



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE ARGAMASSA
PRODUZIDA COM AREIA NATURAL E ARTIFICIAL PARA FUNDAÇÃO EM
ESTACA TIPO RAIZ**

*ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF MORTAR PRODUCED
WITH BOTH NATURAL AND ARTIFICIAL SAND FOR ROUND PILE FOUNDATION*

RODRIGO ROGÉRIO CERQUEIRA DA SILVA
UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

MAELI DOS SANTOS TAVARES
UNINOVE – UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o VIII SINGEP e a 8ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **01, 02 e 03 de outubro de 2020**.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DE ARGAMASSA PRODUZIDA COM AREIA NATURAL E ARTIFICIAL PARA FUNDAÇÃO EM ESTACA TIPO RAIZ

Objetivo do estudo

Objetivo da presente pesquisa é avaliar as propriedades físicas e mecânicas para a confecção de argamassa para o preenchimento da estaca tipo raiz, comparando a resistências sugerido pela NBR 6122 (2019) através de amostras preparadas areia natural e areia artificial, visando a substituição parcial ou total in loco em relação a utilização do agregado miúdo natural.

Relevância/originalidade

O conhecimento das características reológicas da argamassa com areia artificial para fins estrutural ainda encontra-se restrito no campo de pesquisas, fazendo-se necessário a compreensão de sua caracterização física e mecânica na substituição parcial ou total do agregado miúdo natural.

Metodologia/abordagem

A amostragem foi composta no total de 54 corpos de prova de 100 x 200 mm de argamassa moldadas in loco, em conformidade com a norma ABNT (NBR 5738, 2015). Foram confeccionados 18 repetições para ensaiar nas idades de 7, 14 e 28 dias com as seguintes características: 100% de areia natural (CPN), 100% de areia artificial (CPA), e 50% de areia natural e 50% de areia artificial (CPNA), considerando a mesma relação a/c (água/cimento). A variação da idade da amostragem contribuirá para a criação de modelos de correlações entre resistência mecânica e idade dos corpos de prova de argamassa, através do desempenho de cada tipo de agregado miúdo.

Principais resultados

O aumento dos parâmetros mecânicos para areia artificial esta associado à diminuição da absorção atribuída ao maior fechamento dos poros proporcionado pela concentração de material pulverulento, independentemente do teor de substituição uma maior compactidade da argamassa permite a obtenção de resistências mais elevadas.

Contribuições teóricas/metodológicas

Na produção de argamassa, considerando o mesmo traço variando-se o tipo agregado miúdo e mantendo a mesma proporção, o ensaio de slump flow, constatou-se que espelhamento aumentava conforme fosse utilizando agregados miúdos com maior teor de umidade e menor quantidade de material pulverulento finos. O aumento dos parâmetros mecânicos para areia artificial esta associado à diminuição da absorção atribuída ao maior fechamento dos poros proporcionado pela concentração de material pulverulento, independentemente do teor de substituição uma maior compactidade da argamassa permite a obtenção de resistências mais elevadas. A vantagem econômica da utilização da areia artificial está no valor unitário do metro cúbico garantindo a elaboração de uma composição de preço com custos mais baixos, comparando-se a uma composição de preço de argamassa estrutural confeccionado apenas com areia natural de rio.

Contribuições sociais/para a gestão

A utilização de areia artificial possui contribuição ambiental pelo fato de sua utilização eliminar um rejeito do processo de britagem dando um fim adequado, reduzindo os danos causados pela exploração, não encontrado na produção da areia natural nos leitos.

Palavras-chave: Areia natural e artificial, Argamassa, Ensaio de compressão, Estaca Raiz



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF MORTAR PRODUCED WITH BOTH NATURAL AND ARTIFICIAL SAND FOR ROUND PILE FOUNDATION

Study purpose

Objective of the present research is to evaluate the physical and mechanical properties for making mortar for filling the root pile, comparing the resistance suggested by NBR 6122 (2019) through samples prepared natural sand and artificial sand, aiming at partial or total replacement in loco in relation to the use of the natural fine aggregate.

Relevance / originality

The knowledge of the rheological characteristics of the mortar with artificial sand for structural purposes is still restricted in the field of research, making it necessary to understand its physical and mechanical characterization in the partial or total replacement of the natural fine aggregate.

Methodology / approach

The sampling was composed of a total of 54 specimens of 100 x 200 mm mortar molded in loco, in accordance with the ABNT standard (NBR 5738, 2015). 18 repetitions were made to rehearse at the ages of 7, 14 and 28 days with the following characteristics: 100% natural sand (CPN), 100% artificial sand (CPA), and 50% natural sand and 50% artificial sand (CPNA), considering the same a / c ratio (water / cement). The variation in the age of the sample will contribute to the creation of models of correlations between mechanical strength and age of the mortar specimens, through the performance of each type of fine aggregate.

Main results

The increase in mechanical parameters for artificial sand is associated with the decrease in absorption attributed to the greater closing of the pores provided by the concentration of powdery material, regardless of the replacement content, a greater compactness of the mortar allows to obtain higher strengths.

Theoretical / methodological contributions

In the production of mortar, considering the same trait by varying the fine aggregate type and maintaining the same proportion, the slump flow test, it was found that mirroring increased as it was using fine aggregates with a higher moisture content and less powdery material thin. The increase in mechanical parameters for artificial sand is associated with the decrease in absorption attributed to the greater closing of the pores provided by the concentration of powdery material, regardless of the replacement content, a greater compactness of the mortar allows to obtain higher strengths. The economic advantage of using artificial sand lies in the unit value of the cubic meter, guaranteeing the elaboration of a price composition with lower costs, compared to a composition of structural mortar price made only with natural river sand.

Social / management contributions

The use of artificial sand has an environmental contribution due to the fact that its use eliminates a waste from the crushing process, giving an adequate end, reducing the damages caused by the exploration, not found in the production of natural sand in the beds.

Keywords: Natural and artificial sand, Mortar, Compression test, Root pile



1. Introdução

A extração dos recursos naturais tem se mostrado ao longo dos anos um dos maiores desafios da humanidade. A construção civil é o setor que mais utiliza recursos naturais, sendo os agregados miúdos produtos básicos mais utilizados.

Entre os impactos negativos da extração de areia em leitos estão à possibilidade de contaminações da água e do solo, diminuição da permeabilidade e fertilidade do solo, estresse da fauna local por ruídos e pela diminuição de seu habitat, além da depreciação da qualidade da vida humana existente ao redor do local (DNPM 2002).

