ANÁLISE COMPARATIVA DA DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO DE AREIA NATURAL, INDUSTRIAL E RECICLADA POR MÉTODOS EXPERIMENTAIS NAS CONDIÇÕES SECA E ÚMIDA

Tema: Tecnologia dos materiais.
Grupo[1]: 2

NAYARA S. KLEIN[1], VILMAR S. MALAGUTI[2], VIVIANE PELISSARI[3], HELOISA F. CAMPOS[4], ELIZIANE JUBANSKI[5]

[1] Professora PhD Engenheira Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, nayaraklein@ufpr.br
[2] Engenheiro Ambiental MSc, CIA de Cimento Itambé, engvmalaguti@gmail.com
[3] Engenheira Civil MSc, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR, vivianepelissari@hotmail.com
[4] Professora MSc Engenheira Civil, Universidade Federal do Paraná/UFPR, heloisacampos@ufpr.br
[5] Engenheira Civil MSc, Universidade Federal do Paraná/UFPR, elizianej@hotmail.com

RESUMO

Otimizar o esqueleto granular permite reduzir o consumo de pasta de cimento. A presença de água, comumente desprezada na análise do empacotamento das areias, altera a densidade de empacotamento. O objetivo do presente estudo é comparar a densidade de empacotamento de areias natural, industrial e reciclada e verificar o efeito da compactação e da presença de água na densidade de empacotamento desses agregados. Os resultados demonstram que a presença de água colaborou para o aumento da densidade de empacotamento, devendo ser considerada a densidade de empacotamento da areia na condição úmida para a produção de concretos e argamassas.

Palavras-chave: empacotamento de partículas, agregado miúdo, areia, densidade de empacotamento na condição úmida.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PACKIND DENSITY OF NATURAL, INDUSTRIAL AND RECYCLED SAND BY EXPERIMENTAL METHODS IN THE DRY AND WET CONDITIONS

ABSTRACT

Optimizing the granular skeleton allows to reduce the consumption of the cement paste. The water, commonly neglected in the analysis of packing density, changes the packing density of sands. The objective of the present study is to compare the packing density of natural,

[1] **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

industrial and recycled sands and to verify the effect of compaction and the presence of water in the packing density of these aggregates. The results demonstrate that the presence of water contributed to increasing the packing density. Thus, the wet packing density of sand should be considered for the production of concretes and mortars.

Key-words: particle packing, fine aggregate, sand, wet packing density.

1. INTRODUÇÃO

Uma forma de reduzir as emissões de CO_2 advindas do uso de cimento Portland é a otimização do esqueleto granular dos agregados, a fim de reduzir o consumo de pasta[1]. Nesse contexto, o conhecimento da densidade de empacotamento dos agregados é importante, pois um menor índice de vazios entre as partículas irá resultar em uma menor demanda de pasta para preencher estes vazios.

Atualmente, são usados como agregados miúdos em concretos e argamassas a areia natural, industrial e reciclada. Tanto os agregados industriais, provenientes da britagem de rochas, quanto os agregados reciclados, apresentam forma irregular, com arestas vivas e podendo ser mais lamelares que agregados naturais[2]. Este fato irá influenciar na densidade de empacotamento dos diferentes tipos de agregados[3,4].

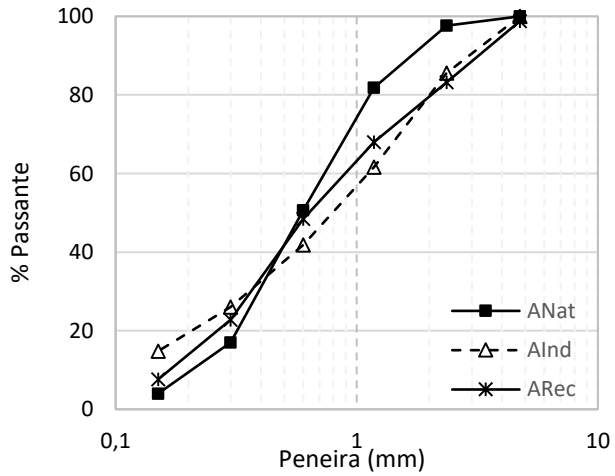
Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é comparar a densidade de empacotamento de areias natural, industrial e reciclada. Pretende-se verificar a influência da água na densidade de empacotamento dos três tipos de areia através de ensaio experimental realizado nas condições seca e úmida. O efeito da compactação na densidade de empacotamento será também avaliado.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

As curvas granulométricas das areias natural (A_{Nat}), industrial (A_{Ind}) e reciclada de resíduos de concreto (A_{Rec}) foram determinadas segundo a NBR NM 248[5], apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição granulométrica das areias estudadas



Fonte: Autores

A Tabela 1 mostra algumas características e propriedades destes agregados miúdos, tais como: massa específica segundo a NBR NM 52[6], massa unitária segundo a NBR NM 45[7] e índice de material pulverulento segundo a NBR NM 46[8].

