

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ

GABRIELLE FAVALESSA RECLA

RAFAELLA GUASTI FRIGINI

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO SIMPLES
UTILIZANDO A AREIA ARTIFICIAL**

ARACRUZ

2018

GABRIELLE FAVALESSA RECLA

RAFAELLA GUASTI FRIGINI

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO SIMPLES
UTILIZANDO A AREIA ARTIFICIAL

Relatório final apresentado às Faculdades
Integradas de Aracruz, como parte das exigências
para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.º Evandro José Pinto de Abreu.

ARACRUZ

2018

GABRIELLE FAVALESSA RECLA

RAFAELLA GUAISTI FRIGINI

Autorização: portaria MEC nº 1.963 de 23/11/2010
Reconhecimento: Portaria MEC nº 127 de 28/04/2016

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO SIMPLES
UTILIZANDO A AREIA ARTIFICIAL**

Relatório final apresentado às Faculdades Integradas de Aracruz, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação: Aracruz – ES, ____ de _____ de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Esp. Evandro José Pinto de Abreu
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof. M.Sc. Julimara Zampa Bitti Blank Gigg
Faculdades Integradas de Aracruz
Membro Interno

Prof. M.Sc. Felipe Coelho de Freitas
Faculdades Integradas de Aracruz
Membro Interno

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Aracruz, 16 de Julho de 2018.

Gabrielle Favalessa Recla
Rafaella Guasti Frigini

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por caminhar conosco em todos os momentos, nos dando forças em todos os obstáculos e dificuldades que surgiram durante este trabalho. Aos nossos pais e irmãos por todo amor, paciência e oração para que continuássemos fortes durante esta caminhada. Ao nosso querido orientador Evandro, por toda dedicação e tempo conosco neste trabalho. Ao Fábio, nosso orientador de laboratório, por nos ajudar em todos os experimentos, pela paciência e dedicação conosco. Aos amigos e funcionários da instituição por todo incentivo e compartilhamento de ensinamentos. A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigada!

“Quem cedo e bem aprende, tarde ou nunca esquece.”

[\(William Shakespeare\)](#)

RESUMO

O crescente desenvolvimento de práticas construtivas no país relacionado com a urbanização acelerada trouxe uma grande devastação dos ambientes de extração de areia natural. Além disso, com o processo de britagem das rochas nas pedreiras o rejeito produzido (o fino da brita), fica estocado em pilhas no pátio da pedreira provocando danos ambientais. Nessas condições, o presente trabalho apresenta uma proposta de utilização total e parcial, de agregados miúdos artificiais, oriundos de uma pedreira do município de Aracruz/ES, na produção de concretos. A análise foi realizada mediante ao ensaio de 05 diferentes composições de traços, sendo consideradas e comparadas as propriedades, como a resistência à compressão axial e o módulo de finura dos agregados. Os resultados do teste de resistência axial indicaram que todas as amostras de agregados artificiais atingiram a resistência esperada de 25 MPa, estabelecido em norma.

Palavras-chave: areia artificial, areia natural, impactos ambientais, construção civil.

ABSTRACT

The growing development of constructive practices in the country related to the accelerated urbanisation has brought a great environmental devastation for extraction of natural sand. In addition, the rock crushing process in the quarries, mass storage of the tailings produced (the fine crushed stone) in the quarry yard are causing heavy environmental damage. Under these conditions, the present work presents a proposal of total and partial use of artificial sand, from a quarry in the municipality of Aracruz/ES, in the production of concretes. The analysis was performed by assaying 05 different trace compositions with properties comparison such as axial compression strength and modulus of fineness of the aggregates. The results of the axial strength test indicated that all samples of artificial aggregates reached the expected strength of 25 MPa, an established standard.

Keywords: artificial sand, natural sand, environment, construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Agregados naturais: Brita 1 e Areia natural.....	23
Figura 02 - Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico.....	26
Figura 03 - Curva de Abrams do cimento.....	30
Figura 04 - Realização do ensaio de abatimento.....	33
Figura 05 - Cura inicial dos corpos de prova.....	35
Figura 06 - Cura dos corpos de prova na água.....	36
Figura 07 - Determinação do diâmetro dos corpos de prova com auxílio de um paquímetro.....	37
Figura 08 - Prensa mecânica utilizada para compressão dos corpos de prova..	38
Figura 09 - Corpos de prova com agregado artificial após rompimento.....	38
Figura 10 - Rompimento dos corpos de prova com areia artificial e areia natural, respectivamente.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Série das peneiras.....	24
Tabela 02 – Massa mínima, por amostra de ensaio.....	25
Tabela 03 - Classes de agressividade ambiental.....	28
Tabela 04 - Relação entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	28
Tabela 05 - Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.....	29
Tabela 06 - Proporcionalidade das substituições dos agregados miúdos.....	32
Tabela 07 – Abatimentos recomendados para vários tipos de concreto para a construção civil.....	33
Tabela 08 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	35
Tabela 09 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	41
Tabela 10 - Resistência à compressão das 3 amostras de corpo de prova de cada composição, de acordo com a idade de cura.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Curva granulométrica dos agregados natural e artificial.....	43
Gráfico 02 - Módulo de finura dos agregados miúdos.....	43
Gráfico 03 - Quantidades de água e cimento para cada traço.....	44
Gráfico 04 - Resistência a compressão dos corpos de prova de acordo com a dosagem de areia artificial.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Consumo dos materiais.....	44
Quadro 02 - Abatimento de cada traço.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FIBRA	Federação das Indústrias do Distrito Federal
NBR	Normas Brasileiras
FAACZ	Faculdades Integradas de Aracruz
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. GERAL.....	15
2.2. ESPECÍFICOS.....	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1. AGREGADOS.....	17
3.1.1. Agregado natural.....	18
3.1.2. Agregado artificial.....	19
3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	19
4. METODOLOGIA.....	22
4.1. MATERIAIS.....	22
4.1.1. Agregados.....	22
4.1.2. Cimento.....	23
4.1.3. Água.....	23
4.2. ENSAIOS.....	23
4.2.1. Ensaio de Granulometria.....	24
4.2.2. Definição do Concreto.....	27
4.2.3. Traço.....	30
4.2.4. Ensaio de consistência do concreto.....	31
4.2.5. Ensaio de moldagem e cura dos corpos de prova.....	33
4.2.6. Ensaio de resistência à compressão.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO A GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS.....	40
5.2. CONSUMO DOS MATERIAIS.....	43

5.3. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DO CONCRETO.....	43
5.4. ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	44
6. CONCLUSÃO.....	49
6.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A área da construção civil, no Brasil, tem grande representatividade no crescimento econômico, correspondendo a 6,2% do PIB brasileiro, o que gera impacto no desenvolvimento social, na economia e na geração de emprego (FIBRA, 2017).

