2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTUDO DA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO CONTENDO AREIA DE BRITAGEM

TIECHER, F. (1); MARCON, E. (2)

(1) IMED, francieli.bonsembiante@imed.edu.br
(2) IMED, emmylemarcon@hotmail.com

RESUMO

As areias obtidas da britagem de rochas vêm sendo largamente consumidas em regiões onde a areia natural é escassa, contudo, devido às suas características, ainda há dificuldade de empregá-las em revestimentos de argamassa. O objetivo do presente estudo foi avaliar as características de argamassas de revestimento produzidas com areias de britagem. Nesta pesquisa foram avaliadas duas areias de britagem oriundas de rochas distintas, bem como uma areia natural (referência), as quais foram caracterizadas através de análise granulométrica, teor de finos, massas específica e unitária. As argamassas produzidas foram avaliadas tanto no estado fresco, quanto no endurecido, através de ensaios de espalhamento na mesa consistência, retenção de água, resistência à tração na flexão e à compressão, resistência de aderência, absorção de água. Os resultados obtidos mostraram que o teor de finos presente nas areias interferiu na consistência no estado fresco, mas não comprometeu a retenção de água das argamassas. No estado endurecido verificou-se que o agregado com maior teor de finos resultou em maiores resistências à compressão e à tração, devido ao refinamento dos poros. No entanto, a resistência de aderência à tração foi comprometida, devido ao aumento da retração da argamassa contendo mais finos.

Palavras-chave: *areia de britagem; argamassa; revestimentos.*

ABSTRACT

Sands from the rock crushing has been widely consumed in regions where natural sands are scarce, however, it is difficulty to use them in mortar coverings, because of their characteristics. The study aims to evaluate the characteristics of coverings mortars made with crushing sands. In this research, two crushing sands from different rocks were evaluated, as well as a natural sand (reference), which were characterized through granulometric analysis, fines content and density. The mortars produced were evaluated in both fresh and hardened conditions, using spreading tests on the consistency table, water retention, flexural and compressive tensile strength, adhesion resistance and water absorption. The results showed that the fines present in the sands interfered with the consistency in the fresh state but did not compromise the water retention of the mortars. In the hardened state the aggregate with a higher content of fines had greater compressive and tensile strength, due to the refinement of the pores. However, the tensile bond strength was compromised, due to the increased shrinkage of the mortar containing fines.

Keywords*: crushing sand; mortar; coatings.*

1 INTRODUÇÃO

Conforme os últimos dados disponibilizados pela ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (2019), o setor de

agregados apresentou uma demanda da ordem de 740 milhões de toneladas de brita e areia, sendo que o consumo per capita foi de 3,7 toneladas/habitante/ano.

Nos últimos anos tem crescido a preocupação com a escassez dos agregados, principalmente da areia natural. Para exemplificar cita-se o ano de 2013, quando, devido ao embargo ambiental da extração do produto no Rio Grande do Sul (em função do não cumprimento de legislação e, portanto, comprometimento e assoreamento do leito do rio Jacuí), houve aumento significativo do preço do insumo e busca pelo emprego de materiais alternativos. Neste sentido, nos grandes centros urbanos é comum que o insumo seja transportado de regiões distantes para atender a demanda. Em São Paulo, por exemplo, a areia natural empregada percorre até 600 km para chegar ao destino (PONTES, 2014). Mesmo em localidades menores, a areia natural consumida também é proveniente de locais distantes, como no norte do Rio Grande do Sul, e oeste de Santa Catarina. Além de refletir a escassez do produto, o transporte da areia também implica em aumento no preço, devido ao custo de frete e, por consequência, custo final dos concretos e argamassas. Outra questão a ser considerada é a demanda energética envolvida com a extração e o transporte, devido ao consumo de combustíveis e liberação de CO2.

