

REDE DOCTUM DE ENSINO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ENSINO  
CURSO SUPERIOR EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO COMPARATIVO DA AREIA INDUSTRIAL EM SUBSTITUIÇÃO À  
AREIA NATURAL EM CONCRETOS POR MEIO DE ENSAIOS DE  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO

ADAN HENRIQUE ZINATO DE CARVALHO  
JOSÉ CLEMENTE FERREIRA DE FREITAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

CARATINGA-MG

2017

ADAN HENRIQUE ZINATO DE CARVALHO  
JOSÉ CLEMENTE FERREIRA DE FREITAS

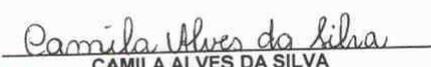
ESTUDO COMPARATIVO DA AREIA INDUSTRIAL EM SUBSTITUIÇÃO À  
AREIA NATURAL EM CONCRETOS POR MEIO DE ENSAIOS DE  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Caratinga – ITC, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador: MSc. Leonardo de Amorim Sathler

CARATINGA-MG

2017

	FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA	FORMULÁRIO 9
	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
TERMO DE APROVAÇÃO		
TERMO DE APROVAÇÃO		
<p>O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO COMPARATIVO DA AREIA INDUSTRIAL EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA NATURAL POR MEIO DE ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO AGREGADO, elaborado pelos alunos ADAN HENRIQUE ZINATO DE CARVALHO e JOSÉ CLEMENTE FERREIRA DE FREITAS foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de</p> <p><b>BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.</b></p> <p>Caratinga 10 de julho 2017</p> <p> LEONARDO DE AMORIM SATHLER</p> <p> JOSÉ SALVADOR ALVES</p> <p> CAMILA ALVES DA SILVA</p>		

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Extração manual de areia natural no leito do rio
- Figura 2 – Extração mecânica de areia natural no leito do rio
- Figura 3 - Produção de areia artificial/industrial
- Figura 4 – Teste de resistência à compressão
- Figura 5 – resultado do teste de compressão com areia natural
- Figura 6 – Método de ensaio utilizado por Poerschke (2016)
- Figura 7 – Ensaio de equivalente da areia natural
- Figura 8 – Etapa do ensaio equivalente da areia natural
- Figura 9 – Outra etapa do teste de equivalente da areia natural
- Figura 10 – Ensaio de equivalente da areia industrial
- Figura 11 – Etapa do teste de equivalência da areia industrial
- Figura 12 – Outra etapa do ensaio de equivalente da areia industrial
- Figura 13 – Peneiras para ensaio de granulometria
- Figura 14 – curva granulométrica areia natural
- Figura 15 – curva granulométrica areia industrial

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Classificação do Cimento Portland

**Tabela 2** – Resultado do Ensaio de Resistência à Compressão

**Tabela 3** – Especificações das Peneiras

**Tabela 4** – Resultado do Ensaio de Granulometria

## RESUMO

CARVALHO. Adan Henrique Zinato de. FREITAS, José Clemente Ferreira de. **Estudo comparativo da areia industrial em substituição à areia natural por meio de ensaios de caracterização física do agregado.** Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga – FIC. Rede Doctum.

O objetivo desta pesquisa foi realizar um estudo parcial de caracterização física dos agregados, fazendo uma comparação dos dados entre a areia natural, obtida no Depósito Amigão e a areia industrial, cedida pelo Britador São Geraldo, única empresa que comercializa o produto na região. Para isso, foram realizados os ensaios de granulometria em ambas as amostras, normalizado pela ABNT NBR 5738/2003 e 5739/2007, ensaio de equivalente de areia segundo a DNER 094/07 e o ensaio de resistência a compressão simples (RCS) de acordo com a norma 7211/1983, para que se perceba a viabilidade de utilização da areia industrial, já que o processo de retirada de areia natural vem causando problemas ambientais crescentes. Por meio dos resultados obtidos, foi possível observar que as curvas granulométricas dos agregados mostraram uma grande semelhança no comportamento, porém, a curva do agregado industrial mostrou ser mais uniforme provado pelo cálculo do coeficiente de uniformidade (CNU), sendo 1,74 e 9,43; os ensaios de equivalente de areia apresentaram os graus de pureza, atingindo 92% para a areia industrial e 80% para a areia natural. Os ensaios de RCS foram bastante desejáveis, mostrando que a areia industrial teve comportamento semelhante a areia natural, apresentando ainda características de resistência superior ao do produto natural sendo os maiores valores de 20,02 e 21,26 MPA. Estes resultados são muito interessantes, uma vez que, a areia industrial mostrou ser um agregado bastante viável para utilização na construção civil, em termos de qualidade física.

**Palavras-chave:** areia, ensaio equivalente, teste de resistência à compressão, ensaio de granulometria.

## ABSTRACT

CARVALHO. Adan Henrique Zinato de. FREITAS, José Clemente Ferreira de. **Estudo comparativo da areia industrial em substituição à areia natural por meio de ensaios de caracterização física do agregado.** Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga – FIC. Rede Doctum.

The objective of this research was to carry out a partial study of the physical characterization of the aggregates, making a comparison of the data between the natural sand obtained at the Amigão Depot and the industrial sand, provided by the São Geraldo Crusher, the only company that markets the product in the region. For this, the granulometry tests were performed in both samples, normalized by ABNT NBR 5738/2003 and 5739/2007, sand equivalent test according to DNER 094/07 and the test of resistance to simple compression (RCS) according to With norm 7211/1983, so that the feasibility of using the industrial sand is perceived, since the process of natural sand removal is causing increasing environmental problems. By means of the results obtained, it was possible to observe that the grain size curves of the aggregates showed a great similarity in the behavior, however, the curve of the industrial aggregate showed to be more uniformly proved by the calculation of the coefficient of uniformity (CNU), being 1.74 and 9 , 43; The sand equivalent tests showed degrees of purity, reaching 92% for industrial sand and 80% for natural sand. The RCS tests were very desirable, showing that the industrial sand had similar behavior to natural sand, presenting also characteristics of resistance superior to the natural product being the highest values between 20.02 and 21.26 MPA. These results are very interesting, since, the industrial sand proved to be a very viable aggregate for use in construction, in terms of physical quality.

**Key words:** sand, equivalent, compressive strength, grain size

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	11
2.1 Caracterização Física do Solo .....	12
2.2 Concreto .....	14
2.3 Cimento Portland .....	16
2.4 Agregados.....	17
2.4.1 <i>Areia Natural</i> .....	18
2.4.2 <i>Areia Artificial</i> .....	20
3. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	22
3.1 Materiais e Métodos .....	22
3.1.1 Teste de Resistência à Compressão .....	22
3.1.2 Teste de Granulometria .....	22
3.1.3 Ensaio Equivalente .....	23
3.2 Ensaio de Resistência à Compressão .....	25
3.3 Teste Equivalente .....	27
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	36
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil tem buscado meios alternativos e mais eficientes de produção. Um exemplo é a utilização de areia industrial como substituta à areia natural. Sua origem é proveniente de restos de extração de pedra. No entanto, ainda há muitos que contestam a qualidade da areia artificial, pois acreditam que devido ao seu preço de mercado mais baixo, ela não apresenta a mesma qualidade do que a areia natural, além de não possuir as mesmas propriedades. A areia artificial é mais pura do que a natural.

