



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE TEÓFILO
OTONI**

JOSAPHAT VERSIANI GUSMÃO FILHO

**AREIA INDUSTRIAL – AGREGADO MIÚDO DESENVOLVIDO PARA
MELHORAR A QUALIDADE DAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**TEÓFILO OTONI
2018
JOSAPHAT VERSIANI GUSMÃO FILHO**

**AREIA INDUSTRIAL – AGREGADO MIÚDO DESENVOLVIDO PARA
MELHORAR A QUALIDADE DAS OBRAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Artigo apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil com orientação do professor Paulo Henrique Vieira de Carvalho.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo Henrique Vieira de Carvalho
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Prof. Guilherme Taroni Lauer
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Prof. Danilo Carvalho Miranda
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

RESUMO

O presente artigo concebe um estudo de caso sobre a substituição da areia natural usada como agregado miúdo no compósito do concreto por um material alternativo: a areia industrial. A origem da areia industrial provém da reutilização de rejeitos gerados pela trituração de rochas em explorações de pedreiras. Esse material não possui uma destinação definida, permanecendo estocado ao ar livre, formando enormes pilhas que provocam impactos ambientais onde são armazenadas. Analisando as características da sua curva granulométrica pode ser classificada como uma areia média, apresentando diâmetro máximo inferior a 4,8 mm. Atualmente, de forma tímida, vem apontando potencial de mercado, mas ainda assim em alguns casos encontra resistência em seu uso. A utilização desse material alternativo de forma a minimizar os impactos ambientais e que atenda a demanda pelo material é de fundamental importância e o uso da areia industrial é uma excelente alternativa, pois esse agregado dispõe de um maior aproveitamento da matéria prima, evitando descartes de rejeitos na natureza além de gradativamente diminuir a exploração em leitos de rios e depósitos arenosos. A primeira etapa do trabalho fundamentou-se em conhecer os materiais que compõe o concreto estudado. Para caracterizar a areia industrial e natural, foram realizados os seguintes ensaios: granulometria, massa unitária, materiais pulverulentos e teor de umidade. Após essa fase, foram confeccionados corpos-de-prova de concreto utilizando no seu compósito como agregado miúdo 100% de areia industrial e 100% de areia natural. Para cada traço houve a avaliação do seu abatimento e resistência à compressão. Com a caracterização dos materiais utilizados foi elaborado um traço ideal (1: 2,87: 3,17:0,75), que auxiliou na construção das tabelas para avaliação de cada um dos diferentes materiais utilizados como agregado miúdo. Considera-se que o objetivo de comprovar a viabilidade da completa substituição da areia natural pela areia industrial em concretos com finalidade estrutural foi plenamente alcançado.

Palavras-chave: Areia industrial, Agregado, Reutilização, Concreto, Material Alternativo

ABSTRACT

This paper presents a case study about the substitution of natural sand used as a small aggregate in the concrete composite with an alternative material: industrial sand. The origin of the industrial sand comes from the reuse of tailings generated by the crushing of rocks in quarries. This material does not have a defined destination, remaining stored outdoors, forming huge piles that cause environmental impacts where they are stored. Analyzing the characteristics of its granulometric curve can be classified as a medium sand, with a maximum diameter of less than 4.8 mm. Currently, in a timid way, it has been pointing to market potential, but still in some cases it finds resistance in its use. The use of this alternative material in order to minimize environmental impacts and to meet the demand for the material is of fundamental importance and the use of industrial sand is an excellent alternative, since this aggregate has a greater use of the raw material, avoiding discards of tailings in nature, in addition to gradually lowering the exploitation of river beds and sandy deposits. The first stage of the work was based on knowing the materials that compose the concrete studied. To characterize the industrial and natural sand, the following tests were carried out: grain size, unit mass, pulverulent materials and moisture content. After this

phase, concrete specimens were made using 100% industrial sand and 100% natural sand in their composite. For each trait there was an evaluation of its abatement and compressive strength. With the characterization of the materials used, an ideal trait (1: 2.87: 3.17: 0.75) was elaborated, which helped in the construction of the tables for evaluation of each of the different materials used as small aggregate. It is considered that the objective of proving the viability of the complete replacement of natural sand by industrial sand in concretes with structural purpose was fully achieved.