Neste setor, o material mais utilizado é o concreto, que é uma mistura de cimento, agregados (miúdo e graúdo) e água. Dentre os agregados miúdos mais utilizados na fabricação do concreto está a areia.

Com o crescente aumento da demanda de areia natural no mercado nacional e a exaustão dessas reservas, principalmente próximas às grandes metrópoles e, considerando-se ainda o incremento dos custos de transporte, limites de peso transportados por eixo e aumento das distâncias de carga, a utilização deste insumo tem impactado, de maneira crescente, os custos do concreto. (MENOSSI, 2004)

O grande volume de material extraído gera a devastação das praias, perda da biodiversidade e redução dos níveis e qualidade de lençóis freáticos. Esta situação chama a atenção de cientistas e preservadores da ONU, que buscam alternativas de substituir o uso do agregado natural. (O GLOBO, 2016)

O pó de pedra é considerado um rejeito da exploração de pedreiras que, quando não possui destinação definida, é estocado em pilhas nos pátios das mesmas, sujeito à ação de intempéries, podendo gerar danos ambientais como: poluição atmosférica, assoreamento de rios e leitos d'água, além de contaminação pelo material lixiviado nas áreas de drenagem.

Nesse contexto, a utilização do agregado artificial no concreto pode-se tornar uma forma de atenuar esses problemas.

Assim sendo, o problema de pesquisa visa responder ao seguinte questionamento: é possível utilizar a areia artificial em substituição à areia natural na produção do concreto simples, como uma alternativa sustentável, mantendo o valor da resistência à compressão pretendida?

Estes estudos visam comprovar a eficácia da substituição, verificando se há alteração na qualidade do concreto, considerando as vantagens que o agregado artificial apresenta, dentre elas, a diminuição dos impactos gerados com a extração.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Analisar e comparar, por meio de ensaio, a resistência à compressão do concreto simples produzido com o agregado miúdo natural com a resistência à compressão do concreto simples produzido pela substituição total e parcial da areia natural pelo agregado miúdo artificial.

2.2. ESPECÍFICOS

Propõe-se no presente trabalho os seguintes objetivos específicos, a fim de confirmar o cumprimento do objetivo geral:

- Avaliar as propriedades dos agregados natural e artificial, por meio do teste de granulometria;
- Avaliar a resistência à compressão do concreto simples produzido com agregado miúdo artificial comparando com o concreto simples produzido com agregado miúdo natural, com os devidos rompimentos aos 7, 21 e 28 dias;
- Analisar a viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo natural pelo artificial no concreto convencional.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto a base de cimento Portland é considerado um produto básico da construção civil devido suas características de resistência, durabilidade, plasticidade, entre outros, e em média, por metro cúbico, possui 42% de agregado graúdo, 40% de agregado miúdo, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos. (MENOSSI, 2004)

Pode-se encontrar o concreto em casas de alvenaria, pontes, rodovias, edifícios, obras de saneamento, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, entre diversos outros.

3.1. AGREGADOS

Para La Serna e Rezende (2009) agregados são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas, sem a presença de atividade química e constituídos de misturas de partículas de diversos tamanhos. São classificados de acordo com sua origem, dimensões das partículas e peso aparente.

Os agregados, segundo sua origem, podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

Segundo a NBR 7211 da ABNT, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. Os agregados, quanto as dimensões das partículas, podem ser miúdos e graúdos.

Define ainda as características exigíveis na recepção e produção dos agregados, miúdos e graúdos:

- Agregados miúdos: areia de origem natural ou resultante de britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passem pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm.
- Agregados graúdos: pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 75 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,75 mm.

A ABNT NBR 9935, define os agregados artificiais, especificadamente o pó de pedra, como material granular resultante da britagem de rocha, cujo grãos passam na peneira de abertura de malha de 6,3 mm.

Os agregados são de extrema importância na definição das características desejadas em um concreto, como retração e resistência.

Entre outras finalidades de grande importância dos agregados para concreto, destacam-se:

- Transmitir as tensões aplicadas ao concreto através dos grãos;
- Reduzir os efeitos das variações volumétricas ocasionadas pela retração. Nessa lógica, quanto maior o teor de agregados em relação à pasta de cimento, menor será a retração.

3.1.1. Agregado natural

A areia é um agregado natural utilizado em larga escala na construção civil, servindo como base para concreto, argamassa, filtros, abrasivos, artefatos de concreto e pré-fabricados, bases de pavimentos de concreto e asfalto, dentre outros. No entanto, este material, em sua forma natural, dentre os utilizados na fabricação destes elementos da construção, é o que mais encontra dificuldade em manter a produção ou extração, por conta das exigências ambientais.

Conforme Barbosa *et al.* (2008, p.1)

No que se refere a grande parte do agregado miúdo natural (areia), que é extraída de leitos de rios, o mesmo é responsável pela retirada da cobertura vegetal, pela degradação dos cursos d'água e por

consideráveis prejuízos ao meio ambiente. Órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), vêm coibindo essa extração. Dentro desse contexto, os mineradores são forçados a extrair esses agregados em locais cada vez mais distantes do mercado consumidor, o que aumenta o preço final do produto.

3.1.1.1. Agregado artificial

Segundo Costa (2005),

A areia artificial ou areia industrial é um produto derivado da rocha que passa por um processamento de britagem até atingir a granulometria desejada. Após a perfuração da rocha, de acordo com o plano de fogo, as pedras são transportadas até o conjunto de britagem até que atinjam granulometria menor que 4,8 mm. Na maioria dos processos industriais, este produto é conduzido até os equipamentos de lavagem que retiram do produto final os finos excedentes.