Barbosa et al (2009) destacou que o emprego da areia industrial pode ser assegurada diante dos ensaios realizados a fim de atestar suas propriedades, físicas e mecânicas. Em seu estudo foi realizado teste de resistência à compressão em comparação com a areia natural. Em amostras com 28 dias de idade, o resultado deve ser igual ou superior a 20 MPA. Em estudos realizados por Costa (2005), foi possível perceber que a areia artificial apresenta resultados de ensaio de granulometria com melhor desempenho do que a areia natural, além de apresentar resultados positivos com relação aos ensaios de resistência à compressão. Diante disto, esta pesquisa visou abordar o desempenho da areia artificial frente ao da areia natural. Para realização do comparativo foram realizados testes de resistência e equivalência. Para o teste de resistência foi feita uma massa de 1 parte de cimento, 3 de areia natural e 1 parte de brita; e uma outra massa de 1 parte de cimento, 3 de areia artificial e 1 parte de brita. O corpo de prova foi de 28 dias. Para o teste equivalente utilizou-se como parâmetro a ABNT – NBR 12052/92 Solos e agregados miúdos – determinação do equivalente de areia.

Foi realizado também um teste de granulometria das amostras de areia industrial e natural, tendo como parâmetro a ABNT NBR 7181/84. O que se descreve neste estudo é que a areia artificial possui qualidade enquanto substituta da areia natural, conforme os resultados dos ensaios apresentados, podendo ser utilizada em diversos serviços e obras da construção civil, tendo como benefício o preço mais baixo do que a areia natural. Considera-se também que a utilização da areia industrial como alternativa ao uso da areia natural, haja vista que o agregado natural tem sido foco de discussões sobre os

métodos de sua retirada nos leitos dos rios, causando problemas ambientais e também devido ao aumento dos custos de retirada e de comercialização. Por isso, utilizar a areia industrial é uma alternativa que pode viabilizar o processo de construção, com redução de custos, e a utilização de um agregado de qualidade.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os recursos naturais e minerais sempre foram indispensáveis para a sobrevivência da humanidade e seu desenvolvimento. No que diz respeito às pedras, estas sempre foram utilizadas como instrumento de caça ou de construção de moradias, ainda de maneira rústica.

Na atualidade, a construção civil se destaca com um dos maiores consumidores de recursos naturais como matéria prima. Com o desenvolvimento do setor de construção civil no Brasil, a utilização de agregados tem sido cada vez maior.

O consumo de agregados naturais, como é o caso da areia, foi de aproximadamente 395 milhões de toneladas para o ano de 2006. Barbosa et al (2009) destaca que como os processos relacionados à construção civil são grandes geradores de resíduos, têm-se como consequência uma degradação ambiental considerável, fazendo com que seja urgente a adoção de técnicas de construção mais sustentáveis. É notável que a construção civil possui diversos avanços na área de pesquisa e tecnologia, podendo apresentar alternativas que substituam o modo usual de produção. Desta forma, aproveitar materiais alternativos que sejam provenientes de subprodutos de outras atividades econômicas pode ser um meio de reduzir o consumo de recursos naturais e a redução da geração de resíduos. Essa realidade pode ser vislumbrada quando se fala em areia natural, que tem como consequência de sua retirada a degradação ambiental, e que pode ser substituída pela areia industrial, subproduto da extração de pedras.

Com essa limitação de extração de recursos, como é o caso da areia, é preciso que outras alternativas sejam analisadas, pois a dificuldade em obtenção do recurso acaba por onerar ao consumidor.

Diversos estudos no meio técnico e científico vêm sendo desenvolvidos em busca de alternativas eficientes para a substituição do agregado miúdo natural (areia natural). Duas alternativas se destacam no mercado: a primeira são os rejeitos de mármore triturado, provenientes de retalhos e sobras de mármore que podem ser britados e a segunda é a rocha de gnaiss triturada (conhecido popularmente como pó de pedra). Em ambos os casos, os

agregados podem ser utilizados no concreto fresco e endurecido, como substituição da areia natural. Vale destacar que utilizar esse tipo de material traz como benefício não somente a preservação ambiental, mas uma lucratividade já que seu custo é menor.

Enquanto a areia do rio apresenta granulometria difusa, a areia industrial apresenta sempre a mesma granulometria, já que é um produto que passa por um processo de beneficiamento. Conforme citado por Costa (2005) há ainda dois aspectos a serem considerados quando da substituição do produto natural pelo industrial: o primeiro é que há um reaproveitamento de um rejeito da produção de agregados graúdos, que é transformado em areia; o segundo é com relação à questão financeira, por seu custo de produção e de transporte reduzidos, o que não onera o preço final do agregado.

Como esta pesquisa visa analisar o desempenho físico e mecânico do concreto elaborado com areia artificial, algumas questões teóricas precisam ser esclarecidas.

## **2.1 Caracterização Física do Solo**

Os solos são compostos por partículas sólidas, que podem ser de natureza mineral ou orgânica, além de ar e água. Esses compostos formam um sistema trifásico: sólido, líquido e gasoso. Quanto às partículas sólidas, elas podem variar em tamanho, composição química e forma, e sua combinação foram a matriz do solo. (REINERT e REINERT, 2006).

Levando-se em consideração que o solo é um corpo natural organizado, a matriz do solo leva à formação da porosidade. Um fator que interfere diretamente na porosidade do solo é a forma pela qual as partículas sólidas se combinam na formação do solo. Há de se considerar, neste caso, duas partículas físicas, que de maneira hierárquica referem-se à textura do solo, de acordo com a maneira de alocação das partículas em forma de agregado. Sua porosidade, desta forma, é responsável pelo conjunto de fenômenos que desencadeia uma série de mecanismos físicos de suma importância, tal como a retenção e o fluxo de água e de ar. Analisando estes fatores em conjunto com a matriz do solo se poderá perceber que há ocorrência de um outro grupo

de propriedades físicas que são associadas à massa e volume das fases do sistema de solo. (FONTES et al, 2007).

Não menos importante estão as propriedades associadas às reações mecânicas do solo no que diz respeito às forças externas aplicadas. Neste quesito destacam-se as propriedades físicas de forma qualitativa e quantitativa, como medição, predição e controle. O objetivo deste estudo qualitativo e quantitativo é compreender quais mecanismos governam a funcionalidade dos solos e definem seu papel na biosfera. De maneira prática, o comportamento físico está associado à forma em que é realizada o manejo e o uso do solo, como irrigação, drenagem, preparo e conservação do solo e da água. (CASSOL, 2005).