Tabela 1 – Características e propriedades das areias estudadas.

Propriedades		A_{Nat}	A_{Ind}	A_{Rec}
Massa específica (kg/m³)		2.600	2.600	2.450
Massa específica aparente (kg/m³)		2.571	2.498	2.412
Massa unitária (kg/m³)	Método A - NBR NM 45[19]	1.249	1.456	1.390
	Método C - NBR NM 45[19]	1.190	1.130	1.290
Material pulverulento (%)		2,2	7,8	16,6

A partir da Figura 1 verifica-se que as curvas das areias industrial e reciclada são bastantes próximas umas das outras, demonstrando uma distribuição de tamanho de grãos similar. Já a areia natural apresenta-se levemente mais fina, com um maior percentual de material passante nas peneiras 1,2 e 2,4 mm. Apesar disto, o percentual de material pulverulento apresentado pela areia natural é menor, como mostra a Tabela 1, o que advém do processo de britagem do qual são provenientes as areias industrial e reciclada.

2.2. Método

A densidade de empacotamento na condição seca (β_{Seco}) foi determinada segundo a Equação (1), sendo ME a massa especifica e MU a massa unitária do material ensaiado.

$$\beta_{Seco} = 1 - \frac{M_E - M_U}{M_E} \quad (1)$$

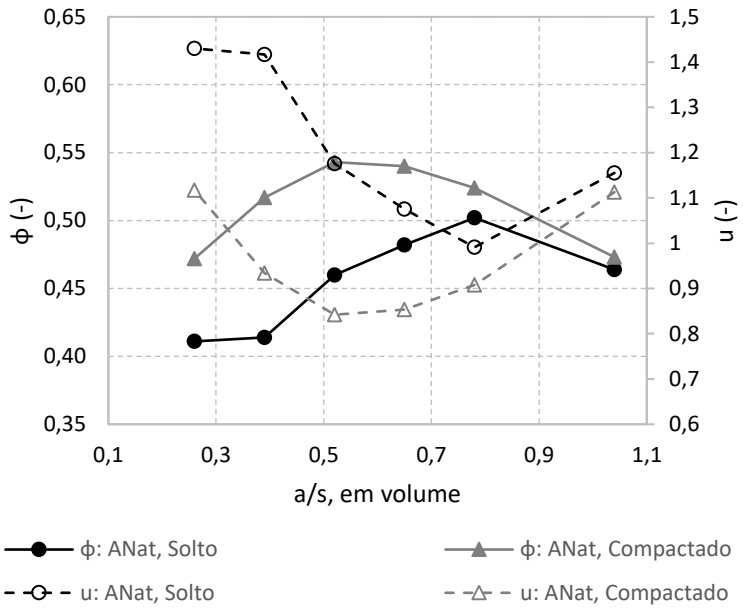
A densidade de empacotamento na condição úmida foi determinada segundo método proposto por[9,10,11], sendo esta correspondente à maior concentração de sólidos encontrada ao ensaiar-se misturas do agregado com diferentes proporções de água. A ausência de compactação (estado solto) consistiu no simples preenchimento do recipiente de ensaio, molde cilíndrico de 894 ml, enquanto a aplicação de compactação (estado compactado) consistiu no preenchimento do recipiente em três camadas, sendo aplicados 25 golpes com soquete metálico em cada camada. Repetiu-se este procedimento sucessivamente, com diferentes relações água/sólidos (a/s), até que a concentração de sólidos máxima foi encontrada. Iniciou-se o processo de mistura com a escolha aleatória de uma relação a/s elevada, próxima a 1,0 em volume, sendo esta diminuída progressivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 a 4 mostram os resultados de concentração de sólidos e relação de vazios das misturas produzidas com as areias natural, industrial e reciclada, respectivamente. Para cada