Keywords: Industrial sand, aggregate, reuse, concrete, alternative material

• INTRODUÇÃO

Na construção civil o concreto desempenha protagonismo de forma geral. Seu ótimo custo-benefício, trabalhabilidade e resistência fizeram com que se tornasse um dos materiais mais utilizados do mundo. Composto tradicionalmente por agregados, aglomerante, água e aditivos é considerado de fácil geração se comparado aos atuais materiais disponíveis no mercado, que somado a disponibilidade de recursos minerais necessários resultou em um material acessível e de alta produção.

Com o alto consumo algumas dificuldades surgiram devido à extração contínua do principal insumo usado como agregado miúdo, a areia natural. Nem todas as jazidas em território nacional possuem capacidade de atender o mercado a médio e longo prazo, além da areia não ser um recurso renovável.

Em 2014, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), alertou sobre um futuro problema de escassez de areia devido à degradação que cada vez mais afeta os ecossistemas, pois sua extração provém principalmente de praias, rios e depósitos arenosos. O atual cenário vem exigindo maior controle por parte dos órgãos reguladores, e com maior restrição, a mineração desse recurso tem seu custo cada vez mais suntuoso, gerando um maior preço final na produção do concreto e até mesmo a exploração irregular do material, que segundo dados da Global Financial Integrity (GFI) 2017, ficou em terceiro lugar no ranking de arrecadação dos principais mercados ilegais no mundo.

Visando aumentar as opções para se utilizar como agregado miúdo, o uso da areia industrial tornou-se viável devido à alta quantidade de insumos, qualidade e menor impacto ambiental. Sua produção também se destaca, pois se utiliza rejeitos de pedras extraídas em pedreiras, gerando um melhor aproveitamento dos agregados e

amenizando a contaminação por parte do ambiente onde seriam descartados.

Partindo da importância do agregado miúdo na construção civil no mercado mundial e levando em consideração a utilização dos recursos minerais na produção do concreto o presente estudo reúne testes realizados em laboratório no intuito de responder ao problema de pesquisa: A areia industrial utilizada no compósito do concreto produz resultados satisfatórios para sua utilização na construção civil?

Pressupõe-se que devido à escassez das jazidas e a crescente restrição imposta para exploração da areia natural, a areia industrial é o principal elemento que possui características técnicas satisfatórias para ser utilizada como agregado miúdo na construção civil.

O uso da areia industrial é uma excelente alternativa para gerir a grande demanda de agregados na construção civil, pois atualmente o setor tem papel fundamental na redução dos principais problemas relacionados com moradia, infraestrutura e saneamento básico das principais cidades em âmbito nacional, e é relevante a utilização do agregado miúdo no concreto de forma a minimizar o impacto ambiental com maior aproveitamento da matéria prima desprovida da britagem de rocha, evitando descartes de rejeitos na natureza e diminuindo gradativamente a exploração em leitos de rios e depósitos arenosos.

• OBJETIVOS GERAIS

Essa pesquisa tem como objetivo analisar as principais características físicas da areia industrial como agregado miúdo no compósito do concreto, através de pesquisas e testes de laboratório, fornecendo dados a fim de demonstrar a real capacidade e viabilidade técnica da areia industrial na produção de concreto.

1) OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer as características físicas da areia industrial e da areia natural;
- Elaborar traços utilizando à areia industrial e a areia natural na mistura do concreto;
- Comparar o desempenho da areia natural e areia industrial no concreto através de

análise de ensaio de caracterização;

- Propor a utilização da areia industrial no compósito do concreto utilizado nas obras de construção civil.

- **REVISÃO DA LITERATURA**

De acordo com Bucher (1986), no concreto os agregados podem representar até 85% da sua composição, e segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas na Normalização Brasileira NBR 9935 (ABNT, 2011) se classificam como: Material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto. Incluindo, portanto, agregado miúdo e agregado graúdo.

Conforme redigido pela ABNT na NBR 7211 (ABNT, 2005); os agregados não devem conter substâncias da natureza em quantidade que possa 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.

O agregado miúdo de acordo com a ABNT na NBR 7211 (ABNT, 2005) pode ser encontrado fragmentado ou resultante da britagem de rochas. Sendo assim, são definidos agregados miúdos quando os grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,8 mm e ficam retidos na abertura de malha de 150 μ m. Sua função é de fornecer estruturação, constituindo um material pouco deformável que suporta a retração de volume do cimento, reduzindo fissuras. Deve ser composto de partículas inócuas que reduzem o custo da mistura ARAÚJO (1995).