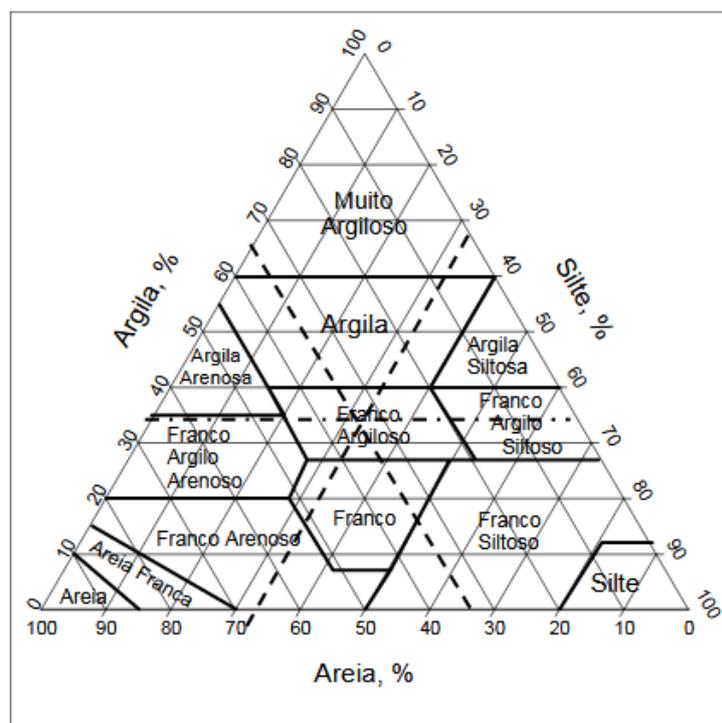
Um solo fisicamente ideal é de difícil identificação devido às muitas variações físicas dos solos que ocorrem na profundidade, superfície da paisagem e a ação do tempo. A variação de suprimento de água e ar podem variar de acordo com os ciclos de umedecimento e secagem nos períodos de chuva e estiagem. Pode-se considerar que um solo é fisicamente ideal ele precisa apresentar boa retenção de água, arejamento bom e bom suprimento de calor. Em caso dos agregados, é preciso que apresente boa infiltração de água e estabilidade dos componentes. (REINERT e REINERT, 2006).

A textura do solo pode ser definida de acordo com a proporção das partículas do solo. De acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pode-se definir um solo de acordo com quatro classes de partículas:

- Areia grossa – 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200  $\mu\text{m}$ ;
- Areia fina – 0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50  $\mu\text{m}$ ;
- Silte – 0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2  $\mu\text{m}$ ;
- Argila – menor do que 2  $\mu\text{m}$  .

De acordo com o número de arranjo de combinação resultante das proporções de partículas é que se desenvolveu um método de classificação funcional para definição de textura dos solos. Esse sistema se baseia na sobreposição de três triângulos isósceles representando a quantidade de argila, areia o silte no solo, conforme figura que se segue:

Figura 1 - Triângulo textural (TT) com as 13 classes texturais.



Fonte: REINERT e REINERT (2006)

## 2.2 Concreto

O concreto é um material indispensável para a construção civil em todos os lugares do mundo. De acordo com Petrucci (2005) o concreto é um material composto de aglomerante, materiais inertes e água. Suas condições de plasticidade devem facilitar a operação de manuseio, e com o tempo, ganhe coesão e resistência.

Observando ao longo dos séculos, pode-se perceber a capacidade e versatilidade do concreto; que dele se originaram grandiosas obras. No entanto, não há como dissociar a história do concreto à do cimento, que é seu principal componente e que produz a reação química de formação da pasta aderente, a qual torna o concreto tão eficiente.

O concreto pode ser considerado como um material de construção elaborado pela mistura de agregados, aglomerantes e água, em proporções racionais. Costa (2005) afirma que ao ser misturado, o concreto apresenta plasticidade suficiente para ser manuseado, transportado e colocado em

formas, e que, com o passar do tempo, por causa das reações entre água e aglomerante, adquire coesão e resistência.

O Concreto é formado pela mistura de cimento, água, areia e brita. Na mistura do concreto, o Cimento Portland, ao ser adicionado com a água forma uma substância mais ou menos fluida, variando de acordo com o percentual de água adicionado.

A substância formada pela mistura se assemelha a uma pasta e envolve as partículas de agregados com diversas dimensões para produzir um material que inicialmente se caracteriza por um estado capaz de ser moldado.

No entanto, com o passar do tempo essa pasta endurece pela reação irreversível da água com o cimento, passando a uma resistência mecânica capaz de torna-lo um material de excelente desempenho estrutural, sob os mais diversos ambientes de exposição.

Pelos seus vários benefícios, o concreto é utilizado em diversos empreendimentos, como prédios residenciais e comerciais, públicos e privados, bem como em outras estruturas como pontes, túneis, silos, barragens e viadutos. Além do seu baixo custo, os materiais que o compõem são encontrados com certa facilidade, podendo ter incorporado em sua massa rejeitos e resíduos de outras atividades. Em se tratando de suas propriedades, estas podem ser divididas em duas fases: a fase de mistura, onde apresenta trabalhabilidade, plasticidade retração, tempo de pega inicial e tempo de pega final. Na segunda fase encontram-se a resistência à compressão, resistência à tração, ao desgaste superficial e ao impacto, porosidade, fluência e retração. (MALIK SHEHATA, 2005)

Ao preparar o concreto, é preciso ter cuidado com a qualidade e a quantidade da água utilizada, já que é ela é a responsável por ativar a reação química que transforma o cimento em uma pasta aglomerante. Se a quantidade de água for muito pequena, não ocorrerá a reação completamente e se for maior quantidade do que o ideal, haverá diminuição de resistência devido à formação dos poros que ocorrerão quando este excesso de água evaporar.

É preciso uma atenção especial a estes requisitos, pois a qualidade dos componentes do concreto irá influenciar diretamente na sua qualidade e durabilidade.

Diante da importância do concreto para a construção civil, observando a qualidade de cada um dos seus componentes, vem aparecendo muitos materiais que são utilizados como substitutos na confecção do concreto, como é o caso da areia artificial. Diante disso, passa-se à análise de cada um dos componentes.

### 2.3 Cimento Portland

Sobre a descrição do cimento Portland, a ABCP afirma que esta é a denominação usualmente conhecida e utilizada na construção civil brasileira como cimento.

A composição do cimento Portland é formada de clínquer e demais adições. O clínquer é o principal componente do cimento Portland e é formado por calcário e argila. Ele reage quimicamente ao ser adicionado água de duas formas distintas: primeiro se torna uma massa pastosa e posteriormente endurece, apresentando resistência e durabilidade.

Costa (2005) traz a classificação do cimento Portland:

<b>NOME</b>	<b>SIGLA</b>
Cimento Portland comum com adição	CP I-S-32
Cimento Portland composto com escória	CP II-E-32
Cimento Portland composto com pozolana	CP II-Z-32
Cimento Portland composto com filer	CP II-F-32
Cimento Portland de alto forno	CP III-32
Cimento Portland pozolânico	CP IV-32
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V-ARI

Além dos tipos supracitados, ainda é possível encontrar no mercado o cimento Portland resistente aos sulfatos, o de baixo calor de hidratação, o cimento para poços de petróleo e o cimento branco, que não é estrutural.

No Brasil existem 56 fábricas de cimento Portland e todas atendem às rigorosas normas de instalação industrial exigida para a atividade, já que o

forno, de funcionamento giratório, atinge altas temperaturas, podendo ir até 1.500°C.

## 2.4 Agregados

Os agregados são considerados como um material que tem importante desempenho junto às argamassas e concretos, tanto na economia quanto do ponto de vista técnico, pois sua influência é benéfica quando se fala em retração ao desgaste por abrasão, sem causar prejuízos à resistência dos esforços mecânicos.

