INFLUÊNCIA DA CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS NAS PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Rafael Almeida Santana[(1)], Henrique Almeida Santana[(2)], Cleidson Carneiro Guimarães[(3)]

(1) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - rafael.almeidasantana@hotmail.com;

(2) Universidade Federal da Bahia - almeidahen@gmail.com;

(3) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - cleidsonguimaraes@ufrb.edu.br.

RESUMO

O esgotamento das jazidas de agregados naturais próximo aos grandes centros urbanos e as restrições ambientais à sua extração tem se tornado um fator dificultante para obtenção deste material. Entretanto, existe uma crescente disponibilidade de areia de britagem, tornando pertinente a compreensão do seu comportamento em matrizes cimentícias. Estabeleceu-se um programa experimental onde, realizou-se a caracterização de dois agregados naturais e uma areia de britagem, aplicando-os individualmente ou combinados em argamassas. As argamassas produzidas com a utilização de areia de britagem e agregados combinados (naturais e de britagem) destacaram-se por apresentarem propriedades melhores quando comparadas com as argamassas produzidas somente com agregados naturais.

Palavras-chave: Composição granulométrica, areia natural, areia de britagem.

STUDY OF THE INFLUENCE OF GRANULOMETRIC CORRECTION OF AGGREGATES IN THE PROPERTIES OF THE MORTAR

ABSTRACT

The depletion of the deposits of natural aggregates near the great urban centers and the environmental restrictions to its extraction has become a difficult factor to obtain this material. However, there is a growing availability of manufactured sand, making it pertinent to understand their behavior in cemented matrices. An experimental program was established where the characterization of two natural aggregates and one manufactured sand was realized, applying them individually or combined in mortars. The mortars produced with manufactured sand and combined aggregates (naturals and manufactured) were distinguished by their better properties when compared to mortars produced only by natural aggregates.

Key-words: Granulometric composition, natural sand, manufactured sand.

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados da Agência Nacional de Mineração, 2016, a areia de leito de rio é a mais utilizada entre as areias naturais, enquanto que, entre as artificiais, a areia de britagem é a que apresenta maior consumo[1]. Entretanto, as restrições ambientais à retirada de areia dos leitos de rios e a elevada distância de transporte entre jazidas naturais e regiões metropolitanas, são razões que impulsionaram o crescente consumo de um subproduto da produção de brita, a areia de britagem. Uma vez que sua produção pode ser realizada em pedreiras próximas ao seu consumo, este material já é utilizado para produção de concretos e argamassas em todo o mundo[2,3].

Recentemente, diversas pesquisas foram direcionadas para a utilização de agregados alternativos aos agregados naturais. Estudos sobre a utilização de rejeito de minério de ferro na produção de concreto de alto desempenho, evidenciando a possibilidade de substituir em até 40% o agregado convencional por esse material[4]. Ainda nesse sentido, pesquisa avaliando a substituição de agregados naturais por agregados de concreto reciclado em argamassas, mostraram que as argamassas produzidas com agregados reciclados não obtiveram o mesmo desempenho mecânico que as argamassas produzidas com agregados naturais[5]. Ambos os estudos evidenciaram a necessidade de aprofundadas avaliações nas propriedades da matriz ao inserir um material alternativo.

Com a diversidade dos agregados disponíveis, torna-se fundamental o estudo de suas propriedades, pois, suas características podem atuar no desempenho das matrizes cimentícias, afetando a trabalhabilidade no estado fresco e a microestrutura no estado endurecido[6]. As Argamassas que necessitam de boa trabalhabilidade e elevada compacidade podem ser obtidas por meio do controle da distribuição granulométrica, proporção adequada de finos, índice de forma do agregado e controle da relação água/cimento.

Amenta *et al.* ressaltam que o emprego da correta seleção dos grãos dos agregados promove o reaproveitamento de resíduos da cadeia produtiva da mineração, reduzindo o uso da areia natural, diminuindo os impactos causados na sua extração e reduzindo o custo, já que as areias produzidas no processo de britagem são geralmente mais baratas [6].