Diante dessa reflexão, há necessidade de alternativas que possam substituir a areia natural com eficiência e qualidade, sendo uma das alternativas a areia de britagem. Tal insumo já vem sendo estudado há muitos anos, no entanto, não é corriqueiro, principalmente devido à presença de um percentual elevado de material pulverulento, bem como ao formato do grão. É consenso da literatura que os grãos de agregados oriundos de britagem apresentam forma e textura superficial diferente do agregado de origem natural (DAMO, 2011; YASSINE, 2016).

De modo geral as pesquisas sobre o emprego de areia de britagem em argamassas abordam misturas para efetuar assentamento, tais como os estudos de D' agostinho (2004), Ishikawa e Camarini (2005) e Carasek et al. (2018). O diferencial da presente pesquisa é que busca ampliar o escopo de possibilidades para o uso das areias de britagem, contemplando seu emprego em argamassas de revestimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para produção das argamassas foram empregados dois aglomerantes, o cimento Portland pozolânico (CP IV) e cal hidratada do tipo II (CH II), cujas características foram obtidas junto aos fabricantes e estão descritas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Caracterização física e química da cal CH-II.

	Ensaios	Resultados	Requisitos	Norma
ENSAIOS FÍSICOS	Retenção de água (%)	83	>75	NBR 9290
	Incorporação de areia	3,2	>2,5	NBR 9207
	Estabilidade	-	Ausência cavidades	NBR 9205
	Plasticidade	150	>110	NBR 9206
	Finura na peneira # 0,6mm (%)	0,35	<0,5	NBR 9289
	Finura na peneira # 0,075mm (%)	9,4	<15	NBR 9289
ENSAIOS QUÍMICOS	Anidrido carbônico – CO_2 - Fábrica (%)	3,8	<5,0	NBR 6473
	Anidrido carbônico – CO_2 - Depósito (%)	6,2	<7,0	NBR 6473
	Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado – MgO+CaO (%)	12,1	<15,0	NBR 6473
	Óxidos totais – MgO+CaO (%)	95,2	>88	NBR 6473

Fonte: Fabricante

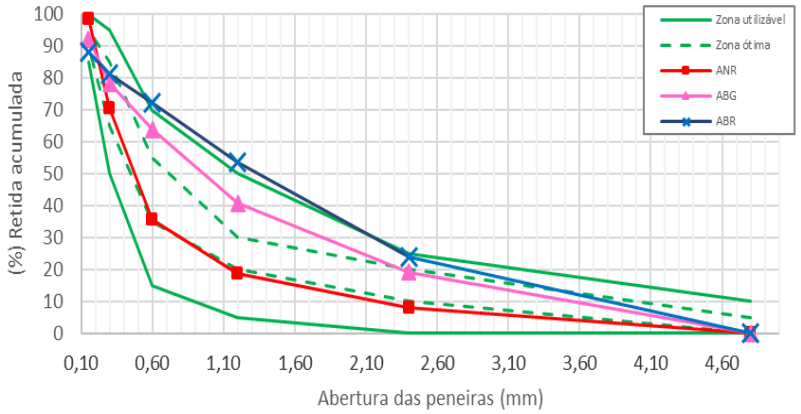
Tabela 2 - Caracterização física e química do cimento CP IV-32

	Ensaios	Resultados	Requisito	Norma
ENSAIOS FÍSICOS	Tempo de início de pega (h:min)	03:40	>1	NBR 16697
	Tempo de fim de pega (h:min)	04:22	<12	NBR 16697
	Finura na peneira # 200 (%)	0,64	<8,0	NBR 16697
	Expansibilidade a quente (mm)	0,34	<5,0	NBR 16697
	Expansibilidade a frio (mm)	0,40	<5,0	NBR 16697
	Resistência à compressão 3 dias (MPa)	28,1	>10,0	NBR 16697
	Resistência à compressão 7 dias (MPa)	34,5	>20,0	NBR 16697
	Resistência à compressão 28 dias (MPa)	44,6	>32,0	NBR 16697
	Resistência à compressão 91 dias (MPa)	45,9	>40	NBR 16697
ENSAIOS QUÍMICOS	Perda ao fogo - PF (%)	3,34	<4,5	NBR 16697
	Trióxido de enxofre – SO_3 (%)	2,49	<4,0	NBR 16697
	Anidrido carbônico – CO_2 (%)	1,6	<3,0	NBR 16697
	Óxido de magnésio – MgO (%)	3,18	<6,5	NBR 16697