Várias são as rochas aptas a serem exploradas para a produção de agregados industrializados. Em cada região haverá rocha de natureza tal que mais vantajosa se mostre para o tipo de agregado que se queira produzir. Dentre as rochas mais comumente exploradas estão: granito, basalto, gnaiss, calcário, arenito, escória de alto-forno, hematita, entre outras. (Bauer, 2000, p.65)

3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Mehta e Monteiro (1994, p.44) definem resistência como:

A resistência de um material é definida como a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura. A ruptura é algumas vezes identificada com o aparecimento de fissuras. De qualquer modo, deve ser lembrado que, ao contrário da maioria dos materiais estruturais, o concreto contém microfissuras antes mesmo de ser submetido a tensões externas. No concreto, portanto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar fratura e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada alcança o seu valor máximo. No ensaio de tração, a fratura do corpo de prova normalmente significa ruptura; na compressão, o corpo de prova é considerado rompido mesmo quando não há sinal de fratura externa visível, porém a fissuração interna é

muito avançada, tal que o corpo de prova é incapaz de suportar uma carga maior sem fraturar-se.

Entre as propriedades mecânicas do concreto, a resistência à compressão é a mais importante, pois está relacionada à segurança e à estabilidade estrutural da construção. Por meio do ensaio, é possível indicar eventuais variações da qualidade de um concreto, seja com relação à dosagem, seja quanto a seus insumos.

Para Mehta e Monteiro (1994, p.44) a importância da resistência à compressão do concreto se dá devido a, no projeto estrutural, esta ser a propriedade especificada, considerando a facilidade de ensaio desta propriedade. Entretanto, outras propriedades do concreto podem ser deduzidas do valor obtido para a resistência à compressão, pois estão diretamente relacionadas com ela, tais como o módulo de elasticidade, estanqueidade, impermeabilidade e resistência às intempéries.

O principal objetivo do controle da resistência à compressão do concreto é a obtenção de um valor potencial, único e característico da resistência à compressão de certo volume ou lote de concreto, a fim de comparar esse valor com aquele que foi especificado no projeto estrutural, e conseqüentemente, tomado como referência para o dimensionamento da estrutura.

A resistência à compressão depende de vários fatores, como:

- Composição (consumo e tipo de cimento, fator água-cimento, etc.);
- Tipos de agregados (naturais ou britados);
- Condições de cura (temperatura e umidade);
- Forma de aplicação da carga (ensaio estático ou dinâmico);
- Duração do carregamento (ensaio de curta ou de longa duração);
- Idade do concreto (efeito do envelhecimento);
- Estado de tensões (compressão simples ou multiaxial);
- Forma e dimensões dos corpos de prova.

Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova

cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

O corpo-de-prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias. (PINHEIRO et al., 2004)

4. METODOLOGIA

Para a obtenção dos resultados apresentados neste trabalho, foram utilizados dois tipos de pesquisa: experimental e bibliográfica. No método experimental, o investigador explica pela observação de experimentos, aonde se chega a um consenso em que este analisa e constrói hipóteses a respeito do problema, manipulando os fatores. No método bibliográfico, o investigador é capaz de explicar o problema por meio de teorias publicadas em livros, artigos, trabalhos publicados, onde identifica e analisa as teorias, avaliação sua contribuição para compreender o problema da identificação.

No estágio experimental deste trabalho, foram executados ensaios de resistência à compressão de cinco traços de concreto produzidos com a substituição total e parcial da areia natural pela artificial.

Para organização das atividades experimentais, foram definidas as seguintes etapas:

Primeira etapa: coleta e estocagem dos materiais a serem ensaiados, que são o cimento, brita 1, areia natural e artificial.

Segunda etapa: caracterização da granulometria dos agregados miúdos por meio do método de peneiramento, determinação da dosagem do concreto e realização da moldagem e cura dos corpos de prova de concreto.

Terceira etapa: ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova nas idades de 7, 21 e 28 dias.

4.1. MATERIAIS

Para a realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

4.1.1. Agregados

Os agregados naturais, como areia natural e a brita 1, foram disponibilizados pelo laboratório de Resistência dos Materiais, da FAACZ (figura 01).

Figura 01: Agregados naturais: Brita 1 e Areia natural



Fonte: Autores

O agregado artificial foi disponibilizado pela empresa Pedramix, localizado na região de Aracruz/ES. A rocha base para este agregado é o granito, disponibilizado na região próxima da mesma. Após a britagem da rocha, é realizado um peneiramento até chegar na malha ideal para obtenção da areia. A empresa utiliza a areia artificial em substituição a areia lavada, aplicando-a em rebocos e assentamento de lajotas e blocos.

4.1.2. Cimento

Por ser mais usual em construções, foi utilizado para execução dos traços de concreto, o cimento Portland tipo CP III 40RS. Os sacos deste material foram devidamente acondicionados no laboratório de Resistência dos Materiais da FAACZ.

4.1.3. Água

Foi utilizada a água potável, disponível no próprio laboratório, fornecida pelo SAAE, concessionária do município de Aracruz/ES.

4.2. ENSAIOS

Todos os ensaios foram realizados por meio dos critérios estabelecidos em norma. Os equipamentos utilizados foram disponibilizados pelo próprio laboratório.

4.2.1. Ensaio de granulometria

A granulometria é uma propriedade que reflete na distribuição dos tamanhos dos grãos de um agregado, ou seja, determinam-se as porcentagens de uma amostra que pertence a determinada faixa granulométrica, de acordo com o tamanho dos grãos.

Este ensaio consiste em determinar a granulometria dos agregados miúdos, natural e artificial, seguindo a ABNT NBR NM 248/2003 – Agregados: Determinação da composição granulométrica, que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e graúdos para concreto.

Esta norma fornece a série das peneiras, normal e intermediária (Tabela 01), e a massa mínima necessária por amostra de ensaio (Tabela 02).