Considerando a importância da intervenção na formulação de matrizes granulométricas, tornando-as mais compactas, e produzindo matrizes cimentícias mais resistentes e duráveis, este trabalho propôs avaliar o desempenho da areia de britagem e a influência da distribuição granulométrica definida pela

NBR 7211[8] e proposto por Lobo Carneiro[9], nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Utilizou-se o cimento Portland (CP II-Z-32), dois agregados naturais com diferentes granulometrias e regionalmente conhecidos na região do Recôncavo da Bahia por areia branca (AB) e areia lavada (AL). Utilizou-se também a areia de britagem (ABR), agregado artificial produzido em britador de impacto. As caracterizações granulométricas dos agregados determinadas conforme NBR NM 248[10] são exibidas na Figura 1 e melhores distinguidas pela Figura 2.

Figura 1 – Distribuição granulométrica da AL, AB e da ABR.

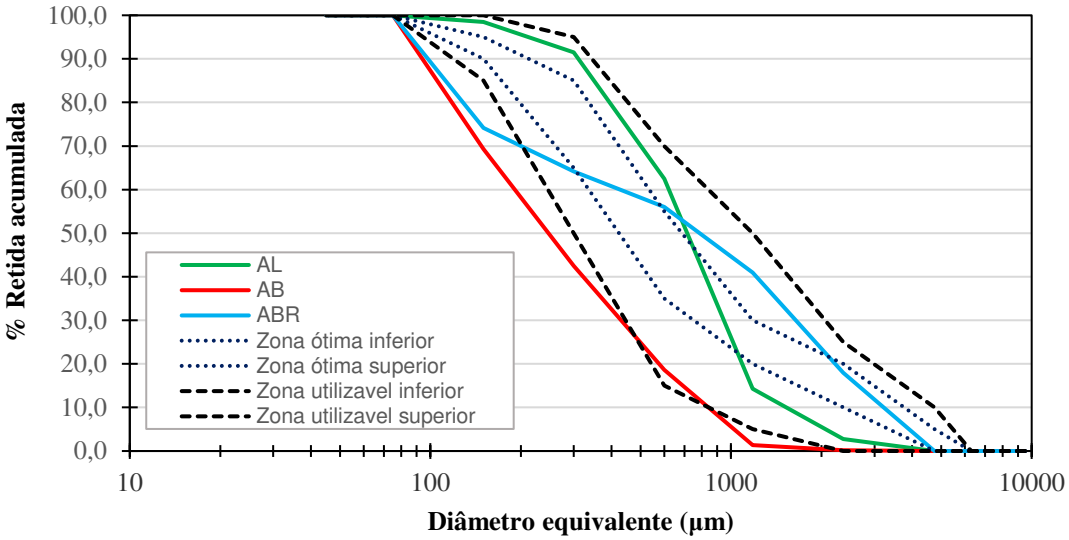
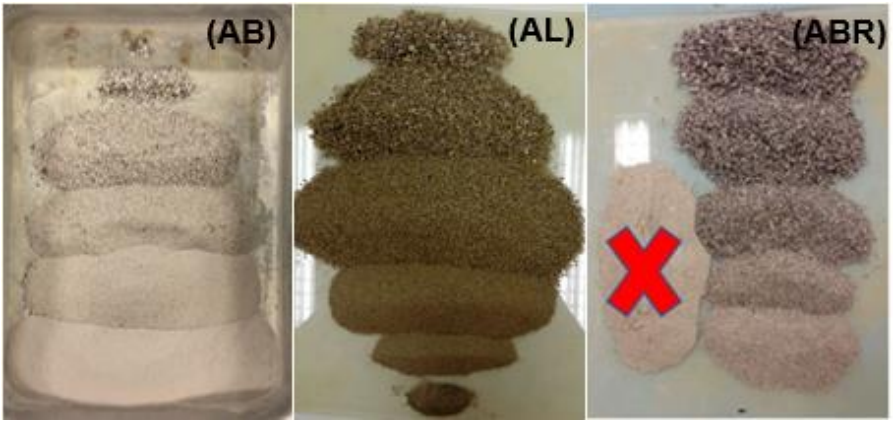


Figura 2 – Frações granulométricas dos três agregados naturais utilizados (AB, AL e ABR).



Optou-se por descartar a fração passante na peneira 75 µm da ABR, pois essa fração poderia influenciar na obtenção da composição contemplada pelos limites da NBR 7211[8], inviabilizando o objetivo do presente trabalho.

2.2 Métodos

Com a caracterização granulométrica dos agregados e utilizando o software Excel, foram geradas curvas que representam os intervalos da zona utilizável e da zona ótima, de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2009). Realizou-se posteriormente duas composições granulométricas., pelo método iterativo, que consiste em sucessivas tentativas e erros, até que se obtenha a melhor proporção de cada uma das areias, por meio do software acima citado.