A areia natural apresenta-se na natureza na forma de sedimentos não coesos, no caso de leitos de rios, planícies e terraços aluviais e em dunas litorâneas ou sedimentos consolidados, na forma de arenitos e quartzitos que sofreram litificação em sua formação. Os métodos de extração da areia natural variam de acordo com sua forma de ocorrência, sendo os mais comuns: dragagem, desmonte hidráulico e desmonte mecânico MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2009).

O agregado miúdo industrial é proveniente de rejeitos do processo de britagem, ou seja, redução do tamanho de pedras grandes através de trituração em equipamentos mecânicos BASILIO (1995).

Na produção do agregado miúdo industrial há uma elevada proporção de partículas menores que 0,075 mm (tipicamente entre 10 e 25%) – ALMEIDA (2004). Essas partículas com dimensão inferior a 0,075mm segundo a NBR 7219 (ABNT, 1987) classifica-se como material pulverulento. Enquanto a especificação granulométrica da NBR 7211 (ABNT, 2005) determina um limite 5% da massa total.

Segundo SILVA E CAMPITELLI (2005) as partículas da areia de britagem em comparação com a areia natural são mais angulosas, portanto menos esféricas, influenciando negativamente na trabalhabilidade, sendo esta uma das dificuldades na sua utilização. Assim, é necessária a adequação do material para que possa ser utilizado.

De acordo com MEHTA E MONTEIRO (2008) a escolha do equipamento de britagem pode determinar a forma das partículas. A seleção adequada do processo de britagem/peneiramento pode promover o sucesso da geração de um produto que atenda as especificações necessárias. Com efeito, embora algumas das características da areia de britagem estejam relacionadas à composição da rocha mãe, tais como: dureza, absorção de água, presença de contaminantes; outras podem ser controladas durante o processo de produção: distribuição granulométrica, forma e o módulo de elasticidade ALMEIDA et. al., (2005).

Para fazer frente a esta configuração indesejável das partículas das areias de britagem, atualmente os britadores de impacto de eixo vertical (Vertical Shaft Impactor – V. S. I.), conferem ao agregado uma forma mais arredondada adequando o mesmo para o uso em argamassas ALMEIDA E BISPO (2003).

O material pulverulento encontrado no agregado miúdo apesar de ser considerado um componente prejudicial, pode ser utilizado quando identificado em baixa quantidade.

Estudos mostram que o pó de pedra que apresentam porcentagem de material pulverulento variando de 7% a 20%, dependendo da litologia, pode ser utilizado, pois colabora na melhoria da aglomeração das partículas maiores do concreto (MENOSSI, 2004, pág. 7).

Ainda segundo relatado pelo mesmo autor, ele utilizou aproximadamente 14% de material pulverulento e obteve resultados satisfatórios em sua pesquisa.

Estudos realizados na University of Texas (EUA), têm demonstrado a viabilidade de se produzir concretos com a utilização de areia de britagem, sem que seja necessária a remoção de finos, NAM-SHIK AHN (2000). Isso é possível devido à

capacidade dos finos preencherem os vazios deixados entre as partículas grossas da areia, o que confere ao produto maior resistência mecânica, sem a necessidade do aumento significativo do consumo de água, ALMEIDA et. al.(2005). Complementando, segundo ANGELIM et al. (2004) foi constatado que a adição de finos às argamassas diminuiu a sua permeabilidade.

De acordo com ALMEIDA (2005), as vantagens da substituição da areia natural por areia industrial são inúmeras, e dentre elas destacam-se as seguintes:
Redução do impacto ambiental

decorrente da extração da areia do leito dos rios, maior proximidade entre produção e utilização final dos agregados miúdos, redução dos custos da construção civil, obtenção de areia com características constantes.

• **MATERIAIS E MÉTODOS**

1) **MATERIAIS EMPREGADOS**

No desenvolvimento dessa análise foram efetuados ensaios no laboratório da Fundação Presidente Antônio Carlos - Teófilo Otoni com dois tipos de materiais: agregado miúdo natural, que será classificado como areia NAT e o agregado miúdo industrial que será classificado como areia ART, preservando a identificação individual dos fornecedores.

Areia NAT tem origem quartzosa, proveniente do leito do rio Suaçuí Grande, localizado na cidade de Frei Inocência-MG. Este agregado foi fornecido pela empresa “Y”, localizada na cidade de Teófilo Otoni-MG.

Areia ART e os agregados graúdos (britas) apresentados na pesquisa têm origem de rocha gnáissica, foi obtida através da trituração de rochas de gnaíse. Ambos os agregados foram concedidos pela empresa “X”, situada na cidade de Teófilo Otoni-MG.

