



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DO EFEITO DO TEOR DE MICROFINOS NAS
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO COM UTILIZAÇÃO DE AREIA DE
BRITAGEM BASÁLTICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MATEUS ROSA

São Leopoldo, setembro de 2013.

R788a

Rosa, Mateus.

Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica / Mateus Rosa. – 2013.

110 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

"Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak."

1. Areia de britagem. 2. Microfinos. 3. Argamassa de revestimento. 4. Reciclagem. I. Título.

CDU 624

MATEUS ROSA

**ANÁLISE DO EFEITO DO TEOR DE MICROFINOS NAS
PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM UTILIZAÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM BASÁLTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

Banca examinadora: Prof^a. Dra. Marlova P. Kulakowski
Prof^a. Dra. Fernanda Macedo Pereira

São Leopoldo, setembro de 2013.

MATEUS DA ROSA

**ANÁLISE DO EFEITO DO TEOR DE MICROFINOS NAS
PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM UTILIZAÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM BASÁLTICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Aprovada em 19 de dezembro de 2013



Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak
Orientador – UNISINOS



Prof. Dra. Luciana Paulo Gomes
Coordenadora do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Fernanda Macedo Pereira - ULBRA



Prof. Dra. Marlova Piva Kulakowski - UNISINOS

Dedico a minha mãe Zeni Rosa e ao meu orientador Claudio de Souza Kazmierczak

AGRADECIMENTOS

Muitos dos amigos, familiares, conhecidos, colegas de trabalho, namorada me ajudaram nesta fase. Alguns mais presentes e outros nem tanto, porém todas as forças foram importantes para completar esta etapa. Alguns contribuíram com conhecimentos, outros com doações de tempo e energia para que mais esta etapa chegasse ao fim.

Agradeço de coração a minha família, meus pais Zeni e Iran, minhas irmãs Alice e Aline que tanto me apoiaram. Seja presencialmente que é caso do meu pai e das minhas irmãs ou até mesmo espiritualmente, que é o caso da minha mãe que já é falecida. Esse quarteto sempre me apoiou, não deixando de me apoiar até o mestrado, compreendendo as minhas ausências nos momentos de união familiar.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Claudio de Souza Kazmierczak que doou tempo, muita paciência e conhecimento facilitando e esclarecendo este longo caminho.

Agradeço aos laboratoristas do Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos, Maurício, Rodrigo e Felipe, Ingrid que tanto me ajudaram na realização de cada um dos ensaios, nos esclarecimentos de dúvidas, na transferência de conhecimentos, fazendo com que tudo ficasse mais divertido.

Agradeço ao laboratorista da Maquetaria, Airton, por facilitar muitas vezes a execução de alguns ensaios.

Agradeço ao laboratorista do Laboratório de Mecânica, Roque, por desenvolver alguns equipamentos que foram necessários para realização dos ensaios.

Agradeço aos meus colegas acadêmicos, Elisa, Vinício, Rafaela, Leandro, Mariana, por estarem sempre presentes e sempre que possível ajudando e também as bolsistas de iniciação científica, Gabriel, Eduardo e Lucas que me ajudaram durante todo programa experimental.

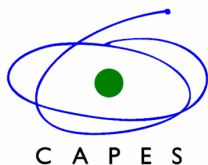
Agradeço a colega de profissão Eng^o Angélica que ajudou na aquisição dos materiais, laudos e conhecimentos.

Agradeço as empresas Britasinos e Pauluzzi pela doação de todos os materiais necessários para os ensaios.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, CAPES, pela concessão da bolsa de estudos do programa PROSUP, pelo financiamento da pesquisa.

Agradeço ao meu professor Marco, que me orientou no trabalho de conclusão de curso, a professora Jane que permitiu que eu tivesse a vivência de laboratório como bolsista de iniciação científica e a professora Marlova, que orientou minha equipe no Concrebol do Ibracon, incentivando esse lado de pesquisa em minha vida. Graças à ajuda desses três professores tive a oportunidade de participar do programa de Pós-graduação da engenharia civil da Unisinos.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA



Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de
Nível Superior - CAPES



Programa de Suporte à Pós-Graduação de
Instituições de Ensino Particulares - Cursos Novos -
PROSUP

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	<i>Objetivo geral.....</i>	<i>15</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	<i>15</i>
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	15
1.4	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	AGREGADOS MIÚDOS PARA ARGAMASSA	17
2.1.1	<i>Requisitos dos agregados miúdos para argamassas</i>	<i>18</i>
2.1.2	<i>Areia de britagem.....</i>	<i>24</i>
2.1.2.1	<i>Obtenção de agregados britados.....</i>	<i>25</i>
2.1.2.2	<i>Tipos de areia de britagem.....</i>	<i>26</i>
2.1.2.3	<i>Areia de Britagem de britador do tipo Vertical Shaft Impactors (VSI).....</i>	<i>27</i>
2.1.2.3.1	<i>Distribuição granulométrica da areia de britagem proveniente de britador do tipo VSI</i>	<i>27</i>
2.1.2.3.2	<i>Teor de microfios da areia de britagem VSI.....</i>	<i>28</i>
2.1.2.3.3	<i>Mineralogia, forma e demais características da areia de britagem VSI.....</i>	<i>30</i>
2.2	ARGAMASSA DE REVESTIMENTO COM AREIA DE BRITAGEM.....	32
2.2.1	<i>Propriedades das argamassas de revestimento com Areia de Britagem.....</i>	<i>33</i>
2.2.1.1	<i>Adesão inicial e aderência.....</i>	<i>34</i>
2.2.1.2	<i>Trabalhabilidade das argamassas com Areia de Britagem.....</i>	<i>35</i>
2.2.1.3	<i>Retração e fissuração em revestimentos de argamassa com Areia de Britagem.....</i>	<i>37</i>
2.2.1.4	<i>Permeabilidade em revestimentos de argamassa com Areia de Britagem</i>	<i>38</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS.....	42
3.1.1	<i>Aglomerantes.....</i>	<i>42</i>
3.1.2	<i>Água.....</i>	<i>44</i>
3.1.3	<i>Agregados (Areia de Britagem e Areia Natural).....</i>	<i>44</i>
3.1.3.1	<i>Composição granulométrica</i>	<i>44</i>
3.1.3.2	<i>Massa específica.....</i>	<i>48</i>
3.1.4	<i>Caracterização dos substratos</i>	<i>49</i>
3.2	COMPOSIÇÕES DO TRAÇO DA ARGAMASSA	50
3.2.1	<i>Produção das argamassas.....</i>	<i>50</i>
3.3	PROPRIEDADES AVALIADAS – MÉTODOS DE ENSAIO	51
3.3.1	<i>Estado fresco</i>	<i>51</i>
3.3.1.1	<i>Índice de consistência por espalhamento</i>	<i>51</i>
3.3.1.2	<i>Consistência por penetração de cone.....</i>	<i>51</i>
3.3.1.3	<i>Squeeze flow</i>	<i>52</i>
3.3.1.4	<i>Determinação de parametros para aplicacao de argamassas de revestimento com base no ensaio de Squeeze Flow.....</i>	<i>52</i>
3.3.1.5	<i>Densidade de massa</i>	<i>53</i>
3.3.1.6	<i>Retenção de água.....</i>	<i>53</i>
3.3.1.7	<i>Teor de ar incorporado</i>	<i>53</i>
3.3.2	<i>Estado endurecido</i>	<i>54</i>
3.3.2.1	<i>Densidade de massa no estado endurecido</i>	<i>54</i>
3.3.2.2	<i>Resistência à tração na flexão e à compressão</i>	<i>54</i>
3.3.2.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	<i>55</i>
3.3.2.4	<i>Retração</i>	<i>55</i>
3.3.2.5	<i>Fissuração revestimento.....</i>	<i>56</i>
3.3.2.6	<i>Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.....</i>	<i>57</i>
3.3.2.7	<i>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade</i>	<i>58</i>
3.3.2.8	<i>Determinação da distribuição de poros – porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM)</i>	<i>58</i>
3.3.2.9	<i>Determinação da resistencia de aderencia a tração</i>	<i>58</i>
3.3.2.10	<i>Determinação de atividade pozolanica com cimento Portland.....</i>	<i>58</i>

4	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	60
4.1	ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	60
4.1.1	<i>Índice de consistência e quantidade de água nas argamassas</i>	60
4.1.2	<i>Penetração de cone</i>	61
4.1.3	<i>Squeeze flow</i>	62
4.1.4	<i>Densidade de massa</i>	64
4.1.5	<i>Teor de ar incorporado</i>	65
4.1.6	<i>Retenção de água</i>	67
4.2	ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	68
4.2.1	<i>Resistência a compressão das argamassas e atividade pozolânica dos microfios</i>	68
4.2.2	<i>Resistência a tração na flexão</i>	69
4.2.3	<i>Densidade de massa</i>	70
4.2.4	<i>Módulo de elasticidade dinâmico</i>	71
4.2.5	<i>Absorção de água</i>	72
4.2.6	<i>Índice de Vazios</i>	73
4.2.7	<i>Coefficiente de capilaridade</i>	74
4.2.8	<i>Porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM) nas argamassas</i>	75
4.2.9	<i>Retração linear</i>	76
4.2.10	<i>Fissuração no revestimento</i>	77
4.2.11	<i>Resistência de aderência a tração</i>	78
4.3	SISTEMATIZAÇÃO E ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS	80
5	CONCLUSÃO.....	84
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	APÊNDICES	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas dos aglomerantes.....	43
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ensaio realizados.....	40
Figura 2 – Teor de microfinos adicionados aos traços em estudo.....	42
Figura 3 – Distribuição granulométrica das areias	45
Figura 4 – Distribuição granulométrica dos microfinos da areia natural	46
Figura 5 – Distribuição granulométrica dos microfinos da areia de britagem	46
Figura 6 – Microscopia Eletrônica de Varredura de microfinos de AB – Mag 2.0 kx.....	47
Figura 7 – Microscopia Eletrônica de Varredura de microfinos de AB – Mag 3.5 kx.....	47
Figura 8 – Procedimento do ensaio de massa específica do agregado miúdo AB	49
Figura 9 – Procedimento do ensaio de massa específica do agregado miúdo AN	49
Figura 10 – Esquema do ensaio penetração de cone	52
Figura 11 – Parâmetros de aplicações para argamassas de revestimento com base no ensaio de Squeeze-Flow.....	53
Figura 12 – Caixa de queda utilizada para aplicação das argamassas.....	57
Figura 13 – Índice de consistência.....	60
Figura 14 – Percentual de água nas argamassas.....	61
Figura 15 – Penetração de cone.....	62
Figura 16 – Squeeze flow 10 minutos.....	63
Figura 17 – Squeeze flow 15 minutos.....	63
Figura 18 – Densidade de massa.....	65
Figura 19 – Teor de ar incorporado	66
Figura 20 – Retenção de água	67
Figura 21 – Resistência a compressão.....	68
Figura 22 – Resistência a tração na flexão.....	69
Figura 23 – Densidade de massa.....	70

Figura 24 – Módulo de elasticidade dinâmico.....	71
Figura 25 – Absorção total.....	72
Figura 26 – Índice de vazios.....	73
Figura 27 – Coeficiente de capilaridade	74
Figura 28 – Volume acumulado de poros na argamassa de areia natural.....	75
Figura 29 – Volume acumulado de poros na argamassa de areia de britagem.....	75
Figura 30 – Retração linear.....	76
Figura 31 – Fissuração no revestimento.....	79
Figura 32 – Resistência de aderência a tração.....	80
Figura 33 – Arrancamento das pastilhas com equipamento da marca Imada.	81
Figura 34 – Equipamento da marca Imada utilizado para aplicar tração na argamassa.....	81
Figura 35 – Quadro comparativo entre as propriedades das argamassas	84

LISTA DE ABREVIATURAS

AB	Areia de Britagem
AN	Areia Natural
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CH Cal	Hidratada
CP	Cimento Portland
GMAT	Grupo de Pesquisa de Reciclagem de Materiais
IAP	Índice de Atividade Pozolânica
L.T.A.N.	Linha de Tendência Argamassa de Areia Natural
L.T.A.B.	Linha de Tendência Argamassa de Areia Britagem
MF	Microfinos
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma MERCOSUL
PPGEC	Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
CSH	Silicato de Cálcio Hidratado
SBTA	Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
VSI	Vertical Shaft Impactors

RESUMO

ROSA, M. **Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica.** São Leopoldo, 2013. 113 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

O Brasil passa por excelente momento na construção civil. Esse fato faz com que ocorra grande demanda de materiais, conseqüentemente grande consumo de matérias-primas e grande impacto ambiental. Para a produção de argamassas de revestimentos, normalmente, é utilizada areia natural, proveniente de depósitos aluvionares. Este tipo de matéria-prima está escasso, possui alto custo, e afeta diretamente o meio-ambiente por ser uma matéria prima não renovável. Uma possível alternativa de agregado miúdo, para uso em argamassa de revestimento, é a areia de britagem, que já é utilizada como agregado miúdo para concretos. Este estudo avalia o comportamento de argamassas produzidas com areias de britagem. O objetivo é comparar o comportamento de uma argamassa de cimento, cal e areia proveniente de britagem de rocha basáltica, com a mesma argamassa utilizando-se areia natural, sendo adicionadas às duas areias, microfinos provenientes da própria britagem da rocha basáltica. Foram adicionados cinco diferentes porcentagens de microfinos, formando dez traços de areias, sendo cinco traços com areia natural de leito de rio (areia aluvionar) e outros cinco traços com areia de britagem de rocha basáltica proveniente de britador VSI, material normalmente classificado como finos de pedreira. Os aglomerantes utilizados foram o CP II Z- 32 e cal CH-I. O traço adotado foi de 1:1:6 em volume de cimento, cal e areia. Foi possível comparar e analisar a retração das argamassas fazendo relação com a fissuração. Os resultados alcançados neste trabalho mostram que é tecnicamente viável a substituição de areia natural por areia de britagem de rocha basáltica em argamassas de revestimento, com percentual de microfinos de 10%. Entretanto, são necessários estudos complementares para melhorar a granulometria e a forma das partículas da areia de britagem, permitindo um melhor acabamento superficial do revestimento e buscando viabilizar sua utilização sem a necessidade de acrescentar microfinos à areia de britagem para atingir um teor de 10%.

Palavras-chave: Areia de Britagem, Microfinos, Argamassa de Revestimento, Reciclagem.

ABSTRACT

ROSA, M. **Analysis of the effect of levels of microfine on the properties of mortar coating with the use of basaltic sand crushing.** São Leopoldo, 2013. 113p. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Graduate Program in Civil Engineering, Unisinos, São Leopoldo. 2013.

Brazil is going through a great time in construction, having an increase in demand of raw materials and a huge impact in the whole environment. In production of mortar coatings, it is commonly used natural sand from alluvial deposits. This type of raw material has a high cost, and affects directly the environment because it is a non-renewable. A possible alternative to fine aggregate are crushed aggregates, which is already used as aggregate for concrete. This research evaluates the behavior of mortars produced with basalt crushed fine aggregates. The objective is to compare the behavior of a cement, lime and sand mortar using crushed aggregates made from basaltic rock, with the same mortar proportion using natural sand. In all mortars microfine coming from the crushing of basaltic rock (using a VSI crusher) were added in five different percentages, 5 with natural sand and 5 with crushed fine aggregates of basaltic rock. It was used CP II Z- 32 cement and CH-I lime, producing 1:1:6 cement, lime and sand mortars. It was analyzed the shrinkage and cracking of mortars. Results show that it is possible to replace natural sand by crushing basalt aggregates in a mortar coating using 10% of microfine. It is highly recommended to make complementary studies to improve the size distribution and shape of the crushed sand to provide a better surface finish to the coating and seeking allow their use without need to increase the powdery material to achieve the percentage of 10% of microfine.

Keywords: Sand Crushing, Microfine, Mortar Coating, Recycling.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está diretamente relacionada ao crescimento do Produto Interno Bruto do país, sendo este o setor com maior geração de empregos (LA SERNA, 2009).

O Brasil tem um grande déficit habitacional e, para redução deste, o governo está investindo fortemente na construção civil. Sendo assim, há grande crescimento no setor e, acompanhado disso, um elevado consumo de matéria-prima, que são recursos naturais não renováveis (BASTOS ET AL., 2005).

A exaustão de áreas para extração de agregados miúdos próximas aos grandes centros urbanos e a restrição da extração de agregados miúdos em leitos de rios pelos órgãos de fiscalização ambiental têm resultado na exploração de areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia natural, visto que a distância entre produtor e consumidor tem sido em média 100 km (VALVERDE, 2001).

Há alguns anos a Areia de Britagem (AB) vem sendo utilizada em concretos e argamassas de assentamento, porém durante anos não se vislumbrava este possível uso, o que gerou grandes áreas com demasiada deposição deste “resíduo”. Estas áreas geram significativo impacto ambiental, comprometendo, a qualidade de vida da população (ISHIKAWA E CAMARINI, 2005). Como há poucas áreas adequadas para descarte, torna-se alto o valor para deposição. Portanto, na maioria das vezes os resíduos são descartados em locais impróprios (Manual de Gestão de Resíduos da Construção Civil (BRASIL, 2005)).

Apesar do crescimento contínuo do uso da areia de britagem, ainda existe pouca bibliografia disponível sobre o tema. A maioria dos artigos estão focados no desenvolvimento de alternativas de reciclagem deste resíduo em concretos, sendo poucos os trabalhos sobre o desempenho de argamassas com o uso de areia de britagem de rochas basálticas.

Neste contexto, salienta-se a importância da realização de estudos que venham a contribuir tanto na busca de soluções ambientais, como também no conhecimento das propriedades dos materiais produzidos com areia de britagem e, neste caso, em especial das argamassas. Está pesquisa busca avaliar a substituição da areia natural de leito de rio por Areia de Britagem em argamassas de revestimento, com intuito de aumentar o potencial de utilização deste resíduo para suprir a crescente demanda por agregados miúdos para argamassas de revestimento.

1.1 JUSTIFICATIVA

O aproveitamento da Areia de Britagem é uma alternativa para a redução dos impactos gerados pela indústria da construção civil e também pode ser considerado uma boa alternativa do ponto de vista econômico.