A construção das grandes obras de infraestrutura e predial nas últimas décadas tem sido um desafio para a engenharia fundações, devido à necessidade de atender a transmissão de elevadas cargas e através da conscientização sobre o uso dos recursos naturais de maneira mais adequada para o descarte de resíduos sólidos. Exemplo deste desafio na área de fundações especiais é a execução e aplicabilidade da técnica da estaca tipo raiz, cuja vantagem está relacionada ao processo executivo indicado em casos especiais como reforço de fundações, fundações de obras com vizinhanças sensíveis a vibrações ou poluição sonora, ou em terrenos com presença de rochas.

A estaca raiz é uma estaca armada e preenchida com argamassa, sendo uma de suas desvantagens o consumo excessivo de areia natural. Com isso uma das alternativas para minimizar os custos da estaca em estudo e minimizar o impacto ambiental através da extração da areia natural, é o uso de areia artificial resultante da britagem como alternativa, devido o grande volume estocado em desde tipo de agregado miúdo em pedreiras.

Estudos realizador por Takashima et al. (1998), Sodré (2000), Bastos (2002), Silva et al. (2015), avaliaram a substituição parcial ou total de areia natural em amostras de concreto, demonstrando o aumento da resistência à compressão para concretos convencionais simples, com a utilização de pó de brita, apresentando valores acima de 20 MPa para amostras ensaiadas ao 28 dias.

O conhecimento das características reológicas da argamassa com areia artificial para fins estrutural ainda encontra-se restrito no campo de pesquisas, fazendo-se necessário a compreensão de sua caracterização física e mecânica na substituição parcial ou total do agregado miúdo natural.

Assim o objetivo da presente pesquisa é avaliar as propriedades físicas e mecânicas para a confecção de argamassa para o preenchimento da estaca tipo raiz, comparando a resistências sugerido pela NBR 6122 (2019) através de amostras preparadas areia natural e areia artificial, visando a substituição parcial ou total *in loco* em relação a utilização do agregado miúdo natural.

2. Referencial Teórico

2.1. Areia natural e artificial

De acordo com Barreto (2001) e Wagner (2002), o subsolo brasileiro é composto por depósitos minerais significativos, de grande importância para a economia brasileira. Conforme Sintoni (1994) são estabelecidas documentações para o licenciamento de um empreendimento de mineração bem como licença ambiental, alvará de funcionamento e



análise de EIA/RIMA, visando a otimização de impactos ambientais e até mesmo irreversíveis que a mineração pode causar.

A Tabela 1 compara os principais problemas decorrentes da extração de agregado miúdo nos principais estados brasileiros com maior consumo.

Tabela 1:

Principais problemas da extração de areia natural e ações preventivas

Estado	Principais Problemas	Ações Corretivas e Preventivas
SP	Produção de areia no Vale do Paraíba, acarretando a destruição da mata ciliar, turbidez na água, conflitos com uso e ocupação do solo, acidentes nas rodovias causados pelo transporte.	Disciplinamento da atividade: estudos de alternativas de abastecimento e de transporte
RJ	Produção de areia em Itaguaí/Seropédica: contaminação do lençol freático, uso futuro da terra comprometido devido à ocorrência desordenada de áreas alagadas.	Disciplinamento da atividade: estudos de alternativas de abastecimento

Devido o alto consumo de areia natural, Neville (1997) afirma que para minimizar custos com transporte da areia natural e atenuar o impacto ambiental causado por sua extração, a alternativa tem sido a produção de areia artificial através dos resíduos de pedreiras. Embora, ainda pouco utilizada no Brasil, a areia artificial tem sido um material de pouco estudo com o intuito de substituir totalmente a areia natural e avaliar suas propriedades mecânicas, bem como sua durabilidade para aplicação de argamassa com fim estrutural.

Países como Canadá e Israel têm obtido resultados satisfatórios na utilização da areia artificial em obras de grande porte como barragens. O uso ainda é restrito no Brasil devido à quantidade de material pulverulento em sua composição mesmo que a NBR 7211 (2009) admita seu uso quando contiver granulometria igual ou superior a 4,75mm.

Estudos realizados por Silva et al. (2005) e Barbosa (2008), comprovam que o grau de angulosidade da areia e presença de finos interferem no consumo de água, os pesquisadores também verificaram que a absorção de água nos concretos com rocha de gnaiss triturada aumentou 21% quando comparada ao concreto de agregado miúdo natural.

A areia natural por ter uma angulosidade mais arredondada e mais lisa pode acarretar fissuras entre a argamassa diminuindo assim o módulo de elasticidade. Ensaio realizado por Barbosa (2008) demonstra que a utilização de rochas de rejeitos de gnaiss e de mármore triturado em materiais cimentícios aumentaram a resistência à compressão axial em cerca de 9% a 14% respectivamente, quando comparados com areia natural.

De acordo com Barbosa et al. (2015) para uma melhor trabalhabilidade e homogeneização para areia artificial é necessário crescer água, o que diminui sua resistência, sendo uma alternativa para melhorar a trabalhabilidade a utilização de aditivos.



2.2. Características da estaca tipo raiz

A denominação estacas escavadas injetadas incluem vários tipos de estacas moldadas *in loco*, através de diferentes técnicas. A norma NBR 6122 (2019) define como estaca raiz a fundação injetada com argamassa para moldar o fuste. Imediatamente após a moldagem do fuste, é aplicada pressão no topo com ar comprimido, uma ou mais vezes durante a retirada do tubo de revestimento, usando-se pressões baixas (inferiores a 0,5 MPa) que visam apenas garantir a integridade da estaca. A limpeza interna do furo é realizada através de uma composição de lavagem, introduzida até a cota inferior da estaca, sendo considerada concluída quando a água de retorno não apresentar presença de material transportável. A injeção ascendente deve ser interrompida apenas quando a argamassa emergente sair limpa, sem sinais de contaminação com lama ou detritos na boca do furo, devendo o tubo ser preenchido até que atinja a superfície do terreno, a Figura 1 ilustra a sequência executiva da estaca do tipo raiz.