Utilizou-se como aglomerante o cimento Portland do tipo CPIII-RS-40, em conformidade com a ABNT na NBR 11578 (ABNT, 1991).

Empregou-se na mistura água potável proveniente da rede de abastecimento de Teófilo Otoni-MG.

O traço adotado para o concreto ensaiado foi de (1: 2,87: 3,17) e a relação

água/cimento de 0,75 com o intuito de obter resistência superior a 20 Mega Pascal.

1) **MÉTODOS**

A pesquisa e os ensaios realizados no laboratório da FUPAC - Teófilo Otoni tem caráter quali-quantitativa e expressa uma comparação entre concretos compostos por areia ART e areia NAT a fim de analisar a condição de uso da areia industrial como agregado miúdo na construção civil.

No estudo de caso as amostras foram submetidas à identificação da sua respectiva composição com o objetivo de verificar se os agregados atendiam os valores especificados pela norma. Os ensaios serão descritos na seguinte ordem: Determinação da Composição Granulométrica NBR 7217 (ABNT, 1987); massa unitária NBR 7251 (ABNT, 1982); material pulverulento NBR 7219 (ABNT, 1987) e o teor de umidade NBR 7217(ABNT, 2005). Posteriormente houve a preparação dos concretos confeccionados com o agregado miúdo variando entre 100% de areia NAT e 100% de areia ART, realizando avaliações de abatimento e resistência à compressão axial com propósito de verificar uma possível semelhança ou discrepância entre os resultados obtidos. Foi empregue a metodologia da NBR 5739 (ABNT, 1994) ensaios de corpo de prova cilíndricos.

A realização dos procedimentos metodológicos se deu por meio de uma análise de cunho exploratório-descritiva, de suma importância para o entendimento do tema proposto, pois eles possibilitam diferenciar a composição da areia NAT e areia ART e apresentam os resultados obtidos relacionados à resistência dos concretos confeccionados com cada agregado, ajudando no entendimento sobre os resultados alcançados ao final do estudo.

• **DETERMINAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS**

Neste ensaio foi utilizado um conjunto de peneiras para determinar a distribuição granulométrica das areias. As peneiras utilizadas tiveram dimensões igual a 0,15 mm, 0,3 mm, 0,6 mm, 1,2 mm, 2,4 mm e 4,8 mm, seguindo orientações normativas da NBR 7217 (ABNT, 1987). As areias foram submetidas nesse conjunto de peneiras á agitação mecânica. Esse teste também permite determinar o módulo de

finura, ou seja, a soma das porcentagens retidas em massa de um agregado nas peneiras da série normal dividida por 100, como sugere a NBR 7217 (ABNT, 1987). A NBR 7211 (ABNT, 2005) por sua vez, complementa essa informação ao indicar que quanto maior o módulo de finura, mais graúdo é o agregado. Classificando o módulo de finura na zona ótima variando entre 2,20 a 2,90.

- **MASSA UNITÁRIA**

A obtenção da massa unitária foi baseada na metodologia empregada pela NBR 7251 (ABNT, 1982). A areia é colocada em um recipiente e alisada com régua até que fique em perfeito alinhamento. Após a regularização do material sobre o recipiente deve-se pesar o conjunto.

A figura 1 expõe a equação utilizada para obtenção da massa unitária da amostra

FIGURA 1 – Massa unitária da amostra.

Eq. (1)

Fonte: (NBR 45, 2006, p. 6)

Onde: Y = massa unitária da amostra (kg/dm^3); M_{rv} = massa do recipiente vazio (kg); M_{rc} = massa do recipiente cheio (kg) e V_r = volume do recipiente (dm^3).

- **MATERIAL PULVEROLENTO**

O ensaio para obtenção do valor de material pulverulento presente nas amostras teve como base os princípios da NBR 7219 (ABNT, 1987). Inicialmente armazenando em um recipiente 500 gramas da amostra. Após colocar a amostra no recipiente e recobrir com água, agitar o material de forma a ocasionar a segregação das partículas finas, de forma a não provocar abrasão no material. Despejar a água entre as peneiras e lançar o material retido dentro da fôrma, repetindo a operação de lavagem até que a água tenha aparência límpida. Ao terminar a lavagem, colocar o material em um recipiente e recobrir com água e deixar em repouso o tempo necessário para decantar as partículas finas. Retirar a água para facilitar a secagem em

estufa, tomando o cuidado de não provocar perda de material. Concluir a secagem com uma temperatura de 105 – 110 C° do agregado lavado até constância e determinar sua massa final seca.