Há necessidade de pesquisas que avaliem a possibilidade de utilização de Areia de Britagem como uma alternativa às areias de rio, que é um proveniente de uma fonte não renovável. Esta pesquisa tem o propósito de contribuir para a investigação da possível utilização de um resíduo (ou co-produto) que vem sendo depositado em locais inadequados e, em parte, utilizado em concretos e algumas argamassas de assentamento. Devido à crescente escassez e conseqüente aumento do preço da areia natural para utilização em argamassas de revestimento, o estudo da utilização de areia de britagem como uma alternativa a areia natural se torna cada vez mais necessário.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral comparar as propriedades de argamassas de revestimento com areia natural de leito de rio e com areia de britagem basáltica com adição de diferentes teores de microfinos.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Avaliar o efeito da substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo de britagem em argamassas de revestimento;
- Analisar a influência da adição de microfinos (fíler) de rocha basáltica em argamassas de revestimento com a utilização de areia natural e com areia de britagem basáltica, no estado fresco e no estado endurecido;
- Avaliar a existência de relação entre a retração de cada argamassa e a área fissurada em revestimentos realizados com as mesmas argamassas;

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente dissertação encontra-se dividida em três capítulos:

O capítulo 1, Introdução, apresenta uma breve introdução, justificativa e os objetivos da pesquisa.

O capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta uma contextualização sobre Areia de Britagem Basáltica (AB) e sobre a utilização da Areia de Britagem para a produção de argamassas, incluindo uma discussão sobre as propriedades físicas dos agregados miúdos provenientes de britagem e as propriedades das argamassas com a adição deste material.

O capítulo 3, Programa Experimental, descreve os materiais e métodos adotados na pesquisa. Neste capítulo são detalhados os métodos adotados para a realização dos ensaios nas argamassas, assim como a descrição dos materiais utilizados.

No capítulo 4, Análise e Discussão dos Resultados, são descritos os resultados dos ensaios realizados e é realizada a análise dos mesmos.

O capítulo 5, considerações finais, conclui a discussão dos resultados, propondo também futuros trabalhos.

1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Nesta pesquisa foram utilizados dois tipos de areias: areia natural e uma areia proveniente de britadores de rocha basáltica (britador do tipo VSI). Com esse tipo de areia, foram confeccionadas as argamassas mistas com cimento e cal hidratada, sendo um único traço adotado (o mesmo traço utilizado por METZ (2011)), 1:1:6, variando a quantidade de microfinos adicionado, na proporção de, 1,5 ; 6;10; 20 e 30%, sendo aplicado sobre um único tipo de substrato do tipo cerâmico.

A distribuição granulométrica das duas areias utilizadas na pesquisa não foi alterada significativamente, sendo apenas excluído o material passante na peneira de malha 75 μ m das duas areias. Os microfinos utilizados na pesquisa são passantes na peneira de malha 75 μ m, tendo sido adicionados às areias em cinco teores distintos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura está focada na caracterização da areia de britagem basáltica do tipo VSI, e nos microfinos provenientes das areias de britagem usadas para a produção de argamassas de revestimento, com enfoque nos aspectos texturais e granulometria, origem e nos procedimentos de qualificação e quantificação destes parâmetros. Esta revisão também está focada na caracterização das argamassas de revestimento.

2.1 AGREGADOS MIÚDOS PARA ARGAMASSAS

Há significativa diferença de origens, fenômenos de intemperismo e desintegração, minerais formadores e processos de produção que geram agregados de diferentes propriedades. Segundo TRISTAO (2005), as diferenças nas propriedades dos agregados são determinantes nas propriedades das argamassas.

Não está especificamente normatizada no Brasil a caracterização de agregados para argamassas. Em geral, muitas exigências da NBR 7211 (ABNT, 2005), destinada à especificação de agregados para concretos, são utilizadas na seleção de agregados para argamassas.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), os agregados devem ser compostos por grãos minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza danosa em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento e sua durabilidade.

Os limites máximos admissíveis de substâncias nocivas no agregado miúdo em relação à massa do material, fundamentado nas prescrições da NBR 7211 (ABNT, 2005), são: 3% de torrões de argilas e materiais friáveis, 0,5% materiais carbonosos para concreto aparente e 1% de materiais carbonosos para concretos não aparentes, seguindo os mesmos limites da ASTM C 123.

Segundo SUGUIO (1973), as principais características dos grãos são denominadas parâmetros ou propriedades texturais. Segundo ARAÚJO (2001) e também TRISTAO (2005) se faz necessária a quantificação dos parâmetros texturais devido à diversidade de areias existentes.

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), quando o material fino que passa na peneira 75 μ m estiver constituído de grãos gerados durante a britagem de rocha, os valores apresentados podem ter seus limites alterados de 3% para 10% para concreto submetido a

desgaste superficial e de 5% para 12% para concreto protegido do desgaste superficial, desde que seja possível comprovar, por apreciação petrográfica que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto. Os materiais não podem ser micáceos, ferruginosos e argilo minerais expansivos.

Segundo ARAÚJO (2001) e também TRISTÃO (2005) os tamanhos dos grãos são expressos em termos de distribuição granulométrica, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade, a textura superficial, a área superficial e a composição mineralógica fazem parte dos parâmetros texturais dos grãos.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) ainda classifica o agregado miúdo em zonas utilizáveis e ótimas. Dentre os itens citados na NBR 7211 (ABNT, 2005) a maioria costuma ser utilizada para agregados para argamassas, com exceção dos itens relacionados à corrosão, porcentagem de material fino e a especificação das zonas granulométricas. Além dos requisitos da norma NBR 7211 (ABNT, 2005), outras considerações sobre os agregados miúdos devem ser abordadas devido a sua influência no comportamento dos revestimentos, discutidos a seguir.

2.1.1 Requisitos dos agregados miúdos para argamassas

As características referentes à forma, rugosidade, área, textura superficial e recomendações mais específicas no que se refere à composição granulométrica, são requisitos adicionais necessários às areias para argamassas. As características fundamentais dos grãos isolados, utilizadas para caracterizar depósitos sedimentares são propriedades texturais (SUGUIO, 1973). A quantificação dos parâmetros texturais faz-se necessário devido à diversidade de areias existentes, segundo ARAÚJO (2001).

As dimensões (expressas em termos de distribuição granulométrica), a textura superficial, a forma representada pelo arredondamento e esfericidade e a composição mineralógica são parte dos parâmetros texturais dos grãos. (ARAÚJO, 2001).

A composição granulométrica de um agregado depende da rocha fonte. A textura superficial dos grãos depende de fatores químicos como a mudança devido à dissolução ou método de transporte. A variação do tamanho dos grãos das areias de depósitos sedimentares está associada a fatores físicos como o meio e a velocidade de transporte (SUGUIO, 1973). Não é aconselhável a generalização da classificação das areias de rio em um só tamanho, forma e textura superficial (SUGUIO, 1973), pois as diversas frações que compõem as areias não têm a mesma forma. Da mesma forma não se pode generalizar as considerações sobre a

forma dos agregados britados, pois esta depende da petrografia da rocha, do tipo e características do britador.

a) Composição granulométrica

Para a determinação granulométrica utilizam-se, no Brasil, as peneiras de malha quadrada especificada na NBR 5734 (ABNT, 1988), com razão dois entre aberturas de malhas, e métodos da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A utilização da série normal de peneiras recomendadas na NBR NM 248 (ABNT, 2003), origina uma curva granulométrica pouco detalhada, segundo TRISTÃO (2001). TRISTÃO (2001) recomenda o uso da série principal da NBR 5734 (ABNT, 1988) que começa com a peneira 2,4mm e termina com a 0,075mm, sendo composta por 11 peneiras, com razão de 1,41 entre aberturas de malhas sucessivas, nos estudos de caracterização das areias para argamassas, pois este se mostrou, em seus trabalhos, muito eficiente e com amplo refinamento na análise da distribuição granulométrica.

A utilização da série normal da NBR 5734 (ABNT, 1988), para estudos científicos e para classificação dos materiais, aumenta o conhecimento das variações dos tamanhos de grãos de diversas frações que compõem as areias. A separação industrial dos grãos com esta série de peneiras, por outro lado, torna-se mais trabalhosa.

Os fatores que são determinados a partir de uma análise granulométrica são as dimensões dos grãos através das porcentagens acumuladas, retidas ou passantes nas peneiras, a dimensão máxima característica, o módulo de finura e o método desenvolvido por TRISTÃO, conhecido como coeficiente de uniformidade do material.

Visto que os grãos não são esféricos, a representação é relativa quando se referem ao tamanho dos grãos através do diâmetro, segundo ARAÚJO (2001), que sugeriu que a granulometria de uma partícula de forma irregular é mais bem expressa pelo valor de seu volume, pois o volume é livre da forma, já que os materiais naturais raramente são sólidos regulares. SCARTEZINI (2002) afirma que o volume de agregados é de imensa importância, uma vez que, se um fragmento quebra em vários pedaços, a soma de seus diâmetros não é igual ao diâmetro da partícula original, mas a soma dos volumes dos fragmentos é igual ao volume original.

Os parâmetros texturais dos grãos que compõem as areias exercem uma forte influência nos índices de vazios, e com mais veemência de que a distribuição granulométrica, ou seja, quanto maior a esfericidade, o arredondamento e o fator de forma dos grãos, menores os índices de vazios das areias, conforme TRISTÃO (2005). O autor também afirmou que

quando se trabalha com grãos não esféricos de diversos tamanhos, somente a caracterização dos agregados com a composição granulométrica não é suficiente.

Segundo METZ (2011) a dimensão dos grãos, expresso na forma de frações granulométricas, altera o volume de vazios, sendo que, quanto maior a fração, menor o volume de vazios.

A distribuição granulométrica e a forma dos grãos estão associadas ao empacotamento das partículas, e como a quantidade de grãos em cada fração depende da forma do grão, considerando a mesma massa específica, a ciência da distribuição granulométrica em termo de números de grãos é um dado importante no desenvolvimento de areias com os menores vazios de volume, que irão realizar argamassas com menores consumos dos aglomerantes (TRISTÃO, 2005).

A variação da compactidade da mistura ou do índice de vazios da areia é avaliada nos trabalhos de vários autores, conforme salientou METZ (2011). A autora ressalta a importância do coeficiente de uniformidade, como um complemento à distribuição granulométrica da areia. Areias muito uniformes, chamadas de areias de granulometria contínua conduzem a maior compactidade, enquanto que areias não uniformes, chamadas de areias de granulometria descontínua, apresentam menores coeficientes de compactidade e são as que apresentam os maiores volumes de vazios (PANDOLFELLI ET AL., 2005).

O comportamento do empacotamento de grãos é somente dependente da forma e distribuição da dimensão dos grãos (BRIGGS E EVERTSSON, 1998). Em análise com grãos esféricos, o autor avaliou que o aumento do diâmetro das esferas inicialmente aumenta a porosidade até o máximo, e depois há um decréscimo desta com a ampliação do diâmetro. Salienta ainda que, para grãos esféricos, o volume de vazios em uma mistura de grãos de diversos tamanhos é menor que a mistura de grãos de um só tamanho. Com relação à forma, os autores afirmam que desvios na forma esférica dos grãos tendem a aumentar a porosidade de misturas de uma só dimensão, por causa dos cantos dos grãos ou pelo aumento do atrito entre eles.

Há muitos modelos de previsão de empacotamento de misturas, sendo o mais consistente o de FURNAS (1931), minuciosamente detalhado pelos autores, segundo PANDOLFELLI ET AL.(2000). Esse tipo de empacotamento, entretanto, não reproduz o comportamento de argamassas e concretos, compostos de grãos de diferentes tamanhos.

Nestes, fatores como a composição granulométrica, a morfologia, a porosidade e a densidade das partículas também intervêm no empacotamento.

A partir do exposto, observa-se que a composição granulométrica, obtida através de peneiramento, não é suficiente para caracterizar as propriedades dos agregados e que é necessária a incorporação de medidas da forma dos grãos para melhor interpretar a distribuição granulométrica das areias. Fica evidente a influência da forma dos grãos no índice de vazios das areias e a necessidade de entender sua relação com as propriedades das argamassas.

b) Morfologia dos grãos

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005), especifica a forma dos grãos somente para agregados graúdos, citando que o índice de forma não deve ser superior a três, quando determinado de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 1983).

A definição de forma de um agregado se refere ao quanto ela se afasta da forma cúbica, segundo afirmação de BRIGGS E EVERTSSON (1998). Os agregados em geral são classificados, com relação à sua forma, entre agregados apropriados e agregados inadequados para uso, sem quantificação de valores.

A necessidade de se quantificar a forma e a textura do agregado miúdo é enfatizada por TRISTÃO (2005), pois a forma das partículas de menor dimensão seja talvez mais significativa que a do agregado graúdo na melhoria da estabilidade de misturas e também na resistência à deformação permanente. O fator de forma exerce maior influência do que a granulometria; tanto no consumo de cimento quanto na resistência do concreto elaborado com agregados de formatos não adequados (TRISTÃO, 2005).

Areias de origens diversas apresentam diferentes parâmetros texturais segundo os estudos de ARAÚJO (2001). Em função dos diferentes parâmetros texturais as propriedades das argamassas no estado fresco foram alteradas, sendo que, quanto mais arredondado e esférico o grão e menos rugosa sua textura superficial, menor a quantidade de pasta das argamassas, o que implica em um menor consumo de aglomerantes e de água de amassamento. A forma dos grãos de areia para argamassa de revestimento deve ser representada através da determinação do arredondamento, da esfericidade e do fator de forma. Para expressar esses coeficientes existem vários métodos, sendo alguns por comparação visual com imagens de padrões definidos e outros quantitativos (ARAÚJO, 2001; D'AGOSTINO, 2004).

Na NBR 7389 (ABNT, 1992), está descrito o método qualitativo de análise dos agregados para concreto. Deve-se avaliar a forma do grão visualmente, ou com auxílio de lupa, e compara com padrões gráficos que indicam o grau de esfericidade e arredondamento. Enquanto o grau de esfericidade mostra o quanto o grão se aproxima da forma esférica, o arredondamento se relaciona com a intensidade de curvatura dos cantos. (D'AGOSTINO, 2004).

c) Área específica dos grãos

A NBR 7224 (ABNT, 1996) define a área específica como a área superficial de um sólido por unidade de massa ou de volume. A área específica volumétrica é usada para apresentar a forma de agregados graúdos, sendo que, segundo MEHTA E MONTEIRO (1994), grãos alongados e achatados possuem elevado valor e grãos esféricos ou bem arredondados têm baixo valor de área específica.

A área específica de qualquer material considerado fino é composta da superfície externa e da superfície interna, advinda de poros, fissuras ou rachaduras (CUCHIERATO, 2005). Sendo assim, o autor determinou a área específica de areias usando a técnica de absorção de nitrogênio, com o objetivo de considerar também esta superfície interna. Os resultados obtidos permitiram concluir que arenitos e basaltos possuem maiores áreas específicas do que rochas metamórficas, e que o índice de vazios da areia parece ter mais influência no conteúdo de água das argamassas que a área específica. Contudo, CUCHIERATO (2005) afirma que o índice de vazios depende da forma e tamanho dos grãos, e tem influência sobre a angulosidade, esfericidade e textura superficial. Em seu trabalho, demonstra a influência do parâmetro morfológico da área superficial externa dos grãos de areia nas propriedades das argamassas.

CUCHIERATO (2000), em seus estudos e análises, partiu da hipótese de que a influência da área específica das areias nas argamassas está relacionada com a quantidade de pasta a ser usada. Duas areias com mesma distribuição granulométrica e diferentes formas e texturas superficiais dos grãos conduzirão a argamassas com diferentes teores de pasta.

Ao analisar diferentes métodos para a determinação da área superficial de agregados, ARAÚJO (2001) referencia que a grande maioria é baseada na forma de sólidos regulares devido à simplificação dos cálculos. Entretanto, as areias podem apresentar formas e texturas superficiais muito diferentes de uma esfera com superfície lisa ou polida, o que dificulta a determinação da área superficial (CARR ET AL., 2005). ARAÚJO (2001)

considera que o método que utiliza a teoria dos fractais, seguindo o procedimento proposto por CARR ET AL.(1990), é o único que leva em consideração a rugosidade superficial dos grãos.

CARR ET AL.(2005), ao medir a área superficial de areias verificou que grãos mais rugosos possuem maiores áreas específicas, considerando a mesma distribuição granulométrica em massa. No estudo de Tristão, não foi possível estabelecer uma correlação da área específica da areia com o empacotamento dos grãos.

d) Textura superficial dos grãos

Conforme estudos realizados por CARR ET AL. (2005), a textura superficial dos agregados interfere no consumo de pasta e na resistência mecânica de concretos e misturas asfálticas.

A NBR 7389 (ABNT, 1992) classifica a textura superficial dos grãos de agregados para concretos em polidos, foscos ou rugosos, com embasamento em avaliação visual. Já a classificação geológica refere-se a superfícies polidas, foscas ou corroídas, segundo TRISTÃO (2005).

O método utilizado para quantificação da textura superficial dos grãos de agregados para pavimentos asfálticos fornece um índice relacionado com as características de forma e textura do agregado, por meio da determinação da massa unitária compactada. Sendo assim, é uma medida indireta da rugosidade, pois o método avalia, em conjunto, tanto a textura superficial como a forma do grão, conforme METZ (2011). Este método indica a influência da angulosidade, esfericidade e textura superficial dos agregados em comparação com outros agregados de mesma composição granulométrica, avaliando os parâmetros texturais em conjunto, conforme análise de GUACELLI (2010).

A rugosidade tem sido caracterizada por comparação visual com modelos padronizados, assim como por métodos quantitativos através da análise de Fourier. Alguns dos autores citados anteriormente, como TRISTÃO (2001) também concluem que a geometria fractal pode ser aplicada na avaliação da rugosidade de materiais granulares, e apresentam um método em que usam a dimensão fractal de área e perímetro, identificados como dimensão fractal de rugosidade. Os autores apresentam dois procedimentos gerais, sendo que um utiliza processamento manual e outro com um programa de análise de imagem. Este último tem grande potencial de uso para quantificar a rugosidade, sendo essenciais imagens com alta resolução. O método consta basicamente da determinação da área e do perímetro da projeção

da partícula e posterior traçado de um gráfico em escala logarítmica onde se determina o coeficiente angular da reta ajustada aos pontos. Com os resultados obtidos, os autores encontraram uma relação direta desta dimensão fractal com a rugosidade sendo que, quanto mais rugoso for o perfil do grão, maior o valor da dimensão fractal (TRISTÃO, 2005).

