

Application of iron ore mud in powder form in portland cement presence

Aplicação de lama de minério de ferro em forma de pó na presença de cimento portland

P. B. ARISTIMUNHO ^a
peterson_ba@hotmail.com

S. R. BERTOCINI ^b
bertocini@nin.ufms.br

Abstract

Among the products generated in the processing of iron ore, the mud washing, in most cases, is stored in tailing dams without a commercial use. This study aimed to evaluate, at the technical point of view, the application of mud washing iron ore in Portland cement mortar. Specimens were molded with varied proportions of cement, sand and mud washing in powder and then submitted to physical and mechanic tests. The results showed that the replacement of sand by the mud washing (emphasis to 20% substitution) improved the mechanical performance of mortars. It evidences the technical feasibility of the material under study.

Keywords: mortar, waste, iron ore.

Resumo

Dentre os produtos gerados no beneficiamento do minério de ferro, a lama de lavagem, na maioria dos casos, é armazenada em barragens de rejeitos sem um aproveitamento comercial. O presente trabalho buscou avaliar, do ponto de vista técnico, a aplicação desse resíduo na forma de pó em argamassa de cimento Portland. Desta forma, foram moldados corpos-de-prova com variadas proporções de cimento, areia e pó de minério de ferro e, posteriormente, submetidos a ensaios físicos e mecânicos. Os resultados demonstraram que as substituições da areia pelo resíduo (destaque para a substituição de 20%) melhoraram o desempenho mecânico das argamassas. Isso demonstra a viabilidade técnica do material em estudo.

Palavras-chave: argamassa, resíduo, minério de ferro.

^a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Hidráulica e Transportes, peterson_ba@hotmail.com, Cidade Universitária S/N, Bairro Universitário, Campo Grande /MS, CEP 79070-900;

^b Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Departamento de Estruturas e Construção Civil, bertocini@nin.ufms.br, Cidade Universitária S/N, Bairro Universitário, Campo Grande /MS, CEP 79070-900

1. Introdução

1.1 Consumo de minério de ferro e meio ambiente

O consumo brasileiro de minério de ferro está concentrado na produção de gusa e na produção de pelotas. Com base nos dados de produção referentes a 2007 (35,5 Mt de gusa e 55,0 Mt de pelotas) e nos índices médios de consumo fornecidos pelas empresas produtoras (1,68t de minério de ferro/t de gusa e 1,08t de minério/t de pelotas), estima-se que o consumo brasileiro de minério de ferro em 2007 foi de cerca de 119,1 Mt (59,6 Mt na fabricação de gusa e 59,4 Mt na produção de pelotas). Em comparação com 2006 o consumo brasileiro de minério de ferro aumentou 9,2%. Em termos mundiais o consumo de minério de ferro é da ordem de 1,6 bilhão de toneladas (DNPM [1]). Previsões do Instituto Brasileiro de Mineração indicam que os investimentos nesse setor continuarão crescendo nos próximos 20 anos. O setor tem evoluído muito na otimização de suas unidades produtivas a fim de aumentar a produtividade e atender a requisitos de qualidade e sustentabilidade empresarial.

A utilização que o homem tem feito dos recursos naturais nem sempre ocorreu considerando suas características e as capacidades de recuperação dos mesmos. Mais recentemente ele passou a preocupar-se com os problemas ambientais. O surgimento de problemas ambientais graves, com reflexos sobre o próprio homem, levou-o a procurar compreender melhor os fenômenos naturais e a entender que deve agir como parte integrante do sistema natural (Mota [2]).

A conservação do meio ambiente representa para as empresas uma responsabilidade incontestável. Por outro lado, cada vez mais o mercado exige da empresa uma atuação transparente e concreta de preservação e conservação do meio ambiente, a qual se materializa pela realização de atividades que representem um mínimo impacto ambiental (Ribó [3]).

1.2 Beneficiamento do minério de ferro e geração de resíduos

O resíduo estudado é proveniente da empresa Urucum Mineração SA pertencente ao Grupo Vale, sediada no morro Uru-

cum no município de Corumbá (MS) à 32 Km de distância do centro da cidade.