A composição C1 foi determinada utilizando apenas os dados da caracterização granulométrica das areias naturais (AB e AL). Em seguida as areias foram misturadas nas proporções pré-determinadas pelo software. Para a segunda composição (C2), repetiu-se o processo utilizando os três agregados (AB e AL e ABR). Para a areia de britagem foi descartado o material passante na peneira 0,15 µm por apresentar uma quantidade elevada de material pulverulento, o que impossibilitava a adequação desta curva aos limites da zona ótima.

Para o preparo das argamassas, seguiu-se os procedimentos da NBR 7215[11], utilizou-se o traço 1:3 (aglomerante/agregado), indicado pela mesma norma. Determinou-se os índices de consistência (flow table) das argamassas conforme a NBR 13276[12]. O ensaio consistiu em fixar o espalhamento requerido da argamassa em 255 mm ± 10 mm, considerado padrão por Silva[13], possibilitando determinar a relação água/cimento necessária para alcançar esse espalhamento.

Corpos de prova cilíndricos com 50 mm x 100 mm (diâmetro x altura) foram moldados conforme a NBR 7215[11], seguido de cura ao ar por 24 horas e cura submersa em água saturada com cal por 27 dias. Os corpos de prova foram produzidos em 5 grupos: AAB - argamassa com areia branca, AAL- argamassa com areia lavada, AABR – argamassa com finos de britagem, AC1 – argamassa com a composição 1 e AC2 argamassa com a composição 2. Após a cura, realizou-se o ensaio para determinação da resistência à compressão axial de acordo com a NBR 7215[11] e da absorção de água por imersão conforme a NBR 9778 [14].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composições dos agregados

Analisando as distribuições granulométricas dos agregados e das composições exibidos na Tabela 1, nota-se que os agregados naturais apresentam diferentes características granulométricas e que não se encaixam completamente nos limites ótimos e utilizáveis estabelecidos pela NBR 7211[8].

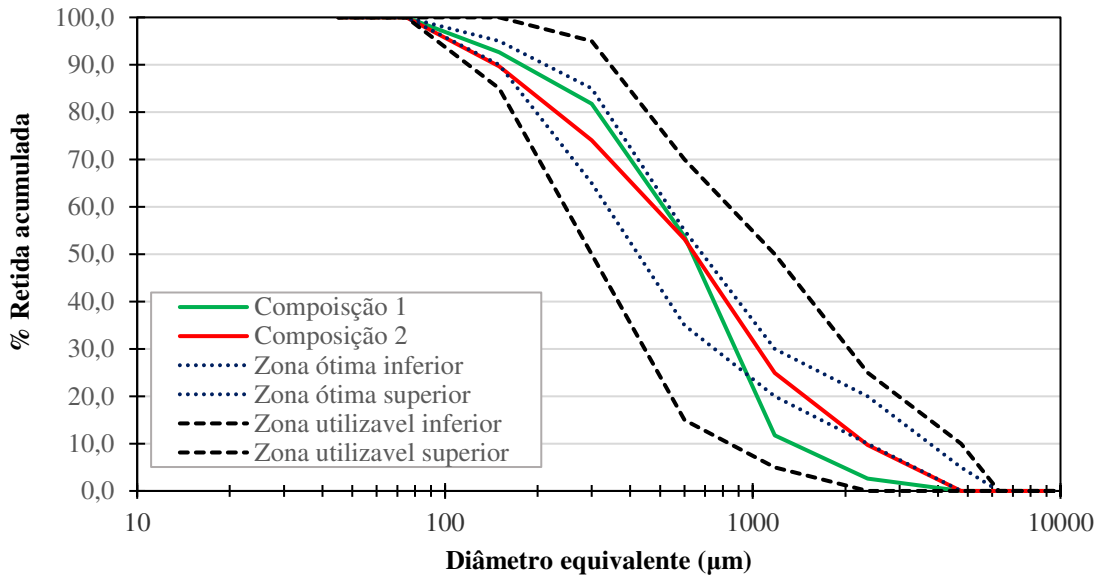
A composição 1 (C1) da areia AB com a areia AL, que melhor se ajustou aos limites da NBR 7211[8] foi a combinação de 20% da areia AB e 80% da areia AL, enquanto que a melhor composição das três areias (AB, AL e ABR) foi 32% da areia AB, 32% da areia AL e 36% da ABR.