CARR ET AL. (1990) consideram que quanto mais angular é o agregado, maior a dimensão fractal quando comparados a grãos redondos. Os próprios autores relacionaram a textura superficial com a área específica pelo fato de um agregado com textura superficial rugosa ter maior área superficial do que um agregado similar na forma e granulometria com textura superficial mais lisa. Afirmam ainda que quanto maior a área superficial, maior a quantidade de aglomerante a ser adicionada na mistura para dar trabalhabilidade.

Uma colocação realizada por CHAVES (2005), é que são necessários estudos em argamassas para melhor compreensão da influência da textura superficial dos agregados. Em estudos para concretos e misturas asfálticas, conclui-se que a textura superficial interfere não só no consumo de pasta como nas resistências mecânicas. A necessidade de definir parâmetros relativos à morfologia dos grãos de areia ficou evidente, pois estabelecer composições granulométricas sem quantificar os formatos dos grãos pode ocasionar a produção de argamassas inadequadas, já que as areias com a mesma distribuição granulométrica podem exibir variações no volume de vazios em decorrência da forma dos grãos.

2.1.2 Areia de Britagem

A areia de britagem é um material proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, submetido ou não a algum processo de classificação para retirada do material pulverulento, com granulometria entre 4,8mm e 150mm, segundo a NBR 9935 (ABNT, 2005). Embora a NBR 7211 (ABNT, 1983) já prevesse a utilização de agregados miúdos obtidos da britagem de rocha e a NBR 9935 (ABNT, 1987) as designassem como areias artificiais, na bibliografia nacional são encontradas várias denominações como: pó de pedra, finos de britagem e areia de britagem. Conforme CUCHIERATO ET AL. (2005), em relação à fração fina da britagem, na revisão da norma NBR 9935 (ABNT, 2005) foi considerado adequado classificá-la como agregado natural (e não artificial), uma vez que é resultante de um processo de cominuição e classificação de rochas naturais. Não é adequado denominar esta fração como areia industrial, pois não é resultante de um processo industrial propriamente dito. Em modificações realizadas na norma NBR 7211 (ABNT, 2005), os limites de materiais pulverulentos para a areia de britagem foram alterados, considerando

mais de mil ensaios de composição granulométrica de agregados, provenientes de diversos pontos do Brasil, usados na produção de concreto e que, mesmo fora dos limites antigos, são utilizados na prática corrente sem registrar deficiência técnica ou prejuízos as suas propriedades. Os valores foram alterados de 5% a 7%, (na norma antiga), para 10% a 12% de material passante na peneira 0,075mm. CUCHIERATO ET AL. (2005) afirma que, além disso, passou a fazer parte da caracterização do agregado o conhecimento da natureza petrográfica dos finos e de seu estado de alteração, para que a avaliação técnica possa ser considerada completa.

No Brasil, a utilização da areia de britagem para confecção de argamassas é pouco documentada. Pode-se abordar o uso de areia de britagem como um processo de reciclagem de resíduo, já que sua obtenção é feita a partir do pó de pedra, resíduo da britagem de rochas para a produção de agregados graúdos.

2.1.2.1 Obtenção de agregados britados

O método de geração de agregados em pedreiras, de um modo geral, é constituído pelo seguinte processo: britagem e peneiramento, transporte, classificação, lavagem, empilhamento, armazenamento, carregamento e descarregamento.

Em pedreiras há a necessidade de controle ambiental de problemas relacionados à emissão de ruído e pó, dos possíveis rejeitos, controle das propriedades da rocha e das características do produto final, pois as características da matéria-prima devem ser equilibradas com o nível de produção exigido e o tamanho e formato do produto final (METSO MINERALS, 2010). Há outro requisito que também deve ser levado em consideração, como o desgaste dos equipamentos, fator responsável pelo custo elevado de manutenção de uma usina de britagem.

O processo de britagem pode ser por método primário de cominuição, secundário, terciário ou quartanário. O número de estágios de britagem depende do tamanho da rocha a ser britada e da qualidade desejada do produto final. O controle da granulometria e forma da brita ficam mais precisos de acordo com as etapas secundária, terciária e quaternária (CHAVES, 2005).

O processo mais comum de controle dimensional no processamento de agregados, tanto para aplicações por via úmida quanto por via seca, é o peneiramento vibratório e classificatório (METSO MINERALS, 2010). Após o processo de peneiramento o material que não foi classificado na granulometria adequada, volta aos britadores secundários e terciários,

sendo de cone ou mandíbula, em circuito fechado, até atingir a granulometria específica dos agregados graúdos.

O resíduo deste processo produtivo é denominado pó de pedra. A areia de britagem é produzida a partir do pó de pedra, através da lavagem e/ou peneiramento ou da passagem por equipamentos específicos de produção.

Referente à origem, podem ser britados diversos tipos de rochas para obtenção da areia: granito, calcário, basalto, entre outras. Cada tipo de rocha gera uma areia com diferentes características.

Existem dois métodos de produção da areia (4,8mm dim. máxima) de britagem, a seco e a úmido. O processo a seco consiste do simples peneiramento do pó de pedra, e dá origem a um agregado miúdo com grande quantidade de teor de material fino, já que é muito difícil fazer a retirada somente por peneiras. Entretanto, esse teor varia, de acordo com as características da rocha.

O pó de pedra pode conter teor de finos superior a 10% que o tolerado pela NBR 7211 (ABNT, 2005), norma que especifica agregados para concretos, dependendo da rocha original. Por este motivo são inseridas, no método a seco, as unidades lavadoras, caracterizando o processo a úmido.

O método de produção úmida consiste em lavar o pó de pedra gerado na pedreira, transformando-o em areia de britagem. Todavia, a simples lavagem do pó de pedra resultante da britagem convencional não é totalmente aceitável devido à forma das partículas (OHASHI, 2005).

2.1.2.2 Tipos de Areias de Britagem

Durante o processo de produção de britas, formam-se alguns tipos de areia de britagem, diretamente relacionados ao tipo de britador utilizado. No Brasil normalmente são geradas areias de britagem por Britador Vertical Shaft Impactors (VSI) e por Britador de Mandíbulas.

O britador do tipo mandíbulas funciona através da quebra do material pela ação da força de compressão, aplicada através do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície de britagem móvel contra outra fixa.

O britador do tipo Impactador de rocha contra rocha (VSI) funciona com o uso de um rotor montado em um eixo vertical para prover a força centrífuga que gera o processo de

redução da partida. O rotor acelera a altas velocidades e o arremessa para a câmara de britagem. Na trajetória e dentro da câmara de britagem as partículas colidem umas contra as outras. Estas contínuas colisões geram a redução das partículas. Este é o sistema que produz grãos com forma mais esférica e menor quantidade de microfios e vem sendo introduzido em centrais de britagem que se propõem a gerar areia de britagem para uso em concretos e argamassas.

Neste trabalho, será utilizada uma areia de britagem gerada em britador VSI, descrito a seguir.

2.1.2.3 Areia de britagem de britador do tipo Vertical Shaft Impactors (VSI)

Segundo METZ (2011), as argamassas de revestimento com utilização de Areia de Britagem VSI chegam a resultados mais satisfatórios, melhorando as características nos estados fresco e endurecido, quando comparado a argamassas moldadas com Areia de Britagem proveniente de britadores do tipo Mandíbula.

2.1.2.3.1 Distribuição granulométrica da areia de britagem proveniente de britador do tipo Vertical Shaft Impactors

Conforme SILVA (2005), a principal limitação do uso da areia de britagem é a forma dos grãos. As areias de britagem geralmente possuem partículas angulosas com baixo grau de arredondamento.

TRISTÃO (2005) também faz os mesmos comentários, que para os agregados britados, parece ser natural a existência de grãos muito angulosos, isto é, que apresentam cantos mais agudos e com grandes e pequenas reentrâncias.

Na obra da Hidrelétrica de Manso (município de Chapada dos Guimarães, MT) OLIVEIRA ET AL. (2000 APUD LOPES, 2002) relatam que a lamelaridade da areia de britagem foi um dos problemas que inviabilizaram a sua utilização na obra. A forma dos grãos é função do tipo de equipamento usado para sua obtenção. No caso da obra citada, o uso de areia de britagem como agregado miúdo seria uma ótima solução, uma vez que as jazidas naturais mais próximas ficavam a 100 km da obra. Porém, o tipo de britador disponível (que era o de mandíbula), a quantidade insuficiente de material e o excesso de finos de materiais argilosos impossibilitaram o uso da areia de britagem na construção da Hidrelétrica. A lamelaridade fazia com que a mistura requeresse mais água e os finos dos materiais argilosos, além de prejudiciais, faziam com que o material ficasse aderido junto às paredes das betoneiras, inviabilizando a utilização.

2.1.2.3.2 Teor de microfinos da areia de britagem VSI

Segundo FARIAS E PALMEIRAS (2005), microfinos são materiais cujos grãos passam na peneira de abertura 0,075mm.

Com base em relatos de TERRA (2000), na areia de britagem a quantidade de material passante na peneira de abertura 0,075mm (microfinos) pode chegar, em alguns casos até a 20% da massa total do agregado. Este valor é superior ao valor estabelecido na NBR 7211 (ABNT, 2005) que limita valores máximos de microfinos em agregados miúdos britados para uso em concretos em 10% para concretos submetidos a desgaste superficial e 12% para concretos protegidos de desgaste superficial.

Para argamassas o percentual máximo aceito de microfinos é de 10%, adotado da normativa brasileira de Agregados para Concretos NBR 7211 (ABNT, 2005). Não existem normativas brasileiras que especifiquem agregados para argamassas.

A utilização da areia de britagem na produção de argamassas associada ao grande quantidade de microfinos que o material apresenta, torna este aspecto de grande importância na influência das características da argamassa no estado fresco. Com base em um trabalho realizado por SILVA E BUEST (CAMPITELI, 2005) com areia de britagem, observou-se que o teor elevado de microfinos no agregado, melhora o desempenho da argamassa em algumas propriedades.

Porém, em grande parte dos trabalhos realizados utilizando-se areia de britagem como agregado miúdo em argamassas, a quantidade de microfinos é alterada com o objetivo de melhor aproveitamento das propriedades deste agregado. Para um melhor aproveitamento do agregado britado, são necessários procedimentos tais como a rebitagem para arredondamento dos grãos e a eliminação do excesso de microfinos através de lavagem.

O alto teor de material pulverulento parece ser uma limitação das areias obtidas do processo de britagem, por isso muitas dessas areias são comercializadas após a lavagem para a retirada dos finos. SBRIGHI NETO (1975 APUD CUCHIERATO, 2000) e SILVA ET AL. (2005) frisam que as misturas com grande quantidade de microfinos podem fissurar por retração, enquanto que as misturas sem microfinos perdem a trabalhabilidade. Segundo BASTOS (2005) a trabalhabilidade requerida para o concreto pode ser adquirida com o controle dos finos da areia de britagem.

Argamassas moldadas com areia de britagem não têm a mesma trabalhabilidade como argamassas moldadas com areia natural, contudo argamassas moldadas com areia de

britagem não têm sua trabalhabilidade comprometida, devido à grande quantidade de microfinos, que influencia no escoamento das partículas (METZ, 2011).

Segundo SILVA E CAMPITELI (2006), havendo uma boa distribuição granulométrica e morfologia das partículas do agregado, fica mais fácil determinar um teor adequado de microfinos ideal a ser utilizado. Pode-se dizer que este valor é extremamente particular de cada tipo de agregado, da natureza do mesmo, além do tipo de uso que se deseja dar à argamassa. Sendo assim, estimativas sobre estes valores são difíceis de serem realizadas, sendo baseadas normalmente em dados já publicados e à adoção de experiências com vários teores de microfinos.

Segundo OHASHI (2005), a importância dos finos fica comprovada pelo fato de que vários consumidores da areia lavada adicionam cerca de 10% de microfinos no traço do concreto, sendo este um percentual similar ao retirado no processo de lavagem.

GRIGOLI (2000) ressalta que o teor de material fino (menor que 0,075mm) não é uma desvantagem para a produção de argamassas, podendo ser até uma vantagem, pois melhora a trabalhabilidade e diminui a porosidade e, por consequência, aumenta a durabilidade, porém há uma limitação da quantidade de microfinos que pode ser adicionada as argamassas.

O excesso de microfinos em agregados utilizados na confecção de argamassas é citado por diversos autores como o causador no aumento do consumo de água de amassamento. Segundo SILVA (2006), o consumo de água sofre essa alteração, esse aumento, devido à necessidade de movimentação e a interação entre as partículas de diâmetros menores e ao fato de que os microfinos possuem propriedade de aumentar a retenção de água.

Segundo SILVA E CAMPITELI (2006), devido ao aumento da superfície específica da areia que foi aumentada pela inserção de mais grãos ocorre o aumento do consumo de água. SAMPAIO E BASTOS (2009), dizem que o acréscimo de microfinos nos agregados não acarreta necessariamente em um aumento de volume deste, pois os grãos menores preencherão os espaços entre os maiores, aumentando a compacidade, a massa específica da argamassa e o intertravamento entre os grãos. Sendo assim, há a necessidade do aumento da relação água/cimento ou a utilização de aditivos incorporadores de ar, para um mesmo índice de consistência e correção da trabalhabilidade da argamassa.

Fator muito importante também é a interferência que ocorre pelo excesso de microfinos em argamassas: o principal fato prejudicado é a resistência de aderência. Argamassas ricas em microfinos tendem a diminuir a sucção da base do substrato, devido à retenção de água na argamassa, mas principalmente devido ao fechamento dos poros do substrato pelos microfinos presentes na mistura, não havendo assim adequada ancoragem e ocorrendo o deslocamento da argamassa de revestimento (SCHIMIT, 2012 APUD. SARAIVA; BAUER; GONÇALVES, 2010). Quando há uma grande quantidade de microfinos na pasta, os poros ficam obstruídos rapidamente, devido à pasta formada com a água e a porção fina da argamassa que tende a entrar nos poros da superfície do substrato. Este fato diminui a resistência de aderência do revestimento.

2.1.2.3.3 Mineralogia, forma e demais características da areia de britagem VSI

Segundo CHAVES (2005) a areia de britagem possui um grau de maturidade mineralógica menor que o das areias naturais devido às superfícies frescas, não hidratadas ou oxidadas, recém-geradas no processo de produção. A presença de grãos de feldspato alterado, grumos de argila, óxidos de ferro hidratados, entre outros também pode ser considerada uma limitação do material (SILVA, 2006). A presença destes tipos de materiais é mais evidente em coberturas de pedreiras e deveriam ser descartadas na limpeza da pedreira (CHAVES, 2005).

As limitações apresentadas pelas areias de britagem podem ser contornadas com o desenvolvimento do conhecimento técnico acerca destes materiais, bem como do uso de equipamentos mais adequados para o seu método de obtenção.

Segundo OHASHI (2005) a pequena variação granulométrica ao longo do processo produtivo é um aspecto positivo das areias de britagem. Outro ponto positivo é a facilidade em enquadrá-la na nova abordagem da NBR 7211 (ABNT, 2005) que se refere ao agregado total como “agregado resultante de britagem de rocha cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou areia de britagem, possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto a ser preparado com este material”. Esse fato reflete que, num futuro muito próximo, os consumidores especificarão a curva granulométrica dos agregados para argamassas e concretos e não mais os agregados separados em graúdos e miúdos.

No contexto geral, os níveis de impurezas das areia de britagem são menores que os da areia natural, o que é um aspecto positivo deste material, além da compatibilidade de

composição química, reforçada pelo fato das rochas de origem da areia de britagem já serem utilizadas no concreto como agregado graúdo. Sendo assim, do aspecto mineralógico, comenta-se que as areias de britagem têm o mesmo potencial das areias naturais (CUCHIERATO, 2000).

Do ponto de vista econômico, o menor custo da areia de britagem em relação à areia natural, nas regiões carentes deste recurso, ou distantes dos centros fornecedores é um aspecto altamente relevante. O custo médio da areia natural no estado do Rio Grande do Sul é R\$ 100,00 por metro cúbico, porém o valor de transporte aumenta este valor em média 70%. Já a areia de britagem tem custo médio de R\$ 60,00 por metro cúbico. Estes valores foram obtidos através de pesquisa no comércio da região metropolitana de Porto Alegre - RS no mês de junho de 2013.

Analisando pelo lado ambiental, pode ser citado o fato que a areia de britagem veio suprir a demanda gerada devido às restrições ambientais à extração de areia dos leitos de rios.

Os dados expressos permitem afirmar que a areia de britagem possui grande potencialidade para uso, desde que haja melhorias dos equipamentos para sua obtenção, a fim de melhorar, principalmente, sua morfologia.

O uso indiscriminado de agregados miúdos naturais certamente é uma agressão irreversível ao ambiente. Segundo BASTOS (2005) os aspectos negativos principais que envolvem o emprego destes materiais são o esgotamento de reservas de agregados naturais, a contaminação de materiais deletérios naturais e, mais recentemente, contaminações diversas em função da poluição dos rios; a variabilidade de faixas granulométricas e composição mineralógica, ao longo do tempo; a necessidade de melhoria do produto em relação à sua condição de oferta da forma natural, pelo método de lavagem e peneiramento para retirada de material orgânico e grãos de tamanho indesejado (os maiores são descartados para uso em argamassa de revestimento, por exemplo).

Em função destes fatos, estudos sobre materiais que possam ser utilizados na substituição do agregado miúdo em argamassas estão cada vez mais presentes, com o intuito de avaliar características que desenvolvam um produto com desempenho semelhante e, de preferência, superior aos utilizados atualmente.

Para tal substituição, MEHTA E MONTEIRO (1994) citam que materiais candidatos a substituir à areia natural devem, no mínimo, atender às mesmas especificações

com relação à distribuição de tamanhos, forma, textura, dureza, módulo de elasticidade, absorção de água e presença de contaminantes de agregados naturais, entre outros requisitos que não estão citados nas normativas, porém que também deveriam ser considerados.