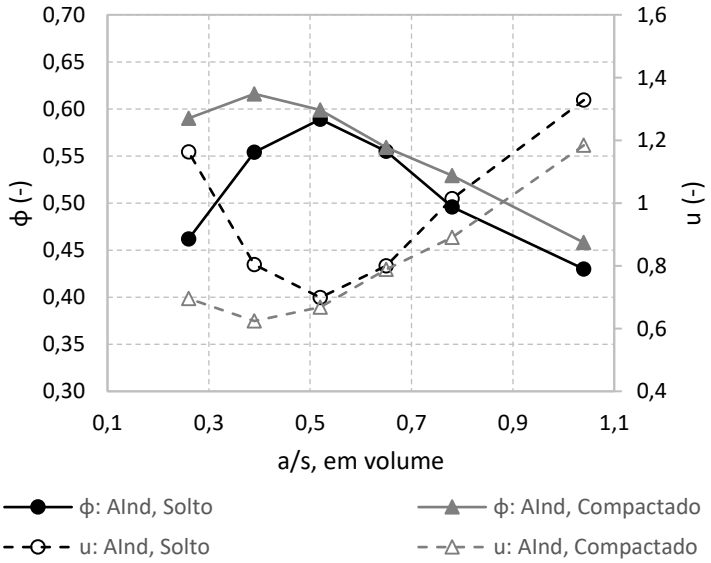
areia estudada, são apresentados os resultados considerando o estado solto e compactado. A concentração de sólidos máxima apresentada por cada areia é tomada como a densidade de empacotamento de partículas do material na condição úmida.

Figura 2 - Concentração de sólidos (ϕ) e relação de vazios (u) para a areia natural



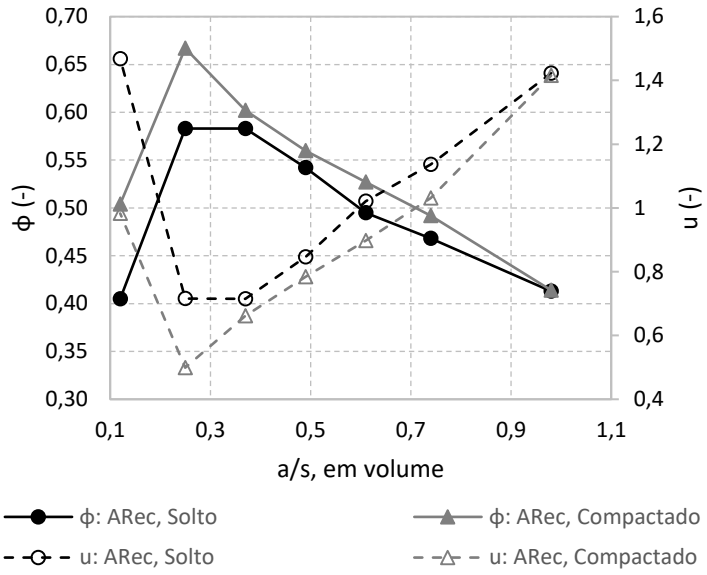
Fonte: Autores

Figura 3 - Concentração de sólidos (ϕ) e relação de vazios (u) para a areia industrial



Fonte: Autores

Figura 4 - Concentração de sólidos (ϕ) e relação de vazios (u) para a areia reciclada



Fonte: Autores

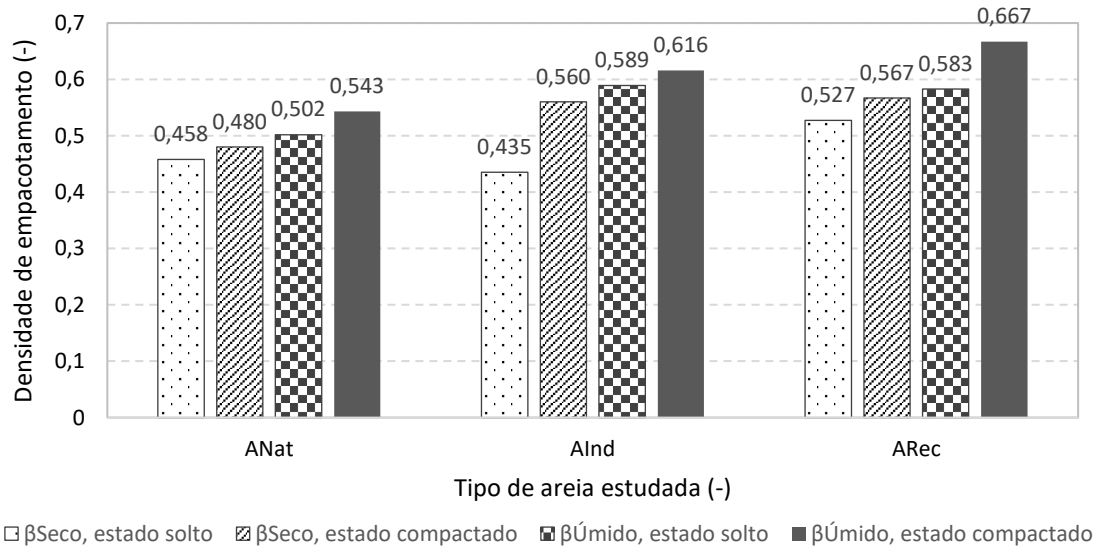
A partir das Figuras 2 a 4 verifica-se que a densidade de empacotamento na condição úmida, tanto em estado solto quanto compactado, foi menor para a areia natural, quando comparado com as outras duas areias. Isso justifica-se pela areia natural apresentar o menor teor de material pulverulento (Tabela 1), que auxilia no preenchimento dos vazios e, consequentemente, na concentração de sólidos. Os resultados encontrados determinam a densidade de empacotamento na condição úmida, estado solto, igual a 0,502 para a areia natural, 0,589 para a areia industrial e 0,583 para a areia reciclada, sendo os dois últimos valores bastante próximos. Isto pode justificar-se, pois as curvas granulométricas dos dois materiais, areias industrial e reciclada, são bastante semelhantes.