Tabela 01 – Série das peneiras

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	6,3 mm

1,18 µm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003

Tabela 02 – Massa mínima, por amostra de ensaio

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

* Após secagem

Fonte: ABNT NBR NM 248:2003

A determinação do diâmetro máximo do grão do agregado, segundo a NBR NM 248/2003, corresponde à abertura nominal, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Para a execução deste ensaio, foram separadas duas amostras de 300g de cada agregado, e posteriormente secos em estufa e determinadas suas massas (m_1 e m_2). Em seguida, foram colocadas nas peneiras promovendo uma agitação mecânica durante 8 minutos. Ao término deste período foi determinado por meio da pesagem das amostras as devidas massas retidas em cada peneira e no fundo.

O somatório de todas as massas retidas não deve diferir mais de 0,3% de m_1 .

Figura 02: Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico



Fonte: Autores

4.2.2. Definição do concreto

De acordo com a classe de agressividade ambiental da região de Aracruz/ES, o concreto a ser estudado é classificado como classe II (tabela 03), C25 e possui uma relação no fator água/cimento de $\leq 0,60$ (tabela 04).

Tabela 03: Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha Industrial	Grande
IV	Muito forte	Industrial Respingos de Maré	Elevado

Fonte: Adaptado ABNT 6118/2004

Tabela 04: Relação entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$

Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Fonte: Adaptado de ABNT 6118/2004

Após a definição do concreto a ser estudado, foi possível determinar a resistência à compressão adquirida pelo concreto aos 28 dias (f_{c28}) por meio da equação 01:

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times sd$$

Onde:

f_{ck} = Resistência característica à compressão, sendo definido para este estudo 25 MPa;

sd = Desvio padrão de acordo com a precisão da dosagem.

Sendo o desvio padrão obtido de acordo com as condições de dosagem apresentadas na tabela 05.

Tabela 05: Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição	Desvio padrão	Condições de preparo
A	$sd = 4,0 \text{ MPa}$	Aplicável a todas as classes de concreto. O cimento e os agregados são medidos em massa e a água do amassamento em massa ou volume, corrigida em função da umidade dos agregados.
B	$sd = 5,5 \text{ MPa}$	Pode ser aplicada às classes C10 a C20. O cimento é medido em

C

sd = 7,0 MPa

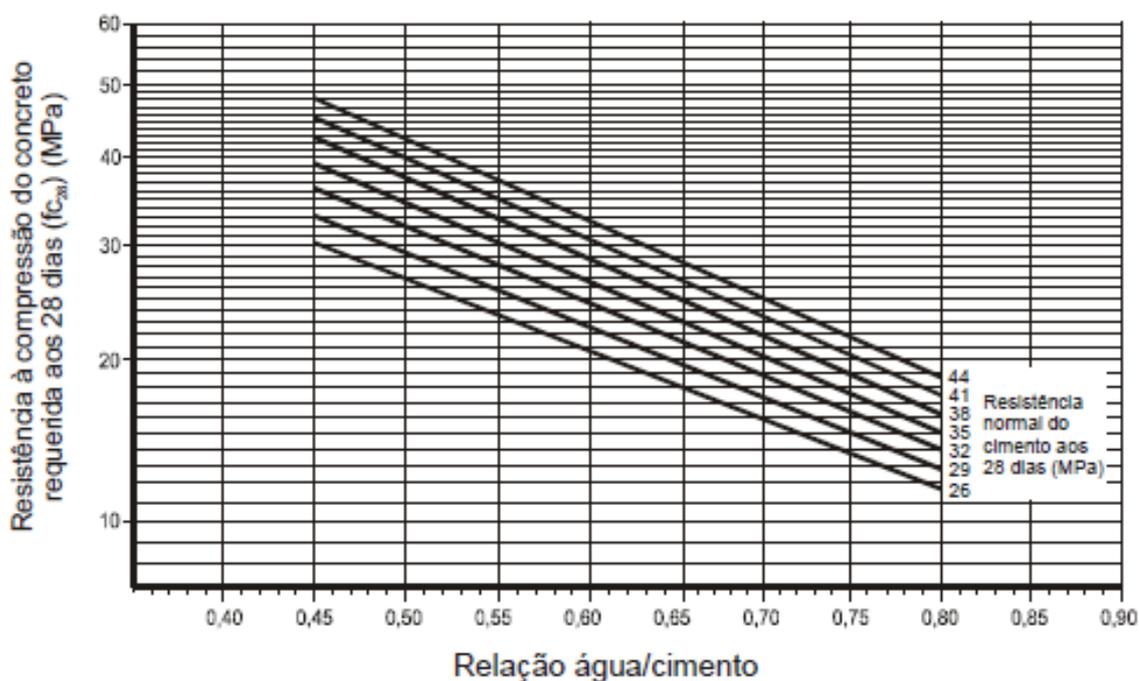
massa, a água de amassamento em volume e os agregados medidos em massa combinada com volume.

Aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15. O cimento é medido em massa, os agregados em volume, a água de amassamento em volume e sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto.

Fonte: Adaptado de ABNT 12655/2015

Para obter a relação do fator água/cimento, considera a resistência à compressão do concreto e a resistência normal do cimento, encontrados aos 28 dias, seguindo a curva de Abrams (Figura 03). Para este procedimento, foi utilizado cimento CPIII 40RS, o qual possui resistência à compressão de 40 MPa.

Figura 03: Curva de Abrams do cimento



Fonte: <http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>

4.2.3. Traço

O traço definido para um corpo de prova, utilizou-se o consumo de cimento em unidade de massa e os outros agregados e a água em volume.

Cimento: Areia: Brita1: Água

0,498: 0,978: 0,909: 0,289

Definido o traço padrão para confecção do concreto, foram avaliadas, além do concreto convencional, 4 misturas com diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado artificial, em porcentagens de 25%, 50%, 75% e 100%. Sendo que os agregados miúdos artificiais foram substituídos proporcionalmente sem alteração do traço. Para obter a trabalhabilidade das misturas foram feitas as correções da quantidade de água e cimento.

As misturas foram identificadas de acordo com a tabela 6.

Tabela 06: Proporcionalidade das substituições dos agregados miúdos.