Segundo Lima [4], neste local o método de lavra do minério de ferro eluvial que ocorre no topo do morro é do tipo céu aberto e é realizado por meio de bancadas com altura máxima de 10 metros, não havendo necessidade de explosivos nesta exploração, pois o minério já se encontra naturalmente desagregado.

O processo de beneficiamento do minério de ferro consiste em britagem, lavagem e peneiramento. O minério de ferro é britado e peneirado em peneiras vibratórias, em processo úmido, sendo gerados os produtos: ferro granulado ($6,35\text{mm} \leq \varnothing \leq 38,10\text{mm}$), hematitinha ($6,35\text{mm} \leq \varnothing \leq 9,52\text{mm}$), sinter-feed ($\varnothing \leq 6,35\text{mm}$) e lama de lavagem.

O sistema de tratamento da lama funciona da seguinte maneira: a lama efluente da lavagem do minério de ferro é levada por gravidade através de canaletas até um espessador, onde a parte mais sólida sedimenta e é escoada por meio de tubulações até as bacias de decantação situadas no pé do morro e a parte mais líquida retorna ao processo de lavagem do minério de ferro através de bombeamento.

O volume de água consumido no processo é de aproximadamente $60 \text{ m}^3/\text{hora}$, sendo 60% reciclada e 40% lançada nas bacias de decantação. Como a operação da lavagem é contínua (24 h/dia, 7 dias/semana), obtém-se um volume diário de lama da ordem de $576,00 \text{ m}^3$. Segundo análise da Urucum Mineração SA, a lama é constituída de aproximadamente 40% de materiais sólidos e 60% de água. Nas bacias de decantação a água evapora e/ou é reaproveitada no processo e os materiais sólidos sedimentam, de onde obtém, finalmente, um volume de materiais sólidos em torno de $230,40 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Dentre os produtos gerados no beneficiamento do minério de ferro, a lama de lavagem, na maioria dos casos, é armazenada em barragens de rejeitos sem um aproveitamento comercial, pois a tecnologia para se transformar esse resíduo em ferro metálico é mais onerosa em relação aos demais produtos.

Um exemplo de recuperação de ferro a partir de rejeitos de minério de ferro é usando a técnica de magnetizing roasting seguida de separação magnética (LI et al. [5]). E, também, pesquisadores chineses desenvolveram um novo material cimentício em que 30% de sua matéria-prima é composta de

Figura 1 – Moinho de bolas (à esquerda) e pó de minério de ferro após secagem e moagem (à direita)



Figura 2 - Moldagem dos corpos-de-prova (à esquerda) e capeamento com argamassa (à direita)



rejeitos de minério de ferro, obtido por meio de um processo de grande ativação térmica. (Yl et al. [6]).

1.3 Objetivo

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o comportamento mecânico da aplicação da lama de minério de ferro na forma de pó em argamassas de cimento Portland e, desse modo, encontrar respostas quanto a viabilidade técnica dessa aplicação e quais os melhores traços.

2. Materiais e programa experimental

Foram moldados corpos-de-prova com variadas proporções de cimento, areia e pó da lama de minério de ferro e, posteriormente, submetidos a ensaios físicos e mecânicos (determinação da resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios, massa específica real e índice de consistência normal -flow table).

Primeiramente, a lama foi seca à sombra e homogeneizada por processo de moagem em moinho de bolas (Figura 1). A curva granulométrica do resíduo após a moagem apresentou-se bem graduada e característica de um silte argiloso. Além disso, o material apresentou um valor de massa específica dos sólidos igual a $3,79 \text{ g/cm}^3$, valor significativamente elevado. Utilizou-se a areia natural de Campo Grande-MS como agre-

gado miúdo e o cimento tipo Portland CPIIE32 (fabricante Itaú) como aglomerante.

O delineamento da pesquisa ocorreu no Laboratório de Materiais de Construção Civil do Departamento de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. A Figura 2 mostra a moldagem dos corpos-de-prova e o capeamento com argamassa.

A resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados com diferentes composições deste trabalho foi determinada conforme a ABNT NBR 7215 [7], o índice de consistência normal (flow table) conforme a ABNT NBR 13276 [8], o índice de vazios e a massa específica real conforme a ABNT NBR 9778 [9].

Adotou-se um traço de referência para servir como base de comparação para todos os outros traços de argamassa. Este traço foi elaborado com argamassa composta de uma parte de cimento e três de areia e com relação água/cimento de 0,60. Para facilitar as comparações, os ensaios foram divididos em três grupos conforme sua composição:

- I) Adições;
- II) Substituições da Areia e
- III) Substituições do Cimento.

O grupo I foi elaborado fazendo-se diferentes adições de minério de ferro em pó em relação à massa de cimento do traço de referência. Realizaram-se adições de 4%, 6%, 8% e 20% (% em massa).

Tabela 1 - Resistências à compressão, relações a/c e índices de consistência das adições e da referência

Composição	Traço em massa cimento: areia: pó mf	Relação água/cimento	Resultados das resistências à compressão em MPa			Flow Table (mm)
			7 dias	28 dias	90 dias	
Referência	1 : 3 : 0	0,60	16,14	24,55	24,36	243
Adição 4%	1 : 3 : 0,04	0,60	12,52	23,59	21,82	231
Adição 6%	1 : 3 : 0,06	0,60	18,75	30,69	30,00	231
Adição 8%	1 : 3 : 0,08	0,60	17,45	26,57	34,56	234
Adição 20%	1 : 3 : 0,20	0,60	12,03	21,75	20,60	212

OBS: mf=minério de ferro

Figura 3 – Gráfico das resistências à compressão das adições e da referência

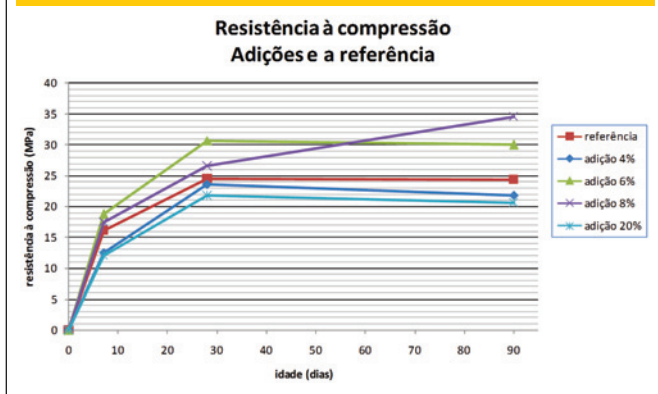


Figura 5 – Gráfico das resistências à compressão das substituições do cimento e da referência

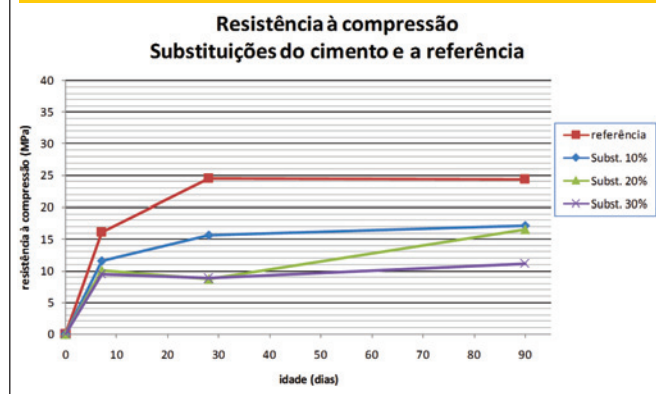
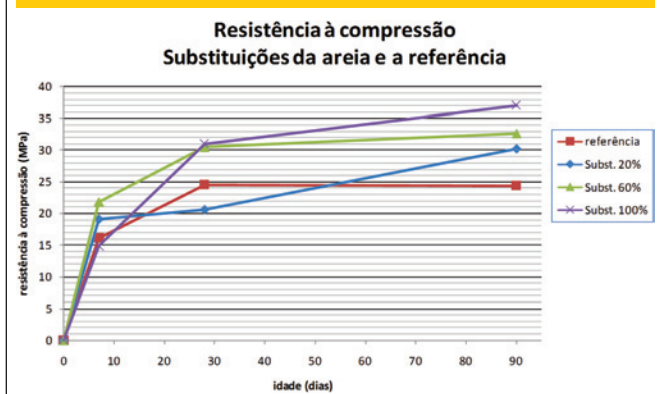


