do concreto.

Quando extraído na natureza o agregado miúdo possui variação de granulometria, o que afeta a resistência final do concreto, já que não tem como fazer o controle granulométrico. Ao utilizar a areia britada consegue-se obter uma granulometria de acordo com um padrão especificado em normas, e, portanto, obter um concreto com resistência final melhor.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Concreto na construção civil

De acordo com pesquisas o concreto é o material mais utilizado na construção civil. A mistura simples, composta por areia, brita, cimento e água, faz com que seu custo seja inferior ao de outros materiais, o material possui grande resistência mecânica e modelagem aberta. Existem vários tipos de misturas de concreto, cada uma com uma dosagem diferente para um determinado uso (1,2).

Estudos mostram que o concreto já vinha sendo usado na antiguidade para fazer obras, através de uma mistura de argila, pedras e materiais cimentícios e pozolônicos. Devido à sua trabalhabilidade e sua resistência após o processo de cura é até hoje o material mais usado no Brasil e no mundo (3,4).

O concreto é empregado em vários setores da construção civil como pontes, barragens, edifícios, obras industriais e rodovias. Geralmente o concreto é usado com aço para que a estrutura tenha uma boa interação aos esforços resultantes, tendo em vista que o concreto é trabalhado somente para esforços à compressão, e quando submetido à esforços de tração não reage da mesma forma (1,4).

A mistura de concreto e aço se tornou uma das formas mais comuns de se usar o concreto para fins estruturais, fazendo com que essa união tornasse o produto apto para diversos tipos de obras e sendo assim o mais usado no mundo. O concreto para fins estruturais deve possuir várias características técnicas, levando em conta todas as especificações exigidas para a sua fabricação (2).

A facilidade de fabricação e modelação, a partir de fôrmas de madeira, permite criar obras em qualquer formato geométrico, o que exige controle das especificações e características de seus materiais. Existem formas e dosagens diferentes para se fabricar o concreto de acordo com a especificação e finalidade de uso (3,5).

Visando um produto homogêneo, o concreto pode ser misturado manualmente, ou por meios mecânicos. Misturado manualmente é usado geralmente para obras de pequeno porte e que não precisam de alta resistência. Já misturado em grande escala é feito por empresas especializadas em produção de concreto, com a dosagem correta dos componentes, obtendo um padrão de alta qualidade (3,5).

2.2 Agregados

Na composição do concreto utiliza-se apenas areia e brita como agregados; a areia como agregado miúdo e a brita como agregado graúdo. Esses agregados variam em torno de 70% a 80% da composição total do concreto, encontram-se disponíveis na natureza, podendo ser extraídos de jazidas licenciadas (6).

A padronização do uso e das propriedades desses materiais para a fabricação de concreto é estabelecida pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sob a identificação NBR 7211 – Agregados para o concreto – Especificações, a qual considera as condições para a recepção e produção desses agregados (6).

Antes de se ter pesquisas sobre a composição do concreto, acreditava-se que os agregados eram usados apenas como materiais para enchimento, ou seja, somente para dar volume maior à pasta de cimento empregado para dar à mistura uma certa resistência. Entretanto, estudos direcionados a esses materiais comprovaram que eles tinham grande influência sobre a resistência final do produto (6,7).

Os agregados, possuem grande importância na mistura. A padronização dos materiais que são usados na sua mistura e as suas características físicas e químicas interferem diretamente no dimensionamento das dosagens do produto e conseqüentemente no seu resultado final. Os materiais são classificados quanto à sua origem, granulometria e massa unitária (8).

2.2.1 Origem

Os agregados podem ser extraídos do meio natural ou ser obtidos de outros meios como, por exemplo, de restos reciclados ou de outras linhas de produção. Podemos definir os agregados como de origem natural, agregados britados, agregados artificiais e agregados reciclados (5,9).

- Agregados de origem natural

São encontrados na natureza em diversos tipos de rochas e solos, oriundos da transformação desses pelo processo de intemperismo. Os solos podem ser argilosos, arenosos, ou um com característica do outro, sendo necessário análise de viabilidade de uso desses agregados na mistura. Quando extraídos na natureza não precisam de processamento para se adequar ao uso, as suas dimensões e características já são adequadas para o emprego direto (5,9).

- Agregados artificiais

São produzidos por meio de processos industriais, como os restos de rejeitos minerais e argila, os quais passam por processamento para aumentar ou diminuir o seu tamanho. Os métodos empregados para processar esses agregados passam por análises que determinam se estão de acordo com as normas e padrões especificados para o uso (5,9).

- Agregados britados

São aqueles que passam pelo processo de fragmentação da rocha, a qual é extraída em dimensão grande e triturada de acordo com a classificação comercial e a necessidade de cada projeto. Os agregados britados podem ter variação granulométrica, enquadrando-os como de granulometria graúda ou miúda (7).

- Agregados reciclados

São aqueles que já passaram por um processo de utilização, mas é reprocessado passando por uma máquina que tritura o material, tornando-o compatível com as especificações granulométrica e de resistência necessárias para o seu uso específico (2,7).

2.2.2 *Granulometria*

As formas e o tamanho dos agregados os caracterizam, isto é, a distribuição dos grãos de acordo com o seu tamanho é o que confere a granulometria. Os grãos possuem uma classificação para o seu tamanho segundo as normas, definindo qual será a sua granulometria levando em consideração o tamanho com maior porcentagem de material retido na peneira (9).