Traço	Definição da mistura
1	Convencional - 100% agregado natural
2	25% de agregado artificial e 75% de agregado natural
3	50% de agregado artificial e 50% de agregado natural
4	75% de agregado artificial e 25% de agregado natural
5	100% de agregado artificial

Fonte: Autores

4.2.4. Ensaio de consistência do concreto

A consistência é um dos principais fatores que influenciam na trabalhabilidade do concreto e está relacionada com a flexibilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Este fator pode ser modificado pelo grau de umidade da mistura, que altera a plasticidade e permite maior ou menor deformação do concreto.

Um dos métodos mais utilizados para determinar a consistência do concreto é o ensaio de abatimento, também denominado Slump test. Este ensaio é normatizado pela ABNT NBR NM 67/1998 – Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

De acordo com a norma, para realização do ensaio, é necessário um molde de metal, em forma de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas:

- Diâmetro da base inferior: 200mm ± 2mm;
- Diâmetro da base superior: 100mm ± 2mm;

- Altura: 300mm ± 2mm;

O molde deve ser apoiado em uma placa de base metálica, plana, quadrada ou retangular, com lados de dimensão não inferior a 500mm e espessura igual ou superior a 3mm. A haste de compactação será de seção circular, reta, feita de aço ou outro material adequado, com diâmetro de 16mm, comprimento de 600mm e extremidades arredondadas.

O procedimento do ensaio consiste com o molde e a placa de base umedecidos e o operador devidamente posicionado sobre as aletas do molde, a fim de mantê-lo estável, preencher o molde com o concreto coletado em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado. Cada camada deve ser compactada com 25 golpes da haste de socamento. Após a compactação, o molde deve ser retirado na posição vertical, com um movimento constante e para cima, durante 5s a 10s.

Imediatamente após a retirada do molde deve-se medir o abatimento do concreto, através da diferença de altura entre o molde e o corpo-de-prova.

O valor do abatimento recomendado varia de acordo com o uso do concreto, conforme tabela abaixo:

Tabela 07 – Abatimentos recomendados para vários tipos de concreto para a construção civil

Tipo de construção	Abatimento ou slump (cm)	
	Máximo	Mínimo
Muros de fundações e sapatas (de concreto armado)	12,5	5,0
Sapatas, tubulões e muros de subestrutura (de concreto massa)	10,0	2,5
Vigas e muros (de concreto armado)	15,0	7,5

Pilares de edificações	15,0	7,5
Pavimentos e lajes	7,5	5,0
Concreto massa em geral	7,5	2,5

Fonte: Adaptado de American Concrete Institute (ACI 211.11)

Caso o abatimento não atinja o valor da recomendação, deverá ser corrigido o fator água-cimento, conforme o traço adotado.

Figura 04: Realização do ensaio de abatimento



Fonte: Autores

4.2.5. Ensaio de moldagem e cura dos corpos de prova

Após o abatimento, os corpos-de-prova devem ser moldados e curados de acordo com a ABNT NBR 5738:2003 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova se aplica à corpos-de-prova cilíndricos, utilizados nos ensaios de tração e compressão diametral, e a corpos-de-prova prismáticos, utilizados no ensaio de tração por flexão. Este procedimento não é aplicado a concretos com abatimento zero ou misturas relativamente secas.

Seguindo a metodologia da norma, os corpos-de-prova cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro, que deve ser de 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ou 45cm. A haste de adensamento deve ser de aço, cilíndrica, com superfície lisa, de $(16,0 \pm 0,2)$ mm de diâmetro e comprimento de 600 mm a 800

mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste.

A moldagem pode ser feita manualmente ou de forma mecânica, com o uso de vibradores.

Antes de proceder à moldagem dos corpos-de-prova, os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral.

A tabela 08 fornece o número de camadas e de golpes para moldagem, em função do tipo de corpo-de-prova, de sua dimensão do tipo do adensamento.

Tabela 08 – Número de camadas para moldagem dos corpos-de-prova

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5738:2003

Se a haste de adensamento criar vazios na massa de concreto, deve-se bater levemente na face externa do molde, até o fechamento destes.

A última camada deve ser moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que ao ser adensada complete todo o volume do molde e seja possível proceder ao seu rasamento, eliminando o material em excesso.

Após o rasamento, os corpos-de-prova cilíndricos serão transportados para o local de armazenamento, onde permanecerão por 24h, tempo de cura inicial do concreto. Passado o tempo inicial de cura, os corpos-de-prova cilíndricos serão desmoldados e armazenados em local úmido, onde permanecerão até o momento do ensaio de resistência, respeitando o período de 7, 21 e 28 dias para cada ensaio.

Figura 05: Cura inicial dos corpos de prova



Fonte: Autores

Figura 06: Cura dos corpos de prova na água



Fonte: Autores

4.2.6. Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão para avaliação dos concretos é um dos mais utilizados devido a sua facilidade de realização, pelo seu custo relativamente baixo e pela possibilidade de correlação com outras propriedades do concreto. Este teste é de grande importância para garantir a confiabilidade e a segurança das estruturas, confirmando se a resistência do concreto é a mesma prevista no projeto.

A norma regulamentadora deste ensaio é a ABNT NBR 5739:1994 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

O equipamento para compressão é de acionamento mecânico, devendo ser feito através de uma fonte estável de energia, composto de dois pratos de compressão, inferior e superior, de aço, em formato circular, paralelos entre si.

Após o acionamento da máquina, o visor indicará a carga de ruptura, que deverá ser dividida pela área da seção transversal do corpo-de-prova para que se tenha

o valor da resistência à compressão, devendo o resultado ser expresso com aproximação de 0,1 Mpa.

O certificado de resultados dos ensaios dos corpos-de-prova deve conter as seguintes informações:

- a) Número de identificação do corpo-de-prova;
- b) Data de moldagem;
- c) Idade do corpo-de-prova;
- d) Data do ensaio;
- e) Resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 Mpa;
- f) Tipo de ruptura do corpo-de-prova.