Pode-se descrever os agregados como “material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia” (PETRUCCI, 2005)

Pode-se ressaltar as características dos agregados dizendo que eles devem ser constituídos por grãos duros e limpos, compactos e duráveis. A presença de outras substâncias não pode ser em quantidade que afete a expansão ou hidratação do cimento (BASTOS, 2002). Ainda é preciso que apresente resistência à compressão, forma e graduação boas. Como características é preciso que possua boa composição granulométrica, umidade, massa específica e unitária.

O agregado tem como função principal oferecer elasticidade e estabilidade à massa do concreto de maneira dimensional. Contribui também para a massa específica e resistência. Se for muito poroso, trará prejuízo à resistência do concreto.

Sobre as características do agregado, destaca-se que a granulometria e a textura podem influenciar de maneira menos significativa na massa do concreto, mas que em casos de utilização de agregados de diâmetros maiores, pode ser identificada uma formação de um filme de água nas paredes do agregado, conhecida como exsudação interna. Esse processo enfraquece sua ligação com a massa, e em caso de agregados com menores diâmetros é aumentada a superfície de contato da pasta de cimento e do agregado, o que eleva a resistência do concreto. (BUTTLER, 2003)

Sua classificação engloba três tipos distintos: quanto à origem (naturais, extraídos em forma de areia e pedregulho; artificiais, oriundos do

processamento de pedra e areia britada); quanto à densidade (agregados leves, pesados e normais) e quanto ao tamanho dos fragmentos (graúdos e miúdos).

Para fins desta pesquisa serão abordados dois tipos distintos de agregados: a areia natural e a areia artificial.

#### *2.4.1 Areia Natural*

A areia natural, de acordo com a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas é um mineral particulado com diâmetros que variam entre 0,06 mm a 2,0 mm.

As areias são provenientes de rios, de cava ou de britagem. Este agregado pode ser retirado dos leitos dos rios por meio de sucção. A água é bombeada e pode ser encontrada 5 a 10% de areia por volume de água. As areias de cava são obtidas por meio de desmonte hidráulico de depósitos aluvionares, retirados de fundos de vales. (COSTA, 2005).

Pode-se definir a areia como “material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil”. (PETRUCCI, 2005)

A areia natural é um agregado miúdo que é composto por um misto de partículas, podendo ser fina, média e grossa.

Os problemas ambientais causados pela extração da areia são diversos: com a agressão à calha natural do leito do rio acarreta erosão nas margens, e com o aumento da vazão há uma mudança no ciclo hidrológico prejudicando os lençóis de água subterrâneos. Esses efeitos ainda causam a destruição das áreas de várzea, acarretando prejuízos à fauna e flora, desde perda de vegetação até a destruição de locais de procriação de diversas espécies de mamíferos de pequeno porte. Existem casos ainda mais graves onde as margens estão completamente depredadas e destruição total da mata ciliar. (DRAGO et al, 2009)

O processo de extração da areia pode ser realizado de duas maneiras: manualmente ou por meio de maquinário. Quando realizado manualmente é feito em pequenas proporções, causando menor dano ambiental, mas quando

realizado de forma mecânica, traz prejuízos ao leito do rio e à sua margem. As duas situações podem ser vistas nas figuras 1 e 2:

Figura 1 – Extração manual de areia natural no leito do rio



Fonte: Acervo do autor

Figura 2 – Extração mecânica de areia natural no leito do rio



Fonte: Acervo do autor

Muitas restrições ambientais sobre a exploração da areia em várias regiões do país e o alto custo do produto tem dificultado se conseguir uma areia de qualidade alta. Por isso, se tem buscado soluções alternativas para resolver a questão. Como solução para a redução dos problemas encontrados vem surgindo a utilização de areia artificial, provenientes de britagem de rochas. Além da resolução de um problema ambiental, ainda é possível promover a economia na construção civil.

#### *2.4.2 Areia Artificial*

No mundo o consumo de agregado chega a 5 bilhões de toneladas, frente aos 800 milhões de toneladas de concreto. O consumo per capita de cimento varia de região para região, e devido a estes fatores em conjunto com uma alta densidade populacional agrava os problemas ambientais e de ausência de material de qualidade.

As questões relacionadas ao uso do agregado natural e o artificial, já que vários fatores têm contribuído para o encarecimento do agregado miúdo. É possível observar que devido à falta de pesquisas na área de extração dos agregados, a escassez e o encarecimento do agregado miúdo tem sido uma realidade constante. No que diz respeito à areia industrial é possível identificar três tipos distintos, de origem granítica, calcária e de mármore. Em pesquisa realizada com o cimento Portland, massas elaboradas com os três tipos distintos de agregados industriais e percebeu-se que mesmo com as diferenças entre os três, eles possuem um bom resultado de desempenho na elaboração do concreto com cimento CII. (BASTOS, 2002)

A areia artificial é um agregado proveniente de britagem de rochas estáveis e que suas partículas sejam peneiradas na peneira ABNT 4,8mm. Quando é realizada a britagem o primeiro material obtido é um agregado graúdo e pode ser considerado um rejeito. Com vistas a observar as características granulométricas e seu potencial de aproveitamento, ele é destinado a ser utilizado como areia artificial. (RIBEIRO, 2010).

A areia artificial é produzida da britagem de pedras, conforme figura 3:

Figura 3 - Produção de areia artificial/industrial



Fonte: Acervo do autor

Os melhores tipos de areia industrial encontrados são aqueles oriundos de granitos e pedras com alta concentração de sílica. Já aqueles que são provenientes de basalto acabam produzindo massas mais ásperas devido aos grãos em forma de placa ou de agulha, reduzindo a aderência frente aos demais tipos de agregados industriais ou ao agregado natural. (PETRUCCI, 2005)

Sua distribuição granulométrica é bem homogênea, pois o processo de britagem visa garantir uma uniformidade entre os grãos para que possam ser aproveitados. Normalmente é isenta de impurezas naturais, tanto orgânica quanto argilosa, e livre dos problemas causados por essas substâncias. A verificação da qualidade da areia artificial está prescrita na NBR 7220.

A areia artificial apresenta alto nível pulverulento, fazendo com que seja mais acessível trabalhar e preencher vazios da massa de cimento e água. No entanto, se esse nível for alto demais, pode comprometer a qualidade do concreto, necessitando maior volume de água e baixando a resistência do concreto.

### 3. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 Materiais e Métodos

A pesquisa se dedicou a analisar o desempenho da areia artificial frente à areia natural através dos resultados dos testes de resistência à compressão, teste equivalente e de granulometria entre os dois agregados.

##### 3.1.1 Ensaio de Resistência à Compressão

Para o ensaio de resistência à compressão o corpo de prova foi de 1 parte de cimento, 3 de areia natural e 1 parte de brita; e uma outra massa de 1 parte de cimento, 3 de areia artificial e 1 parte de brita. Utilizou-se como parâmetro a ABNT – NBR 12052/92 Solos e agregados miúdos – determinação do equivalente de areia e os corpos de prova foram submetidos a 28 dias de cura.

À partir da mistura da massa e formação do corpo de prova, eles ficaram em descanso por 28 dias, prazo de cura do concreto. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos ao teste no compressor hidráulico para levantamento dos dados.

##### 3.1.2 Ensaio de Granulometria

Foi realizado também um ensaio de granulometria das amostras de areia industrial e natural, tendo como parâmetro a ABNT NBR 7181/84.