O processo de classificação granulométrico é feito em laboratório, com o auxílio de equipamentos para peneirar uma certa quantidade de material. Depois de separado através de peneiras de tamanhos diferentes contabiliza-se a quantidade de material que ficou retida em cada uma das peneiras, determinando a frequência e obtendo assim a sua classificação granulométrica (9).

A NBR 7211 estipula séries de peneiras para serem usadas na caracterização do material (figura 1) e também define valores da distribuição granulométrica para agregados miúdos (figura 2) (6,8,9).

Figura 1 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária

Série normal	Série intermediária
75 mm	–
–	63 mm
–	50 mm
37,5 mm	–
–	31,5 mm
–	25 mm
19 mm	–
–	12,5 mm
9,5 mm	–
–	6,3 mm
4,75 mm	–
2,36 mm	–
1,18 mm	–
600 µm	–
300 µm	–
150 µm	–

Fonte: (6)

Figura 2 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: (6)

2.2.3 Massa unitária

Entende-se por massa unitária a massa da unidade de volume aparente do agregado, isto é, é a relação entre sua massa e seu volume sem compactação, considerando-se também os vazios entre os grãos. Essa massa unitária pode variar de acordo com qualidade do material, e é dependente da granulometria e do grau de compactação a que o material se encontra submetido, ou seja, os vazios influenciam na massa unitária do material. Entretanto, a maioria dos agregados naturais como areia e pedregulhos possuem massa unitária variando entre 1500 e 1700 kg/m³, e existem outros tipos de materiais como agregados leves e pesados com massa unitária particular (7,8).

2.3 Tipos de rochas

As rochas são resultado de processos de milhões de anos, elas são formadas por um ou mais minerais, existindo três tipos principais: as magmáticas, as metamórficas e as sedimentares (10,11).

Os agregados oriundos das rochas são facilmente extraídos nas pedreiras e no leito dos rios. Em geral, os agregados miúdos como areias são extraídos do leito dos rios através de maquinário adequado; a maioria desse material é silicatado, originado do processo de sedimentação, ou seja, devido às ações do tempo eles foram se aglomerando e acumulando. Já os agregados graúdos são extraídos em minas, em sua maioria a céu aberto, originados de rochas magmáticas ou metamórficas formadas por ações de intemperismo e de magmatismo (11).

2.4 Areia britada

A areia britada é um agregado mineral, produto de rochas de vários tipos. Por ser relativamente barata e não entrar em reação química com a água tem sido considerada como um importante agregado para a produção de concreto Portland (12,10).

Nos últimos anos tem crescido a sua utilização na construção civil, principalmente por causa do esgotamento das reservas de areia natural e das restrições ambientais como os impactos negativos provocados pela degradação da vegetação nas margens dos leitos dos rios onde há extração de areia natural. Com isso, os produtores de britagem têm investido nesse rejeito, tornando-o mais próximo da areia natural, permitindo assim a sua substituição (11).

No processo de moagem de rochas maiores tem se uma grande quantidade de areia que é considerada rejeito, é um subproduto da brita, o qual possui dimensões inferiores a 4,8 mm conforme classificação no processo de peneiramento. Após análises e estudos constatou-se que a areia britada tem grande potencial de aproveitamento, e encontra-se praticamente livre de impurezas de natureza orgânica e argilosa, bem como dos possíveis problemas originados por estes (10).

O processo de moagem garante uniformidades dos grãos, os quais tem formato anguloso e superfície áspera. O produto final é resultante de vários processos e pode aproveitar material de descarte das minerações (10,11,12).

As vantagens da areia britada estão relacionadas à diversos fatores como:

- Preservação dos leitos e margens dos rios;

- Não contem materiais argilosos e impurezas orgânicas o que confere maior durabilidade ao concreto;
- Aproveitamento dos rejeitos da fabricação de brita o que reduz os custos de aquisição;
- Secagem mais rápida;
- Maior resistência e aderência;
- Constância da curva granulométrica.

2.5 Classes de resistência

Fatores como adensamento, cura, mineralogia e dimensão do agregado, tipos de aditivos, adições, umidade, geometria do corpo de prova, tensão e velocidade podem ter efeito importante na resistência, mas há também a influência de outros fatores, pois a resistência do concreto é definida como a capacidade de não se romper, mesmo sofrendo uma tensão (13,4).

Existem outros fatores que podem afetar a porosidade dos componentes do concreto, tais como a: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, elasticidade e sanidade. As condições prévias de exposição relacionadas à fabricação do concreto devido ao tamanho, forma e textura das partículas também influenciam na sua resistência (1,13).

O agregado também tem características relevantes para a formação do concreto as quais afetam tanto o estado fresco quanto endurecido que são a: porosidade, composição, distribuição granulométrica, absorção, forma e textura, resistência à compressão, módulo de elasticidade e presença de substâncias danosas (13).

É de extrema importância para o projeto e também para o controle de qualidade do concreto que a sua resistência venha especificada, pois a resistência está ligada às propriedades do concreto como a sua elasticidade e impermeabilidade, sendo que a sua dosagem e seus materiais tenham um controle rigoroso (13,14).

O concreto é dividido em três categorias com base na resistência à compressão:

- Concreto de baixa resistência: menos de 20 Mpa;
- Concreto de resistência moderada: 20 Mpa a 40 Mpa;
- Concreto de alta resistência: maior que 40 Mpa.