Tabela 1 – Caracterização física dos agregados utilizados

Limites estabelecidos conforme a ABNT NBR 7211 [8]		Peneiras (µm)						
		4750	2360	1180	600	300	150	75
Zona utilizável	Lim. inferior (%)	0	0	5	15	50	85	90
	Lim. superior (%)	10	25	50	70	95	100	100
Zona ótima	Lim. inferior (%)	0	10	20	35	65	90	100
	Lim. superior (%)	5	20	30	55	85	95	100
Areia branca	Retida acumulada (%)	0	0,16	1,38	18,65	42,52	69,33	100
Areia lavada	Retida acumulada (%)	0	2,78	14,31	62,49	91,53	98,45	100
Areia de britagem	Retida acumulada (%)	0	17,99	40,96	56,03	64,18	74,14	100
Composição 1	Retida acumulada (%)	0	2,6	11,73	53,72	81,73	92,63	100
Composição 2	Retida acumulada (%)	0	9,68	24,91	53,17	74,06	89,69	100

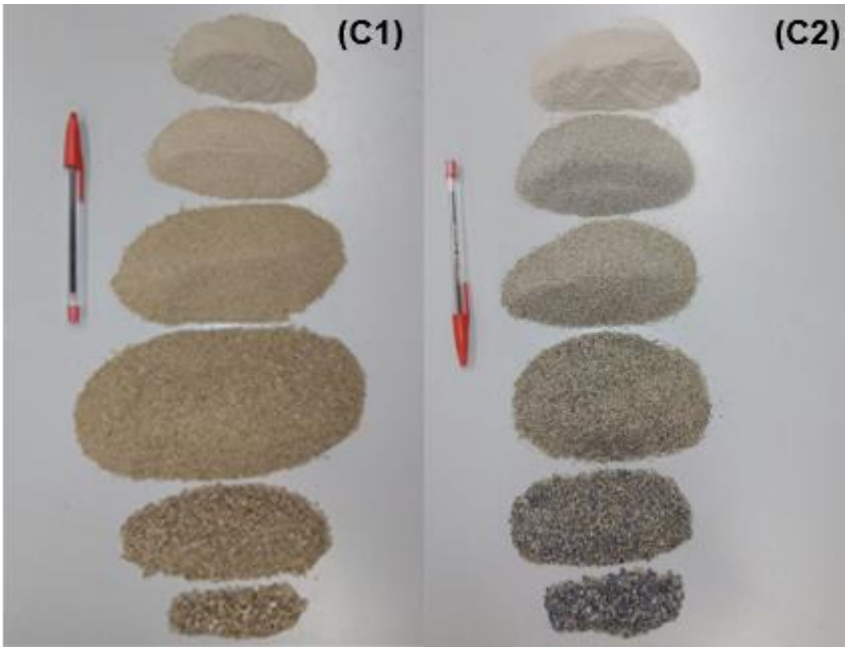
Analisando a Figura 3, observa-se que a granulometria da C1 se encontra totalmente inserida na zona utilizável, entretanto, não se encaixou totalmente na zona ótima. A composição C2 apresenta melhor aproximação ao centro dos limites da zona ótima proposta pela NBR 7211.

Figura 3 – Distribuição granulométrica da composição C1 e da composição C2



Comparando as curvas granulométricas das duas composições, nota-se a importância da inserção da areia de britagem (ABR) na obtenção de um agregado mais próxima aos limites normatizados. Essa influência está relacionada com a maior proporção de materiais retidos nas peneiras 2360 µm e 1180 µm da ABR, frações que são encontradas em menores proporções nos agregados naturais (AL e AB). Na Figura 2 observa-se as frações granulométricas da composição 1 (C1) e da composição 2 (C2), evidenciando a composição de distintos agregados em ambas as distribuições.

Figura 4 – Distribuição granulométrica da composição 1 e da composição 2



3.2 Avaliação das propriedades da argamassa

3.2.1 Consumos de água das argamassas no estado fresco

As diferentes relações água/cimento para as diferentes argamassas utilizadas na pesquisa, obtidas por meio do espalhamento das argamassas, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 –Determinação da relação a/c por meio do espalhamento médio das argamassas

Amostra	Espalhamento Médio (mm)	DP	CV (%)	Relação a/c
AAB	261,56	4,38	1,67	0,53
AAL	256,86	4,83	1,88	0,54
AABR	263,50	0,23	0,09	0,51
AC1	263,83	5,61	2,12	0,48
AC2	260,00	4,39	1,69	0,50

Em que: AAB - Argamassa com Areia Branca; AAL - Argamassa com Areia Lavada, ABR - Argamassa com Areia de Britagem, AC1 - Argamassa com Composição 1 e AC2 - Argamassa com Composição 2.