Figura 07: Determinação do diâmetro dos corpos de prova com auxílio de um paquímetro



Fonte: Autores

Figura 08: Prensa mecânica utilizada para compressão dos corpos de prova



Fonte: Autores

Figura 09: Corpos de prova com agregado artificial após rompimento



Fonte: Autores

Figura 10: Rompimento dos corpos de prova com areia artificial e areia natural, respectivamente



Fonte: Autores

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordadas as considerações por meio de gráficos e tabelas, sobre os dados obtidos nos ensaios citados no capítulo 4, que ajudarão na avaliação das propriedades estudadas. A análise será realizada através de um estudo comparativo entre amostras de concreto convencional e de concretos produzidos a partir da areia artificial.

5.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO A GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS

As areias natural e artificial foram ensaiadas e classificadas a partir da NBR NM 248/2003 e NBR 7211/2009, para a classificação segundo a sua composição granulométrica (tabela 09).

Tabela 09: Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ANBT NM ISSO 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

Nota 01 – O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

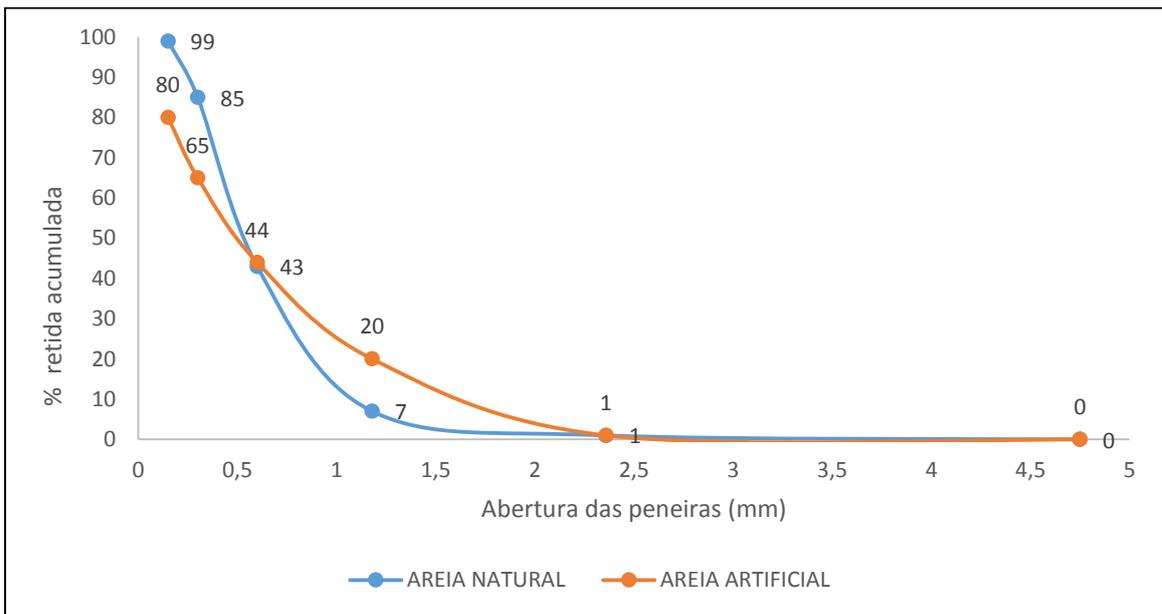
Nota 02 – O módulo de finura de zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

Nota 03 – O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Fonte: Adaptado NBR 7211/2009

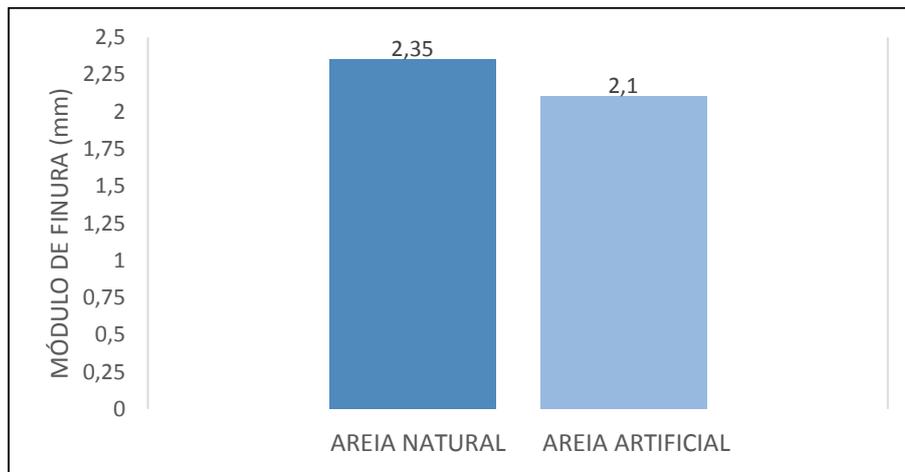
Este ensaio de granulometria foi realizado com duas amostras para cada tipo de agregado miúdo, observando o resultado a partir da porcentagem retida acumulada em função da abertura das peneiras de série normal.

Gráfico 01: Curva granulométrica dos agregados natural e artificial



Fonte: Autores

Gráfico 02: Módulo de finura dos agregados miúdos



Fonte: Autores

A amostra de areia artificial apresentou uma relação semelhante à areia natural (gráfico 01) nas peneiras de abertura de 4,75mm e 2,36mm, significando que esse material contém quantidades de partículas relativamente pequenas. Relacionando o módulo de finura do gráfico 2 com a tabela 09, pode-se analisar que a areia natural se encontra na zona ótima, enquanto a areia artificial está na zona utilizável inferior. Portanto, ambos estão em condições de utilização.

5.2. CONSUMO DOS MATERIAIS

A partir da definição do traço padrão de um corpo de prova, foi possível determinar a quantidade de materiais necessários para 12 corpos de prova de cada mistura (Quadro 01).