A resistência do concreto à compressão é na maioria das vezes maior que os outros tipos de resistências o que pode trazer ganhos significativos. Apesar de estar sujeita à combinação das tensões de cisalhamento e de tração a resistência à compressão é usada como um índice para os outros tipos de resistência. Em geral, o fator mais importante do ponto de vista de resistência é relação água/cimento e porosidade pois afetam a porosidade da matriz (14).

2.6 Dosagem do concreto

A dosagem de concreto feito a partir de cimento Portland é necessária para se obter uma melhor proporção entre os agregados e os outros componentes, é a parte na qual se tem um certo quantitativo para que a resistência final do concreto atinja o nível desejável (5,15).

O concreto para ser dosado exige a verificação de cálculos que envolvem suas características físicas, químicas e a resistência dos materiais que estão sendo utilizados para a fabricação do traço (15).

Assim como o cimento que está diretamente ligado à plasticidade, segregação, exsudação, calor de hidratação e à retração, tem-se os agregados miúdos e graúdos que podem gerar maior consumo de água e cimento, e dependendo do seu formato geométrico podem influenciar na plasticidade do concreto e a partir disso influenciar na resistência final do produto (14).

Um dos principais fatores que determinam e interferem na dosagem do concreto é a relação água/cimento, a qual é primordial para a obter-se a resistência do concreto, pois quanto maior é essa relação menor será a resistência (7,15).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

Para a realização do experimento foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as características dos materiais, tendo em vista ampliar o conhecimento sobre a areia britada que foi utilizada na fabricação das PCP (Peça de Corpo de Prova). Foram definidos dois traços de concreto, um com fck 25 Mpa e outro com fck 35 Mpa. E posteriormente foi realizada observação entre as peças de concreto fabricadas empregando como agregado miúdo a areia britada em substituição da areia natural. Após a realização dos ensaios laboratoriais foram analisados e interpretados os resultados visando verificar a viabilidade técnica da substituição da areia natural pela areia britada, sem que o comprometimento dos requisitos de qualidade e resistência das peças.

3.2 Material utilizado na fabricação dos PCP

Os materiais a ser utilizado para a fabricação dos PCP são descritos na tabela 1 para cada traço de concreto definido.

Tabela 1 – Descrição do material utilizado

Tipo de Peça	Aglomerante	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	Substituição	fck
Cilíndrica	CP IV-32	Areia Britada	Brita 0	100%	25 MPa
Cilíndrica	CP IV-32	Areia Britada	Brita 0	100%	35 MPa

3.3 Caracterização do cimento

O cimento CP IV-32 possui alta resistência inicial e atende às exigências químicas, físicas e mecânicas da ABNT NBR 5736 (1991) conforme tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do cimento Portland pozolânico

COMPONENTES (% em massa)				
Sigla	Classe de Resistência	Clínquer Sulfato de Cálcio	Material Pozolânico	Material Carbonático
CP IV	32	85 - 45	15 - 50	0 - 5
EXIGÊNCIAS QUÍMICAS				
Determinações Químicas			Limites (% da massa)	
Perda ao fogo (PF)			- 4,5	
Óxido de magnésio (MgO)			- 6,5	
Trióxido de enxofre (SO ₃)			- 4,0	

Anidrido carbônico (CO ₂)		- 3,0
EXIGÊNCIAS FÍSICAS E MECÂNICAS		
Características e Propriedades	Unidade	Limites CP IV
Finura (resíduo na peneira 75 µm)	%	- 8,0
Tempo de início de pega	h	- 1,0
Expansibilidade a quente	mm	- 5,0
Resistencia à compressão	3 dias de idade	MPa - 10,0
	7 dias de idade	MPa - 20,0
	28 dias de idade	MPa - 32

Fonte: (14)

3.4 Ensaios de laboratório

Os agregados passam por ensaios que determinam as suas características físicas, as quais são usadas para o dimensionamento da composição do traço do concreto. Os principais ensaios são:

- Granulometria
- Massa Unitária
- Massa Específica
- Abatimento do tronco de cone (slump test).

3.4.1 Granulometria

A determinação da composição granulométrica dos agregados foi realizada em laboratório conforme ABNT NBR NM 248 (2003).

Primeiro separou-se uma quantidade de agregado graúdo e agregado miúdo, colocando-os numa bandeja. Essa bandeja foi levada para a estufa a temperatura de 110° C, durante 24 horas, para retirar a umidade do material.

Após a secagem do material foi pesado três amostras de 5 kg de brita 0, três amostras de 0,3 kg de areia britada. E em seguida, cada amostra foi levada ao peneirador por 10 minutos para que houvesse a separação completa dos materiais e fosse feita a classificação de cada material. Por fim, foi retirado o material das peneiras, sendo que o material retido nas bandejas foi pesado, obtendo assim a massa retida para cada uma das peneiras.

Segundo a ABNT NBR NM 248 (2003), o resultado da dimensão máxima característica do agregado é dado pela peneira cujo percentual retido é menor igual a

5%, e o módulo de finura é a soma da porcentagem retida acumulada do agregado dividido por 100.

Os equipamentos utilizados para o ensaio de granulometria são:

- Estufa;
- Vibrador;
- Balança com sensibilidade de 0,1 g;
- Peneiras da série normal e intermediária;
- Agitador mecânico;
- Bandejas para a pesagem do material;
- Pincel para limpar as bandejas.

3.4.2 Massa unitária

A determinação da massa unitária foi realizada em laboratório específico, de acordo com a ABNT NBR NM 45 (2006).