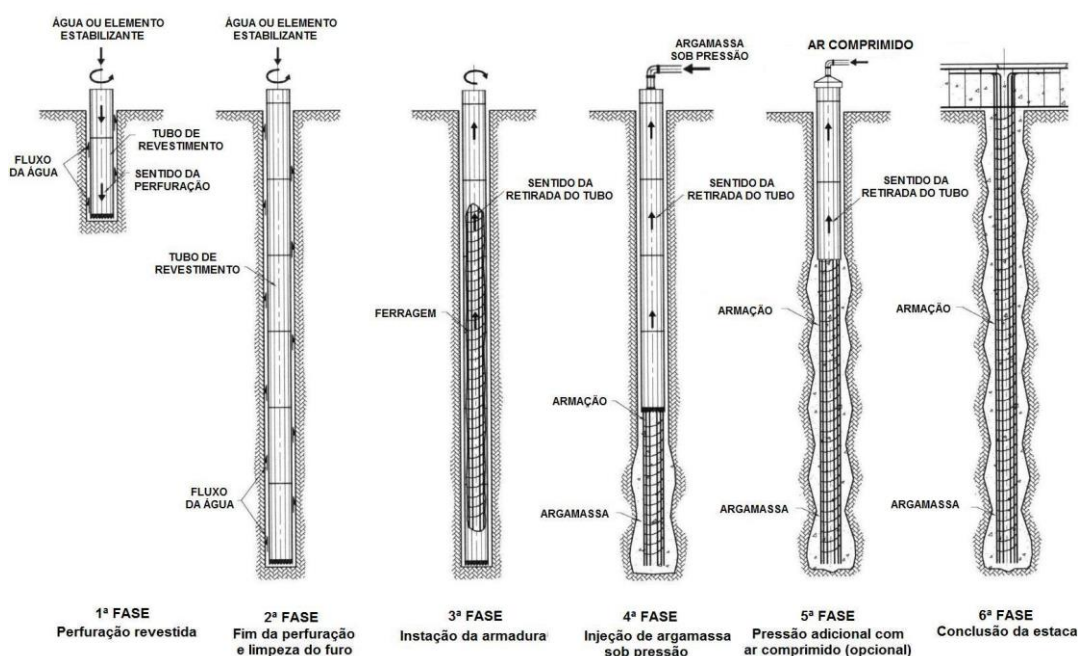


Figura 1. Processo executivo da estaca injetada tipo raiz.

Fonte: Segre (2018).

3. Materiais e Métodos

3.1 Amostragem

A amostragem foi composta no total de 54 corpos de prova de 100 x 200 mm de argamassa moldadas *in loco*, em conformidade com a norma ABNT (NBR 5738, 2015). Foram confeccionados 18 repetições para ensaiar nas idades de 7, 14 e 28 dias com as seguintes características: 100% de areia natural (CPN), 100% de areia artificial (CPA), e 50% de areia natural e 50% de areia artificial (CPNA), considerando a mesma relação a/c (água/cimento). A variação da idade da amostragem contribuirá para a criação de modelos de



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



correlações entre resistência mecânica e idade dos corpos de prova de argamassa, através do desempenho de cada tipo de agregado miúdo.

3.2 Características dos materiais

Para confecção dos traços realizados *in loco* foi utilizada água potável, cimento Portland do tipo CP II-E-32, comumente utilizado em elementos estruturais, agregado miúdo natural quartzoso (areia média lavada) Figura 2 (a), e agregado miúdo artificial de origem mineralogia granítica, escolhido devido ser um dos mais abundantes do Brasil Figura 2 (b).



Figura 2. Agregado miúdo utilizado (a) areia natural, (b) areia artificial granítica.

Fonte: Autores (2020).

A caracterização dos agregados foi realizada segundo as recomendações das normas para agregado miúdo NBR (NM 248:2003; NM 52:2009; NM 45:2006, NM 30:2001), estando os resultados conforme (Tabela 2) dentro dos limites de aceitabilidade, de acordo à NBR 7211:2009.



Tabela 2:

Caracterização dos agregados miúdos (NM 248:2003).

Peneira abertura (mm)	% de material retido acumulado		
	Natural	Artificial	Natural + Artificial
4,8	0	0	0
2,4	4	3	3
1,2	15	35	21
0,6	36	57	51
0,3	78	71	77
0,15	99	87	98
Fundo	100	100	100
Diâmetro máximo (mm)	2,4	2,4	2,4
Módulo de Finura	2,32	2,53	2,50
Massa específica (kg/dm ³) - (NM 52:2009)	2,62 kg/dm ³	2,70 kg/dm ³	2,65 kg/dm ³
Massa unitária (kg/dm ³) - (NM 45:2006)	1,45 kg/dm ³	1,55 kg/dm ³	1,52 kg/dm ³
Material pulverulento (NM 46/2001)	0,84 %	0,92 %	0,76 %
Absorção (%) – (NM 30:2001)	0,63	0,42	0,51
Teor de umidade %	7,8	4,5	5,6
Classificação	Zona ótima	Zona ótima	Zona ótima

Fonte. Autores (2020).

3.3 Preparação e características do concreto dos corpos de prova

De acordo com NBR 6122 (2019), a resistência mínima de argamassa para estaca raiz é de 20 Mpa aos 28 dias, e consumo mínimo de cimento de 600 kg/m³, para relação a/c entre 0,5 a 0,6. O traço básico utilizado seguiu as recomendações de Silva (2018) para dosagem realizada *in loco*, ao qual possui as seguintes proporções entre os seguintes materiais (1 saco de cimento, 65 litros de areia e 30 litros de água, representando a relação água/cimento de 0,6).

Como a argamassa possui fim estrutural os ensaios no estado fresco foram realizados seguindo os parâmetros NBR 15823-4 (2017) para CAA (Concreto auto adensável), através de *Slump-Flow*. Não foi utilizado nenhum tipo de aditivo durante a confecção dos traços experimentais, sendo que após um período de 24 horas os corpos de prova de argamassa foram curados ao ar livre, protegidos contra ações climáticas durante o período de 7, 14 e 28 dias até a realização dos ensaios. Após a moldagem dos corpos de prova 100x200 mm realizado *in loco*, no período de 7, 14 e 28 dias a massa das amostras foi determinada por pesagem em balança de precisão com resolução de 0,1 g e as dimensões mensuradas com paquímetro digital para o cálculo do volume e, assim, as densidades dos corpos de prova foram calculadas.

Após aos 28 dias foi realizado o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade definido pela NBR 9779 (2012). Foram colocadas três amostras para cada tipo de areia em recipiente submetidos a temperatura ambiente de modo que ficassem afastadas do fundo e o nível de água permanecesse constante a (5 ± 1) mm acima de face inferior do corpo de prova. As massas dos corpos de prova para as leituras para 3, 6, 24, 48 e 72 horas. Após a última pesagem, os corpos de prova foram rompidos por compressão diametral, conforme



resistência à tração à compressão diametral NBR 7222 (2011), de modo a permitir a verificação da distribuição de água em seu interior.