A figura 2 exhibe a equação para calcular a porcentagem de material pulverulento dos agregados.

FIGURA 2 – Material pulverulento.

$$M_p = \text{Eq. (2)}$$

Fonte: (NBR 7219, ABNT, 1987, p. 2)

Onde: M_p = material pulverulento (%); M_I = massa antes do início das lavagens (g) e M_F = massa após a secagem (g).

• TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade dos materiais, que influencia na relação da água adicionada no concreto, foi calculado retirando uma amostra de cada material. Para realização dos ensaios foram usadas porções de 1000 g, valor superior à massa mínima de 500 g que é recomendada segundo a NBR – 7217 (ABNT, 1987).

• RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão axial foi avaliada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 1994), em corpos-de-prova cilíndricos de dimensão igual: 100 mm x 200 mm (diâmetro x altura) e armazenados em uma câmara úmida para cura.

A figura 3 apresenta a fórmula para obtenção da resistência a compressão axial da amostra.

FIGURA 3 – Resistência à compressão axial.

$$\text{Eq. (3)}$$

Fonte: (NBR 5739, ABNT, 1994, p.3)

Onde: f_c – resistência à compressão axial (MPa); F – força máxima obtida no ensaio (N); e A – área da seção transversal do corpo-de-prova (mm²).

Foram confeccionados quatro corpos de prova para cada idade, com que estes

foram rompidos em 7 e 28 dias.

- **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

1) COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

As tabelas 1 e 2 apresentam a composição granulométrica das amostras ensaiadas de areia NAT e areia ART.

Tabelas 1 –Composição granulométrica – Areia NAT			
Agregado miúdo total (%)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	
100	982	982	
Peneiras (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,75	5	0,5	0,5
2,4	39	3	3,5
1,2	122	12,4	15,9
0,6	379	38,6	54,5
0,3	276	28,1	82,6
0,15	144	14,7	97,3
Fundo	27	2,7	100

Fonte: Autoria própria (2018)

A tabela 1 expressa os valores obtidos sobre a caracterização na composição da areia NAT que em sua maior dimensão granulométrica é igual a 4,8 mm e sua menor dimensão granulométrica inferior a 0,15 mm. Também foi observada a presença 27 gramas de sedimentos finos na amostra.

O módulo de finura (MF) da areia NAT com valor resultante igual a 2,68mm se enquadrando dentro do valor estipulado como ideal para agregado miúdo.

Tabela 2 – Composição granulométrica – Areia ART

Agregado miúdo total (%)	Massa inicial (g)	Massa final (g)	
100	967	967	
Peneiras (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	4	0,4	0,4
2,4	159	16,44	16,84
1,2	167	17,27	34,11
0,6	224	23,16	57,27
0,3	154	15,92	63,19
0,15	122	12,62	85,81
Fundo	137	14,19	100

Fonte: Aatoria própria (2018)

Observa-se na tabela 2 que a areia ART tem sua dimensão máxima granulométrica igual 2,4 mm e mínima inferior a 0,15 mm. Apesar de não apresentar números relevantes na peneira de 4,8 mm, nota-se que o valor é similar ao exposto na classificação da areia NAT. Foi identificada a presença 137 gramas de sedimentos finos.

A areia ART também está situada dentro do padrão ideal para o módulo de finura (MF) com valor igual a 2,54 mm.

1) TEOR DE UMIDADE

A tabela 3 expõe o percentual de umidade apresentado pelas amostras da areia NAT e areia ART.

Tabela 3 – Teor de umidade

Material	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade %
----------	-----------------	----------------	-----------