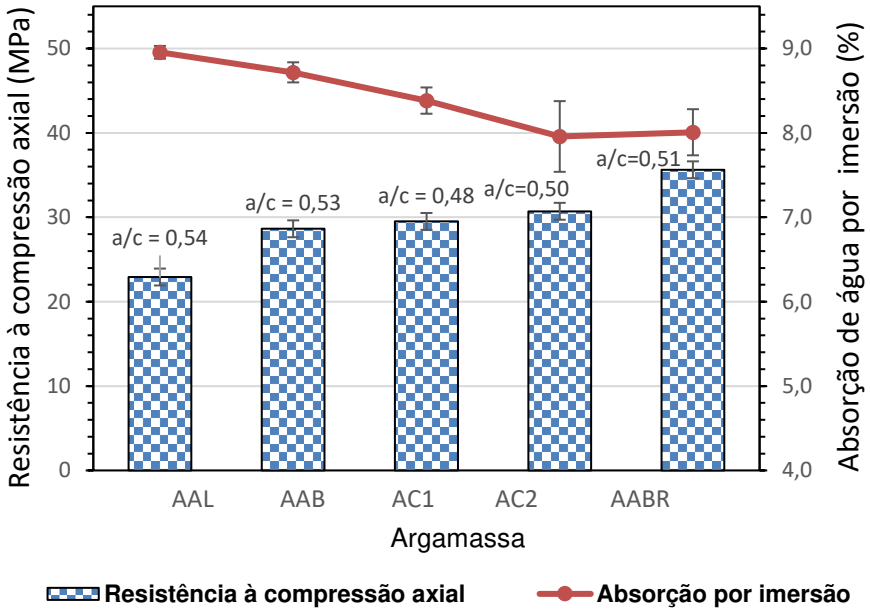
Estes resultados evidenciam que as argamassas produzidas com as composições granulométricas (C1 e C2) necessitam de menor consumo de água para obter a mesma consistência que as argamassas produzidas pelos demais agregados.

Funk e Dinger[15] ressaltam que a eficiência do empacotamento das partículas é inversamente proporcional à viscosidade do escoamento da matriz, quase toda a água disponível é usada para molhar as superfícies das partículas, reduzindo o atrito entre os grãos, além de reduzir os vazios e consequentemente a quantidade de água nos poros. Estas constatações associadas ao menor consumo de água das composições (C1 e C2) é um indicativo de que a composição dos agregados pode estar melhorando o arranjo granulométrico da matriz. Entretanto, melhores evidências seriam obtidas por meio das massas específicas absolutas dos agregados.

3.2.2 Resistências à compressão axial

Na Figura 5 observa-se o comportamento da resistência à compressão axial e da absorção de água das argamassas em estudo. Nota-se também uma tendência do aumento de resistência à compressão axial à medida que ocorre redução da absorção de água.

Figura 5 – Resistência à compressão axial x absorção de água por imersão das argamassas em avaliação



A AABR destacou-se por apresentar elevada resistência e reduzida absorção de água por imersão, quando comparado com as demais argamassas. A AAL apresentou comportamento inverso, com menor resistência e maior absorção de água. Após a realização da análise de variância (ANOVA), confirmou-se que há uma diferença significativa entre os grupos de ambas as propriedades avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3 – Confiança estatística para a resistência à compressão axial e para a absorção de água por meio de análise de variância (ANOVA)

Propriedade	SQ	GL	MQ	F	valor-P	Fc	Efeito significativo
Resistência à compressão (MPa)	498,85	4,00	124,71	35,80	5,216E-10	2,76	SIM
Absorção de água por imersão (%)	4,55	4,00	1,14	25,37	1,745E-08	2,76	SIM

Nota: SQ = Soma Quadrada; GL = Graus de liberdade; MQ = Média quadrada; F = Valor calculado de F; Valor – P = Nível de significância; Fc = F Crítico; Se p < 5% e Fc < F, o efeito é significativo, considerando o intervalo de confiança de 95%.