Após a seleção da amostra de agregado a ser utilizada, passa-se ao procedimento:

- Seca-se uma determinada quantidade de solo ao ar (uma quantidade maior do que aquela que será utilizada no ensaio), desmancham-se os torrões e, em seguida, homogeneizasse o material cuidadosamente.
- Para que o material ensaiado seja representativo da jazida, a quantidade de solo a ser utilizada no ensaio deve ser obtida por quarteamento (realizado manualmente ou com o uso do quarteador), obtendo-se assim

uma amostra de solo com o peso necessário para se efetuar os ensaios (a quantidade de solo necessária para a realização do ensaio de granulometria é função do tipo de solo: solos grossos requerem uma maior quantidade de solo e vice-versa).

- Pesa-se a amostra de solo seco ao ar e peneira-se o material na #10 (2,00mm). Deve-se tomar o cuidado de desmanchar os possíveis torrões que ainda possam existir no solo, de modo a assegurar que fiquem retidos na #10 apenas os grãos maiores que a abertura da malha.
- O material retido na #10 (2,00mm) é utilizado no peneiramento grosso do solo. Do material que passa na #10 retiram-se quantidades suficientes de solo para a realização do peneiramento fino, do ensaio de sedimentação, para a determinação do peso específico dos sólidos e para a determinação do teor de umidade do solo.

### *3.1.3 Ensaio Equivalente*

O ensaio equivalente é realizado de acordo com a DNER ME 054/97. O procedimento é realizado de acordo com as etapas:

- Abrir a pinça do tubo de ligação. Acionar o sifão, soprando-se no topo do garrafão que contém a solução, através de um pequeno tubo. Verificado o escoamento da solução fechar a pinça;
- Sifonar a solução de trabalho para a proveta, até atingir o traço de referência a 10 cm da base;
- Transferir para a proveta, com auxílio do funil, o conteúdo de um recipiente de medida cheio de amostra preparada e rasada na superfície. O conteúdo do recipiente corresponde a cerca de 110 g de material solto. Bater o fundo da proveta firmemente com a palma da mão várias vezes, a fim de deslocar as bolhas de ar e ajudar a molhar a amostra. Deixar a seguir, a proveta em repouso durante 10 minutos;
- Após o período de 10 minutos, tapa-se a proveta com a rolha de borracha e agitá-la vigorosamente, num movimento alternado, horizontalmente. Executam-se 90 ciclos em aproximadamente 30

segundos, com um deslocamento de cerca de 20 cm. Cada ciclo compreende um movimento completo de vaivém. A fim de agitar satisfatoriamente a amostra como antes foi especificado é necessário que o operador agite apenas com os antebraços;

- Retirar a rolha e introduzir o tubo lavador. Lavar as paredes rapidamente e imediatamente inserir o tubo até o fundo da proveta, como mostra a Figura 4. Agitar levemente com o tubo lavador a camada de areia para levantar o material argiloso eventualmente existente. Esta operação deve ser acompanhada de leve giro da proveta. Quando o líquido atingir o círculo de referência superior da proveta (a 38 cm da base), suspende-se o tubo lavador lentamente sem parar o escoamento e de tal modo que aquele nível se mantenha aproximadamente constante. Regular o escoamento pouco antes de se retirar completamente o tubo e ajustar o nível naquele traço de referência. Deixar-se repousar 20 minutos sem perturbação. Qualquer vibração ou movimento da proveta durante esse período interferirá com a velocidade normal de sedimentação da argila em suspensão e será causa de erro no resultado;
- Após o período de 20 minutos, determinar o nível superior da suspensão argilosa, efetuando a leitura com precisão de 2 mm;
- Introduzir o pistão cuidadosamente na proveta até assentar completamente na areia. Girar a haste ligeiramente, sem empurrá-la para baixo, até que um dos parafusos de ajustagem torne-se visível. Nesta posição, deslocar o disco que corre na haste até que ele assente na boca da proveta, fixando-o à haste, por meio de um parafuso nele existente. Determinar o nível do centro de um dos parafusos de ajustagem e adotá-lo como leitura correspondente ao nível superior da areia. Este pode ser também determinado medindo-se a distância entre o topo do disco que se apoia na boca da proveta e a base inferior do peso cilíndrico, e subtraindo-se desta, a mesma distância, medida quando a sapata está assente no fundo da proveta (constante do aparelho).

### 3.2 Ensaio de Resistência à Compressão

O primeiro ensaio realizado foi o ensaio de resistência. Os corpos de prova para os ensaios foram feitos no laboratório do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia no dia 17 de maio de 2017, com 28 dias de cura. O rompimento dos corpos de prova se deu no dia 13 de junho de 2017. Foi utilizado um compressor hidráulico.

As características do ensaio e do corpo de prova dizendo que a resistência à compressão, de forma simples, pode ser considerada como a característica mecânica de maior importância. Para que se tenha o coeficiente resultante do teste de resistência à compressão é preciso elaborar um lote de corpos de prova, obedecendo as determinações da ABNT NBR 5738 sobre mistura, formatos e moldagem e a ABNT NBR 5739 sobre os ensaios a serem realizados. O padrão estabelecido pela norma é de corpos de prova de 15 cm de diâmetro, no formato cilíndrico com idade de 28 dias de cura. (PINHEIRO et al, 2004)

As figuras 4 e 5 demonstram a realização do ensaio no laboratório do Instituto Doctum.

Figura 4 – Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Acervo do autor

De acordo com a ABNT NBR 7211:2005, o agregado miúdo utilizado para o concreto pode ser de origem natural ou oriundo de britagem de rochas. As determinações da NBR 7211 não se aplicam a agregados provenientes de materiais reciclados ou de mistura. Suas prescrições são para agregados que já possuem histórico de desempenho ao utilizados para composição do concreto. Em caso de agregados para os quais não se possui referências quanto ao desempenho, estes devem ser utilizados em caráter experimental até que se obtenha um concreto de qualidade satisfatória e que sejam documentados por meio de laudo técnico realizado por um profissional qualificado.

Foram realizados ensaio com traços de 4 por 1, sendo: 1 parte de cimento, 3 partes de areia e 1 parte de brita zero. Para o teste de resistência ainda foram considerados corpos de prova onde foi utilizado somente areia natural, outro somente com areia industrial e um terceiro com mistura entre os dois tipos de areia. Foi utilizado cimento CP IV para os ensaios. O padrão de resistência estimada para este tipo de ensaio é que a resistência dos corpos de prova seja de 20 MPA.

Como resultado do ensaio de resistência, encontrou-se:

<b>AREIA INDUSTRIAL</b>	<b>AREIA NATURAL</b>	<b>50% NATURAL 50% INDUSTRIAL</b>
CP1 20,02 MPA	CP1 16,75 MPA	CP1 22,27 MPA
CP2 21,26 MPA	CP2 17,61 MPA	CP2 23,16 MPA

Figura 5 – resultado do ensaio de compressão com areia natural



Fonte: Acervo do autor

De acordo com os dados apresentados, pode-se perceber que os ensaios realizados com a areia natural no corpo de prova teve índice inferior aos 20 MPA padrão. Já os resultados do concreto feito com areia industrial foram superiores aos da areia natural, e a mistura dos dois tipos de agregados, natural e industrial, apresentaram resultado ainda superior.