Fonte: Fabricante

Além dos aglomerantes foram empregados 3 agregados, um agregado miúdo de origem natural (ANR) e dois de origem britada (uma de origem riolítica (ABR) e outra de origem granítica (ABG)). Todos os agregados foram caracterizados quanto à composição granulométrica (NBR 7217:1987) – Figura 1, diâmetro máximo, módulo de finura, teor de finos passantes na peneira 0,075 mm (NBR NM 46:2003), massas específica e unitária (NBR 7251:1982; NBR NM 52:2009) – Tabela 3.

Figura 1: distribuição granulométrica dos agregados miúdos



Legenda: ANR: areia natural de rio; ABR: areia de britagem riolítica; ABG: areia de britagem granítica

Tabela 3 – Características físicas dos agregados

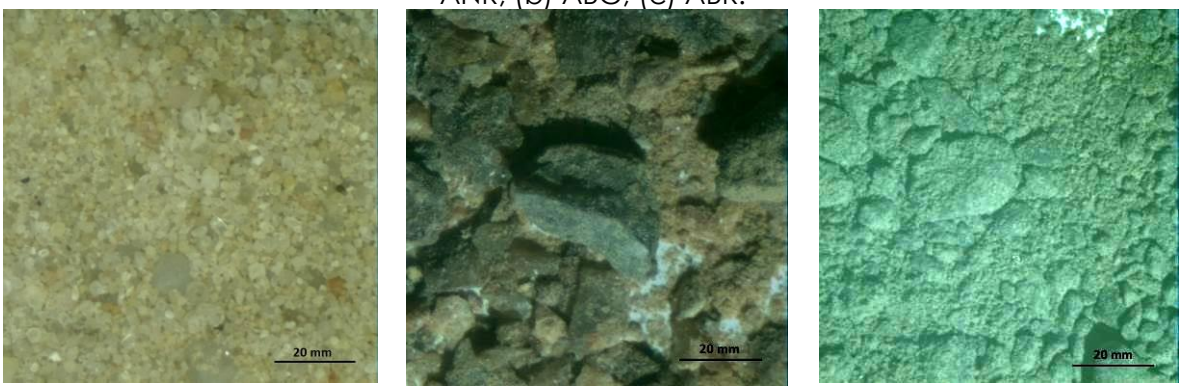
Ensaios	Métodos de ensaio	Resultados		
		ANR	ABG	ABR
Dimensão máxima característica (mm)	NBR 7217:1987	4,75	4,75	4,75
Módulo de finura	NBR 7217:1987	2,32	2,94	3,19
Massa fino passante na peneira 75 µm, por lavagem (%)	NBR NM 46:2003	1,35	13,30	17,95
Massa específica g/cm³	NBR 7251:1982	2,60	2,58	2,83
Massa unitária g/cm³	NBR NM 52:2009	1,70	1,63	1,59

Analisando a Tabela 3 nota-se que os percentuais de finos das areias de britagem são superiores aos estabelecidos como máximos pela NBR 7211 (2005). A referida

norma recomenda que o percentual de finos para areia de rio seja de, no máximo, 5%, e para areia de britagem 13%.

Também no intuito de caracterizar a forma dos grãos, foram feitas imagens em lupa estereoscópica, conforme pode ser observado na Figura 2, onde nota-se que os grãos da amostra ABG são mais angulosos que ABR.