3.4 Ensaio estático de compressão

Os ensaios foram realizados em máquina hidráulica, seguindo as especificações de acordo norma brasileira, sendo realizado para cada 6 amostras ensaio de resistência à compressão (f_c) calculado de acordo com a Equação (3) sugerido pela (NBR 5739, 2018). Para cálculo da resistência característica à compressão da argamassa (f_{ck}) de acordo com a Equação (5), utilizou-se o desvio padrão (s) utilizado igual a 4,0 MPa, devido os materiais serem dosados em massa e a água de amassamento ser corrigida em função da correção da umidade dos agregados. Os corpos de prova foram instrumentados com extensômetros de resolução de 0,01 mm, para a determinação do módulo de elasticidade (E_{ci}) calculado de acordo com a norma brasileira (NBR 8522, 2017) Equação (6).

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2} \quad (1)$$

$$f_{t,D} = \frac{2.F}{D.L} \quad (2)$$

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65.s \quad (3)$$

$$E_{ci} = \frac{\sigma_b^{-0.5}}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \quad (4)$$

Onde: f_c = Resistência à compressão do corpo de prova (MPa); F = força máxima alcançada (N); $f_{t,D}$ = resistência à tração por compressão diametral e cálculo; D = diâmetro do corpo de prova (mm); L = comprimento do corpo de prova (mm); f_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão (MPa); f_{cm} = Média aritmética dos valores de f_c (MPa); s = Desvio padrão (MPa). σ_b = tensão (MPa) obtida com 30% da resistência à compressão; 0,5 = valor da tensão de referência inicial (MPa); ε_b e ε_a = deformações específicas do concreto sob a tensão correspondente a 30% da resistência à compressão e sob a tensão de referência inicial, respectivamente.

4 Resultados e Discussão

4.1 Propriedades físicas e mecânicas das amostras

As densidades médias das argamassas produzidas variaram de acordo com os diferentes tipos de areia, devido seus pesos específicos e capacidade de absorção água e teor de umidade, interferindo em sua plasticidade conforme apresentada pelo *slump flow* (Figura 3), utilizando tronco de cone NBR NM 67 (1998). A Tabela 3 demonstra os valores do *slump flow* antes da realização da moldagem das amostras e as respectivas densidades dos corpos de provas nos períodos de 7, 14 e 28 dias. A elaboração dos traços procurou manter sempre a mesma metodologia de dosagem realizada *in loco*, não houve a correção do teor de umidade,



considerando a água contida no agregado miúdo para verificar sua influência na trabalhabilidade e resistência da argamassa.

Tabela 3:

Valores de *slump* e de densidade média dos concretos produzidos com agregados de diferentes origens mineralógicas e fatores água-cimento.

Tipo de areia	<i>Slump Flow</i>	Densidade média CP (kg.m ⁻³)		
	(mm)	7 dias	14 dias	28 dias
CPN - areia natural	780	2043	2127	2156
CPA - areia artificial	680	2189	2195	2208
CPNA – areia natural e artificial	720	2140	2178	2192

Fonte. Autores (2020).

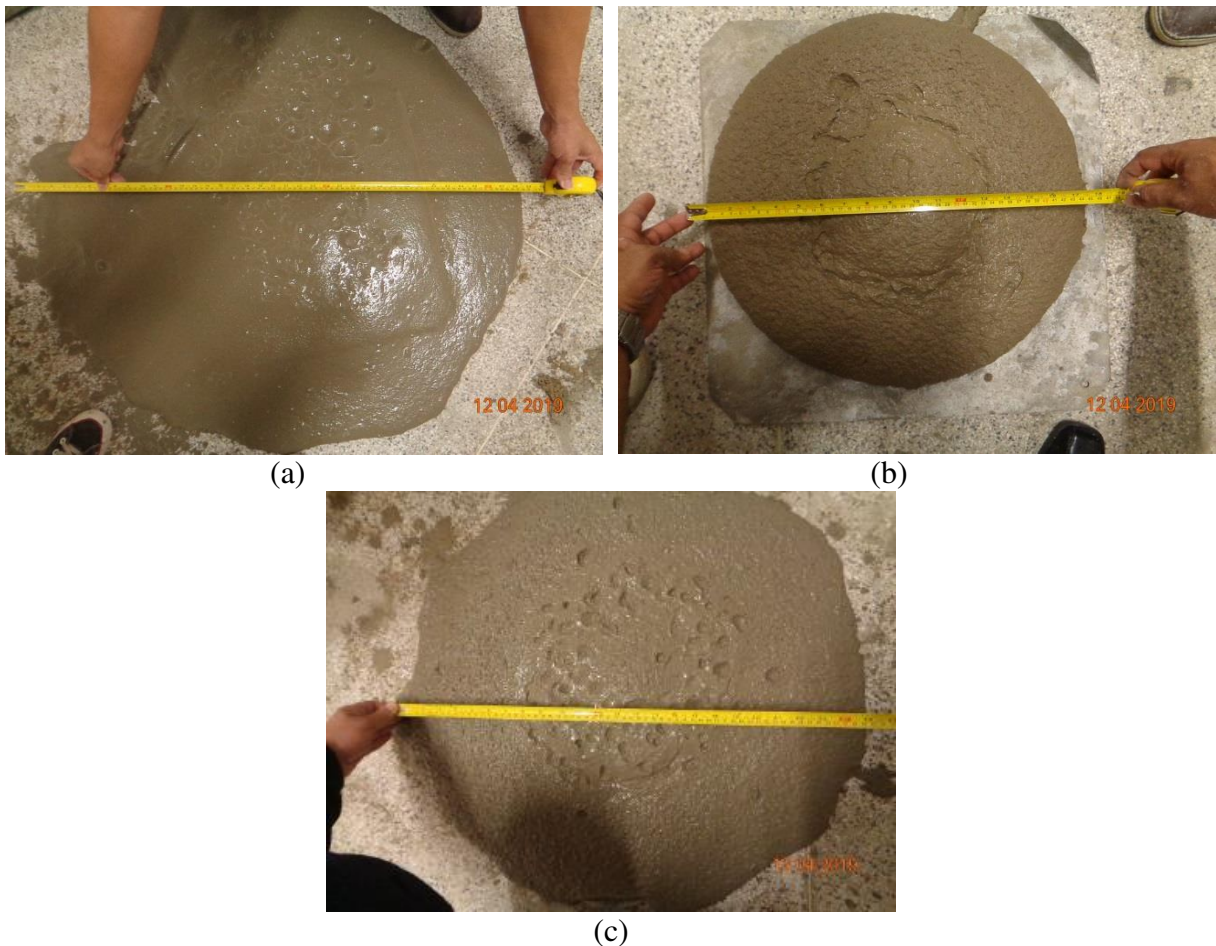


Figura 3. *Slump Flow* das argamassas: (a) 100% de areia artificial, (b) 100 % de areia artificial, (c) 50% de areia natural e 50% de artificial.