No caso de aplicar-se compactação aos agregados úmidos, as densidades de empacotamento sobem para 0,543 para a areia natural, 0,616 para a areia industrial e 0,667 para a areia reciclada. Observa-se que o aumento de densidade de empacotamento ao aplicar-se compactação foi mais acentuado para a areia reciclada, devido a maior porcentagem de material pulverulento que esta apresenta. O material pulverulento, por ser fino, pode sofrer mais fortemente a influência das forças de atração de Van der Waals, formando aglomerados, os quais são bastante sensíveis à aplicação de energia advinda da compactação. Desse modo, a diferença entre os resultados de densidade de empacotamento para as areias industrial e reciclada passam a ser mais pronunciados, com um aumento mais significativo para a areia reciclada.

Quanto à relação de vazios (relação entre volume de vazios e volume de sólidos), o valor mínimo encontrado para cada areia é tomado como valor representativo do material. Verifica-se que esta relação de vazios foi maior para a areia natural, comportamento inverso ao observado para a densidade de empacotamento, como já era esperado dado que as duas variáveis são inversamente proporcionais.

Os resultados de densidade de empacotamento das areias, nas condições seca e úmida e nos estados solto e compactado, são apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Densidade de empacotamento das areias



Fonte: Autores

A partir dos resultados apresentados na Figura 5, verifica-se que a medida que se aplica compactação aos agregados, a densidade de empacotamento aumenta. Esse comportamento é válido para os agregados tanto na condição seca quanto úmida, conforme já era esperado. A compactação diminui o índice de vazios do material particulado, por meio da aplicação de energia, promovendo maior contato entre os grãos e aumentando, assim, a densidade de empacotamento.

A presença de água também colaborou para aumentar a densidade de empacotamento das areias. Alguns fatores podem ser apontados para justificar este fato, conforme já apresentado na literatura[11], os quais ressaltam que a água atua como lubrificante entre as partículas de areia, fazendo com que estas deslizem entre si, diminuindo o atrito existente entre as partículas do material seco e facilitando a ocupação de espaços pelos grãos. Além disso, a água desenvolve forças capilares nos pontos de contato entre grãos que mantêm as partículas unidas, conferindo certa coesão à mistura. Por fim, a presença de água interfere na

intensidade das forças de atração de Van der Waals, que causam aglomeração das partículas finas e consequente diminuição da densidade de empacotamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as três areias estudadas, a presença de água alterou o valor obtido para a densidade de empacotamento das partículas, aumentando esta densidade. Desse modo, para uso em concretos e argamassas, onde a água está presente, pode ser de interesse a determinação da densidade de empacotamento da areia na condição úmida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DAMINELI, B.L. PILEGGI, R.G. JOHN, V.M. Lower binder intensity eco-efficient concretes, **Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering**, p. 26-44, 2013.

2. KWAN, A.K.H. NG, P.L. HUEN, K.Y. Effects of fines content on packing density of fine aggregate in concrete, **Construction and Building Materials**, v.61, p.270-277, 2014.

3. DE SCHUTTER, G. POPPE, M.P. Quantification of the water demand of sand in mortar, **Construction and Building Materials**, v.18, p.517-521, 2004.

4. GONÇALVES, J.P. TAVARES, L.M. TOLEDO FILHO, R.D. FAIRBAIRN, E.M.R. CUNHA, E.R. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars, **Cement and Concrete Research**, v.37, p.924-932, 2007.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

9. WONG, H.H.C. KWAN, A.K.H. Packing density of cementitious materials: part 1- measurement using a wet packing method, **Materials and Structures**, v.41, p.689–701, 2008.

10. KWAN, A.K.H. WONG, H.H.C. Packing density of cementitious materials: part 2- packing and flow of OPC + PFA + CSF, **Materials and Structures**, v.41, p.773–784, 2008.

11. FUNG, W.W.S. KWAN, A.K.H. WONG, H.H.C. Wet packing of crushed rock fine aggregate, **Materials and Structures**, v.42, p.631–643, 2009.