Para a realização do ensaio as amostras de brita e de areia britada foram levadas para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105° C. Após a retirada do material, foi determinada a massa do recipiente, depois foi pesado o recipiente com água para determinar o volume ocupado. Feito isso, cada material foi colocado num recipiente, em estado solto, a uma altura de 10 cm, procedendo-se a pesagem do conjunto, recipiente e amostra, com 2 repetições.

Os equipamentos empregados para determinar a massa unitária são:

- Estufa;
- Espátula;
- Balança com sensibilidade de 0,1 g;
- Recipiente para medir o volume.

A fórmula utilizada para a obtenção da massa unitária é dada por:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V}$$

Onde:

ρ_{ap} : é a massa unitária do agregado, em (g/cm³);

m_{ar} : é a massa do recipiente mais o agregado, em (g);

m_r : é a massa do recipiente vazio, em (g);

V : é o volume do recipiente, em (cm³).

Para o dimensionamento do traço do concreto adotou-se o valor de 1,4 g/cm³ para a areia britada e de 1,5 g/cm³ de brita 0, sendo realizadas 2 repetições, e posterior lançamento no software para a obtenção do traço adequado.

3.4.3 Massa específica

Para a realização do ensaio as amostras de brita e de areia britada foram levadas para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105° C. Após a retirada do material, foi feita a pesagem de 500 g do material, sendo colocado no frasco Chapman até a marca de 200 cm³, depois foi colocado água e misturado em movimentos circulares para a eliminação de bolhas de ar. Em seguida foi determinada a leitura para o volume de água do agregado.

Usa-se a equação a seguir para obtenção da massa específica:

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a}$$

Onde:

d_a : é a massa específica aparente do agregado seco, em (g/cm³);

m : é a massa ao ar da amostra seca, em (g).

m_s : é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em (g);

m_a : é a massa em água da amostra, em (g);

Para o dimensionamento do traço do concreto adotou-se o valor de 2,6 g/cm³ para a areia britada e de 2,7 g/cm³ de brita 0, sendo realizadas 2 repetições, e posterior lançamento no programa computacional para a obtenção do traço adequado.

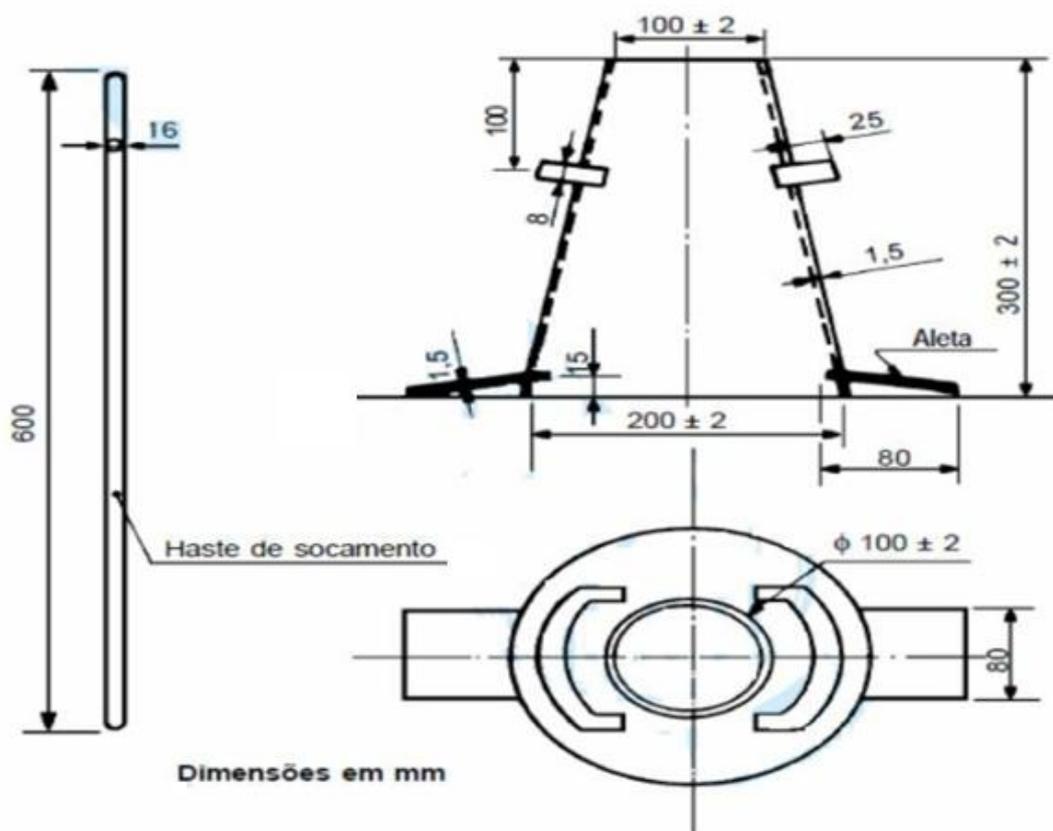
3.4.4 Abatimento do tronco de cone

A medida máxima e mínima do abatimento é definida em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade. O ensaio de abatimento do tronco de cone permite a uniformidade do concreto, desde que, na dosagem, se tenha obtido um concreto trabalhável, a constância do abatimento indica a uniformidade da trabalhabilidade.