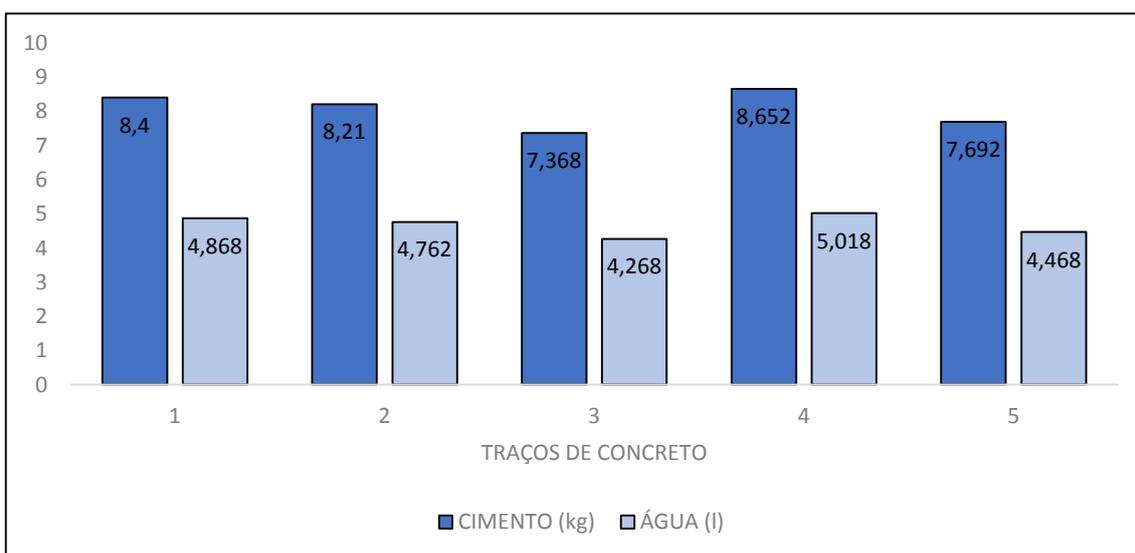
Quadro 01: Consumo dos materiais

Traço	Materiais				
	Cimento (kg)	Areia natural (L)	Areia artificial (L)	Brita 1 (L)	Água (L)
1	8,4	11,736	0	10,908	4,868
2	8,21	8,802	2,934	10,908	4,762
3	7,368	5,868	5,868	10,908	4,268
4	8,652	2,934	8,802	10,908	5,018
5	7,692	0	11,736	10,908	4,468

Fonte: Autores

5.3. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DO CONCRETO

Gráfico 03: Quantidades de água e cimento para cada traço



Fonte: Autores

Após correção de água e cimento de cada traço, obteve-se os seguintes resultados de abatimento (Quadro 02).

Quadro 02: Abatimento de cada traço

Traço	Abatimento (cm)
1	9
2	8,5
3	8
4	12
5	12,5

Fonte: Autores

Pode-se verificar que os traços após a correção de água e cimento, manteve um abatimento dentro do recomendado para muros de fundações e sapatas de concreto armado, vigas e muros de concreto armado e pilares de edificação (Tabela 07). A quantidade de cimento e água comparado para os dois agregados (natural e artificial) manteve em proporções semelhantes ao concreto convencional.

5.4. ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Para análise com os resultados encontrados, primeiramente foi determinada a resistência à compressão adquirida aos 28 dias, de acordo com a equação 01. Como a classe utilizada do concreto foi C25, atendendo à condição A (Tabela 05), utilizou-se o desvio padrão de 4,0 MPa e $f_{ck} = 25$ MPa, portanto:

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times sd$$

$$f_{c28} = 25 + 1,65 \times 4$$

$$f_{c28} = 31,6 \text{ MPa}$$

Mediante a execução do ensaio à compressão axial foram obtidos os valores de resistência para os corpos de prova nas idades de 7, 21 e 28 dias apresentados no Gráfico 04 e na Tabela 10.

Tabela 10: Resistência à compressão das 3 amostras de corpo de prova de cada composição, de acordo com a idade de cura

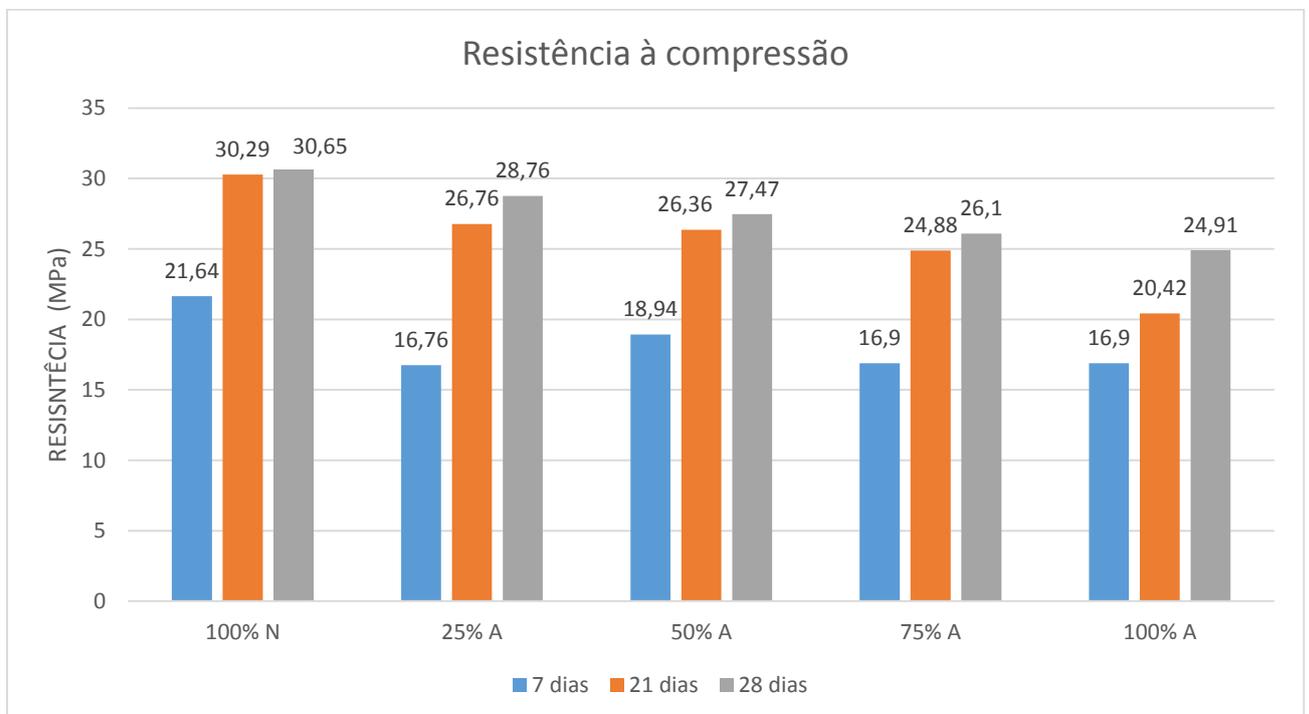
Corpo de prova	Composição	Cura	Resistência à compressão (MPa)	Média da Resistência (MPa)
1	100% areia natural	7 dias	21,83	21,64
			21,16	
			21,92	
		21 dias	31,20	30,29
			27,68	
			31,99	
			29,95	
		28 dias	32,89	30,65
			29,11	
			15,94	
2	25% areia artificial	7 dias	17,89	16,76
			16,44	
		21 dias	28,22	26,76
			25,37	
			26,69	
			26,69	