Complementando a ANOVA, o teste estatístico de Tukey, para a resistência à compressão axial, evidenciou que as argamassas AAB, AC1 e AC2 não apresentaram variação significativa de desempenho, ademais, pode-se comprovar o baixo desempenho da AAL e o alto desempenho da

AABR. O teste Tukey confirmou também que as argamassas AABR e AC2 apresentaram menor absorção de água, e que a variação de absorção entre essas duas argamassas não é significativa.

O comportamento da AABR converge com Gonçalves *et al.*[3], os autores explanaram que as propriedades das argamassas produzidas com agregados artificiais britados por impacto apresentam o potencial de possuir resistência superior e absorção inferior que argamassas produzidas por agregados naturais. Contudo, necessita-se de minuciosas avaliações físicas, mecânicas e mineralógicas do agregado para se obter melhores constatações sobre sua influência nas propriedades da argamassa.

Sabe-se que quanto maior a relação água/cimento, maior a porosidade da matriz e menor a resistência mecânica, desta forma, o resultado do ensaio de consistência em relação a resistência à compressão axial é um indicativo que a maior relação água/cimento, obtida pela (AAL) influenciou na menor resistência à compressão axial da argamassa.

A baixa absorção de água da argamassa produzida com a composição dos três agregados (AC2) reforça a hipótese que o ajuste dos agregados nos limites ótimos da NBR 7211[8] melhora o empacotamento das partículas. Entretanto, essa influência não foi efetiva no comportamento mecânico, não obtendo resistência superior à argamassa produzida por um dos agregado natural (AAB).

A argamassa produzida apenas com a composição dos agregados naturais (AC1) apresentou maior absorção de água quando comparado com a AC2, convergindo com a analise granulométrica, onde a composição C1 está menos adequada aos limites da zona ótima da NBR 7211[8], indicando um menor empacotamento das partículas. Análogo a AC2, a possível ação do empacotamento de partícula também não foi significantemente efetiva no desempenho mecânico dessa argamassa.

4. CONSLUSÕES

A proposta do presente trabalho consistiu em avaliar a influência da areia de britagem e dos agregados compostos conforme os limites da NBR 7211[8] nas propriedades das argamassas. Com os resultados dos ensaios realizados neste trabalho, pode-se concluir que:

A areia de britagem proporcionou melhor desempenho mecânico e menor absorção de água nas argamassas, quando comparadas com as argamassas produzidas por agregados naturais. Entretanto, ainda existe carência na compreensão das propriedades deste agregado.

A argamassa produzida com a composição dos três agregados apresentou menor consumo de água e reduzida absorção de água, indicando a ação de empacotamento das partículas, entretanto o desempenho mecânico não foi relevantemente influenciado.

A argamassa produzida com a composição apenas dos agregados naturais também apresentou reduzido consumo de água, entretanto, a possível ação do empacotamento de partícula não foi significativamente efetiva nas propriedades da argamassa, ressaltando-se que esta composição encontra-se parcialmente nos limites da NBR 7211[8].

Haja visto que a areia de britagem é um subproduto da produção da brita, evidencia-se a possibilidade da utilização deste agregado em argamassa, bem como a utilização em associação com agregados naturais.

5. REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). LIMA, T. M., NEVES, C. A. R. (Coord.). **Sumário Mineral**. 135p. Brasília, 2016.
2. SBRIGHI NETO. Agregados para Concreto. In: ISAÍA, G.C. (Ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** São Paulo: IBRACON, 2005.
3. 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**, 37(6), 924-932, 2007.
4. ZHAO, S.; FAN, J.; SUN, W. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 540-548, 2014.
5. ZHAO, Z.; REMOND, S.; DAMIDOT, D.; E XU, W. Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 179-186, 2015.
6. AMENTA, M.; KARATASIOS, I.; MARAVELAKI-KALAITZAKI, P.; KILIKOGLOU, V. The role of aggregate characteristics on the performance optimization of high hydraulicity restoration mortars. **Construction and Building Materials**, v. 153, p. 527-534, 2017.
7. ROMANO, R. C. O.; TORRES, D. R.; PILEGGI, R. G. Impact of aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars. **Construction And Building Materials**, v. 82, p.219-226, 2015.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
9. LOBO CARNEIRO, F. L. B. Dosagem de Concreto. Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro, 1953.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

13. SILVA, N. G. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Curitiba. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, 2006.

14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro, 2005.

15. FUNK, James E.; DINGER, Dennis R. Predictive process control of crowded particulate suspensions: applied to ceramic manufacturing. **Springer Science & Business Media**, 2013.