Fonte. Autores (2020).

Apesar das variações, os valores de todas as densidades estão dentro dos limites considerados normais para argamassa, de 2000 kg.m⁻³ a 2800 kg.m⁻³, segundo norma brasileira (ABNT NBR 9778, 2015).



Em relação aos valores do ensaio de espalhamento (*slump flow test*) obtidos na Tabela 3, a NBR 15823-2 (2017) classifica a argamassa de areia natural como SF 3 (entre 760 mm a 850 mm), indicada para estruturas com alta densidade de armadura. A areia artificial enquadra-se na classe SF 1, sugerido pela norma como uma argamassa específica para fundações profundas e com baixa taxa de armadura. Em relação à consistência das argamassas avaliada pelo *slump flow test*, observou-se que as argamassas com areia de britagem, absorveram maior quantidade de água reduzindo a trabalhabilidade em função do elevado teor de finos (material pulverulento).

A Figura 4 demonstra os resultados médios da absorção capilar pelo método NBR 9779 (2012), analisados em 3 corpos de prova de cada espécie de areia, avaliado nos tempos de 3, 6, 24, 48 e 72 horas. Também são expostos os resultados médios da altura máxima (h) que a água atingiu no interior do corpo de prova, representado pela Figura 5.

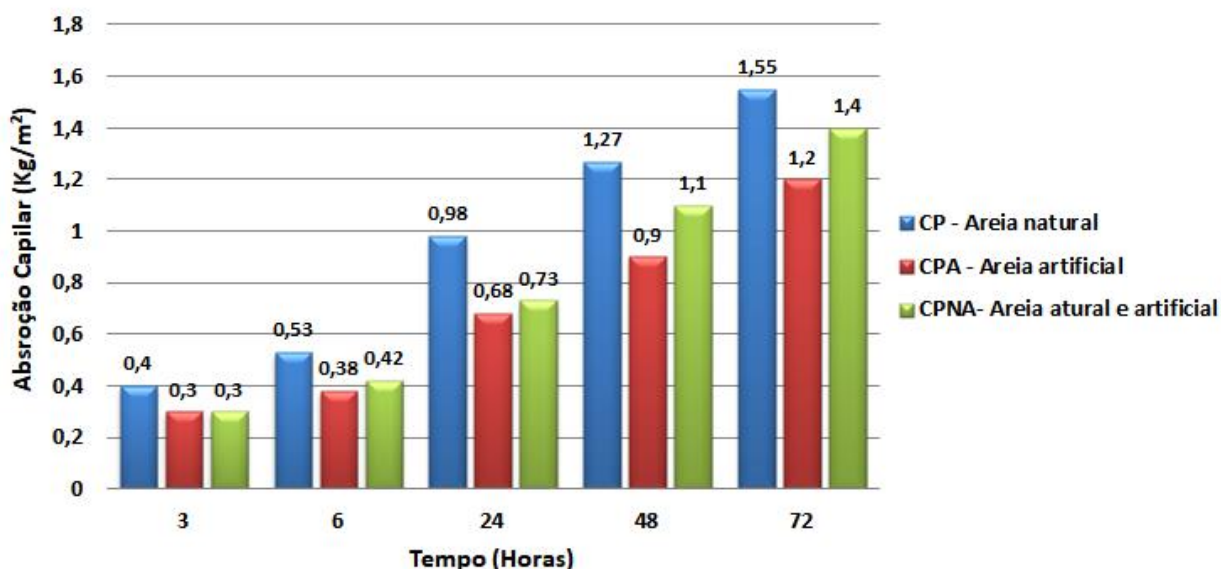


Figura 4. Resultados de absorção capilar para as argamassas produzidas com 100% de areia natural, 100% de areia artificial e 50% areia natural e 50% de areia artificial.

Fonte. Autores (2020).

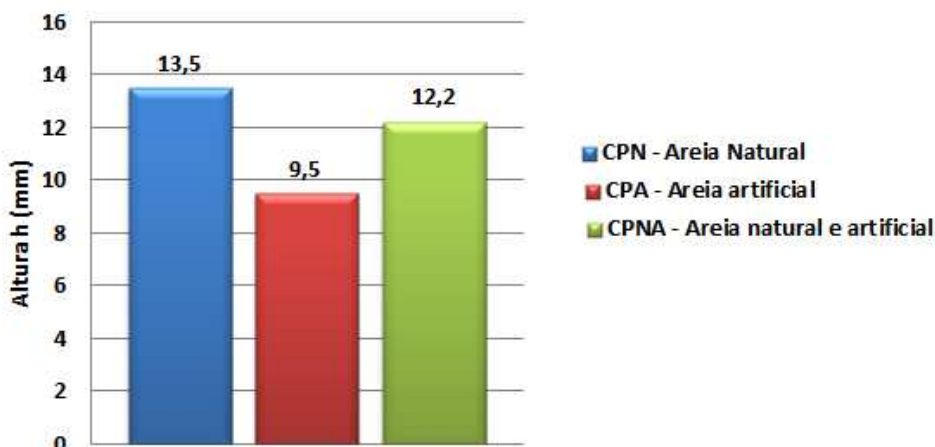


Figura 5. Altura média d' água dos corpos de provas de argamassas produzidos com 100% de areia natural, 100% de areia artificial e 50% areia natural e 50% de areia artificial.

Fonte. Autores (2020).



Observa-se que a absorção capilar para a areia artificial de brita é em geral de 25 a 30% menor em relação à amostra natural, demonstrando que a distribuição granulométrica da areia artificial com maior representação na zona ótima e a maior concentração de material pulverulento contribuem para menor absorção. Camarini e Ishikawa (2004) também chegaram à mesma conclusão em seus estudos, demonstrando que a argamassa produzida com agregado miúdo artificial melhora a plasticidade, diminui o teor de ar aprisionado e contribui para o aumento da massa específica.