Figura 2: Imagens obtidas através de lupa estereoscópica, ampliação 130 vezes; (a) ANR; (b) ABG; (c) ABR.



(a) (b) (c)

2.2 Métodos

No estado fresco foram avaliados o índice de consistência NBR 13276 (2005) e a retenção de água (NBR 13277:2005) das argamassas. No estado endurecido as argamassas foram avaliadas 28 dias após a moldagem quanto à resistência à compressão (NBR 13279:2005), à tração na flexão (NBR 13279:2005) e à resistência de aderência à tração NBR 13528 (2010).

2.3 Produção das argamassas

As argamassas foram produzidas com diferentes percentuais de areia de britagem em substituição à areia natural, partindo-se do traço 1:1:6 (cimento:cal:agregado), em massa, escolhido a partir da bibliografia (ARNOLD, 2011; STOLZ, 2015). As misturas foram feitas em misturador mecânico, seguindo-se a sequência proposta pela NBR 7215:1995. A Tabela 4 mostra as misturas avaliadas.

Os traços TR04 e TR05 contemplam misturas ternárias de areia natural e areia de britagem, os percentuais adotados de substituição de areia natural por areia de britagem foram obtidos pelo método do empacotamento granulométrico descrito em Recena (2011). De acordo com o método, o percentual de ABG a ser empregado é 27% e de ABR é 13%.

Tabela 4 – Traços avaliados

Traço	Aglomerante		Agregado			Relação água/aglomerante
	Cimento	Cal	ANR	ABG	ABR	
TR01	1	1	6	-	-	1,4
TR02	1	1	-	6	-	1,8
TR03	1	1	-	-	6	1,4
TR04	1	1	4,38	1,62	-	1,6
TR05	1	1	5,22	-	0,78	1,4

Observando-se a Tabela 4 nota-se que a areia ABR resultou menor relação

água/aglomerante, apesar de possuir maior teor de finos. Acredita-se que esse resultado se deva à forma dos grãos desse agregado, que são mais arredondados, melhorando a fluidez da mistura ao realizar o ensaio de consistência.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O índice de consistência das argamassas foi mantido fixo e (260±10) mm, a fim de verificar se as características das areias interferem na relação água/aglomerante, conforme pode ser visualizado na Tabela 5.

A Tabela 5 também mostra os resultados de retenção de água das misturas, onde pode ser constatado que todas as misturas estão classificadas na faixa U4 segundo a NBR 13277 (2005), ou seja, não houve influência do tipo de areia nos resultados obtidos no estado fresco.

Tabela 5 – Relação água/aglomerante das argamassas.

Traço	Relação água/aglomerante	Retenção média de água (%)
TR01	1,4	92
TR02	1,8	89
TR03	1,4	89
TR04	1,6	88
TR05	1,4	89

A Tabela 6 apresenta os resultados médios obtidos para os ensaios mecânicos realizados nas argamassas, e as Tabelas 7, 8 e 9 mostram a análise de variância de cada uma das propriedades avaliadas.

Tabela 6 – Resultados médios das propriedades mecânicas avaliadas.

Traço	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência de aderência à tração (MPa)
TR01	3,45	0,87	0,66
TR02	3,46	0,94	1,30
TR03	4,67	1,16	1,32
TR04	2,23	0,47	0,73
TR05	3,30	0,83	0,40

A Tabela 6 mostra que as maiores resistências à compressão e à tração na flexão foram obtidas para a mistura contendo 100% de areia de britagem riolítica, porém, a resistência de aderência foi superior para a amostra com 100% de areia granítica.