Desta forma, analisando os dados do ensaio de compressão, pode-se perceber que a areia industrial possui um coeficiente de resistência à compressão maior do que a areia natural, podendo ser utilizada no concreto, com cimento Portland CP IV de maneira segura, sem que haja prejuízo na substituição do agregado natural pelo industrial.

No intuito de apurar mais dados sobre a substituição do agregado natural pelo industrial, passou ao teste equivalente.

### **3.3 Ensaio Equivalente**

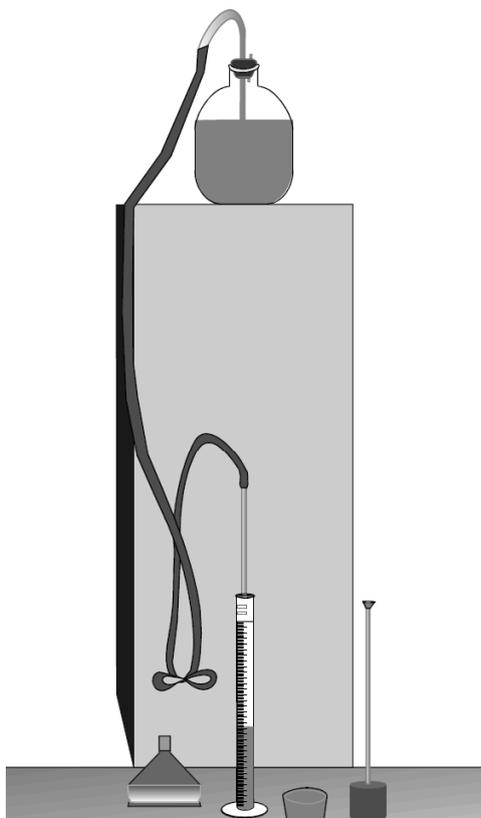
O ensaio de equivalente da areia natural e da areia industrial também foi realizado no laboratório nas dependências do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia do dia 13 a 16 de junho de 2017.

O objetivo do ensaio equivalente é determinar a qualidade da areia com base no grau de agregados nas amostras analisadas. Para realização do

estudo foi seguido o descrito na ABNT NBR 12052/92 sobre solos e agregados miúdos – determinação do equivalente de areia.

O método utilizado foi baseado no ensaio realizado por Poerschke (2016), ilustrado na figura 6:

Figura 6 – Método de ensaio utilizado por Poerschke (2016)



Com base nesse método, para realização do ensaio utilizou-se como material:

- Garrafão 5lts, sem sifão
- Mangueira de látex de ¼"x2m
- Pistão para equivalente de areia
- Proveta de acrílico
- Rolha de borracha para proveta
- Rolha de borracha para garrafão
- Solução concentrada para ensaio 500 ml
- Tabela para aparelho
- Tubo lavador (reto)
- Sifão e tubo reto
- Funil de plástico
- Capsula de alumínio diâmetro 6x4 cm com tampa
- Espátula tipo pintor nº2
- Escova fios de nylon para limpeza de provetas

O primeiro ensaio a ser realizado foi com a areia natural. Foram três amostras analisadas e o processo do ensaio seguem expressos nas figuras 7, 8 e 9:

Figura 7 – Ensaio equivalente da areia natural



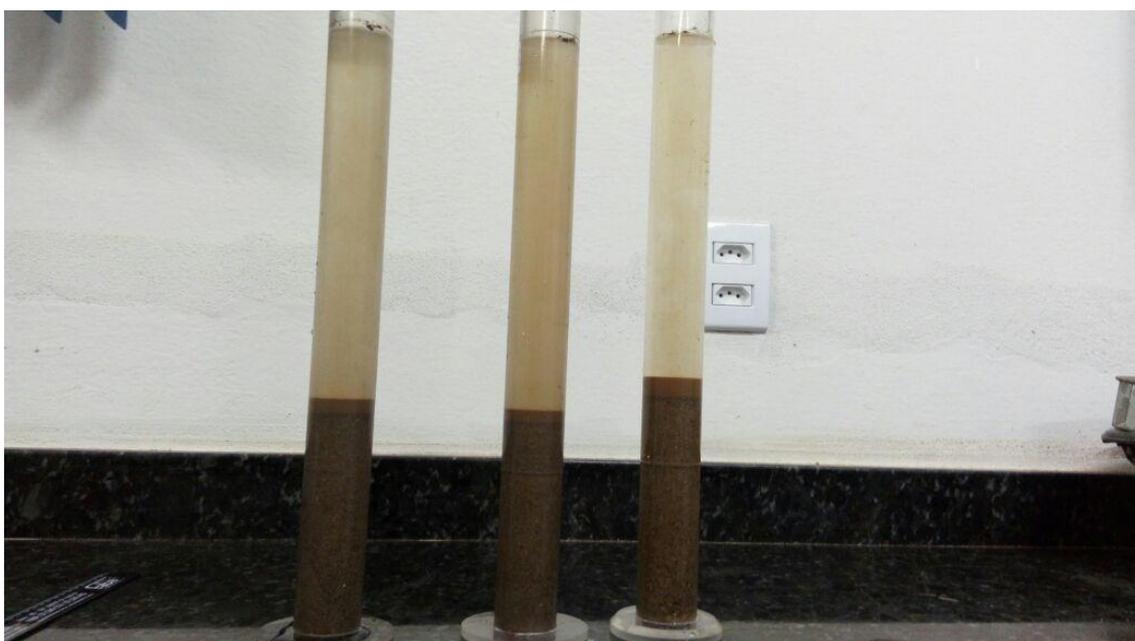
Fonte: Acervo do autor

Figura 8 – Etapa do ensaio equivalente da areia natural



Fonte: Acervo do autor

Figura 9 – Outra etapa do ensaio equivalente da areia natural

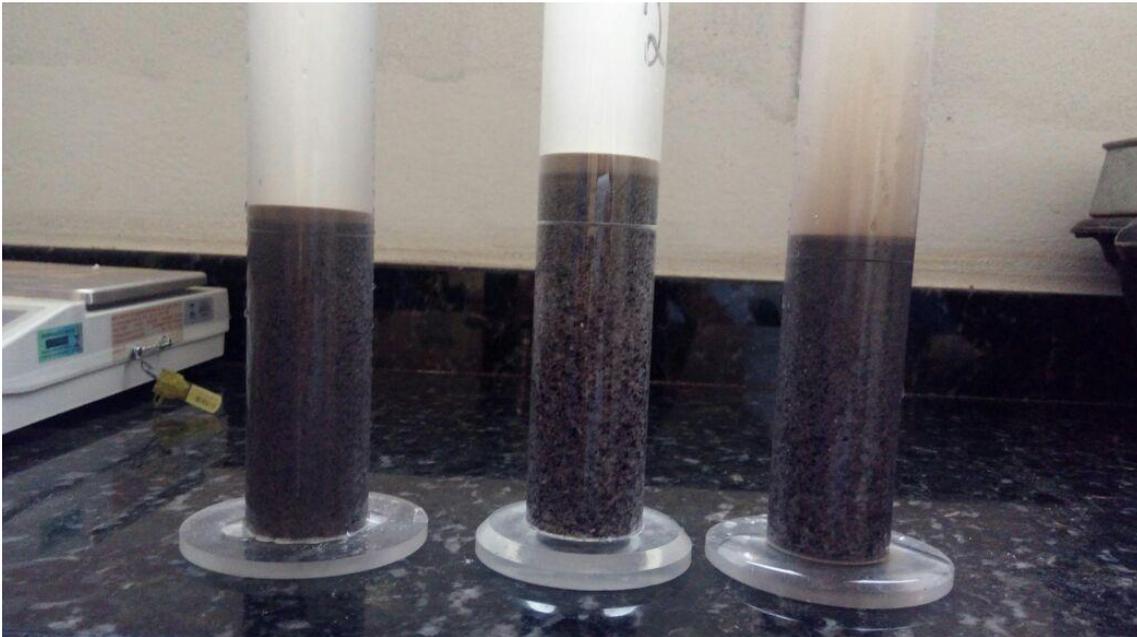


Fonte: Acervo do autor

Como resultado do ensaio equivalente da areia natural encontrou-se um percentual de 80% equivalente. Passou-se então aos testes das amostras da areia industrial. De mesma maneira, foram analisadas três amostras para análise dos resultados.