			29,89	
		28 dias	29,59	28,76
			26,80	
			18,95	
		7 dias	19,56	18,94
			18,32	
			24,94	
3	50% areia artificial	21 dias	26,19	26,36
			27,93	
			26,83	
		28 dias	27,19	27,47
			28,39	
			16,82	
		7 dias	17,38	16,90
			16,48	
			25,54	
4	75% areia artificial	21 dias	23,78	24,88
			25,32	
			26,77	
		28 dias	25,51	26,01
			25,77	

			16,67	
		7 dias	16,76	16,90
			17,28	
			21,29	
5	100% areia artificial	21 dias	23,36	20,42
			16,62	
			25,51	
		28 dias	27,41	24,91
			21,82	

Fonte: Autores

Gráfico 04: Resistência à compressão dos corpos de prova de acordo com a dosagem de areia artificial



Fonte: Autores

Considerando que o município de Aracruz encontra-se em uma zona de agressividade de classe II, obtêm-se por meio da ABNT NBR 8953/2015 –

Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência, que os concretos produzidos para esta região devem ter resistência igual ou superior a 25 MPa aos 28 dias de cura.

A partir da análise do gráfico 04 é possível verificar o comportamento dos corpos de prova ensaiados, relacionando as dosagens de areia artificial e suas respectivas resistências. De modo geral, observa-se um decréscimo da resistência à compressão, conforme adiciona-se areia artificial. No passar do tempo, nem todas conseguiram atingir os resultados esperados. Porém, observa-se também, que em todas as dosagens as resistências foram superiores a 25 MPa.

6. CONCLUSÃO

Com o crescimento da urbanização e conseqüentemente o aumento da demanda na área da construção civil, o grande volume da extração de areia natural para confecção do concreto tornou-se uma preocupação pelo viés ambiental, tendo em vista que a mineração tem velocidade maior do que a sua velocidade de renovação.

O estudo realizado analisou a viabilidade técnica da substituição da areia natural pela artificial, verificando-se a resistência de acordo com a idade, a partir da substituição parcial e total do agregado artificial.

De acordo com o módulo de finura obtido no ensaio de granulometria, as amostras dos dois tipos de areia apresentaram valores semelhantes, significando que nesta condição a areia artificial não difere da areia natural.

Conforme os traços estudados, o concreto com 100% de areia natural atingiu aproximadamente a resistência esperada, ou seja, 31,6 MPa. Entretanto, apesar de os concretos dosados com areia artificial não atingirem esta resistência, os valores aos 28 dias alcançaram o determinado para sua zona de agressividade, ou seja, maiores que 25 MPa.

Apesar do decréscimo da resistência conforme maior dosagem de areia artificial, concluímos que a substituição parcial e total atende o limite do valor da resistência estabelecido em norma, podendo ser utilizado para fins estruturais, quando o projeto não apresentar exigência de valores de resistências muito elevados. Portanto, a porcentagem da substituição dependerá do valor exigido em projeto.

6.1. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

No decorrer deste estudo, foi possível identificar a relevância da substituição do agregado natural, tendo como alternativa o uso do agregado artificial, fazendo-se necessário mais estudos sobre o tema, a fim de embasar cientificamente e incentivar o uso do mesmo, sugere-se:

- Avaliação econômica desta substituição;

- Avaliação da durabilidade, permeabilidade, resistência à abrasão, corrosão e tração dos concretos confeccionados a partir da substituição total e parcial do agregado natural;
- Avaliação e comparação de outras propriedades dos agregados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Concreto: Procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739:1994. Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776. Agregados: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2005.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935. Agregados, terminologia. Rio de Janeiro, 2011.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 52. Agregado miúdo – determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

12. BARBOSA, M. T. G. et al. **Estudo sobre areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto.** Juiz de Fora, MG, 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/5047/4719>>. Acesso em 11 set. 2017.
13. BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de construção.** 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000. Vol. 1.
14. COSTA, Marlo Jorge da. **Avaliação do uso da areia artificial em concreto de cimento portland: aplicabilidade de um método de dosagem.** Ijuí/RS 2005. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/tccs/tcc-titulos/2005/Avaliacao_do_Uso_da_Areia_Artificial_Em_Concreto_De_Cimento_Portland_Aplicabilidade_de_Um_Metodo_de_Dosagem.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.
15. CLUBE DO CONCRETO. Método de dosagem da ABCP. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2015/10/metodo-de-dosagem-da-abcp.html>>. Acesso em: 02 jun. 2018.
16. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.
17. MENOSSI, Romulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** Ilha Solteira/SP 2004. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90740/menossi_rt_m_e_ilha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 mar. 2018.
18. O Globo. **Base da construção civil, areia é um dos recursos mais valiosos e explorados do mundo.** Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/base-da-construcao-civil-areia-um-dos-recursos-mais-valiosos-explorados-do-mundo-14960573>>. Acesso em 02 out. 2017.
19. Sistema Fibra. **Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil.** Disponível em: <<https://www.sistemapibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html>>. Acesso em: 25 set. 2017.