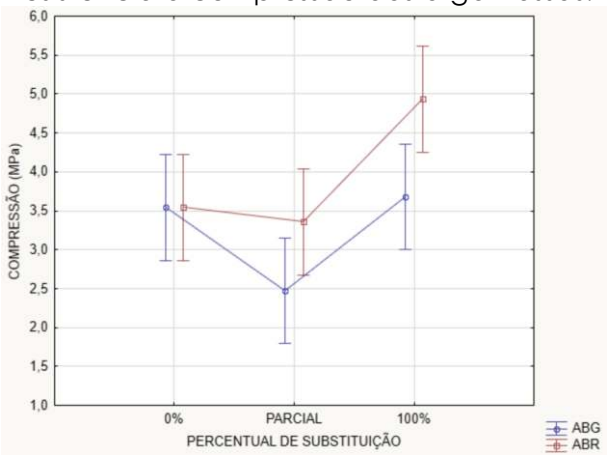
Analisando-se estatisticamente os resultados de resistência à compressão, verifica-se que tanto o tipo de areia quanto o percentual de substituição exercem influência significativa nos resultados (Tabela 7). Conforme foi observado, ABR possui maior teor de material pulverulento (17,95%), no entanto, isso não se refletiu no teor de água necessário para obtenção da consistência desejada. Esse resultado mostra que o excesso de finos não interferiu na demanda de água, como apontam diversos estudos, tais como Bonovetti e Irassar (1994), Juenger e Siddique (2015), Cruz (2017), Mittri et al. (2018), Dullius et al. (2018) e Wang et al. (2018). É provável que a maior resistência obtida para a amostra ABR deve-se à origem da amostra, que é vulcânica, ou seja, possui minerais menores menor porosidade que a ABG, oriunda de rocha plutônica. Outro fator que pode ter interferido no resultado de resistência

mecânica é a distribuição granulométrica.

Tabela 7 – ANOVA dos resultados obtidos para resistência à compressão.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Média dos Quadrados	F-Valor	P-Valor
Tipo de areia	13,739	1	13,739	6,5002	0,012274
Percentual de substituição	34,950	2	17,475	8,2680	0,000470
Tipo de areia X Percentual de substituição	7,500	2	3,750	1,7743	0,174793

Figura 3 – Interação entre o tipo de areia de britagem e o teor de substituição na resistência à compressão das argamassas.



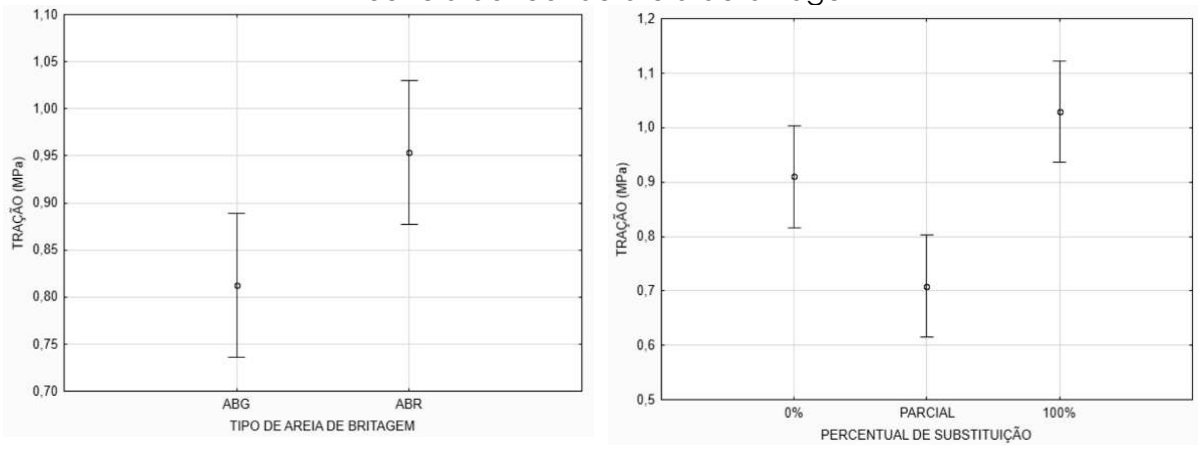
A ANOVA dos resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração na flexão também evidenciou que o tipo e o teor de substituição da areia natural por areia de britagem influenciam nos resultados, conforme pode ser verificado na Tabela 8.