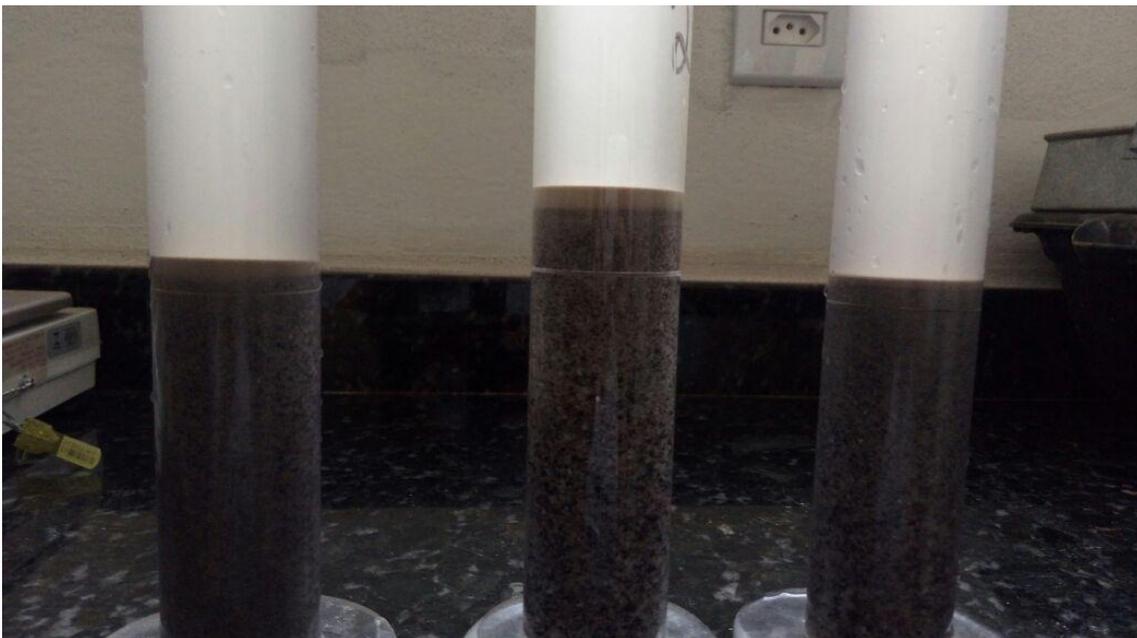
As figuras 10, 11 e 12 demonstram o processo de teste da areia industrial.

Figura 10 – Ensaio equivalente da areia industrial



Fonte: Acervo do autor

Figura 11 – Etapa do ensaio equivalente da areia industrial



Fonte: Acervo do autor

Figura 12 – Outra etapa do ensaio equivalente da areia industrial



Fonte: Acervo do autor

Como resultado do ensaio da areia industrial o percentual equivalente foi de 92% de pureza. Desta forma, a areia industrial apresenta um melhor resultado do que a areia natural, que por ser coletada em leitos de rios possui mistura com outros minerais e outras substâncias.

### 3.4 Ensaio de Granulometria

Para realização do ensaio de granulometria foi realizado o método do conjunto de peneiras segundo a ABNT NBR 7211 e 7217. Os ensaios com as amostras de areia natural e areia industrial foram realizados no laboratório do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia nos dias 21 e 22 de junho de 2017

Como materiais para a execução do ensaio foi necessário os seguintes equipamentos:

- Balança com resolução de 0,1% da massa da areia selecionada para o ensaio;
- Estufa;
- Peneiras (série normal e intermediária) com tampa e fundo;
- Pincel,

As especificações das peneiras possuem o seguinte padrão:

<b>Série Normal</b>	<b>Série Intermediária</b>
76mm	-
-	54mm
-	50mm
38mm	-
-	32mm
-	25mm
19mm	
-	12,5mm
9,5mm	-
-	6,3mm
4,8mm	-
2,4mm	-
1,2mm	-
0,6mm	-
0,3mm	-
0,15mm	-

Para realização do ensaio as peneiras são encaixadas de forma crescente das malhas, da base para o topo. Coloca-se uma amostra na primeira peneira, no topo e realiza o peneiramento de maneira manual ou mecânica. No caso deste estudo de forma manual. O material retido em cada peneira é pesado. O peneiramento é realizado novamente com agitação contínua de 1 minuto.

A massa total que ficou retida nas peneiras é conferida e comparada com a massa inicial da amostra. A diferença não deve ser superior a 0,3% da massa do início do ensaio.

Para maior compreensão do ensaio de granulometria realizado, pode-se observar a figura 13:

Figura 13 – Peneiras para ensaio de granulometria



Fonte: Acervo do autor

Após a realização dos ensaios com as duas amostras (areia natural e industrial), obtiveram-se como resultado os seguintes dados:

AREIA NATURAL					AREIA INDUSTRIAL		
PENEIRA		MASSA	%		MASSA (g)	%	
N°	mm	(g)	RETIDA	ACUMULADA	(g)	RETIDA	ACUMULADA
16	1,180	96,35	9,64	9,64	209,48	20,95	20,95
30	0,600	164,37	16,44	26,07	204,6	20,46	41,41
40	0,425	174,92	17,49	43,56	110,6	11,06	52,47
50	0,300	154,42	15,44	59,01	108,37	10,84	63,31
100	0,150	371,92	37,19	96,20	206,39	20,64	83,94
200	0,075	20,58	2,06	98,26	66,25	6,63	90,57
FUNDO		17,44	1,74	100,00	94,31	9,43	100,00
TOTAL		1000	100		1000		

Para uma melhor compreensão dos dados, foram construídos dois gráficos sobre a curva granulométrica das duas amostras, sendo um gráfico para o resultado da areia natural e outro para o resultado da areia industrial.