Observa-se, nas pedreiras, a montanha de pó de pedra que se acumula como resíduo da britagem da rocha na produção de agregado graúdo. Este material é considerado pelas pedreiras como de difícil colocação no mercado da construção civil (atualmente já está sendo mais utilizado em regiões onde há dificuldade de encontrar areia natural).

Segundo MENDES (1999), ao fim do século passado, estes finos estavam sendo apenas estocados em pilhas nas áreas das pedreiras, contribuindo para alteração da paisagem, criando um grande impacto ao meio ambiente; obstrução de canais de drenagem em virtude da deposição desses finos; geração de poeira nas operações de britagem e formação de pilha.

Hoje em dia, este material está aos poucos ganhando mercado, impulsionado pela crescente escassez de areia natural, bloqueio de jazidas e restrições impostas pela legislação ambiental.

A escolha adequada do processo de britagem e classificação determinam o sucesso da geração de um produto que atenda às especificações mínimas necessárias.

Segundo CUCHIERATO (2000), são necessárias poucas transformações para tornar o pó de pedra apto para o uso, como rebritagem, com arredondamento do grão, e remoção do excesso de finos, para melhor desempenho.

2.2 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AREIA DE BRITAGEM

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), a argamassa é constituída de uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

As argamassas são classificadas, pelo emprego, em argamassas para assentamento em alvenaria de vedação e estrutural, e encunhamento; argamassas para revestimento interno e externo de paredes e tetos; argamassas de uso geral; argamassas para reboco; argamassas decorativas camada fina e monocamada (NBR 13281 (ABNT, 2005)).

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), é considerado revestimento o recobrimento de uma superfície, seja ela lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final. Já a

NBR 13530 (ABNT, 1995) define revestimento como método, ou sistema constituído de uma ou mais camadas de argamassa, podendo cada uma delas ter uma função característica.

A argamassa para reboco é indicada para recobrimento do emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento. É também denominada de massa fina.

As argamassas de revestimentos devem atingir requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 13281 (ABNT, 2005). Para atendê-los, deve-se proceder a correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento, cujas operações são denominadas de dosagem. A NBR 7200 (ABNT, 1998), (na revisão da Norma) suprimiu toda e qualquer indicação de traços empíricos para a produção de argamassas de revestimento sugerindo a adoção de metodologias de dosagem cientificamente embasadas. No Brasil, não há uma metodologia consagrada para a dosagem de argamassas. Consta-se, entretanto, uma evolução nas metodologias propostas.

A argamassa de revestimento deve propiciar isolamento, proteção dos elementos revestidos, contra ação direta dos agentes agressivos, estanqueidade à água e aos gases. Deve auxiliar também no isolamento termo acústico, podendo garantir durabilidade a seus elementos e estrutura.

2.2.1 Propriedades das argamassas de revestimento com Areia de Britagem

As diferenças nas propriedades dos agregados influenciam diretamente nas propriedades das argamassas. A areia não participa das reações químicas de endurecimento da argamassa interferindo, todavia, pela composição granulométrica, teor de finos, forma e textura superficial dos grãos, nas propriedades da argamassa, seja no estado fresco ou endurecido.

A distribuição granulométrica da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na retenção de água ou na trabalhabilidade ou no consumo de água e aglomerantes no estado fresco. No revestimento acabado, exerce influência na tendência à fissuração, na textura superficial, permeabilidade e na adesão inicial e resistência de aderência (CARNEIRO, 2009 APUD SILVA, 2006).

À medida que se emprega uma areia mais fina na confecção da argamassa, diminui-se o raio médio de seus poros capilares e, conseqüentemente, a capacidade de sucção do substrato. Dessa forma, areias mais grossas propiciam argamassas que tornam maior a quantidade de poros ativos do substrato para exercer sucção, retirando mais água proporcionalmente, no que concerne a relação água/cimento inicial. Cabe salientar também

que, em termos de quantidade de água retirada da argamassa, acontece o inverso, pois para uma mesma consistência a argamassa de areia mais fina exige muito mais água do que uma argamassa de areia mais grossa, cedendo até 26% a mais de água do que a argamassa de areia mais grossa (CARASEK, 1996).

2.2.1.1 Adesão inicial e aderência

A adesão inicial é a capacidade de aderência inicial da argamassa no estado fresco a base de aplicação. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial (CARASEK, 2010). Tendo como papel significativo no desempenho do revestimento, a resistência de aderência.

Segundo CARASEK (2010), a resistência de aderência é a propriedade fundamental de argamassas de revestimento, pois sem uma boa aderência o revestimento não atenderá nenhuma de suas funções. Segundo MACIEL, BARROS E SABBATINI (1998) a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixado ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem entre a base e o revestimento. A aderência do revestimento tem de suportar a tração, o cisalhamento e a própria massa do revestimento.

Pode-se dizer que há uma interferência desfavorável à resistência de aderência do revestimento que está intimamente ligada ao teor de ar incorporado à argamassa no momento da mistura que confere a esta, em estado endurecido, porosidade. A redução na resistência de aderência é atribuída à diminuição da superfície de contato entre a argamassa e o substrato, e pela redução de propriedades mecânicas devido ao incremento da porosidade na argamassa (ALVES, 2005).

Para haver aderência entre revestimento e substrato, isso ocorre de forma essencialmente mecânica. A aderência na superfície do substrato é desenvolvida através da ancoragem da pasta aglomerante (cimento e água) nos poros e nas reentrâncias e saliências macroscópicas da superfície a ser revestida. Portanto, o revestimento é ancorado mecanicamente na base (NERY; SILVA, 2007 E CARASEK, 2010).

Ao aplicar a argamassa no substrato, ela deve ter a propriedade de fixar-se imediatamente à superfície, não permitindo o escorregamento de material e aceitando posterior acomodação para correção de imperfeições no momento do lançamento (CARASEK, 2010). Pode-se dizer que este tipo de ação está ligado à trabalhabilidade da argamassa em estado fresco e à propriedade de aderência em estado endurecido.

Outro fato que influencia a resistência de aderência de um revestimento é a finura dos grãos de cimento, que intimamente ligado às resistências mecânicas das argamassas nas primeiras idades (BAUER; SOUSA, 2005).

Segundo CINCOTTO *ET AL.* (1995), a água de amassamento saturada dos íons resultantes da dissolução de compostos de cimento, é atraída para o interior dos poros da base através de sucção dos mesmos. Compostos hidratados são precipitados no interior da base promovendo a adesão inicial da argamassa.

Também pode ser relatado, que o excesso de água em argamassas utilizadas para revestimento pode acarretar em perda de adesão inicial (CARASEK, 2001).

Além disso, muitos fatores externos influenciam no resultados de aderência de um revestimento. A ergonomia do pedreiro durante a aplicação da argamassa, assim como do operador durante a execução do ensaio contribui para variações dos valores de aderência. (GONÇALVES, 2004). Outros fatores são as condições de aplicação tais como a temperatura e umidade do substrato e do ambiente no momento da aplicação do revestimento (CARASEK, 2010).

2.2.1.2 Trabalhabilidade das argamassas com Areia de Britagem

A areia natural e a areia de britagem diferem, principalmente, quanto à morfologia do grão, ao teor de material pulverulento e à rocha de origem.

De modo geral, a forma do grão de areia de britagem é muito mais angulosa, podendo apresentar-se cúbico ou até mesmo lamelar, dependendo tanto da rocha de origem quanto do equipamento de britagem. A morfologia do grão influencia, principalmente, na demanda de água para dar trabalhabilidade à argamassa, em geral maior que a demanda da Areia Natural (AN), assim como no acabamento superficial, normalmente mais áspero. Essas alterações resultam também em alterações nas propriedades da argamassa endurecida.

O teor de material pulverulento da Areia de Britagem (AB) é, normalmente, superior ao da areia natural, o que implica no aumento da demanda de água e maior potencial de fissuração (ACELE, 2012). Com base em estudos de NIEBEL E CAMPITELI (2009), a adição de finos altera drasticamente as características reológicas das argamassas, justificando a importância do estudo do teor ideal de finos para produção de argamassas de revestimento.

O tipo de rocha leva, depois de realizado a britagem, a diferentes formas de grão e, com isso, a diferentes contribuições para o comportamento das argamassas. A areia de

britagem basáltica avaliada por PANDOLFO E MASUERO (2005) resultou em maior demanda de água da argamassa do que a areia natural para manter a consistência fixada. Da mesma forma se comportou a areia de britagem granítica utilizada por TRISTÃO (2005). Entretanto a areia de britagem calcária estudada por SILVA (2006) produziu argamassas mais trabalháveis e com menor consumo de água que a areia natural.

Segundo D'AGOSTINO ET AL. (2004), a argamassa produzida com areia de britagem granítica apresentou consumo de cimento 12% menor que aquelas produzidas com areia de britagem basáltica e areia natural.

No trabalho realizado por TRISTÃO (2005), constatou-se que a areia de britagem basáltica apresentava massa específica superior à da areia natural, o que resulta em argamassas com densidade de massa maior do que aquelas com areia natural, o que dificulta o seu uso para revestimento de tetos e paredes. PANDOLFO E MASUERO (2005) também relataram o aumento da massa específica no estado fresco e endurecido, causada pela areia de britagem basáltica usada em substituição à areia natural em argamassas de revestimento. Devido à elevada massa específica das argamassas moldadas com areia de britagem, a forma do grão que não é muito arredondada e a grande quantidade de microfinos, ocorre à falta de aderência dessas argamassas.

Para TRISTÃO (2005) e PANDOLFO E MASUERO (2005) a retenção de água das argamassas com areia basáltica foi um pouco maior que as argamassas com areia natural, isto provavelmente devido ao maior teor de microfinos. Já em seu estudo com areia de britagem granítica, as argamassas produzidas por TRISTÃO (2005) apresentam menor retenção de água que as produzidas com areia natural.

O teor de ar incorporado às argamassas produzidas por SILVA (2006) com areia calcária foi menor que o teor de ar incorporado nas argamassas produzidas com areia natural.

Comprovado por PANDOLFO E MASUERO (2005) e SILVA (2006) a resistência à compressão das argamassas produzidas com areia de britagem é, em geral, maior que a das argamassas produzidas com areia natural.

Referente à absorção capilar, PANDOLFO E MASUERO (2005) e SILVA (2006) obtiveram argamassas com menor absorção capilar quando produzidas com areia de britagem. Já SILVA (2006) mediu maiores resistências de aderência para revestimentos com argamassas confeccionadas com areia de britagem do que com areia natural. Porém PANDOLFO E MASUERO (2005) encontraram menores resistências de aderência.

Dessa forma, observa, que o comportamento de argamassas com areia de britagem é nitidamente influenciado pelas características da própria areia, e que as pesquisas já realizadas ainda não apresentam consenso sobre estas interações, havendo muitas divergências nos resultados encontrados.

2.2.1.3 Retração e fissuração em revestimentos de argamassa com Areia de Britagem

Segundo METZ (2011), o teor de material pulverulento da areia de britagem é, normalmente, superior ao da areia de rio, o que implica no aumento da demanda de água e maior potencial de fissuração. Segundo estudos de NIEBEL E CAMPITELI (2009), a adição de microfinos altera significativamente as características reológicas das argamassas, sendo uma das justificativas a importância do estudo do teor adequado de microfinos para produção de argamassas de revestimento.

Claramente verifica-se que ao acrescentar um teor maior de microfinos aumenta a retração das argamassas. Estudos realizados por METZ apresentaram um maior teor de retração em praticamente todas as argamassas analisadas quando foi utilizado areia de britagem. Segundo TRISTÃO (2005), as argamassas produzidas com areia de britagem e com as composições granulométricas e as proporções em volume fixas apresentaram as maiores retrações.

Já a fissuração, pode ocorrer devido a um complexo estado de tensões, que está ligada à retração, a qual a argamassa é submetida durante a sua cura. Nestas situações, a argamassa tem a sua deformação restringida pela aderência à base na qual se encontra aplicada, se a deformabilidade da argamassa não for correspondente a estas ações, ela poderá fissurar, comprometendo o desempenho do sistema do qual faz parte (SILVA; BARROS; MONTE, 2009). O excesso de retração de argamassas ao longo da sua cura interfere diretamente no desempenho do revestimento quanto à durabilidade e a estanqueidade (BOLORINO E ALBA, 1997).

A água é considerada o principal causador para fissuração em revestimentos. Mas para que haja grande quantidade de fissuração é necessário excesso no uso de água no estado fresco da argamassa. O excesso de água em uma argamassa de revestimento leva a uma maior retração. A avaliação deste fenômeno é de extrema importância para a caracterização do material que se está trabalhando, principalmente quando se pretende empregá-lo como revestimento (SABBATINI, 1986).

Para que haja redução de riscos de grande retração e fissuração, cada vez mais é adotada a utilização de aditivos incorporadores de ar em argamassas no lugar do aumento do uso de água (ALVES, 2005). O uso de aditivos incorporadores de ar e retentores de água melhora propriedades em estado endurecido e trazem benefícios no estado fresco. As propriedades que se beneficiam mais, pelo uso de aditivos, é a redução da retração por secagem, pois é utilizada apenas água suficiente para a molhagem dos grãos na argamassa, deixando a trabalhabilidade por conta do aditivo.

2.2.1.4 Permeabilidade em revestimentos de argamassa com Areia de Britagem

Segundo METZ (2011), quanto maior o teor de microfinos das argamassas com utilização de AB, menor absorção de água e menor índice de vazios, gerando argamassas com massa específica no estado endurecido maiores. Segundo METZ (2011), quanto maior o teor de microfinos na mistura menor o coeficiente de capilaridade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para melhor compreensão dos efeitos da areia de britagem na argamassa de revestimento, este programa experimental tem por finalidade avaliar o comportamento da argamassa de revestimento em substituição total da areia natural (AN) pela areia de britagem de rocha basáltica (AB) proveniente de britadores do tipo VSI. Neste capítulo são demonstrados os materiais e os métodos que compõem este estudo, expondo as etapas experimentais, para determinar a influência exercida pela areia de britagem numa mistura de argamassa. Ensaios dos constituintes das argamassas de revestimento e de caracterização e comportamento das argamassas no estado fresco e endurecido e de revestimento de argamassas também foram realizados.

Na fase de caracterização da areia de britagem, foram analisadas as propriedades da argamassa confeccionada no estado fresco e endurecido, e os aspectos positivos e negativos do uso da areia de britagem em argamassas de revestimento.

A Figura1 apresenta um esquema dos ensaios realizados.

ENSAIOS QUE FORAM REALIZADOS COM AREIA NATURAL E AREIA DE BRITAGEM		
MATÉRIA-PRIMA		
AGLOMERANTES	CIMENTO CPII Z-32 / CAL CH	ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Massa específica - NBR NM 52 (ABNT, 2003) * Massa unitária - NBR NM 45 (ABNT, 2006) * Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (n° 200) - NBR 11579 (ABNT, 2012) * Caracterização química - obtido na cimenteira / fabric. da cal
AGREGADOS	AREIA NATURAL AREIA DE BRITAGEM BASÁLTICA	ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Massa específica - NBR NM 52 (ABNT, 2003) * Massa unitária no estado solto e compactado - NBR NM 45 (ABNT, 2006) * Composição granulométrica - NBR NM 248 (ABNT, 2003) * Conteúdo de espaços vazios - NM 45 (ABNT, 1995)
	MICROFINOS	<ul style="list-style-type: none"> * Teor de material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem - NBR NM 46 (ABNT, 2003) * Parâmetros morfológicos (MEV) * Distribuição granulométrica a laser
SUBSTRATO	BLOCOS CERÂMICOS	ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Absorção de água - NBR 15270-3 (ABNT, 2005) * Sucção inicial - NBR 15270-3 (ABNT, 2005) * Massa específica - NBR 9778 (ABNT, 1987)
ENSAIOS QUE FORAM REALIZADOS NAS ARGAMASSAS		
ESTADO FRESCO		ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Consistência de mesa - NBR 13276 (ABNT, 2005) * Squeeze Flow - NBR 15839 (ABNT, 2010) * Densidade de massa - NBR 13278 (ABNT, 2005) * Retenção de água - NBR 13277 (ABNT, 2005) * Teor de ar incorporado - NBR NM 47 (ABNT, 2002) * Penetração de cone - ASTM C780 : 1996
ESTADO ENDURECIDO		ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Densidade de massa - NBR 13280 (ABNT, 2005) * Resistência à tração na flexão - NBR 13279 (ABNT, 2005) * Resistência à compressão - NBR 13279 (ABNT, 2005) * Módulo de elasticidade dinâmico - NBR 8820 (ABNT, 1985) * Retração - NBR 8490 (ABNT, 1984) * Absorção de água / Índice de vazios / Massa específica - NBR 9778 (ABNT, 2009) * Absor. de H₂O por capilaridade - NBR 15259 (ABNT, 2005) * Porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM) * Determ. de atividade pozolânica - NBR 5752 (ABNT, 2012)
ARGAMASSA APLICADA NO SUBSTRATO		ENSAIOS
		<ul style="list-style-type: none"> * Resistência de Aderência a Tração NBR 13528 (ABNT, 2010) * Análise de Fissuração

Figura 1 – Ensaios realizados.

Foram utilizadas para esta pesquisa, areia natural e uma areia proveniente de britagem de rocha basáltica, as quais possuem diferentes formas e textura. Com esses tipos de areia, foram confeccionadas as argamassas mistas com cimento e cal hidratada, no mesmo traço utilizado por METZ (2011).

O fator de controle a ser aplicado nesta pesquisa é:

Dois tipos de areias diferindo na sua forma e textura dos grãos e materiais constituintes;

Os fatores de controle fixos são:

Duas composições granulométricas da areia (AN na curva AN, AB na curva AB);

Cinco teores de microfinos (1,5;6;10;20;30% em volume) – foram estipulados cinco teores de microfinos, com base em estudos anteriores. 1% com base no percentual de microfinos geralmente encontrado em areias naturais; 5% com base no percentual aproximado de microfinos que havia nas areias de britagem em estudo pelo grupo de pesquisa GMat da UNISINOS; 10% de microfinos - percentual limite aceito por norma brasileira para agregados miúdos utilizados em concretos; 20% de microfinos com base em programas-piloto que demonstraram resultados superiores ao teor de 10%; 30% de microfinos para se avaliar a tendência de comportamento em teores superiores a 20%.