O abatimento do tronco de cone foi realizado logo após a fabricação do concreto e antes da moldagem dos corpos de prova seguindo as orientações da ABNT

NBR NM 67 (1998). Para o ensaio foi feito o preenchimento de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas: diâmetro da base inferior de $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, diâmetro da base superior de $100 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ e altura de $300 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ como mostra a figura 3. Três camadas de altura igual, sendo em cada camada foram dados 25 golpes com uma haste padrão, atingindo a parte superior do cone. O valor do abatimento foi obtido pela medida do adensamento do concreto logo após a retirada do molde cônico.

Figura 3 – Dimensões do cone



Fonte: (16)

3.5 Dosagem do traço de concreto

A dosagem foi feita a partir dos resultados obtidos nos testes anteriores, usando um software específico, o qual utiliza o método de dosagem de concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para obter a dosagem de concreto para 2 traços, um com f_{ck} 25 e outro com f_{ck} 35.

Os traços foram medidos na quantidade de uma betoneira, pelo fato de a mistura do concreto ficar mais homogênea, ambos com os mesmos componentes distribuídos da forma que mostra a tabela 3.

Tabela 3 – Dosagem do traço de concreto

Fck (MPa)	Medida	Cimento (kg)	Areia Britada	Brita	Água (litros)
25	1 m ³	350	0,55 m ³	0,80 m ³	220
	1 kg	1	2,3 kg	3,3 kg	0,6
	1 betoneira	50	4,6 latas (18 L)	5,5 latas (18 L)	32
35	1 m ³	375	0,55 m ³	0,80 m ³	191
	1 kg	1	2,0 kg	3,0 kg	0,55
	1 betoneira	50	3,5 latas (18 L)	4,5 latas (18 L)	25,5

3.6 Fabricação dos corpos de prova de concreto

No dia 30 de março de 2019, em laboratório externo foram confeccionados 12 corpos de prova cilíndricos, em concreto no estado fresco, com dimensão de 10x20 cm (Figura 4) seguindo as orientações da ABNT NBR 5738 (2016), sendo produzidos 6 corpos de prova com traço de concreto fck 25 MPa e outros 6 com fck 35 MPa (Figura 5).

Figura 4 – Corpo de prova deformado



Figura 5 – Corpo de prova cilíndrico (fck 25 MPa e fck 35 MPa)



3.7 Ensaio de abatimento do tronco de cone

O ensaio de abatimento do tronco de cone ou slump test (considerando 80 mm \pm 10 mm) foi realizado com 3 camadas de massa de concreto e a cada camada foram aferidos 25 golpes com a haste de adensamento (Figura 6), sendo 2 repetições para cada amostra.

Figura 6 – Slump test (fck 25 MPa)



Fonte: (Autores, 2019)

3.8 Ensaios de granulometria, massa unitária, massa específica e resistência

Todos os ensaios foram elaborados seguindo as orientações da ABNT NBR 5738 (2016). A determinação da resistência à compressão foi realizada aos 7 e aos 28 dias de idade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a execução de todos os ensaios para a caracterização dos materiais que foram usados na fabricação do concreto, com a substituição do agregado areia natural por areia brita, obtivemos os resultados que estão dispostos em gráficos e tabelas.

4.1 Composição granulométrica

4.1.1 Areia britada

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia britada

Malha (mm)	Amostra 01		Amostra 02		Amostra 03		Média das amostragens			
	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	% M.ret. acumulada	% Pass. acum.
75,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	122,9	41,0%	49	16,3%	42,4	14,1%	71,43	23,8%	23,82%	76,2%
1,18	147,3	49,1%	198,6	66,2%	122,3	40,8%	156,07	52,1%	75,87%	24,1%
0,60	20	6,7%	25,9	8,6%	70,4	23,5%	38,77	12,9%	88,80%	11,2%
0,30	6,4	2,1%	14,6	4,9%	35,5	11,8%	18,83	6,3%	95,08%	4,9%
0,15	2,5	0,8%	9	3,0%	22,5	7,5%	11,33	3,8%	98,87%	1,1%
0,10	0	0	0	0	0	0	0,00	0	98,87%	1,1%
Fundo	0,9	0,300%	2,7	0,901%	6,6	2,2%	3,400	1,1%	100,00%	0
	300		299,8		299,7		299,85			