Figura 4 – Gráfico das resistências à compressão das substituições da areia e da referência



O grupo II foi elaborado fazendo-se diferentes substituições da areia por minério de ferro em pó. Realizaram-se substituições de 20%, 60% e 100% da areia (% em massa).

O grupo III foi elaborado fazendo-se diferentes substituições do cimento por minério de ferro em pó. Realizaram-se substituições de 10%, 20% e 30% do cimento (% em massa).

tuições de 10%, 20% e 30% do cimento (% em massa).

3. Resultados e discussões

3.1 Adições

A Tabela 1 apresenta a média dos resultados das resistências à compressão aos 7, 28 e 90 dias das adições de 4%, 6%, 8% e 20% e da referência, bem como seus respectivos índices de consistência e relações água/cimento. Nesse grupo, a relação água/cimento foi mantida constante e observou-se que o índice de consistência tende a cair com a adição de pó de minério de ferro, com exceção da adição de 8%. Esse comportamento anômalo da adição de 8% pode estar associado a um possível comportamento de auto-adensamento do pó. De acordo com a Figura 3, as adições de 4% e 20% apresentam resistências inferiores à referência, enquanto que as adições de 6% e 8% apresentam resistências superiores. Nota-se que a resistência da adição de 6% tende a cair a partir do 50º dia, porém a resistência da adição de 8% tende a subir ao longo do tempo e atinge 35 MPa aos 90 dias.

3.2 Substituições da areia

A Tabela 2 apresenta a média dos resultados das resistências à compressão aos 7, 28 e 90 dias das substituições de 20%, 60% e

Tabela 2 – Resistências à compressão, relações a/c e índices de consistência das substituições da areia e da referência

Composição	Traço em massa cimento: areia: pó mf	Relação água/cimento	Resultados das resistências à compressão em MPa			Flow Table (mm)
			7 dias	28 dias	90 dias	
Referência	1 : 3 : 0	0,60	16,14	24,55	24,36	243
Substituição Areia 20%	1 : 2,4 : 0,6	0,60	19,14	20,59	30,23	242
Substituição Areia 60%	1 : 1,2 : 1,8	0,65	21,84	30,48	32,65	243
Substituição Areia 100%	1 : 0 : 3	0,76	14,82	30,98	36,98	213

OBS: mf=minério de ferro

Tabela 3 – Resistências à compressão, relações a/c e índices de consistência das substituições do cimento e da referência

Composição	Traço em massa cimento: areia: pó mf	Relação água/cimento	Resultados das resistências à compressão em MPa			Flow Table (mm)
			7 dias	28 dias	90 dias	
Referência	1 : 3 : 0	0,60	16,14	24,55	24,36	243
Substituição Areia 10%	1 : 3,3 : 0,1	0,60	11,56	15,66	17,15	243
Substituição Areia 20%	1 : 3,75 : 0,25	0,60	10,1	8,75	16,51	242
Substituição Areia 30%	1 : 4,3 : 0,43	0,60	9,46	8,79	11,16	241

OBS: mf=minério de ferro

Figura 6 – Gráfico do índice de vazios das substituições da areia e da referência