Um tipo de substrato – foi adotado o substrato cerâmico, devido a sua grande utilização no estado do Rio Grande do Sul e também para dar continuidade as demais pesquisas.

A Figura 2 apresenta o teor de microfinos adicionados aos traços em estudo.

Número da mistura	Tipo de Areia	Identificação	Teor de Microfinos (%)
01	Areia Natural	ANMicrof.1,5	1,5
02	Areia Natural	ANMicrof.6	6
03	Areia Natural	ANMicrof.10	10
04	Areia Natural	ANMicrof.20	20
05	Areia Natural	ANMicrof.30	30
06	Areia de Britagem*	ABMicrof.1,5	1,5
07	Areia de Britagem*	ABMicrof.6	6
08	Areia de Britagem*	ABMicrof.10	10
09	Areia de Britagem*	ABMicrof.20	20
10	Areia de Britagem*	ABMicrof.30	30

*Areia de Britagem proveniente de Britador VSI

** Foi estipulada a moldagem de 3 a 6 amostras, dependendo do tipo de ensaio adotado

Obs. Todas as areias tiveram sua granulometria ajustada para os limites entre 2,4mm e 0,075mm.

Figura 2 – Teor de microfinos adicionados aos traços em estudo.

Nas argamassas com areia natural de leito de rio também foram adicionados os cinco teores de microfinos, com o objetivo de permitir a comparação do comportamento com argamassas com areia de britagem basáltica com adição de microfinos.

3.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os constituintes utilizados na confecção das diferentes argamassas de revestimento foram cimento Portland CP II Z – 32 e cal hidratada CHI, areia natural de rio e areia proveniente de britagem basáltica, previamente secas em estufa.

3.1.1 Aglomerantes

A escolha pelo cimento Portland CP II Z – 32 ocorreu devido ao seu pequeno teor de adição de pozolanas, e por este ser muito utilizado em argamassas na região Sul. Foi

utilizada cal hidratada tipo CH I devido à sua maior pureza comparada às demais. Os dois aglomerantes foram doados por uma usina dosadora de concreto da região do Vale dos Sinos, em um único lote para a pesquisa.

Amassa específica dos aglomerantes foi determinada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001). Os demais ensaios foram realizados pela usina dosadora de concreto. Tanto para o cimento quanto para a cal, os ensaios foram executados sem duplicata, considerando-se a média para o cálculo da massa específica. Os resultados constam na Tabela 1.

Tabela1 - Características físicas dos aglomerantes

ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS						
ENSAIO	NBR N.	UNID.	MÉD	MÁX	MÍN	ESPECIFIC. NORMA
CIMENTO CP II Z – 32						
Área Específica (Blaine)	NBR NM 76:1998	cm ² /g	4748	5120	4490	≥ 2600
Massa Específica	NBR NM 23:2001	g/cm ³	2,99	-	-	não aplic.
Finura - Resíduos na Peneira de 0,075 mm (#200)	NBR 11579:2012	%	0,34	0,7	0,1	≤ 12,0
Finura - Resíduos na Peneira de 0,044 mm (#325)	NBR 12826:1993	%	3,12	5	1,6	não aplic.
Água da Pasta de Consistência Normal	NBR NM 43:2002	%	29	31	29	não aplic.
Início de Pega	NBR NM 65:2003	min	243	320	200	≥ 60 min
Fim de Pega	NBR NM 65:2003	min	308	390	245	≤ 480 min
Expansibilidade de Le Chatelier	NBR 1158:1991	mm	0,35	1	0	≤ 5,0
CAL HIDRATADA						
Massa Específica	NBR NM 23:2001	g/cm ³	2,4	-	-	não aplic.
Finura - Resíduos na Peneira de 0,075 mm (#200)	NBR 11579:2012	%	8,3	-	-	≤ 12,0

Fonte: Britasinos Concretos (2013)

3.1.2 Água

Foi adicionada à mistura, água tratada, derivada da rede pública da cidade de São Leopoldo/RS.

3.1.3 Agregados (Areia Natural e Areia de Britagem)

Foram utilizadas duas areias, distintas tanto na composição como na origem, tendo assim morfologias diferentes. A Areia Natural, proveniente da região do Delta do Jacuí (POA) de origem quartzosa, foi utilizada como referência. Esta areia foi adotada como referencial da composição granulométrica dos agregados reciclados nas argamassas de revestimento. Os agregados miúdos britados são provenientes de pedreira localizada no Vale dos Sinos – RS, de origem de rocha basáltica, obtidos a partir de cominuição em britador do tipo VSI.

Para facilitar a análise dos ensaios realizados nas argamassas em estudo, foi necessária uma breve análise dos agregados utilizados na produção das argamassas. Para isto foi realizado os ensaios de massa específica e granulometria dos agregados, com base nas NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 248 (ABNT, 2003), respectivamente. Os ensaios foram realizados tanto para areia natural como para areia de britagem.

3.1.3.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica das areias, previamente secas em estufa em temperatura de $100\pm 5^{\circ}\text{C}$, por no mínimo 24 horas, foi executada pelo processo de peneiramento dos grãos, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). Entre a secagem e o peneiramento foi realizado o quarteamento do material, conforme descrito na NBR NM 27 (ABNT, 2001), para obter uma amostra representativa de cada agregado miúdo. Para os ensaios foram utilizadas areias passantes na peneira 2,4mm. Para isso foi realizado o peneiramento anteriormente ao quarteamento e descartada a fração maior que 2,4mm.

Para argamassas, não há normas brasileiras específicas para classificação de agregados. Porém há normativas como a NBR 7211 (ABNT, 2009), que são comumente utilizadas na seleção de agregados para argamassas, sendo a NBR 7211 (ABNT, 2009) destinada à especificação de agregados para concreto. Distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e alguns parâmetros relacionados à forma do grão e espaços vazios são parâmetros analisados com base na NBR 7211 (ABNT, 2009). Com base nesta normativa, alguns parâmetros foram tomados para a utilização neste trabalho.

Foram determinadas as curvas correspondentes à composição granulométrica das quatro areias e o teor de microfinos passante na peneira 0,075mm. A composição granulométrica original dos agregados foi alterada, pois foi removida a fração maior que 2,4mm e os microfinos pelo processo de peneiramento com as peneiras 2,4mm e 0,075mm. Após, foi realizada a lavagem das areias. O gráfico da Figura 3 apresenta a distribuição granulométrica das areias estudadas, em sua composição original (Agreg. N4,8 e Agreg. B4,8) e após o peneiramento.

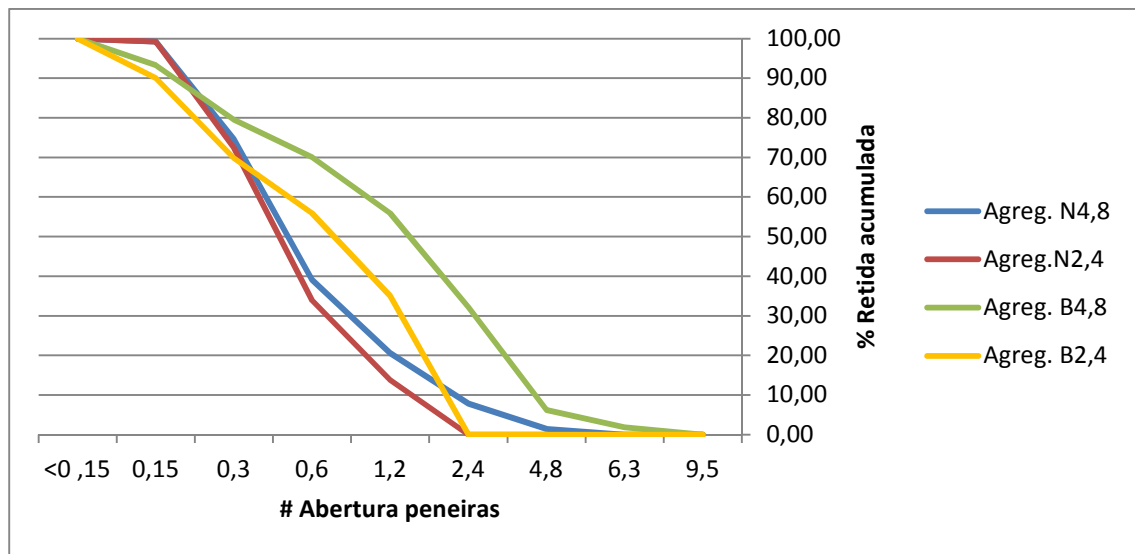


Figura 3- Distribuição granulométrica das areias

Na figura 3, pode ser observado que a areia natural tipo “4,8” possui uma distribuição granulométrica classificada como próxima à categoria de areias definidas de “granulometria ótima” pela NBR 7211 (ABNT, 2005) que define agregados para utilização em concretos. Mesmo depois de peneirada, a areia natural ainda encontra-se próxima da curva de distribuição granulométrica da areia original.

A distribuição granulométrica da areia de britagem tipo “4,8” apresenta grandes diferenças quando comparada à distribuição granulométrica da areia natural. A quantidade de material retido nas peneiras de maior dimensão (4,8mm ou superior) desclassifica, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), o uso do material como agregado miúdo. Após a alteração da composição granulométrica do agregado, a curva da areia de britagem se enquadrou na zona de agregados miúdos utilizáveis, especificada pela mesma norma.

Detalhe que merece destaque na análise granulométrica das areias estudadas é o teor de material passante na peneira 0,075mm. Este material é definido pela bibliografia como microfinos. Na areia natural, tipo “N4,8” a quantidade de microfinos estabelecida após ensaio de peneiramento, ficou próximo de 1% enquanto que na areia de britagem tipo “B4,8” a quantidade de microfinos ficou próximo de 7%. Na nova distribuição granulométrica das areias, a areia natural do tipo “N2,4” manteve-se com a média de 1% de microfinos enquanto a areia de britagem do tipo “B2,4” subiu para 10% esta proporção.

Com base na NBR 7211 (ABNT, 2005) o máximo teor de microfinos aceito não deve ser maior que 3% da massa do agregado para a dosagem de concretos (adotado para as argamassas desse estudo) que sofram desgaste superficial e de 5% para concretos protegidos de desgastes superficiais. Contudo, a NBR 7211 (ABNT, 2005) tem exceções para microfinos constituídos essencialmente de materiais que tiveram origem de britadores. Os índices são maiores, chegando a 10% e 12% respectivamente. Mesmo havendo substituição total do agregado natural pela areia de britagem estudada, ainda se mantém dentro dos parâmetros de exigência da norma.

A fração de microfinos (< 0,075mm) de ambas as areias foi analisada com granulometria a laser. As Figuras 4 e 5 apresentam a distribuição granulométrica dos microfinos de ambas areias.

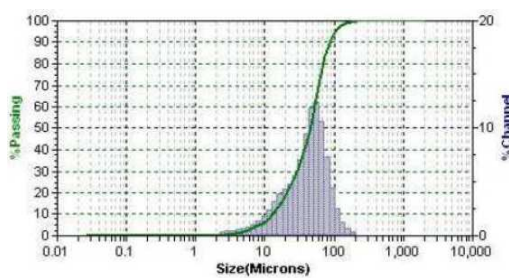


Figura 4 – Distribuição granulométrica dos microfinos da areia natural

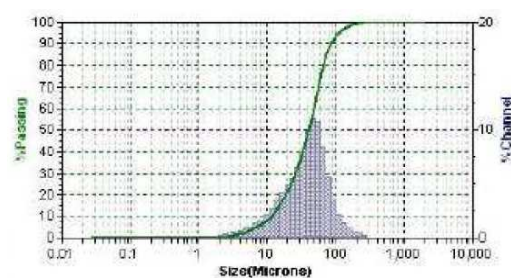


Figura 5 – Distribuição granulométrica dos microfinos da areia de britagem

Analisando os dois gráficos, percebe-se que os microfinos da areia de britagem têm distribuição granulométrica mais homogênea, quando comparado aos microfinos da areia natural (que possui maior concentração de grãos na fração mais fina). Estes resultados são restritos as características apresentadas nos gráficos.

Para a adição de microfinos às areias nos teores especificados pelo programa experimental, foram utilizados apenas os microfinos provenientes da areia de britagem. A

fração de microfinos removida da areia natural foi descartada. Esse procedimento foi adotado para manter a uniformidade do tipo de microfinos utilizados.

A forma dos microfinos também é um fator que pode influenciar nos resultados das argamassas de revestimento. Os microfinos são considerados muitas vezes como prejudiciais, devido a grandes retrações, conseqüentemente fissurações. Porém sabe-se que os microfinos são responsáveis pelo acréscimo de resistência a concretos e argamassas (SILVA; BUEST; CAMPITELI, 2005), e provavelmente este fato está relacionado à sua forma, rugosidade e dimensão, que pode ser observada nas Figuras 6 e 7 a seguir, obtidas por Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV).

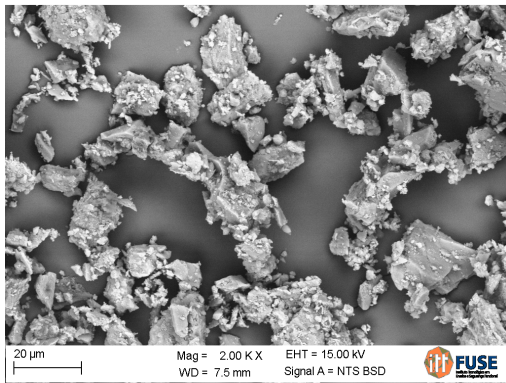


Figura 6 – Microscopia Eletrônica de Varredura de microfinos de AB - Mag = 2.0 kx

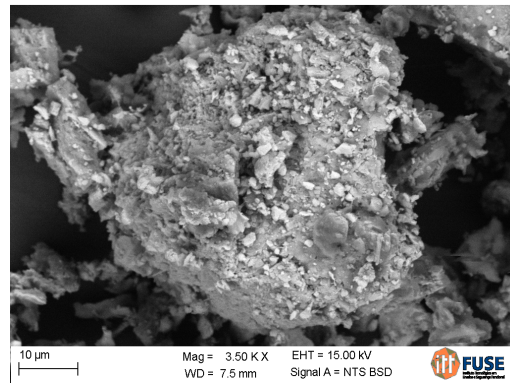


Figura 7 – Microscopia Eletrônica de Varredura de microfinos de AB - Mag = 3.5 kx

Acredita-se que a forma lamelar e a rugosidade dos microfinos de areia de britagem propiciam maior aderência entre os grãos e aumente a resistência a compressão e tração na flexão das argamassas. Sua dimensão também deve ser considerada, pois como o microfino é um agregado de dimensões menores que $75\mu\text{m}$, e facilmente consegue se acomodar entre os demais grãos da mistura, causando possivelmente melhor empacotamento dos grãos e beneficiando o acréscimo de resistência.

Os módulos de finura das areias utilizados ficaram entre 3,19 e 4,39. Para a areia natural do tipo N4,8, $\text{MF}=3,43$, e para a areia do tipo N2,4, $\text{MF}=3,19$. Para areia de britagem do tipo B4,8, $\text{MF}= 4,39$, e para areia do tipo B2,4, $\text{MF}=3,51$, sendo todas classificadas como areias grossas, com base nos estudos de Bauer; Sousa (2005). Observa-se que todas as areias foram classificadas como grossa, mesmo havendo uma elevada quantidade de microfinos nas areias de britagem. Isso demonstra que o módulo de finura não caracteriza adequadamente os

agregados. Alguns autores relatam que há necessidade da realização de outros ensaios para classificação dos agregados. Segundo TRISTAO (2001) é necessário outro parâmetro para classificação de agregados quanto à granulometria: a determinação do coeficiente de uniformidade.

Segundo BAUER, SOUSA (2005), considerando a aplicação da determinação do coeficiente de uniformidade sobre a abertura de peneiras correspondentes a 60% e a 10% de material passante, tem que as areias naturais são classificadas como agregados de granulometria muito uniforme, ou seja, de tamanhos de grãos relativamente iguais. Para a areia tipo “N2,4” o coeficiente de uniformidade resultou em 4, e para a areia tipo “N4,8” o coeficiente de uniformidade resultou em 2, ambos ficando abaixo de 5, limite para esta faixa de classificação. Porém nas areias britadas houve diferenças maiores. Para a areia tipo “B2,4”, o coeficiente de uniformidade fica em torno de 8, sendo classificada como agregado de uniformidade média e a areia do tipo “B4,8” foi denominada como desuniforme, pois seu coeficiente de uniformidade passa de 15. Sendo assim, comparando as areias quanto a esta característica, temos que a areia natural apresenta distribuição granulométrica um pouco mais uniforme quando comparada à areia de britagem, apresentando compactidade menor que a areia de britagem. Segundo MEHTA E MONTEIRO (2008), a grande quantidade de microfios presentes na areia de britagem, faz com que a areia de britagem tenha compactidade maior que a areia natural, pois os grãos menores preenchem os espaços entre os maiores.

3.1.3.2 Massa Específica

Os agregados miúdos utilizados no estudo, após determinação de umidade ótima através de método que utiliza o molde tronco-cônico, foram submetidos ao ensaio para determinação da massa específica através do método do picnômetro conforme especificação da NBR NM 52 (ABNT, 2009) e mostrado nas figuras a seguir.

As Figuras 8 e 9 apresentam a etapa de preparação para absorção de ambas areias.



Figura 8 – Procedimento do ensaio de massa específica do agregado miúdo (AB)



Figura 9 – Procedimento do ensaio de massa específica do agregado miúdo (AN)

O ensaio foi realizado com um picnômetro vítreo, com volume de 500 cm³ e aferido para a realização do ensaio. Como verificado na análise granulométrica, a areia de britagem tem volume de microfinos maior que a areia natural, portanto pode-se concluir que a areia de britagem apresenta menor quantidade de vazios e maior massa específica quando comparado a areia natural, conforme previsto por MEHTA E MONTEIRO (2008).

Os valores médios de massa específica encontrados para areia natural e areia de britagem foram de 2,58 g/cm³ e 2,70 g/cm³, respectivamente.

3.1.4 Caracterização dos Substratos

Foi utilizado um único tipo de substrato: substrato cerâmico coletado na principal olaria da Região Metropolitana de Porto Alegre. Os substratos foram fornecidos após a queima dos mesmos, sendo o mesmo tipo de bloco existente no mercado. Foram determinados os coeficientes de absorção de água inicial e total. Os procedimentos de análise da caracterização dos substratos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNISINOS. Estes blocos se constituem no substrato a ser revestido no estudo, onde foram determinadas a resistência de aderência e a fissuração devido à retração.