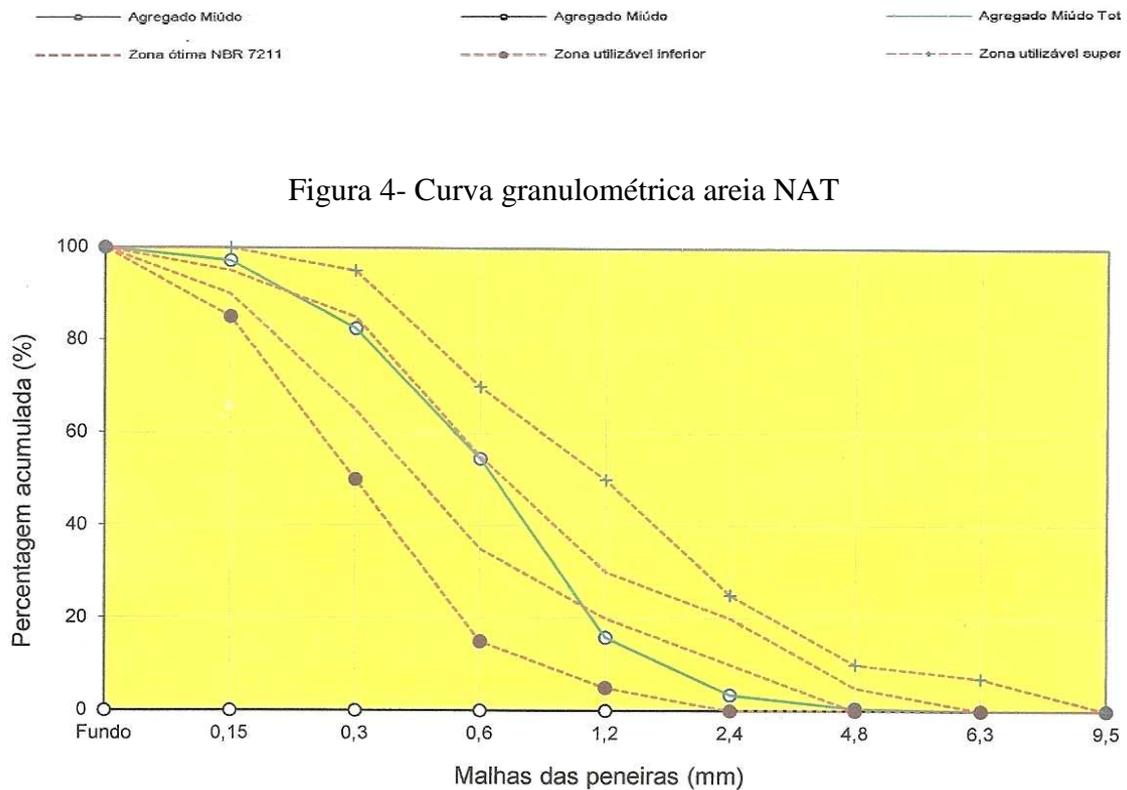
Areia NAT	1000	982	1,8
Areia ART	1000	973	2,7

Fonte: Autoria própria (2018)

A tabela 3 demonstra que nos ensaios realizados o teor de umidade encontrado na areia ART foi de 2,7%, representando 66,67% a mais do total apresentado pela areia NAT, que foi de 1,8% do total da sua massa inicial. Vale destacar que ambas estão abaixo dos 3% como recomenda a NBR 7217(ABNT, 1987).

1) CURVAS GRANULOMÉTRICA

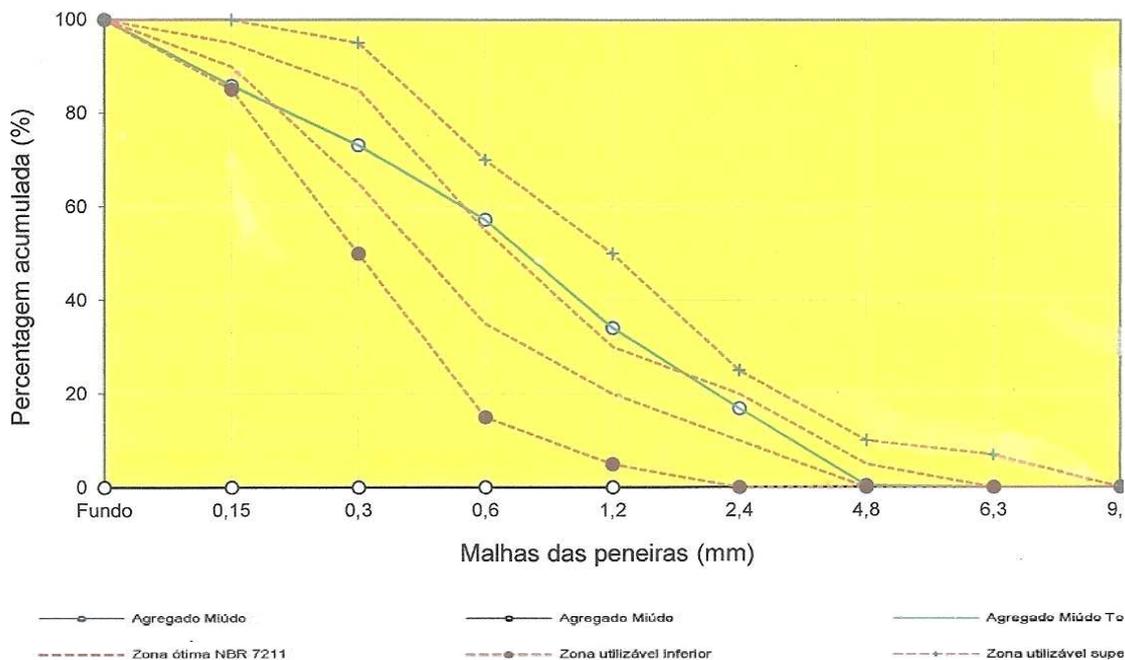
Segue abaixo nas figuras 4 e 5 as curvas granulométricas dos agregados:



Fonte: Autoria própria (2018)

A areia NAT não se manteve constante na zona ótima para agregado miúdo conforme especificada pela norma NBR 7211(ABNT, 1983). Os valores ultrapassados estão estabelecidos nas peneiras 0,15 mm, 1,2 mm e 2,4 mm. No entanto os valores ficaram dentro do limite da zona utilizável.

Figura 5- Curva granulométrica areia ART



Fonte: Autoria própria (2018)

A areia ART assim como ocorreu com a areia NAT não enquadrou dentre os limites inferiores e superiores da zona ótima para agregado miúdo, ultrapassando os valores estabelecidos para a zona ótima nas peneiras de 0,15 mm, 0,6 mm e 1,2 mm. No entanto todos os valores ficaram dentro da zona utilizável.

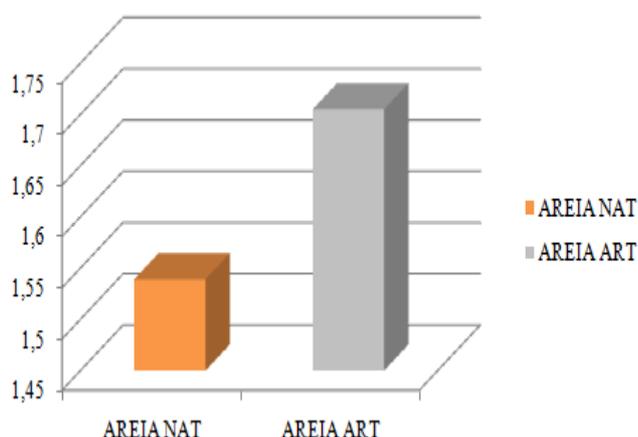
1) MASSA UNITÁRIA

A figura 6 exibe a média dos ensaios realizados para se obter a massa unitária das amostras ensaiadas.

É possível verificar no gráfico abaixo que a areia ART apresentou uma massa unitária igual a 1,68 kg/dm³, o que representa 9,6% mais volumosa se comparada à areia NAT que demonstrou massa unitária igual a 1,52 kg/dm³. O resultado pode ter

se desenhado assim por motivo do módulo de finura da areia ART apresentar valor inferior ao obtido com a areia NAT o que demonstra que a média das partículas da areia ART se apresentam em menor forma ocupando melhor os vazios, resultando em uma maior massa.

Figura 6 – Gráfico da Massa Unitária (Kg/dm³)



Fonte: Aatoria própria (2018)

1) TEOR DE MATERIAL PULVEROLENTO

A porcentagem de material pulverulento encontrada na areia NAT foi de 2%, valor que se enquadra dentro do limite estipulado, já a areia ART apresentou valor igual a 9%, porcentagem acima do limite de 5% da massa total especificado pela NBR 7219 (ABNT, 1987).

A quantidade de material pulverulento deve ser considerada, pois pode afetar a trabalhabilidade do concreto. Entretanto a presença desse material ajuda na diminuição da porosidade, elevando a massa específica do concreto reduzindo o número de vazios.

1) TRABALHABILIDADE

Os resultados obtidos nos testes de abatimento realizados com os concretos compostos pelos agregados estão expostos na tabela 4.