A baixa massa específica da areia natural de acordo com a Tabela 2 contribuiu para a maior absorção. Segundo Silva (2005) para argamassa produzida com areia de baixa massa específica, possui maior teor de ar aprisionado contribuindo para maior absorção.

As Figuras 6, 7 e 8 indicam os resultados médios da resistência à compressão (f_c), resistência à tração por compressão diametral (f_t, D) e módulo de elasticidade (E_{ci}) das amostras produzidas com areia natural e artificial.

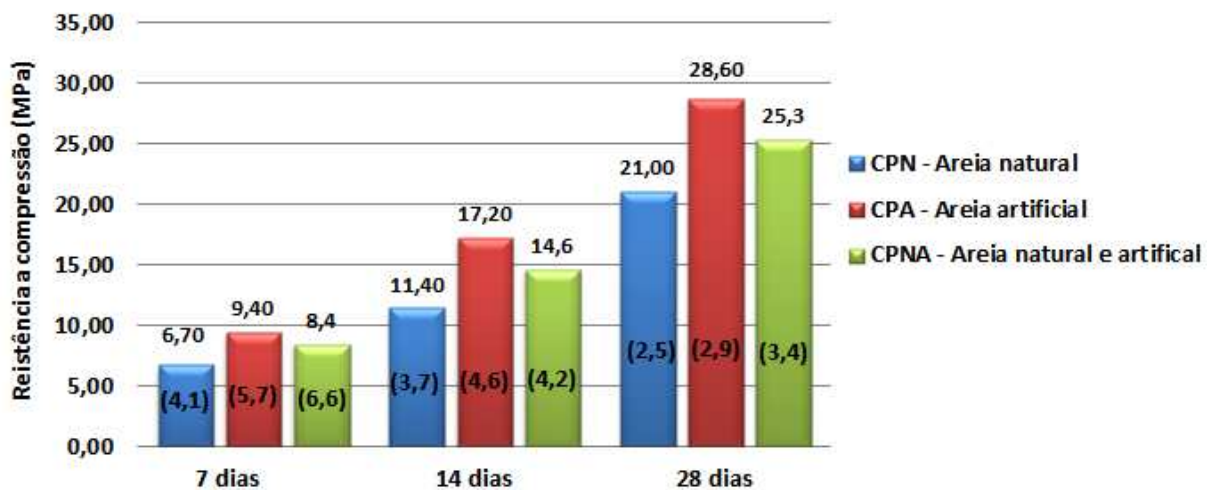


Figura 6. Resultados obtidos para ensaio de resistência a compressão simples (f_c) para os corpos de provas CPN – areia natural, CPA – areia artificial e CPNA – areia natural e artificial. Onde: Valores em parênteses representam o coeficiente de variação das amostras.

Fonte. Autores (2020).

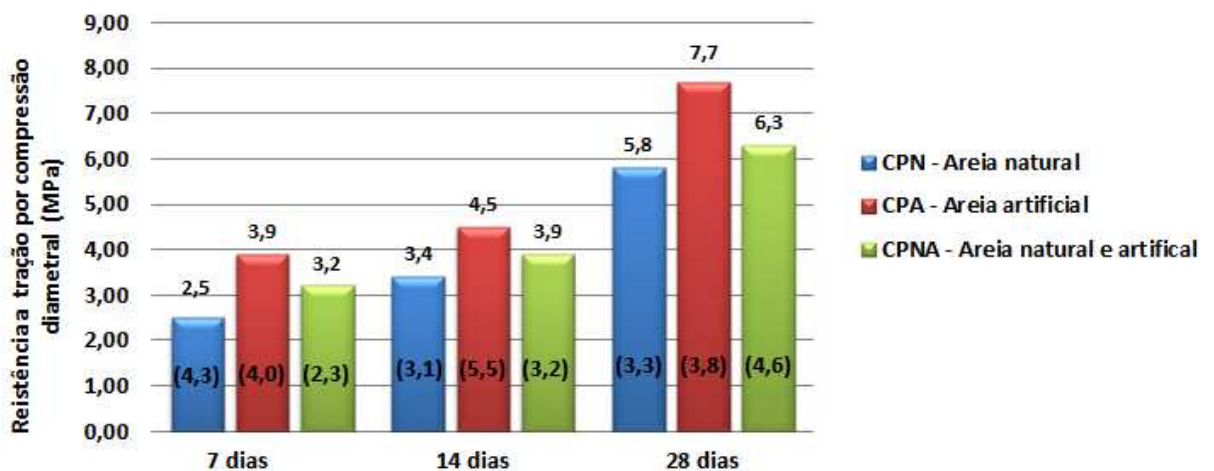


Figura 7. Resultados obtidos para ensaio de resistência a tração por compressão diametral (f_t, D) para os corpos de provas CPN – areia natural, CPA – areia artificial e CPNA – areia natural e artificial. Onde: Valores em parênteses representam o coeficiente de variação das amostras.

Fonte. Autores (2020).

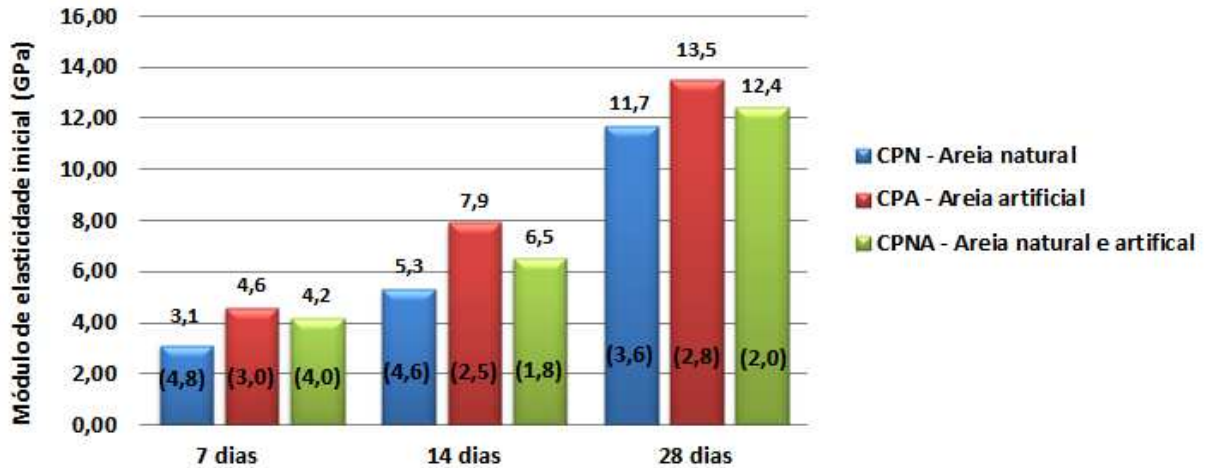


Figura 8. Resultados obtidos para módulo de elasticidade (Eci) para os corpos de provas CPN – areia natural, CPA – areia artificial e CPNA – areia natural e artificial. Onde: Valores em parênteses representam o coeficiente de variação das amostras.