Gráfico 1 – Curva granulométrica da areia britada

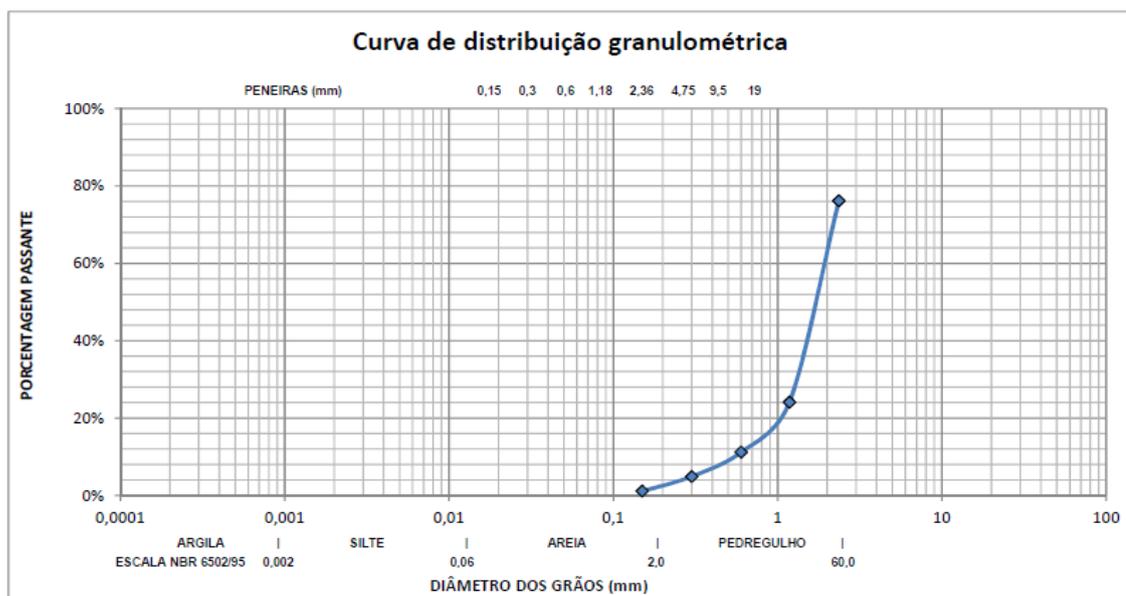


Tabela 5 – Tipo de material, diâmetro e módulo de finura (areia britada)

Argila + Silte	Areia	Pedregulho
1,1%	75,0%	23,8%
Diâmetro máximo característico (D_{max})		
#N/D		
Módulo de finura (MF)		
3,82		

Através da análise dos valores apresentados nas tabelas acima e por meio do gráfico de granulometria da areia verifica-se que os valores estão dentro dos padrões especificados para agregados miúdos, podendo-se utilizar a areia britada para a fabricação do concreto.

4.1.2 Brita 0

Tabela 6 – Composição granulométrica da brita 0

Malha (mm)	Amostra 01		Amostra 02		Amostra 03		Média das amostragens			
	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa	Massa retida (g)	% Massa retida	% M.ret. acumulada	% Pass. acum.
75,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,5	199,1	4,0%	87,1	1,7%	108	2,2%	131,40	2,6%	2,6%	97%
9,50	1098,9	22,0%	985,2	19,7%	1569,1	31,4%	1217,73	24,4%	27,0%	73,0%
6,30	1959,2	39,2%	2093,2	41,9%	2033,3	40,7%	2028,57	40,6%	67,6%	32%
4,75	828,1	16,6%	834,5	16,7%	726,4	14,5%	796,33	15,9%	83,5%	16,5%
2,36	857,2	17,1%	953,8	19,1%	524,8	10,5%	778,60	15,6%	99,1%	0,9%
1,18	45,1	0,9%	35,4	0,7%	31,3	0,6%	37,27	0,7%	99,8%	0,2%
0,60	6,2	0,1%	5,1	0,1%	1,2	0,0%	4,17	0,1%	99,9%	0,1%
0,30	2,1	0,0%	3,5	0,1%	3,1	0,1%	2,90	0,1%	99,9%	0,1%
0,15	1,2	0,0%	1,3	0,0%	1,9	0,0%	1,47	0,0%	100,0%	0,0%
Fundo	2,4	0,048%	0,4	0,008%	0,5	0,0%	1,1	0,0%	100,0%	0
	4999,5		4999,5		4999,6		4999,55			

Gráfico 2 – Curva granulométrica da brita 0

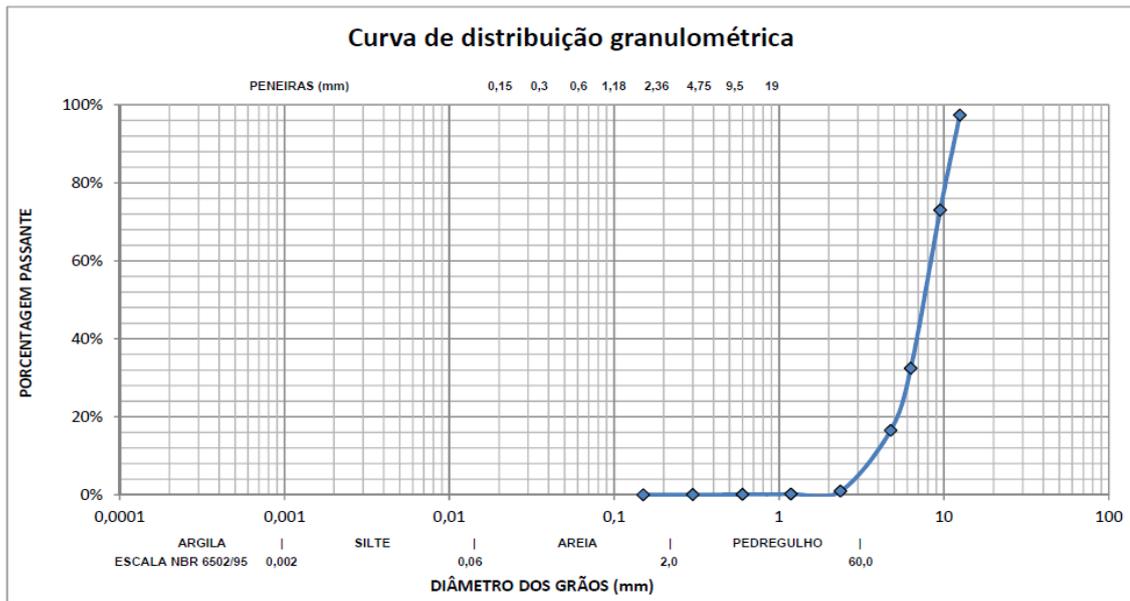


Tabela 7 – Tipo de material, diâmetro e módulo de finura (brita 0)

Argila + Silte	Areia	Pedregulho
0,0%	0,9%	99,1%
Diâmetro máximo característico (D_{max})		
12,5		
Módulo de finura (MF)		
6,09		

Através da análise dos valores apresentados nas tabelas acima e por meio do gráfico de granulometria da brita 0 verifica-se que os valores estão dentro dos padrões especificados para agregados graúdos, podendo-se utilizar a brita 0 para a fabricação do concreto.