Tabela 4 - Abatimento

Material	Areia NAT	Areia ART
Abatimento (mm)	170	140

Fonte: Autoria própria (2018)

O resultado obtido no teste de abatimento mostra que apesar da mesma quantidade de água ser utilizada em ambos os traços de forma controlada o concreto composto com a areia ART se apresentou mais consistente, com baixa trabalhabilidade, descendendo 140 mm, ao mesmo tempo em que o concreto composto por areia NAT abateu-se 170 mm.

1) RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial efetuado com os concretos compostos por areia NAT e areia ART.

Tabela 5 – Resistência à compressão axial

Material	Areia NAT	Areia ART
Resistência Média 7 dias (MPa)	16,53	15,44
Resistência Média 28 dias (MPa)	23,63	21,00

Fonte: Autoria própria (2018)

Os ensaios realizados com os corpos de prova dos concretos produzidos com areia artificial e areia natural apresentados na tabela 5 demonstram que a resistência à compressão foi maior nos corpos de prova moldados com 100% de areia natural, após sete e vinte e oito dias de cura úmida. Porém, pode-se observar que ambos apresentaram resistência superior á 20 MPa após os 28 dias de cura, conforme previsto previamente.

- **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O incremento de novos materiais na construção civil que tenham características satisfatórias para substituir à areia natural é de fundamental importância, pois com o alto consumo do agregado as jazidas encontram-se cada vez mais escassas. Diante dessa situação a areia industrial apresenta-se como a melhor alternativa, pois como observado no decorrer da pesquisa, possui adequada característica granulométrica para um agregado miúdo.

Para a amostra ensaiada de areia industrial, a quantidade de material pulverulento (partículas finas) está acima do que propõe a norma, o que pode prejudicar na trabalhabilidade do concreto. Esse aspecto, no entanto, pode ser compensado com o uso de aditivos.

Por outro lado, observa-se que a massa unitária da areia industrial é maior que a apresentada pela areia natural, além de se caracterizar um agregado miúdo com menor módulo de finura e curva granulométrica de menor variação em relação à zona ótima se mantendo sempre na zona utilizável, representando que as partículas menores da areia industrial auxiliam no preenchimento dos vazios que as partículas maiores deixam entre si. No que se refere à resistência à compressão, ambos os concretos moldados com areia artificial e areia natural apresentaram média com valor superior aos 20 Mpa que foi estipulado no cálculo do traço inicialmente proposto.

Analisado os resultados obtidos nesse artigo científico, as principais características da areia industrial como agregado miúdo apresentaram valores satisfatórios, que estão em sua maioria dentro dos limites estabelecidos pelas especificações da ABNT. O concreto avaliado composto pela areia industrial forneceu valores que superaram a resistência calculada no início do estudo, e quando comparado ao compósito do concreto com areia natural não apresentou significativa diferença na avaliação imposta.

Conclui-se, por fim, que a areia industrial possui características que habilitam o seu uso como agregado miúdo para produção de concreto na construção civil, atingindo os objetivos inicialmente propostos.

- **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

_____. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7219: Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 7251: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991

_____. NBR 9935: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio. Rio de Janeiro 1994.

ANGELIM et al. (2004) ANGELIM, Renato R.; ANGELIM, Susane CM; CARASEK, Helena. Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos. **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... CD-ROM. São Paulo: ANTAC/POLI-USP, p. 401-416, 2003.**

AHN, Nam-Shik; FOWLER, David W. **An experimental study on the guidelines**

for using higher contents of aggregate microfines in Portland cement concrete.2001.

ALMEIDA, Salvador LM et al. E. Produção de areia manufaturada em usina piloto. **Centro de Tecnologia Mineral–Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2005.**

ALMEIDA, SLM; BISPO, LHO. Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras–análises de ensaios. **Centro de Tecnologia Mineral–Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2003.**

ALMEIDA, S. L.; CUNHA, E. R.; TAVARES, LMM. Produção de areia artificial em usina-piloto na Pedra Sul Mineração. **Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, v. 20, p. 105-112, 2004. PAGINA 108

BASILIO (1995). BASÍLIO, E. S. **Agregados para concreto. Estudo Técnico No. 41.** São Paulo (1995).

BUCHER, Alain. **Recherchessurlespoussièresminérales d'origine saharienne.** 1986. Tese de Doutorado. Reims.

MEHTA, PovindarKumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** Ibracon, 2008.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto. 2004.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA (MME) 2009. Acesso em agosto de 2018 http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construxo_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d

SILVA, Narciso G.; BUEST, Guilherme; CAMPITELI, Vicente C. Argamassas com

areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. **VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... CD ROM. Florianópolis, p. 12-22, 2005.**