Estes blocos foram submetidos a ensaios de caracterização, segundo as normas NBR 15270-3 (ABNT, 2005) e NBR 9778 (ABNT, 2009). Os ensaios realizados foram de absorção de água e de sucção inicial. Foram utilizados três blocos cerâmicos por traço, devido ao espaço físico para o ensaio de aderência que define que no mínimo são necessárias 12 amostras para a execução do ensaio (NBR 13528 (ABNT, 2010)). Para cada traço foram geradas 15 amostras.

3.2 COMPOSIÇÕES DO TRAÇO DA ARGAMASSA

Para a confecção da argamassa, foi utilizado um traço em volume de cimento, cal e areia 1:1:6, oriundo do estudo realizado por METZ (2011) do Grupo de Pesquisa sobre Reciclagem de Materiais - GMAT (Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil - PPGEC, Unisinos). As proporções volumétricas do traço foram transformadas em massa, para as quantidades de material seco, tendo como índice de consistência determinado pela norma NBR 13276 (ABNT, 2005) de 260 ± 5 mm, na mesa de consistência. Foi definido o índice de consistência de 260 ± 5 mm, devido aos resultados satisfatórios alcançados por METZ (2011) no estudo com argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica.

As condições ambientais do laboratório para a confecção das argamassas e os ensaios necessários que foram realizados, apresentavam temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5) \%$ segundo a norma NBR 13276 (ABNT, 2005).

A quantidade de água utilizada nos traços foi definida pelo índice de consistência. A água foi acrescida na pasta, até atingir o índice de consistência de 260 ± 5 mm.

3.2.1 Produção das Argamassas

A confecção e os ensaios das argamassas foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, sob condição e temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5) \%$.

Os constituintes da argamassa foram dosados em massa, com o auxílio de uma balança com precisão de 0,1g e posteriormente, misturados em uma argamassadeira de eixo horizontal. Nesta etapa de produção os fatores tempo e energia de mistura foram variáveis que mereceram destaque, pois são estes fatores que podem vir a interferir nas características das argamassas em relação ao teor de ar incorporado e segundo os autores estas alterações modificam significativamente as propriedades da argamassa no estado fresco refletindo assim nas propriedades do estado endurecido. A seqüência de mistura dos materiais atendeu a NBR 13276 (ABNT, 2005), com um tempo total de mistura de 240 segundos, que resulta em menor variabilidade de comportamento reológico do material, segundo HEINECK (2011).

3.3 PROPRIEDADES AVALIADAS – MÉTODOS DE ENSAIO

3.3.1 Estado fresco

Foram realizados ensaios para a determinação da trabalhabilidade (consistência por espalhamento, penetração de cone e squeeze-flow), densidade de massa, retenção de água, massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado. Para cada composição de traço, foram realizadas três repetições.

3.3.1.1 Índice de consistência por espalhamento

Este ensaio foi executado com a argamassa ainda fresca, seguindo a norma NBR 13276 (ABNT, 2005).

3.3.1.2 Consistência por penetração de cone

Outro método utilizado para determinar a consistência da argamassa foi o ensaio de penetração de cone. Pelo fato de não haver norma brasileira para este ensaio, este foi realizado com base na especificação da ASTM C 780 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996) e no manual publicado pela Escola Politécnica de São Paulo (HOPPE FILHO et. al., 2006).

O cone é fixado em uma haste metálica, por onde deve deslizar livremente entre as guias do aparelho. A massa total de marcador, haste e cone, devem ser de $200 \pm 2g$.

Logo após realizar a mistura da argamassa, uma parcela da mistura foi retirada para colocar no recipiente cilíndrico para realização do ensaio. O material foi colocado no recipiente em três camadas iguais ao longo da altura (volume igual), acomodando (adensando) cada camada com 20 golpes de espátula (soquete). Logo depois de realizado o procedimento anterior, a amostra foi rasada na parte superior do recipiente e o acabamento da superfície de topo da argamassa, respeitando o tempo total de preenchimento e acabamento final, de um minuto e meio. No momento da realização do ensaio, a amostra foi colocada rente à parte inferior do cone de tal forma que o mesmo ficasse no ponto correspondente ao eixo do recipiente cilíndrico, tocando na superfície da amostra. Na seqüência, o dispositivo cônico foi liberado em queda livre, permitindo a penetração do cone na amostra colocada abaixo. Decorridos 30 segundos da liberação da haste de penetração, procedeu-se a leitura da profundidade de penetração do cone, em milímetros. A Figura 10 apresenta esquema do ensaio de penetração de cone.

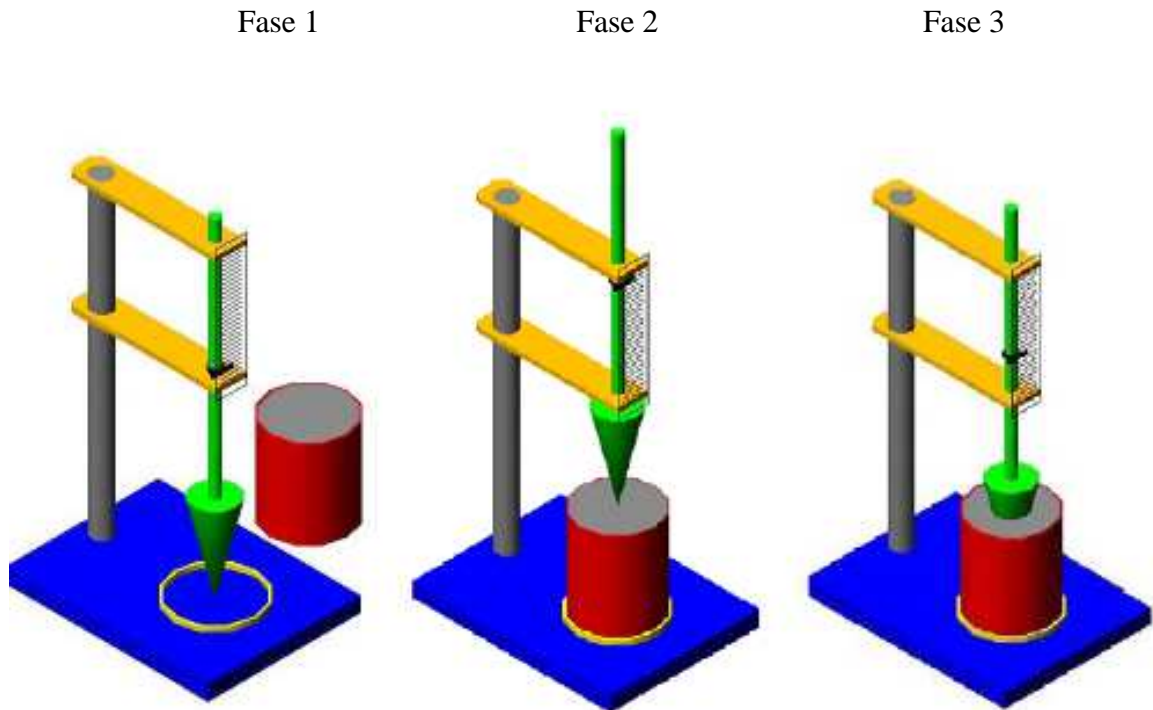


Figura10 - Esquema do ensaio de penetração de cone

Fonte: HOPPE FILHO (2006)

3.3.1.3 Squeeze-flow

O Squeeze-flow possui grande sensibilidade às variações do comportamento reológico do material, segundo SILVA, R.P. *ET AL* (2005). O procedimento realizado segundo especificação da norma NBR 15839 (ABNT, 2010) e os estudos de Silva, R.P. *et al.* (2005) e utilizando-se os mesmos parâmetros adotados por METZ (2011): o ensaio foi iniciado após 10 minutos do término do preparo da argamassa utilizando-se uma velocidade de 3 mm/s e 15 minutos pós preparo, com velocidade de 0,1mm/s.

Para se avaliar se a argamassa era adequada à aplicação, foi realizada uma avaliação subjetiva em um bloco cerâmico.

3.3.1.4 Determinação de parâmetros para aplicação de argamassa de revestimento com base no ensaio de Squeeze-flow

METZ (2011), utilizando o mesmo tipo de areia de britagem do presente trabalho, propõe uma metodologia para a avaliação da possibilidade de aplicação de argamassas de revestimento, com base nos resultados de ensaio no estado fresco por Squeeze-Flow. Na Figura 11, podem-se visualizar os parâmetros de aplicação definidos por METZ (2011).

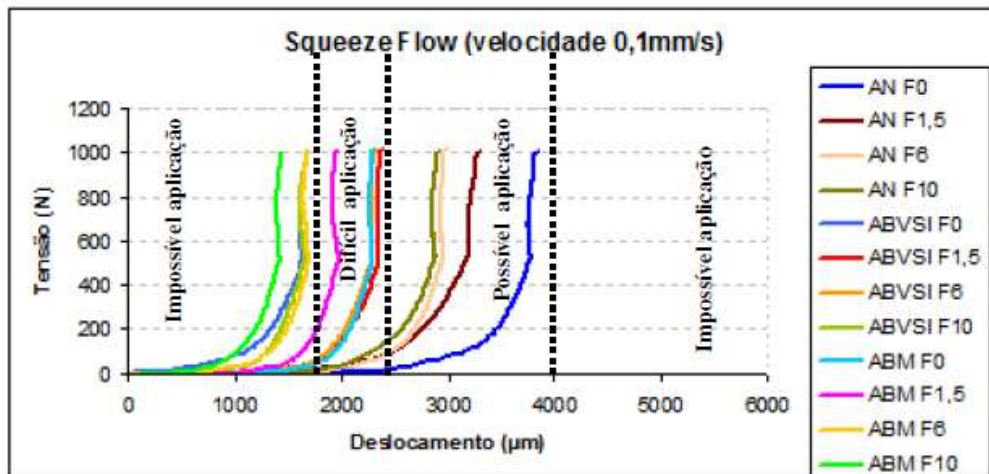


Figura 38 – Curvas de tensão x deslocamento ($v = 0,1$ mm/s).

Figura 11 - Parâmetros de aplicações para argamassas de revestimento com base no ensaio de Squeeze-Flow

Fonte: METZ (2011)

O gráfico indica que na faixa de deslocamento entre $1800 \mu\text{m}$ a $4000 \mu\text{m}$ há possibilidade de aplicação, sendo a melhor faixa entre $2450 \mu\text{m}$ a $4000 \mu\text{m}$. Outros resultados indicam como impossível a aplicação das argamassas de revestimento com areia de britagem sobre a base de cerâmica vermelha. Os resultados foram comprovados experimentalmente com o auxílio de um profissional experiente na confecção de revestimentos.

3.3.1.5 Densidade de massa

O experimento seguiu à norma NBR 13278 (ABNT, 2005). Realizou-se o ensaio três vezes com cada material, conforme já mencionado, ponderando para efeito de análise, o seu valor médio amostrado.

3.3.1.6 Retenção de água

Para análise de retenção de água da argamassa, foi realizado o ensaio previsto na NBR 13277 (ABNT, 2005).

3.3.1.7 Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado nas argamassas foi realizado a partir de ensaio pressométrico, conforme a norma NBR NM 47 (ABNT, 2002).

3.3.2 Estado endurecido

Após a moldagem dos corpos de prova, estes foram cobertos com uma lâmina de vidro, para evitar a perda de água superficial do material, e reservados durante 24 horas em sala com temperatura e umidade relativa controlados. Transcorrido este período, foram desmoldados os corpos de prova e colocados em uma câmara de cura com temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5) \%$, por vinte e oito dias, para a cura da argamassa. As amostras prismáticas de 40x40x160mm e 25x25x285mm e as amostras circulares de 10mm de espessura por 100mm de diâmetro se mantiveram na sala de cura pelo período mínimo de 28 dias e após o período de cura, foram realizados ensaios pertinentes ao estado endurecido do material.

3.3.2.1 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio da densidade da massa no estado endurecido foi realizado na idade de vinte e oito dias, sendo utilizados 3 corpos de prova de dimensão 40x40x160mm para cada argamassa, segundo a definição da norma NBR 13280 (ABNT, 2005).

3.3.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os ensaios foram realizados aos vinte e oito dias e seguiram as especificações estabelecidas pela norma NBR 13279 (ABNT, 2005).

a) Resistência à tração na flexão

O ensaio foi efetuado com três corpos de prova de cada argamassa de 40x40x160mm, onde para efeito de análise, o resultado foi dado pela média dos valores. O ensaio foi executado em uma prensa com velocidade de carregamento de 13 N/s.

b) Resistência à compressão

Para o ensaio de compressão foram utilizados seis corpos de prova para cada argamassa com dimensões de 40x40cm por aproximadamente 80 cm de comprimento (a dimensão de comprimento varia, pois os CP's são praticamente metade de CP's 40x40x160, resultantes do ensaio de tração por flexão), sendo adotada a média dos resultados na análise dos dados. A velocidade de carregamento utilizada foi de 100N/s.

3.3.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

A qualidade e a durabilidade da argamassa de revestimento estão relacionadas com a capacidade de o material absorver deformações quando solicitada, que pode ser estimada com base no módulo de elasticidade dinâmico (NENO, 2010).

A metodologia do ensaio foi desenvolvida a partir da NBR 8802 (ABNT, 1985), sendo utilizados três corpos de prova prismáticos de 40x40x160mm, para a realização do experimento.

O ensaio consiste em determinar a velocidade que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova, usando o equipamento “PUNDIT” (*Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester*) (METZ, 2011) e a Equação 1.

$$E_d = \frac{u \cdot v^2 \cdot (1+u) \cdot (1+2u)}{1-u} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

E_d = densidade de massa no estado endurecido em kg/m³

v = velocidade em que a onda ultra-sônica percorre o corpo de prova no sentido longitudinal em km/s

u = Coeficiente de Poisson

Este ensaio consistiu na medição, pelo meio de um aparelho de medição de frequências fundamentais, da frequência própria de ressonância de um corpo de prova em vibração longitudinal. A partir deste valor, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico (NENO, 2010).

3.3.2.4 Retração

As argamassas sofrem uma redução volumétrica devido à influência das reações químicas de hidratação do cimento, interferências de fatores climáticos (umidade relativa, temperatura, incidência solar e velocidade do ar) e perda de água de amassamento para a base durante a sua aplicação. A retração nas argamassas depende da base de aplicação e, os ensaios ao serem realizados em argamassas isoladas isentam de base, não conseguem reproduzir todos os complexos fenômenos que transcorre a retração. Logo esta propriedade torna-se de difícil mensuração (METZ, 2011).

O método de ensaio que realizado seguiu a NBR 8490 (ABNT, 1984), sendo moldadas amostras nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 28,5 cm, com pinos fixados em suas extremidades, onde posteriormente foram realizadas medições de retração em um aparelho comparador. O adensamento das amostras foi realizado em duas camadas, sendo 15 golpes por camada. Além do total de 30 golpes, foram realizadas 3 quedas na mesa de consistência após o adensamento com soquete, para garantir que não haveria vazios nas extremidades dos pinos auxiliares de medição. As amostras foram desmoldadas com 24 horas e no mesmo instante já foi realizada a primeira medição. Foram utilizados 3 corpos de prova para cada traço.

3.3.2.5 Fissuração no revestimento

Para análise da quantidade de fissuras que sofre um revestimento de argamassa, foi utilizado um substrato cerâmico sobre o qual foi aplicada a argamassa de revestimento. O revestimento de argamassa foi aplicado sobre três blocos para cada traço definido (AN 1,5; 6; 10; 20; 30 % / AB 1,5; 6; 10; 20; 30%), somando um total de 30 blocos cerâmicos do tipo estrutural, com dimensões aproximadas de 14x19x29 cm.

Para a aplicação dos revestimentos foi utilizado uma caixa de queda, para padronizar a intensidade de força aplicada sobre a superfície do substrato. Esta caixa de queda foi definida com altura de 1m, baseado em estudos realizados por (MASUERO ET AL., 2012). A Figura 12 apresenta a caixa de queda utilizada para aplicação das argamassas.



Figura 12 – Caixa de queda utilizada para aplicação das argamassas

Após a aplicação do revestimento de argamassa, as amostras ficaram em sala com temperatura e umidade controladas e foram realizados registros fotográficos imediatamente após a moldagem dos revestimentos sobre os blocos (variação de 3 horas), realizando também registros fotográficos com 4, 7, 14, 21 e 28 dias. A regularização da superfície da argamassa foi efetuada por reguamento. Para cada traço foram moldados 3 corpos de prova.

A partir das imagens obtidas, foram realizados medições da área de fissuras existente em cada exemplar. Essas medições foram feitas em um software CAD 2D, onde foram mapeadas todas as fissuras e a partir de uma relação de escala foram determinados os percentuais de área de fissurada em cada exemplar. O resultado é demonstrado em um gráfico onde podem ser identificadas as argamassas com maior retração e fissuração. O acompanhamento da evolução da fissuração foi realizado até os 28 dias, idade em que os blocos foram destruídos em função da realização de ensaios de resistência de aderência à tração, com base na NBR 13528 (ABNT, 2010).

3.3.2.6 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

Os ensaios mencionados foram realizados de acordo com as especificações da norma NBR 9778 (ABNT, 2009).

3.3.2.7 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

A absorção de água e o coeficiente de capilaridade das argamassas são definidos pela norma NBR 15259 (ABNT, 2005). Para cada traço foram ensaiados três corpos de prova aos vinte e oito dias de idade.

3.3.2.8 Determinação da distribuição de poros - porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM)

O ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio foi realizado para caracterizar a distribuição de poros das argamassas, com o objetivo de subsidiar a análise da aderência e fissuração dos revestimentos. As amostras foram extraídas dos corpos de prova de argamassa com dimensões de 40x40x160mm, após 28 dias de cura, serra de precisão. Foi retirada uma amostra para cada traço, totalizando 10 amostras, nas dimensões de 5x5x5mm, extraídas do centro de cada corpo de prova. As amostras foram secas em estufa a temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por um período de 24 horas. O ensaio foi realizado em um Porosímetro Quantacrome.