Fonte. Autores (2020).

O módulo de finura e a distribuição granulométrica da areia artificial permite o maior preenchimento dos espaços vazios entre as partículas da argamassa, tendo, assim, um empacotamento dos grãos resultando um aumento tanto na resistência à compressão quanto à tração. O aumento da resistência esta associado à diminuição da absorção, determinando que independentemente do teor de substituição uma maior compacidade da argamassa permite a obtenção de resistências mais elevadas. De acordo com Fabro et al. (2012) a superioridade das resistências das argamassas com areia artificial pode ser atribuída ao maior fechamento dos poros proporcionado pelo material pulverulento presente no pó-de-pedra.

A variabilidade dos resultados através do coeficiente de variação indica a baixa variabilidade dos resultados, onde em geral para valores inferiores a 25%, a amostra é considera aceita estatisticamente.

A partir dos ensaios realizados pode-se concluir que a porosidade da pasta de cimento apresenta-se como fator fundamental na variabilidade do módulo de elasticidade, pois a maior presença do teor de umidade para areia artificial favorece aumento da porosidade, com maior ocorrência de microfissuras durante os ensaios reduzindo, portanto o módulo de elasticidade.

A Figura 9 apresenta os resultados das argamassas avaliadas correlacionando o valor de resistência a compressão das argamassas (f_c) com módulo de elasticidade inicial (Eci), demonstrando correlações altamente significante com coeficiente de regressão R^2 acima de 99% para todas as amostras ensaiadas com diferentes tipos e quantidades de agregados miúdo.

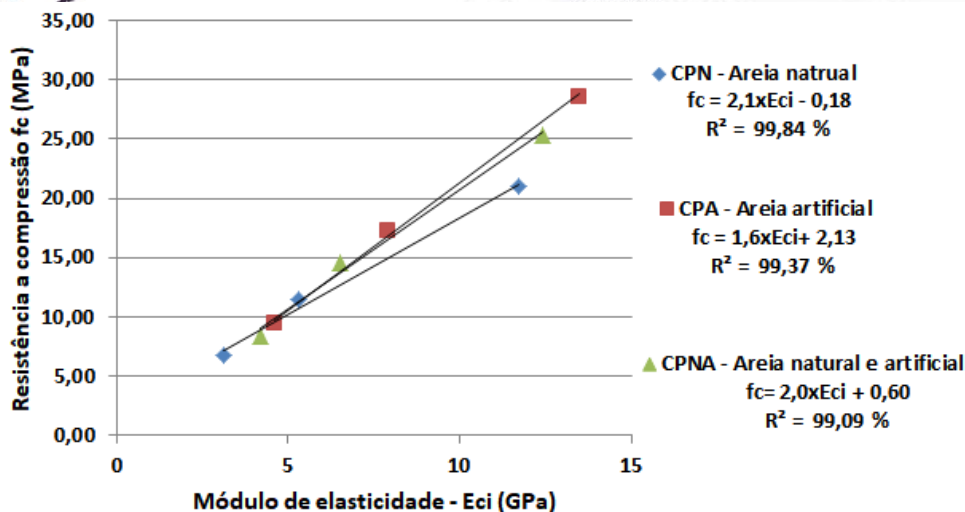


Figura 9. Correlação entre a resistência à compressão simples (fc) e módulo de elasticidade (Eci) para os corpos de provas CPN – areia natural, CPA – areia artificial e CPNA – areia natural e artificial.

Fonte. Autores (2020).

Observando-se a Figura 10, nota-se que a correlação resistência à compressão (fc) e resistência a tração por compressão diametral (ft,D), para amostras de argamassas CPN – areia natural e CPNA – areia natural e artificial, com um coeficiente de correlação R² acima de 99% %, apesar da amostra CPA – areia artificial possuir correlação R² de 92,97%, as duas variáveis de resistência são altamente significante.

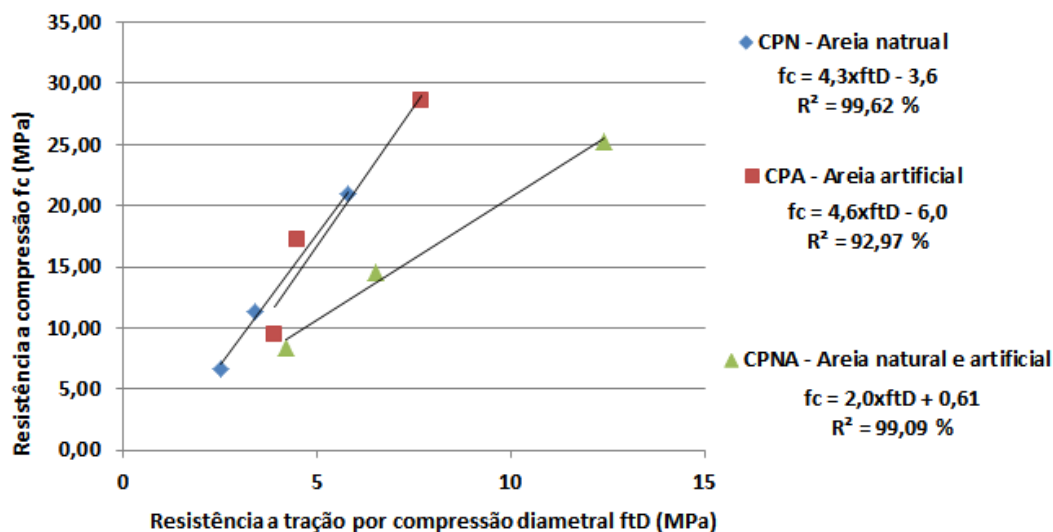


Figura 10. Correlação entre a resistência à compressão simplea (fc) e resistência a tração por compressão diametral (ft,D), para os corpos de provas CPN – areia natural, CPA – areia artificial e CPNA – areia natural e artificial.

Fonte. Autores (2020).