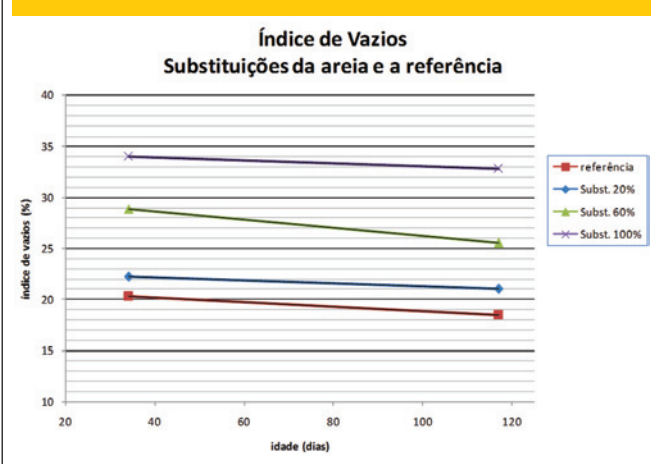
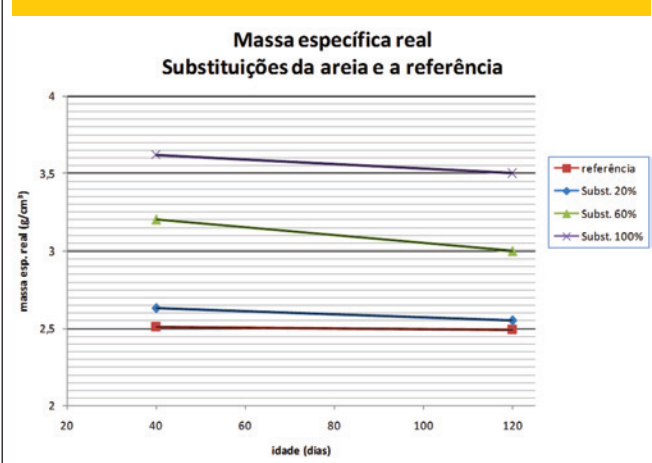


Figura 7 – Gráfico da massa específica real das substituições da areia e da referência



100% da areia e da referência, bem como seus respectivos índices de consistência e relações água/cimento.

Com o aumento da quantidade de pó, a trabalhabilidade da argamassa é prejudicada, necessitando de acréscimo de água de amassamento. No caso das argamassas com substituições da areia, foi necessário aumentar a relação água/cimento a fim de manter uma trabalhabilidade adequada. A substituição de 100% da areia obteve o menor índice de consistência, mesmo com a maior relação água/cimento.

De acordo com a Figura 4, praticamente todas as resistências são superiores à referência, com destaque para a substituição de 100% que atinge 37 MPa aos 90 dias.

3.3 Substituições do cimento

A Tabela 3 apresenta a média dos resultados das resistências à compressão aos 7, 28 e 90 dias de idade das substituições de 10%, 20% e 30% do cimento e da referência, bem como seus respectivos índices de consistência e relações água/cimento. Observa-se que o índice de consistência e a relação água/cimento não foram alterados significativamente.

De acordo com a Figura 5, todas as resistências são inferiores à referência, sendo que a substituição de 10% do cimento foi menos prejudicada e atingiu 17 MPa aos 90 dias.

Figura 8 – Comparação visual da cor avermelhada, referência e substituições da areia



3.4 Índice de vazios

O índice de vazios (relação entre o volume dos poros e o volume de sólidos) é diretamente proporcional à porosidade do material. Realizou-se o ensaio de índice de vazios apenas para o grupo das substituições da areia e a referência, conforme mostra a Figura 6. Observa-se que o índice de vazios aumenta quanto maior a porcentagem de areia substituída por pó de minério de ferro. A maior quantidade de material fino prejudica a trabalhabilidade da argamassa e o adensamento das camadas também é prejudicado. Os traços foram moldados com a mesma energia de adensamento. Uma sugestão interessante consiste na aplicação de maior energia de adensamento ou utilizar superplastificante nos traços com substituições da areia com o objetivo de diminuir o índice de vazios. Em geral, quando se diminui o índice de vazios e, conseqüentemente, a porosidade, a resistência à compressão é aumentada (Neville [10]).

3.5 Massa específica real

Optou-se mostrar e discutir o resultado da massa específica real apenas dos corpos-de-prova com substituições da areia, pois esse grupo foi o que apresentou valores mais significativos e os demais praticamente não variaram. A Figura 7 mostra o aumento da massa específica real proporcionalmente ao aumento da quantidade de areia substituída. Concretos com elevados valores de massa específica podem ser prejudiciais quando usados em vigas e pilares, sendo mais recomendado para pisos e pavimentos.