4.2 Abatimento do tronco de cone

O cone de concreto com fck 25 MPa obteve slump de 95 mm, enquanto que o cone de concreto com fck 35 MPa obteve slump de 105 mm. Os dois resultados são considerados satisfatórios considerando que os valores obtidos possuem margem de ± 20 mm.

4.3 Dosagem do traço de concreto

4.3.1 Concreto fck 25 MPa

Figura 7 – Método ABCP - software de dosagem do traço de concreto (fck 25 MPa)

Tabela Materiais:

	Dimensão Máx. (mm)	Mód.Finura (-)	M.E. (Kg/dm³)	M.U. (Kg/dm³)	Inchamento h l	
Agr. Miúdo:	2,40 mm	3,82	260,00	140,00	0 %	0 %
Agr. Graúdo (1):	12,5 mm	6,09	270,00	150,00		

Consumo Agregados:
 Miúdo: 78,740 Kg Graúdo (1): 100011
 Miúdo: 44,1 % Graúdo (1): 56,0 %

Resumo Final / Padiolas:

Agr. Miúdo	2 Padiolas	de	35 cm	X	45 cm	X	26,5 cm	Cimento:	1 Saco
Agr. Graúdo (1):	3 Padiolas	de	35 cm	X	45 cm	X	21,0 cm	Água:	32,0 It

O concreto fck 25 Mpa foi dimensionado pelo software com uma margem de segurança, devido a pequenas variações nos componentes do concreto, sendo que o valor de resistência pode chegar a 26,6 Mpa.

4.3.2 Concreto fck 35 MPa

Figura 8 – Método ABCP - software de dosagem do traço de concreto (fck 35 MPa)

Tabela Materiais:

	Dimensão Máx. (mm)	Mód.Finura (-)	M.E. (Kg/dm³)	M.U. (Kg/dm³)	Inchamento h l	
Agr. Miúdo:	2,40 mm	3,82	260,00	140,00	0 %	0 %
Agr. Graúdo (1):	12,5 mm	6,09	270,00	150,00		

Consumo Agregados:
 Miúdo: 71,677 Kg Graúdo (1): 89,635 Kg
 Miúdo: 41,8 % Graúdo (1): 58,2 %

Resumo Final / Padiolas:

Agr. Miúdo	2 Padiolas	de	35 cm	X	45 cm	X	19,2 cm	Cimento:	1 Saco
Agr. Graúdo (1):	2 Padiolas	de	35 cm	X	45 cm	X	25,1 cm	Água:	25,5 It

Fonte: (Autores, 2019)

O concreto fck 35 Mpa foi dimensionado pelo software com uma margem de segurança, devido a pequenas variações nos componentes do concreto, sendo que o valor de resistência pode chegar a 36,6 Mpa.

4.4 Ensaio de resistência à compressão

Foram utilizados 6 corpos para os testes com 7 dias (3 corpos para cada fck) e outros 6 para os testes com 28 dias (3 corpos para cada fck) obtendo-se os resultados descritos na tabela 8, os quais são considerados satisfatórios.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Fck (MPa)	Amostra	7 Dias	28 Dias	Fck Ideal/Final
25	PCP 1	22,73		25
	PCP 2	21,92		25
	PCP 3	24,25		25
	PCP 4		25,27	25
	PCP 5		26,09	25
	PCP 6		28,76	25
35	PCP 7	33,72		35
	PCP 8	33,74		35
	PCP 9	29,83		35
	PCP 10		35,45	35
	PCP 11		36,16	35
	PCP 12		37,33	35

Esses resultados foram calculados a partir da divisão da carga aplicada na PCP pela área do corpo de prova (78,54 cm²) obtendo-se o valor da em kgf/cm². Todas as PCP obtiveram um resultado superior ao dimensionado, o que permite concluir que o concreto com areia britada é compatível o concreto com areia natural.

4.4.1 Concreto fck 25 MPa aos 28 dias de idade

Figura 9 – Ensaio de resistência à compressão PCP 4



Fonte: (Autores, 2019)

Figura 10 – Ensaio de resistência à compressão PCP 5



Fonte: (Autores, 2019)

Figura 11 – Ensaio de resistência à compressão PCP 6



Fonte: (Autores, 2019)

4.4.2 Concreto f_{ck} 35 MPa aos 28 dias de idade

Figura 12 – Ensaio de resistência à compressão PCP 10



Fonte: (Autores, 2019)

Figura 13 – Ensaio de resistência à compressão PCP 11



Fonte: (Autores, 2019)

Figura 14 – Ensaio de resistência à compressão PCP 12



Fonte: (Autores, 2019)

As fotos acima foram tiradas durante o ensaio de rompimento das PCP, no final dos 28 dias de idade. Nas imagens é possível identificar as cargas aplicadas em cada uma das peças.