Tabela 8 – ANOVA dos resultados obtidos para resistência à tração.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Média dos Quadrados	F-Valor	P-Valor
Tipo de areia	0,26882	1	0,26882	6,874	0,011685
Percentual de substituição	0,94481	2	0,47241	12,079	0,000056
Tipo de areia X Percentual de substituição	0,14543	2	0,07272	1,859	0,166821

A Figura 4 mostra que as substituições totais do agregado natural pelo agregado de origem britada propiciam maiores resistências à tração na flexão, sendo superior o desempenho do agregado riolítico.

Figura 4 – Resistência à tração na flexão. (a) influência do tipo de areia de britagem; (b) influência do teor de areia de britagem



(a) (b)

As resistências de aderência das argamassas também foram afetadas pela presença do agregado britado, no entanto, o comportamento observado não seguiu a mesma tendência. A análise de variância, apresentada na Tabela 9, mostra que todos os fatores exercem influência significativa para esta propriedade.

Tabela 9 – ANOVA dos resultados obtidos para resistência de aderência à tração.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Média dos Quadrados	F-Valor	P-Valor
Tipo de areia	12,4257	1	12,4257	4,64548	0,034219
Percentual de substituição	53,7269	2	26,8634	10,04315	0,000132
Tipo de areia X Percentual de substituição	15,7574	2	7,8787	2,94552	0,058449

A partir dos resultados de resistência de aderência à tração é possível dizer que as misturas contendo apenas areia de origem britada propiciam melhores resultados, ou seja, maior aderência. Dentro desse contexto, o agregado de origem granítica (ABG) sobressaiu-se ao agregado de origem riolítica (ABR), o que pode ser justificado pelo aumento da retração das argamassas contendo agregados com excesso de finos, que também foi observado por outros autores (ARNOLD, 2011). A análise do desempenho das argamassas, de uma forma geral, orienta para o correto uso delas em revestimentos. A NBR 13281 (2005) determina os requisitos das argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos, que devem ser observados. Após realizados os ensaios da presente pesquisa, as argamassas estudadas foram classificadas conforme estas exigências (Tabela 10).

Tabela 10 – Classificação das argamassas conforme ABNT NBR 13281:2005.

Traço	**Classificação de acordo com o ensaio**			
	Retenção de água	Resistência à tração na flexão (28 dias)	Resistência à compressão simples (28 dias)	Resistência de aderência à tração (28 dias)
TR01	U4	R1	P3	A3
TR02	U4	R1	P3	A3
TR03	U4	R1	P4	A3
TR04	U4	R1	P2	A3
TR05	U4	R1	P3	A3

Apesar de apresentar requisitos para classificação das argamassas, a NBR 13281 (2005) não especifica a finalidade de uso. Pelo método MECUR (SCTB, 2669-2.1993) as argamassas podem ser classificadas utilizando os ensaios de retenção de água, coeficiente de capilaridade e resistência à tração na flexão, entre outros. Dentre os ensaios realizados nesta pesquisa, analisando pela classificação MECUR (SCTB, 2669-2.1993), é possível dizer que as argamassas não são recomendadas para clima quente ou vento, pois sua baixa retenção de água (entre 86 e 94%, de acordo com a classificação MERCUR), assim como não são recomendadas para aplicação de revestimento cerâmico, devido à baixa resistência à tração na flexão (menor que 1,5 MPa, de acordo com a classificação MERCUR). De todo modo as argamassas produzidas neste estudo destinam-se à reboco de superfícies.

5 CONCLUSÕES

No presente estudo foi possível constatar que as areias de britagem avaliadas possuem percentuais bem distintos de material pulverulento. A areia de britagem de origem riolítica possui aproximadamente 18%, enquanto o agregado de origem granítica aproximadamente 13% e a areia natural menos de 2%.