3.3.2.9 Determinação da resistência de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência à tração dos revestimentos baseou-se nas recomendações da NBR 13528 (ABNT, 2010). Realizou-se um mínimo de 3 furos em cada bloco, porém em alguns furos não foi possível determinar a aderência (em função da aderência do revestimento estar muito baixa), resultando em uma quantidade menor de ensaios de resistência de aderência atração para cada uma das argamassas aplicadas nos blocos cerâmicos estruturais.

3.3.2.10 Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland

A atividade pozolânica dos microfinos foi avaliada por meio da determinação do índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), conforme NBR 5752 (ABNT, 2012). O índice de atividade pozolânica é definido utilizando-se a Equação 2:

$$\text{IAP} = \frac{f_{cp}}{f_{cc}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

F_{cp} = resistência à compressão média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados com cimento Portland e microfinos;

F_{cc} = resistência à compressão média, aos 28 dias, dos corpos de prova moldados somente com cimento Portland.

Para um material ser considerado pozolânico deve apresentar um IAP mínimo de 75%. Como o Índice de Atividade Pozolânica dos microfinos foi de 56,65%, este não pode ser considerado um material pozolânico.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

4.1.1 Índice de Consistência e Quantidade de Água nas Argamassas

Com os traços definidos das argamassas com a Areia Natural (AN) e a Areia de Britagem (AB), foi realizado o ensaio de índice de consistência, mantendo-se todos os parâmetros fixos, exceto a quantidade de Microfinos (adicionada em teores previamente definidos) e a quantidade de água, que foi adicionada na quantidade necessária para se atingir o índice de consistência de (260 ± 5) mm. Este procedimento resultou no mesmo índice de consistência para todas as argamassas, considerando uma tolerância de ± 5 mm, aceita pela NBR 13276 (ABNT, 2005). O valor do índice de consistência correspondente às médias entre três leituras consecutivas.

As Figuras 13 e 14 apresentam os resultados obtidos para o ensaio de índice de consistência e percentual de água para as argamassas produzidas com areia natural e areia de britagem.

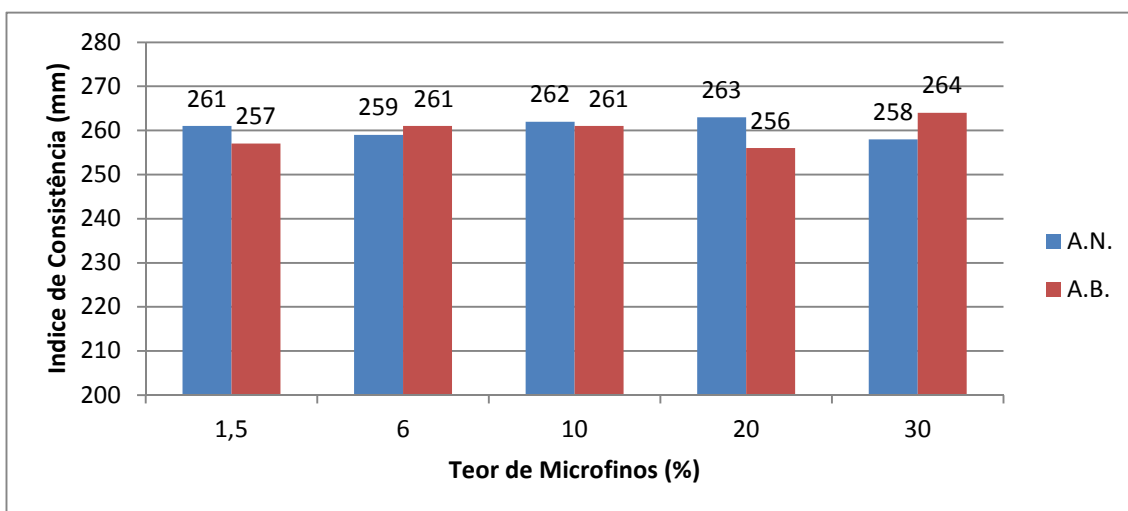


Figura 13 – Índice de consistência

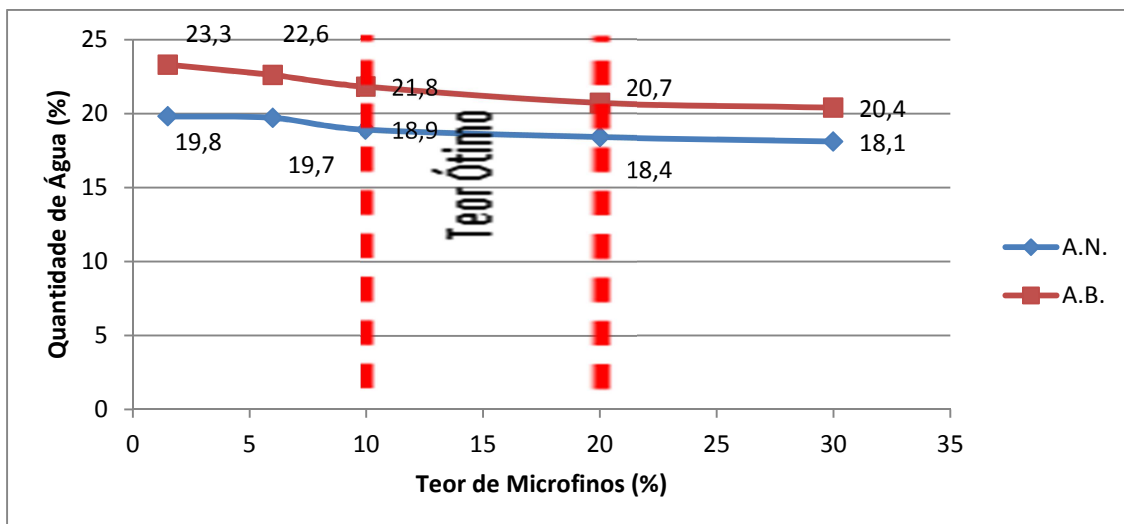


Figura 14 – Percentual de água nas argamassas

Os teores de água utilizados em cada argamassa podem ser observados na figura 14. As argamassas onde a AN foi substituída pela AB perderam trabalhabilidade, e necessitaram maior adição de água para atingir a consistência de (260 ± 5) mm. Este fato se deve provavelmente a forma dos grãos da AB e sua distribuição granulométrica descontínua, pois nas argamassas com AN os grãos são mais arredondados e a distribuição granulométrica é contínua, proporcionando melhor fluidez à argamassa. Esta observação se baseia nos resultados do trabalho de METZ (2011), onde o formato do grão da areia de britagem utilizada nesta pesquisa foi caracterizado. Em suas pesquisas PANDOLFO E MASUERO (2005) também destacam este comportamento. A diferença de quantidade de água entre as argamassas para alcançar mesmo índice de consistência não foi expressiva, podendo ser consideradas todas em um mesmo patamar.

Nas argamassas de areia natural e areia de britagem, quanto maior foi à adição de microfinos, menor foi à quantidade de água necessária para atingir a mesma consistência. Este fato provavelmente se deve a melhoria da trabalhabilidade que os microfinos conferem a argamassa, conforme será visto no item 4.1.3.

4.1.2 Penetração de cone

A Figura 15 apresenta os resultados obtidos no ensaio de penetração de cone para as argamassas produzidas com areia natural e areia de britagem.

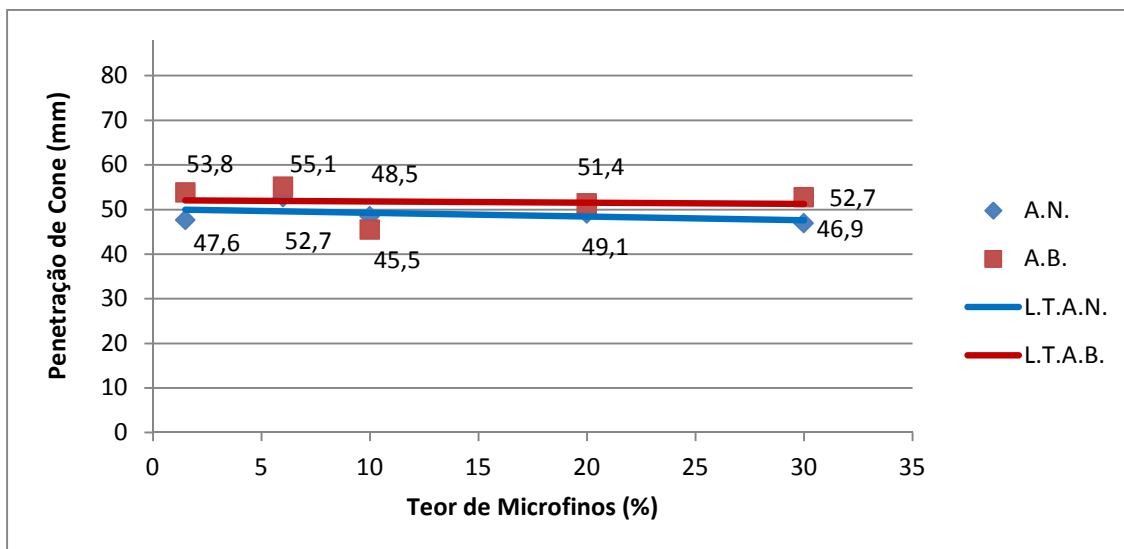


Figura 15 – Penetração de Cone

A variação encontrada na penetração de cone entre argamassas de mesmo tipo de areia, porém com diferentes percentuais de microfinos, chega a 9,6mm nas argamassas com areia de britagem e 5,8mm nas argamassas com areia natural. Esta diferença é pouco expressiva, e se enquadra dentro das variações aceitas pela ASTM C 780 (1996). Portanto, não se pode afirmar que há diferenças de trabalhabilidade entre as argamassas. Este comportamento é coerente com o observado na consistência determinada por ensaio de mesa de consistência.

4.1.3 Squeeze-flow

Apesar de não ser possível identificar diferenças de trabalhabilidade entre as argamassas a partir dos ensaios de mesa de consistência e de penetração de cone, as argamassas possuem trabalhabilidade diferentes, o que pode ser constatado pelo ensaio de squeeze-flow, cujos resultados estão expressos nas Figuras 16 e 17.

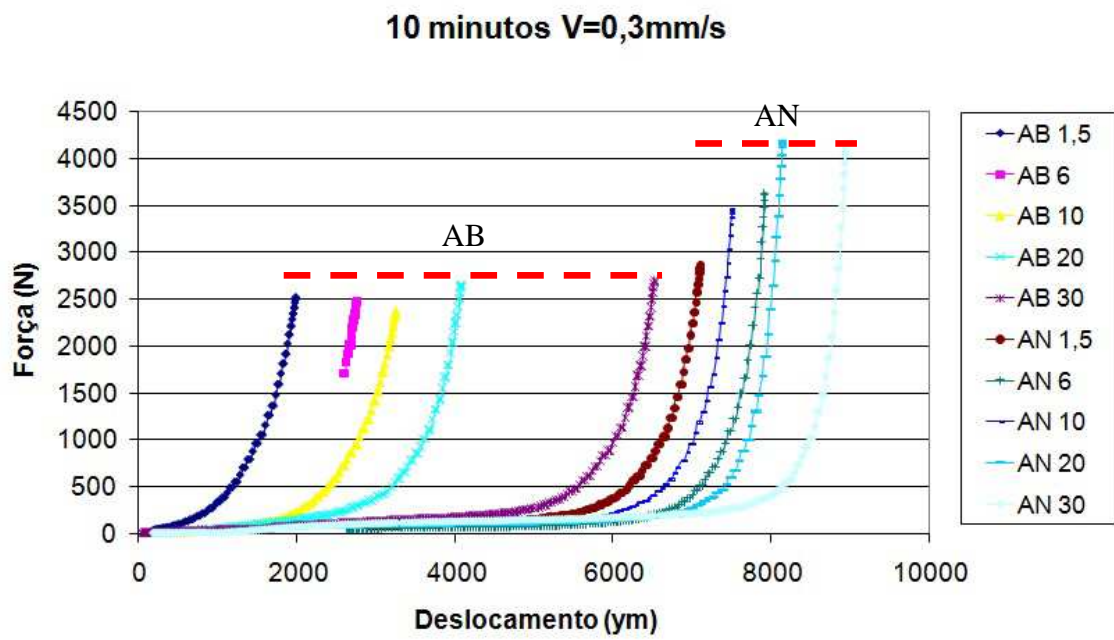


Figura 16 – Squeeze-flow 10 minutos

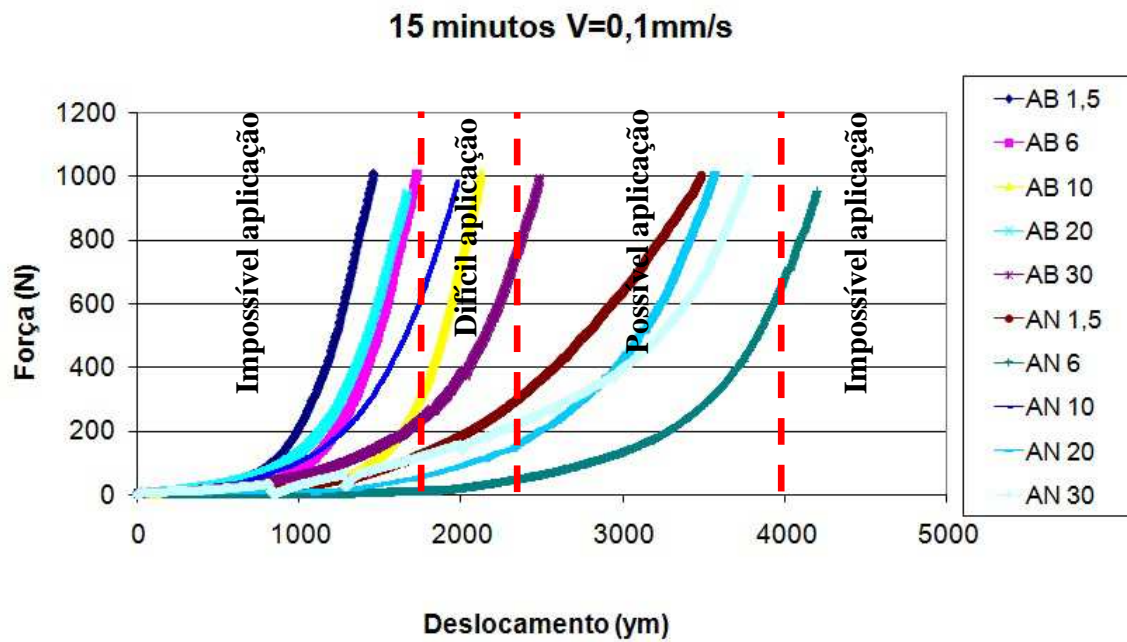


Figura 17 – Squeeze-flow 15 minutos

Percebe-se uma clara diferença entre o comportamento das argamassas com os dois tipos de agregados: as argamassas com areia natural possuem maior plasticidade que as argamassas com areia de britagem. Este comportamento é observado tanto no ensaio realizado com aplicação da carga na velocidade de 0,1 mm/s, que representa a aplicação manual de argamassa quanto nos ensaios com velocidade de 0,3 mm/s. Nos dois tipos de agregados, as argamassas com maior teor adição de microfinos resultaram em argamassas com maior plasticidade.

O teor de microfinos influencia fortemente a trabalhabilidade das argamassas com areia de britagem e gera menor variação de trabalhabilidade nas argamassas de areia natural. Percebe-se que, mesmo havendo uma grande diferença entre os teores de microfinos nas argamassas com areia natural, as mesmas se mantêm muito próximas da possível faixa de aplicação. O provável motivo é a forma do arredondada do grão, menor massa específica e distribuição granulométrica contínua. As argamassas com areia de britagem, entretanto, são mais sensíveis ao teor de adição de microfinos, e não se mantiveram na mesma faixa de aplicação. Somente as argamassas com areia de britagem com percentual de 10% e 30% estiveram na faixa de possível aplicação. Acredita-se que tenha ocorrido algum erro de ensaio com a argamassa com 20% de microfinos. A argamassa com areia de britagem com trabalhabilidade mais próxima às argamassas com areia natural, foi aquela com 30% de microfinos. Nestas argamassas, apesar da adição de microfinos resultar em maior trabalhabilidade, a excessiva quantidade de adição pode gerar excesso de retração e fissuração.

4.1.4 Densidade de massa

A Figura 18 apresenta os resultados de densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas.

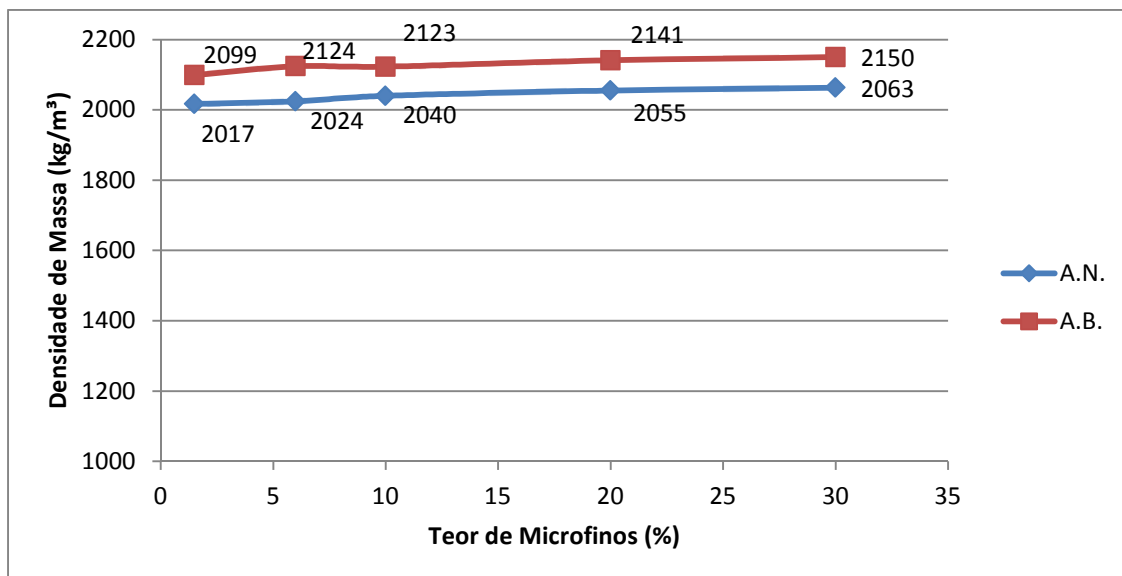


Figura 18 – Densidade de massa

Para a argamassa de referência AN1,5, obteve-se a densidade de massa de 2017 kg/m³. Todas as argamassas em estudo obtiveram inexpressivo aumento na densidade de massa no estado fresco com adição de microfinos, inferior a 2%, quando comparadas a argamassa de referência. O acréscimo de densidade de massa se deve à adição de microfinos de areia de britagem, que tem massa específica 2,70 g/cm³ e também à redução na quantidade de água nos traços conforme se aumentou a adição de microfinos. Somente a argamassa AB10, quando comparada à argamassa AB6, não aumentou sua densidade de massa.