3.6 Aspecto visual (comparação de cor)

Nota-se que uma pequena quantidade de pó de minério de ferro é suficiente para conferir coloração avermelhada e pode-se obter um vermelho muito forte como no caso da substituição total da areia (Figura 8). Do ponto de vista estético, é uma característica interessante porque “quebra” a cor cinza predominante dos materiais à base de cimento Portland. Além disso, tal característica pode significar um ganho financeiro, já que a utilização de produtos químicos sintéticos para pigmentação eleva o preço das argamassas e artefatos de concreto.

4. Conclusões

4.1 Aspectos técnicos

Dentre as adições de pó de minério de ferro, a adição de 8% apresentou o melhor resultado, pois sua resistência tende a subir em idades avançadas e em todas as idades suas resistências são superiores à referência. Além disso, o índice de consistência não foi prejudicado e percebe-se uma suave mudança de cor (avermelhada).

Dentre as substituições da areia, a substituição de 20% apresentou melhor resultado, pois suas resistências são superiores à referência, o índice de consistência e sua massa específica real não foram prejudicados e apresentou boa pigmentação.

Por outro lado, as três substituições do cimento obtiveram resistências inferiores à referência.

Conclui-se que o aproveitamento da lama de minério de ferro na

forma de pó em argamassa é viável tecnicamente, apresentando melhor comportamento mecânico quando aplicado em adição de 8% (1 : 3 : 0,08) e em substituição de 20% da areia (1 : 2,4 : 0,6). As substituições da areia em 60% e 100% apresentaram valores mais elevados de massa específica e, por isso, são recomendadas para pisos e pavimentos. Elas também apresentaram uma trabalhabilidade ruim, mas que poderá ser corrigida com o uso de produtos químicos.

4.2 Aspectos ambientais

Toda vez que um setor da indústria reaproveita um resíduo gerado por outro setor, diz-se que houve um ganho ambiental no processo produtivo dos dois setores, porque ocorre uma menor demanda por recursos naturais e energia. No caso deste trabalho, empresas do ramo da construção civil podem reaproveitar um resíduo gerado pelas indústrias de mineração. Isso ajuda a estabelecer um “ciclo fechado” de energia e recursos naturais, o que contribui para minimizar o impacto ambiental gerado por esses processos produtivos.

4.3 Sugestões para trabalhos futuros

- Estudo da aplicação prática em revestimento de parede usando argamassa com traço 1 : 3 : 0,08 (cimento : areia : pó de minério de ferro);
- Estudo de aplicações em concreto substituindo 20% da massa do agregado miúdo por pó de minério de ferro;
- Ensaio de lixiviação;
- Estudo de viabilidade econômica do aproveitamento de rejeitos de minério de ferro.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo Vale, ao CNPq e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pelo apoio financeiro e fornecimento de materiais.

6. Referências bibliográficas

- [01] DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral Brasileiro. Brasília, 2008.
- [02] MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. 4ª ed, Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- [03] RIBÓ, J. Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental / [Coord.] FRANKENBERG, C. L. C.; RAYA-RODRIGUES, M. T.; CANTELLI, M. - Porto Alegre: EDIPUCRS, 2000.
- [04] LIMA, J. F. Aproveitamento da Lama de Lavagem do Minério de Ferro: Estudo de Caso na Mineração Urucum – Corumbá/MS. Florianópolis, 2002. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina.
- [05] LI, C. ; SUN, H. ; BAI, J. ; LI, L. Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings: Part 1. The recovery of iron from iron ore tailings using magnetic separation after magnetizing

- roasting. *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, n. 1-3, 2010; p.71-77.
- [06] YI, Z. ; SUN, H. ; WEI, X. ; LI, C. Iron ore tailings used for the preparation of cementitious material by compound thermal activation. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, v. 16, n. 3, 2009; p.355-358.
- [07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- [08] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
- [09] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- [10] NEVILLE, A. M., Tradução GIAMMUSSO S. E. *Propriedades do Concreto*. São Paulo: PINI, 1997.