Figura 14 – Curva granulométrica areia natural

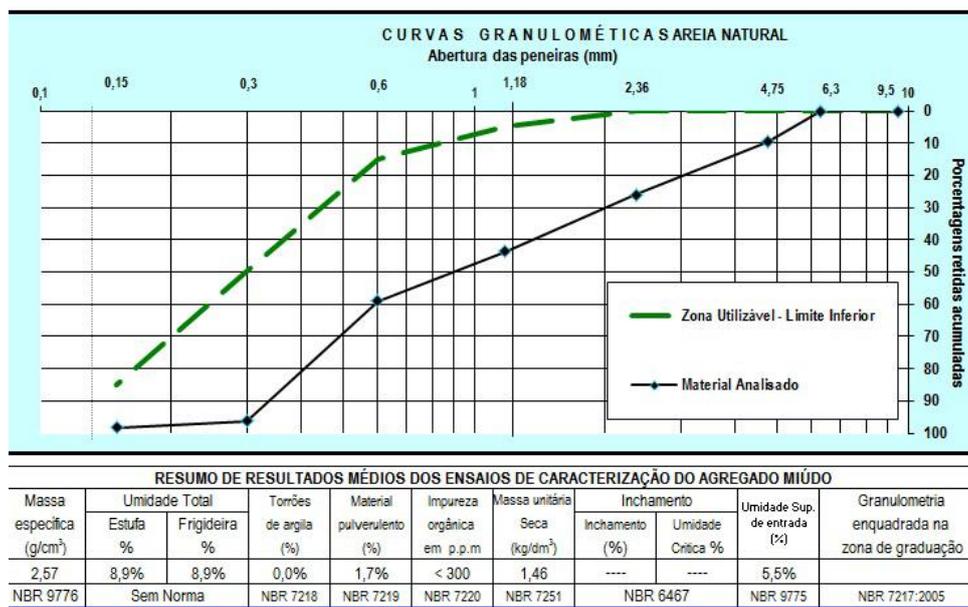
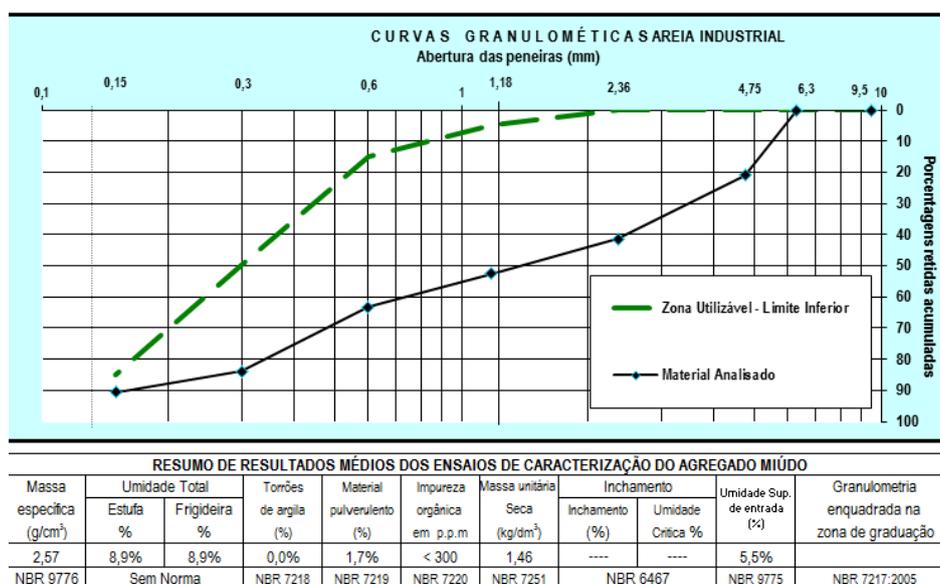


Figura 15 – Curva granulométrica areia industrial



O agregado industrial apresentou melhor granulometria e em conjunto com o resultado de resistência à pressão é possível perceber que a utilização

desse tipo de agregado com o cimento Portland apresenta eficiência na mistura do concreto. No entanto, por ser formada em sua maioria de grãos muito finos, faz-se necessário que seja adicionada uma quantidade maior de água, e conseqüentemente de cimento, para que a massa de concreto não perca eficiência em termos de resistência à compressão.

Outro ponto que se salienta nesta pesquisa é que, além de apresentar maior resistência à compressão e um percentual de pureza maior do que a areia natural, a areia industrial ainda possui um valor de mercado inferior.

Em pesquisa realizada com a única empresa que vende areia industrial em Caratinga/MG foi apurado que a areia industrial possui um valor de mercado 40% menor do que a areia natural.

Desta forma, com todos os benefícios apresentados, acredita-se que a areia industrial seja uma alternativa para a construção civil onde pode-se aliar redução de impactos ambientais, utilização de um produto de qualidade e redução de custos.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Encontrar meios alternativos para solucionar os problemas da atividade econômica realizada pela construção civil é buscar meios de diminuir custos e minimizar os danos causados ao meio ambiente.

A substituição da areia natural pela areia industrial é uma alternativa no mercado e que muitas vezes não é considerada devido ao desconhecimento da qualidade do produto.

Nos testes realizados nesta pesquisa foi possível perceber que em termos de resistência à compressão, as amostras que foram confeccionadas com areia industrial apresentaram um melhor desempenho do que as que foram realizadas com areia natural.

No que diz respeito ao teste equivalente, o grau de pureza da areia industrial foi superior ao da areia natural, com percentuais de 80% e 92%,

respectivamente. O grau de pureza da areia industrial é maior devido ao fato de que no processo de produção do produto não há mistura de outras substâncias, enquanto a areia natural, que fica alojada nos leitos de rios, sofre misturas naturais com outros minerais e substâncias.

No quesito granulometria, a areia industrial apresentou maior uniformidade, possuindo grãos mais finos e maior padronização.

Diante de todos estes benefícios ainda se destaca o valor da areia industrial que possui preço de mercado 40% menor do que o da areia natural. Salienta-se que conforme as restrições de extração da areia natural forem aumentando, a tendência é de que seu valor continue subindo.

Assim sendo, a utilização de areia industrial na produção de concreto é uma vantagem pautada em três pontos: sustentabilidade, economia e qualidade.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BARBOSA, M. T. G. et al. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, out./dez. 2009.
2. COSTA, M. J. Avaliação do Uso da Areia Artificial em Concreto de Cimento Portland: Aplicabilidade de um Método de Dosagem, Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2005.
3. PETRUCCI, ELÁDIO G. *Concreto de Cimento Portland*. 14ª Ed. Revisado por Vladimir A. Paulon, São Paulo Editora Globo, 2005.

5. SHEHATA L. D., Deformações Instantâneas do Concreto Concreto, Ensino, pesquisa e realizações, Ed. G.C. Isaia, v. 1, São Paulo: IBRACON, 2005.
6. BASTOS, Sandra Regina Bertocini. Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial á areia fina para a produção de concretos convencionais. UFSC. Florianópolis, 2002.
7. BUTTLER, A. M. Concreto com agregado graúdos reciclados de concreto – Influência da Idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, (2003).
8. DRAGO, Cristina; VERNEY, José Carlos Krause de; PEREIRA, Fernanda Macedo. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto , v. 62, n. 3, p. 399-408, Sept. 2009 . Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672009000300021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672009000300021&lng=en&nrm=iso)
9. RIBEIRO, Benício. Concreto com areia artificial. UFV. Departamento de Engenharia Civil. 2010.
10. PINHEIRO, Libânio M. MUZARDO, Cassiane D. SANTOS, Sandro P. Estruturas de Concreto. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas. São Paulo, 2004.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
12. POERSCHKE, Nelson. Determinação do equivalente de areia. Universidade Federal de Roraima. Departamento de Engenharia Civil. Roraima, 2016.