4.2 Viabilidade técnica e econômica com areia artificial

Do ponto de vista financeiro, o uso da utilização da areia artificial na produção de argamassa para estaca do tipo raiz, pode trazer benefícios não somente para as construtoras, mas também para as cidades, em função da redução dos impactos ambientais. Uma das grandes vantagens da areia artificial é que a sua produção é realizada em pedreiras localizadas próximas aos grandes centros urbanos, reduzindo o seu custo em função de sua logística. A Tabela 4 apresenta um comparativo dos custos por m³ dos agregados miúdo de origem natural e artificial, através de quatro fornecedores localizados na região metropolitana de São Paulo, com o objetivo reduzir a influência dos custos referentes ao frete destes materiais, permitindo melhor comparação entre os preços levantados.

Tabela 4:

Comparativo de custos entre areia natural e artificial na cidade de São Paulo.

Tipo de Agregado	Preço dos Fornecedores por região R\$/m ³				Análise estatística		
	Zona Norte	Zona Leste	Zona Oeste	Zona Sul	Média R\$/m ³	Desvpad	C.V (%)
Areia natural	65,00	68,00	72,00	75,00	70,00	4,40	6,28
Areia artificial	35,00	31,00	37,00	39,00	35,50	3,42	9,62

Onde: Desvpad (Desvio Padrão); C.V (coeficiente de variação).

Observação: valores obtidos em relação ao 2º semestre de 2019.

Fonte. Autores (2020).

Os resultados indicam que o agregado miúdo artificial britado além de melhorar as propriedades mecânicas da argamassa, também contribui com a viabilidade econômica, por meio da comparação de preços entre os agregados naturais. Oferecendo as empresas especializadas em fundações especiais uma alternativa diferente do emprego apenas da areia natural na confecção de argamassa para estaca do tipo raiz.

5. Conclusões

A utilização de areia artificial possui contribuição ambiental pelo fato de sua utilização eliminar um rejeito do processo de britagem dando um fim adequado, reduzindo os danos causados pela exploração, não encontrado na produção da areia natural nos leitos.

Na produção de argamassa, considerando o mesmo traço variando-se o tipo agregado miúdo e mantendo a mesma proporção, o ensaio de *slump flow*, constatou-se que espelhamento aumentava conforme fosse utilizando agregados miúdos com maior teor de umidade e menor quantidade de material pulverulento finos.

O aumento dos parâmetros mecânicos para areia artificial esta associado à diminuição da absorção atribuída ao maior fechamento dos poros proporcionado pela concentração de material pulverulento, independentemente do teor de substituição uma maior compacidade da argamassa permite a obtenção de resistências mais elevadas.

A vantagem econômica da utilização da areia artificial está no valor unitário do metro cúbico garantindo a elaboração de uma composição de preço com custos mais baixos, comparando-se a uma composição de preço de argamassa estrutural confeccionado apenas com areia natural de rio.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR NM 67. (1998). *Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.

_____. NBR NM 248 (2003). *Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM 30 (2001): *Agregado miúdo - Determinação da absorção de água*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 9778. (2005). *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.

_____. NBR NM 45. (2006). *Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 7211 (2009). *Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.

_____. NBR NM 52. (2009). *Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 7222. (2011). *Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 9779. (2012). *Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção da água por capilaridade*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 12655. *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5738. *Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5738. (2016). *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15823-2: *Concreto auto-adensável. Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams*. Rio de Janeiro, 2017.

_____. ABNT NBR 15823-4: *Concreto auto-adensável. Parte 4: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L*. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 8522. (2017). *Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação a compressão*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 5739. (2018). *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro.

_____. NBR 6122. (2019). *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.



- Barbosa, R. A., Alvarenga, R. C. S. S., Junior, A. N. C., Ferreira, R. T. L., Rodrigues, L. M., Castro, L. O., Garcia, R. B., & Santos, J. (2015). *Análise Comparativa de Métodos de Obtenção do Módulo de Elasticidade para Concreto Preparado com Areias Natural e Artificial*. *Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal)* ISSN 1983-4071,24 (1): 151 – 161, jan. – jun.
- Barbosa, M. T. G., Coura, C. V. G., Mendes, L. O. (2008). *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.
- Barreto, M. L. (2001). *Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 215p.
- Bastos, S. R. B. (2002). *Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais*. Dissertação Universidade Federal de Santa Catarina. p.136.
- Camarini, G., & Ishikawa, P. H. (2004). *Propriedade de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural*. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. (2002) *Extração de areia*. Brasília, 17 de out. [<http://www.dnpm.gov.br/>]
- Fabro, F., Gava, G. P., Grigoli, H. B., & Meneghetti, L. C. (2011). *Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto*. *Revista IBRACON de estruturas e materiais*, 4(2), 191-212.
- Neville, A. M. (1997). *Propriedades do concreto*. (2.ed.). São Paulo: Pini.
- Reis, F. A. G. V; Franco, A. C. M.; Peres, C. R.; Bronzel, D.; Rafaela, E.; Pontes, F. F. F.; Guizard, J.; Rafaldini, M. E.; & Giordano, L.C. (2005). *Diagnóstico Ambiental Em Minerações De Areia E Argila No Rio Jaguari Mirim*, Município De São João Da Boa Vista.
- Silva, L. S.; Demetrio, J. C. C; & Demetrio, F. J. C. (2015). *Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confecção de Concreto Simples*. International Workshop Advances in Cleaner Production – Academic Work.
- Silva, N. G., Buest, G., & Campiteli, V. C. (2005). *Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas*. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais... CD ROM. Florianópolis, 12-22.
- Silva, R. R. C. da. (2018). *Previsão da capacidade de carga em estaca raiz através de métodos-semi empíricos associados a análises estatísticas*. *Revista CIATEC-UPF*, v. 10, n. 2.
- Sintoni, A. (1994). *A mineração no cenário do município de São Paulo: mercado e novas tecnologias*. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. Anais.São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo,. p.



VIII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability
ISSN: 2317-8302

8TH INTERNATIONAL CONFERENCE



31-42.

Sodré, J.R. (2000). *Caracterização Tecnológica das Areias Naturais e Artificiais de Campo Grande –MS. Florianópolis*. Monografia apresentada no Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Takashima, S., Bauer, R. J. F., & Curti, R. (1998). *Estudo de Concretos Preparos com Agregado Miúdo Artificial e Areia Silicosa*. Reibrac 40 – Reunião Anual do IBRACON, São Paulo.

Wagner, A. (2002). *A eleição presidencial e a mineração*. Gazeta Mercantil. 20 de setembro. p. A3.