4.4.3 Peça do corpo de prova no ensaio de 07 dias no laboratório da faculdade.

Figura 15 – PCP no ensaio



Fonte: (Autores, 2019)

4.4.4 Peça do corpo de prova rompida

Figura 15 – PCP rompida



Fonte: (Autores, 2019)

As peças de corpo de prova rompidas com 7 dias de idade também apresentaram bons resultados. Como as PCP foram fabricadas utilizando o cimento CP IV-32 que chega aos 7 dias de idade com 68% de sua resistência final, e através dos resultados observados para as PCP consta-se que as peças chegaram aos 7 dias de idade com resistência um pouco acima do valor esperado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo em laboratório do material mostrou que as características da areia britada e da areia natural são parecidas, e que a granulometria, massa específica e massa unitária possuem valores próximos. Considerando apenas as propriedades dos materiais, pode-se considerar a areia britada como substituta da areia natural, além do que a areia britada é utilizada em proporções iguais de dosagem em relação à areia natural.

Com relação à resistência do concreto após o processo de cura, a partir dos testes de resistência à compressão obteve-se resultados superiores aos esperados, cujos padrões de resistência moderada variam de 20 MPa a 40 MPa.

A partir dos resultados obtidos conclui-se que a areia britada tem os critérios necessários para ser um agregado substituto da areia natural, pois os resultados dos testes mostraram informações importantes para que a troca seja feita de forma segura e sem que se altere as características do concreto, fabricado tanto para fins estruturais quanto outros fins que exijam até uma classe de resistência moderada.

O estudo desenvolvido aponta vantagens no uso de concreto tendo como agregado miúdo a areia britada em substituição da areia natural, apresentando ganhos à construção civil, redução dos custos da obra, bem como minimização dos impactos ambientais causados pela exploração da areia natural, pois se tratando de um material que não é extraído de locais onde são formados corpos d'água, e isso faz acreditar que logo o material se torne mais popular e mais conhecido no meio da construção civil.

REFERÊNCIAS

- 1 VIACELLI, L. **Estudo da viabilidade da utilização do agregado miúdo britado em concreto convencional**. 2012. 60f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, Pato Branco, 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/443/1/PB_COECI_2012_1_04.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- 2 GONÇALVES, E. C. **Reciclagem do concreto na indústria de pré-fabricado**. 2015. 60f. Monografia. (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A9SFMS/monografia_evandro___completa_alterada___08_09_2015.pdf?sequence=1>. Acesso em: 21 nov. 2018.
- 3 MORAES, M. Q.; LOPES, R. R. **Análise da contribuição de adições de microssílica e nanossílica na resistência à compressão de concretos convencionais**. 2010. 82f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AN%C3%81LISE_DA_CONTRIBUI%C3%87%C3%83O_DE_ADI%C3%87%C3%95ES_DE_MICROSS%C3%8DLICA_E_NANOSS%C3%8DLICA_NA_RESIST%C3%8ANCIA_%C3%80_COMPRESS%C3%83O_DE_CONCRETOS_CONVENCIONAIS.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018
- 4 ALVES, R. L. de M. **Concreto produzido com resíduos de pavimento asfáltico**. 2017. 18f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/5156/6/concreto-produzido-res%C3%ADduo-Alves-Monografia.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2018.
- 5 NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. São Paulo: Bookman Editora Ltda., 2011. 888 p
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211: Agregados para concreto - especificação**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 15 p. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/Nbr_7211_2005.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.
- 7 NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda., 2013. 441 p.
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9935: Agregados - terminologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 12 p.
- 9 PASSUELLO, A. et al. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2011. 931 p.

- 10 SILVA, L. S.; DEMETRIO, J. C. C.; DEMETRIO, F. J. C. **Concreto sustentável: substituição da areia natural por pó de brita para confecção de concreto simples**. São Luís: Cleaner Production, 2015. 12 p. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/fifth/files/sessoes/5A/1/silva_ls_et_al_academic.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2018
- 11 SANTOS, T. F. dos. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de assentamento**. 2017. 94f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1931/1/2017Tiagodossantos.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- 12 ROBERTO, M. **As vantagens da areia industrial: a areia do futuro**. 2017. Disponível em: <<https://www.pedreiralajeado.com.br/as-vantagens-da-areia-industrial-a-areia-do-futuro/>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- 13 PIAZZA, F. A. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. 2ª ed. Porto Alegre: Edpucrs, 2011. 127 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=IMcGDikhWXAC&pg=PA78&dq=agregados+do+concreto&hl=pt-BR&sa=X&ved>>. Acesso em: 27 set. 2018.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 8 p. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR%207215%20-.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - preparo, controle e recebimento - procedimento**. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 22 p. Disponível em: <<https://www.etecitapeva.com.br/arquivos/docentes/Professor%20Carlos%20Santine/NBR-12655-2006-Concreto-de-cimento-Portland-Preparo-controle-e-recebimento-Procedimento.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2108
- 16 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8 p. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098_aula.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2019
- 17 ENOSSI, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Ilha Solteira/SP, 2004. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90740/menossi_rt_me_ilha.pdf?sequence>. Acesso em: 27 set. 2018

18 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados - determinação da composição granulométrica. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2003. 6 p. Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosupload/17827/material/nbr_nm248_2003.pdf>. Acesso em: 01 set. 2018

19 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45**: Agregados - determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 8 p. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/6311531/nbr-nm-45-2006-agregados-determinacao-da-massa-unitaria-e-do-volume-de-vazios>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Autoriza-se a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Faculdade Patos de Minas – Patos de Minas, 23 de maio de 2019.

Edmar Fernandes da Silva

John Lennon Rodrigues dos Santos

Marilda Tiago Borges

Wesley Ferreira de Almeida

Raquel Resende Rocha