O teor excessivo de finos resultou em maior relação água/aglomerante para a argamassa produzida com areia de origem granítica, a fim de atender à consistência estabelecida no estudo, mas não comprometeu a retenção de água das argamassas.

No estado endurecido, o teor de finos promoveu um refinamento dos poros resultando em maiores resistências à compressão e à tração na flexão, porém, redução na resistência de aderência, possivelmente devido ao aumento da retração, ocasionado pelos finos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e à Fundação Meridional IMED.

REFERÊNCIAS

ANEPAC - Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil – Anepac 2015. **Perspectivas para o setor de agregados.** Disponível em: <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/101-perspectivas-para-o-setor-de-agregados>. Acesso em: 25 jan. 2018.

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. 185f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2011.

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

___. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

___. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

___. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão simples. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

___. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

___. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

___. **NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

___. **NBR 6473:** Cal virgem e cal hidratada - Análise química. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

___. **NBR 9205:** Cal hidratada para argamassas - Determinação da estabilidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2001.

___. **NBR 9206:** Cal hidratada para argamassas — Determinação da plasticidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

___. **NBR 9207:** Cal hidratada para argamassas - Determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômetro de Voss. Rio de Janeiro, ABNT, 2000.

___. **NBR 9289:** Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro, ABNT, 2000.

___. **NBR 9290:** Cal hidrata para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1996.

___. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT 2009.

___. **NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2005.

BONAVETTI, V. L.; IRASSAR, E. F. The effect of stone dust content in sand. **Cement and Concrete Research**, v.24, n.3, p. 580-590, 1994.

CARASEK, H.; GIRARDI, R.; ANGELIM, O. C. Study and evaluation of construction and demolition waste recycled, **Cerâmica**, 64, p. 288–300, 2018.

CRUZ, C. M. **Efeito da adição de sienito nas propriedades de concretos: estudo das equações de empacotamento e propriedades tecnológicas.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017, CDD: 620.14.

D' AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedreira no processo de argamassas de assentamento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DAMO, G. F. **Avaliação do desempenho de diferentes agregados miúdos de britagem em concreto de cimento Portland.** 2011. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

DULLIUS, L. T.; GIOVANELLA, C.; NICHEL, S. Utilização do resíduo de beneficiamento. **Revista Destaques Acadêmicos**, [S.l.], v. 10, n. 4, dez. 2018. ISSN 2176-3070.

ISHIKAWA, P. H.; CAMARINI, G. Comportamento da areia artificial, de origem granítica, na argamassa para assentamento de bloco de concreto simples para alvenaria. **In: SUFFIB – SEMINÁRIO: Uso da Fração Fina da Britagem**, 2, 2005, São Paulo. Anais. São Paulo: ANTAC, 2005. p. 47-62.

JUENGER, M. C. G.; SIDDIQUE, R. Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. **Cement and Concrete Research**, 2015. v. 78, p. 71–80.

MITTRI, S. H. M. et al. Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat

treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 2018. v. 11, n. 6, p. 1186–1207.

PONTES, J. **Escassez eleva preço de areia em quase 50%**. 2014. Disponível em: < http://cidadaonet.com.br/materia/11227/escassez-eleva-preco-de-areia-em-quase-50.html>. Acesso em: abr. 2018.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2011. 188 p.

STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

WANG, D.; SHI, C.; FARZADNIA, N.; SHI, Z.; JIA, H. A review on effects of limestone powder on the properties of concrete. **Construction and Building Materials**, 2018. v. 192, p. 153–166.

YASSINE, B.; EZZIANE, K.; HALLAL, A. Variation of mechanical and rheological properties of mortar by replacement of natural sand with crushed sand, **Journal of Adhesion Science and Technology**, 2016, v. 31, n. 2, p. 182-201.