Existe uma redução da quantidade de água nas argamassas no estado fresco, em função do aumento do teor de microfinos (visto na Figura 14), na ordem de 10% para argamassas com areia natural e 15% para argamassas com areia de britagem, o que explica parte do comportamento. Todos os valores de densidade de massa no estado fresco foram elevados, o que classifica todas as argamassas na classe D6, especificada na NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.1.5 Teor de ar incorporado

A Figura 19 representa os resultados médios para o ensaio de teor de ar incorporado das argamassas com areia natural e areia de britagem.

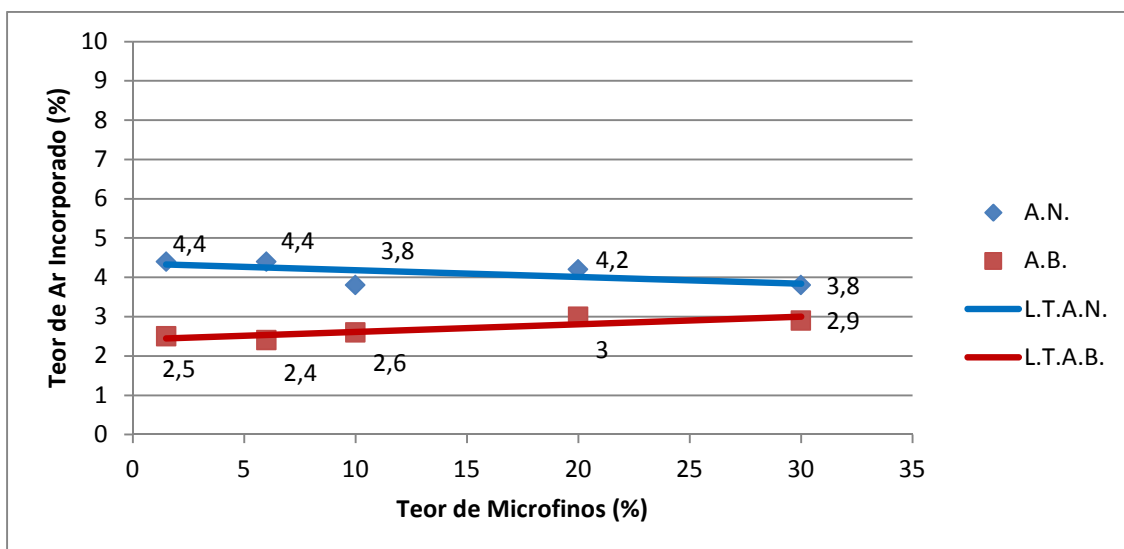


Figura 19 – Teor de ar incorporado

Para o ensaio realizado de teor de ar incorporado seguiu-se as especificações da NM 47 (ABNT, 2002) que, apesar de especificar o ensaio para concretos, é comumente utilizada para argamassas. Em todas as misturas foi criteriosamente controlado o tempo e a seqüência de mistura, para se evitar possíveis interferências nos resultados. Quanto maior o tempo de mistura, maior a quantidade de ar incorporado (SANTOS; RAMOS, 2009).

Em todos os traços foi utilizada cal, o que resultou em pequenos teores de ar incorporado quando comparados a argamassas sem a utilização da cal. Considerando que o intervalo de valores de ar incorporado para argamassas de revestimento varia de 0% a 20%, nas argamassas de AN as diferenças no teor de ar incorporado são muito pequenas, variando de 3,8% a 4,4%, estando praticamente na mesma ordem de grandeza.

Para as argamassas de AB há uma pequena tendência de acréscimo de ar incorporado de aproximadamente 2,5%. Quanto menor a quantidade de microfinos, menor o valor de incorporação de ar. A forma do grão do microfino, visualizado no ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura, parece justificar que quando maior for o percentual de microfinos nas argamassas com areia de britagem, maior será o percentual de ar incorporado, pois os grãos não têm forma adequada para um bom empacotamento, o que faz com que se mantenha mais ar entre os agregados.

As argamassas de areia natural apresentam quantidade de ar incorporado em media 1% superior as argamassas de areia de britagem.

4.1.6 Retenção de água

A Figura 20 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de retenção de água para as argamassas produzidas com AN e AB.

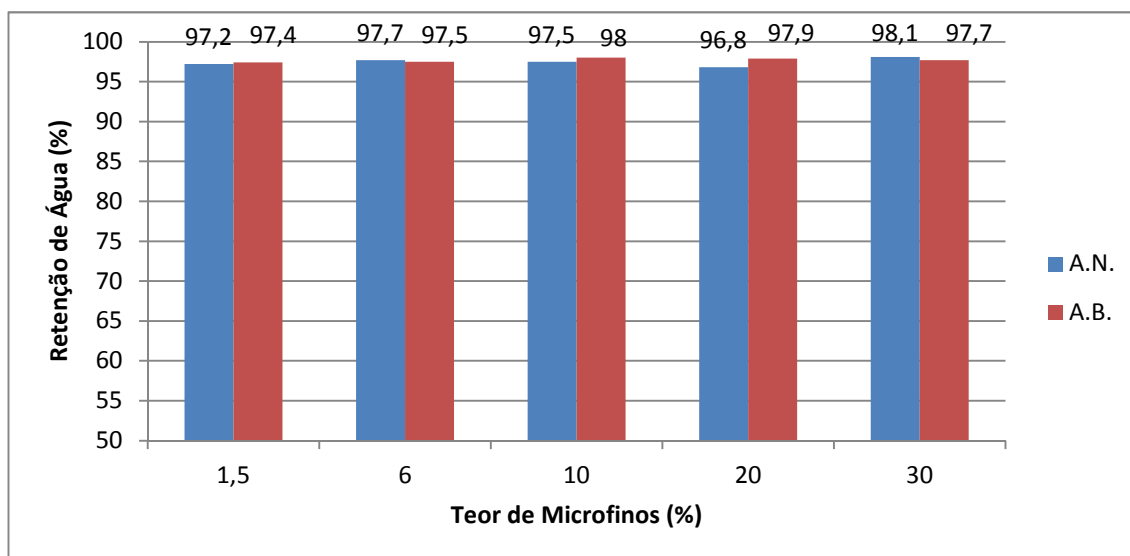


Figura 20 – Retenção de água

Apesar da grande diferença da quantidade de microfios adicionados nas argamassas com areia natural e com areia de britagem, não houve variações significativas na retenção de água, constatação também encontrada por TRISTÃO (2005), para areias de rio, quando comparadas a areias de britagem. Observa-se também que não é possível distinguir a retenção de água entre as argamassas com AN e AB. Todos os valores de retenção de água foram elevados e este é um fator positivo para as argamassas, pois valores elevados de retenção de água representam boa plasticidade da mistura e menor retração e conseqüentemente fissuração, pois a mistura não perderá água abruptamente para o meio. As argamassas foram classificadas como classe U6, segundo NBR 13281 (ABNT, 2005).

Estima-se que o grande responsável para este comportamento foi o uso de Cal CH I em todos os traços.

4.2 ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Resistência à compressão das argamassas e atividade pozolânica dos microfinos

A Figura 21 apresenta o resultado do ensaio de resistência à compressão das argamassas.

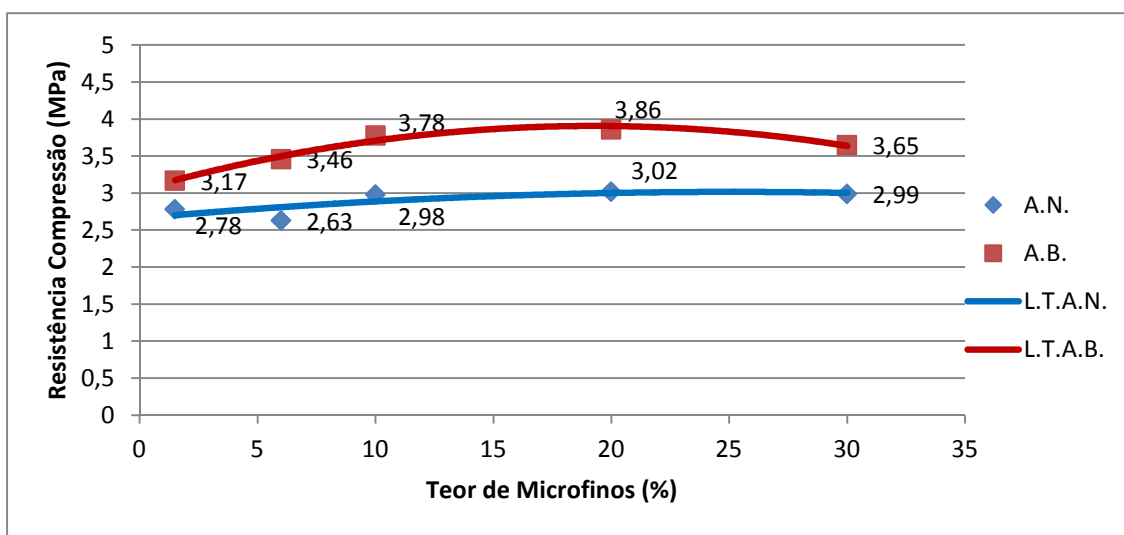


Figura 21 – Resistência a compressão

Com relação ao acréscimo do teor de microfinos nas argamassas com areia natural, houve um pequeno ganho de resistência a compressão, na ordem de 6% com a adição de 20% de microfinos. Nas argamassas com areia de britagem houve um pequeno acréscimo na resistência a compressão, até o teor de 20% de adição de microfinos. Este fenômeno possivelmente decorre do melhor empacotamento dos grãos a partir da adição de microfinos na argamassa com areia de britagem, e da menor demanda de água, que chega à margem de redução de até 10%, devido à adição de microfinos a mistura e é coerente com os valores obtidos na densidade de massa das argamassas.

Os resultados de resistência à compressão seguem na mesma linha observada nos estudos de D'AGOSTINO ET AL. (2004), PANDOLFO E MASUERO (2005) e SILVA (2006), onde a areia de britagem sempre apresentou maior resistência à compressão quando comparada as areias naturais.

Para as argamassas moldadas com 30% de adição de microfinos, percebeu-se uma pequena redução de resistência em relação ao teor de 20% de microfinos, tanto

para AN como para AB. Essa redução pode estar relacionada ao início de um pior empacotamento do agregado, que supera o efeito da diminuição de água da argamassa. Nesse estudo, aparentemente o melhor empacotamento ocorre nas argamassas moldadas com adição de 20% de microfinos, que obtiveram os melhores resultados de resistência a compressão aos 28 dias de cura.

Para o ensaio de resistência a compressão não pode ser considerada o possível efeito de pozolanicidade dos microfinos, pois os microfinos não foram classificados como pozolânicos conforme a NBR 5752 (ABNT, 2012). Portanto, o ganho de resistência a compressão nas argamassas pode ser relacionado a outros fatores, como provavelmente o melhor empacotamento dos grãos.

Todos os valores de resistência à compressão são considerados médios, classificando as argamassas como classe P3, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.2.2 Resistência à tração na flexão

A Figura 22 apresenta o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão das argamassas.

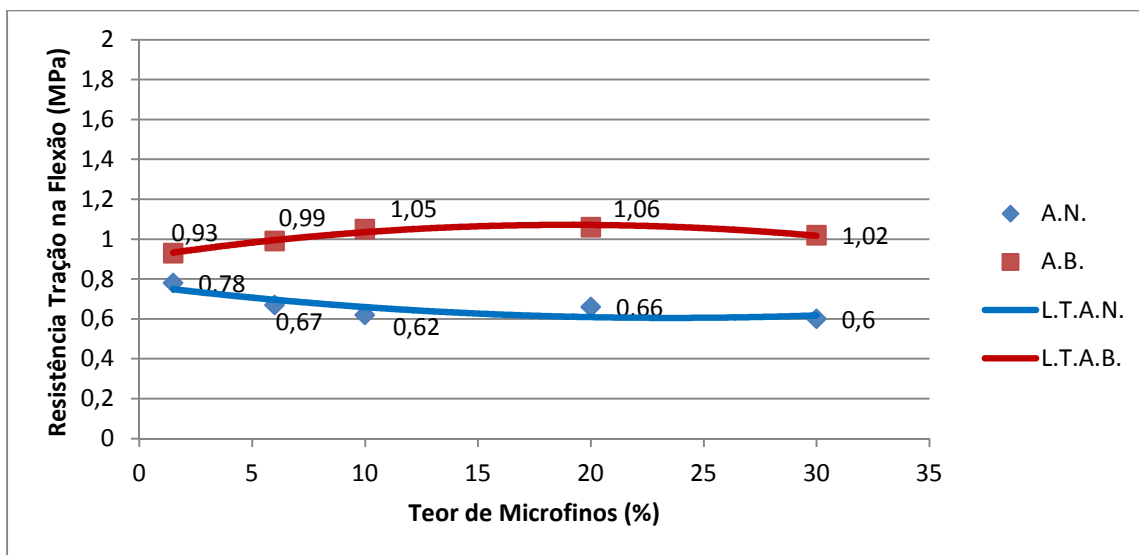


Figura 22 – Resistência a tração na flexão

Na argamassa com areia de britagem a resistência à tração na flexão apresenta tendência de comportamento semelhante ao dos resultados dos ensaios de compressão, com um pequeno acréscimo em função do acréscimo de microfinos. A argamassa com areia natural, entretanto, apresentou um comportamento diverso, de

redução de resistência com o aumento de adição de microfinos. Este fato provavelmente ocorre por a distribuição granulométrica da areia natural piorar com a adição de microfinos. As argamassas com areia de britagem apresentaram resistência em media 6% maior que as argamassas com areia natural. A diferença entre os resultados de resistência à tração na flexão é expressiva, e tende a aumentar com o acréscimo de adição de microfinos, chegando a perder cerca de 40% da resistência obtida com a areia natural. Tem-se como hipótese para justificar a maior resistência a tração na flexão para as argamassas com areia de britagem a forma e textura superficial dos grãos, que por serem lamelares, geram mais intertravamento entre os mesmos. Todos os valores de resistência à tração na flexão podem ser considerados baixos, classificando as argamassas como classe R1, segundo NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.2.3 Densidade de massa

A Figura 23 apresenta densidade de massa das argamassas estudadas.

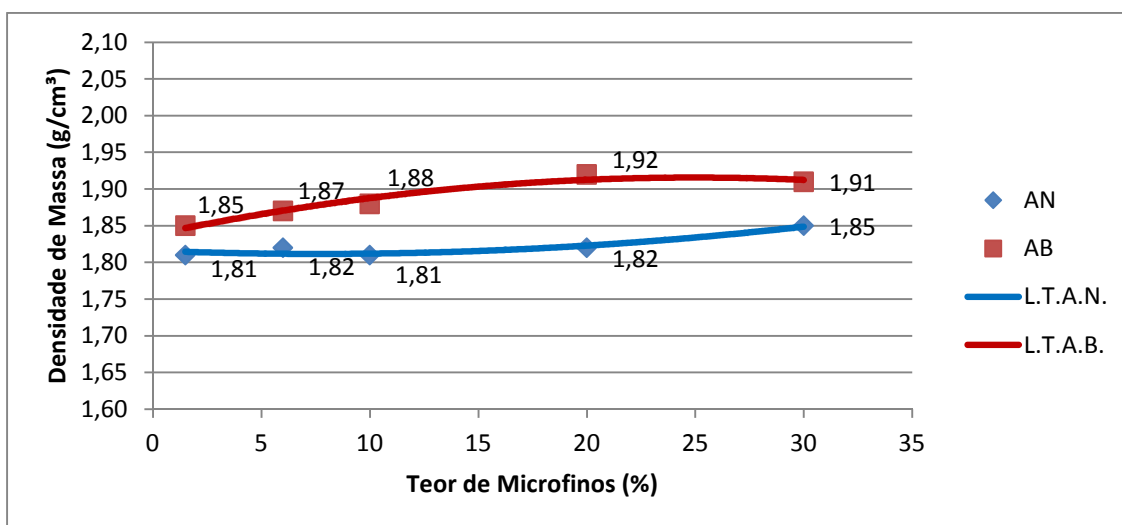


Figura 23 – Densidade de massa

Como ocorrido na densidade de massa no estado fresco, as argamassas com areia de britagem tem densidade de massa superior as argamassas com areia natural. As argamassas com areia de britagem apresentam crescimento na densidade de massa, conforme acréscimo de microfinos, na ordem de 3%. Nas argamassas com areia natural não foi constatado uma variação de massa relevante.

Pode ser observado no gráfico que conforme vai sendo adicionando microfinos, a densidade aumenta para ambas argamassas. Porém há diferenças nas

linhas de tendência da argamassa com areia de britagem em relação à argamassa com areia natural. Pode ser observado que nas argamassas com areia de britagem, a partir de 20% de adição de microfinos, começa a haver um decréscimo na densidade de massa, provavelmente porque a quantidade de microfinos esta extrapolando seu empacotamento máximo. Na argamassa com areia natural há um aumento de massa contínuo, provavelmente porque mesmo que o empacotamento máximo esteja sendo extrapolado, os microfinos de areia de britagem tem massa específica maior do que da areia natural, conseqüentemente aumentando a densidade de massa da argamassa.

O comportamento da densidade de massa das argamassas acompanha os resultados de resistência à compressão. Todos os valores de densidade de massa são considerados elevados, classificando as argamassas como classe M6, segundo NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.2.4 Módulo de elasticidade dinâmico

A Figura 24 apresenta os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade dinâmico.

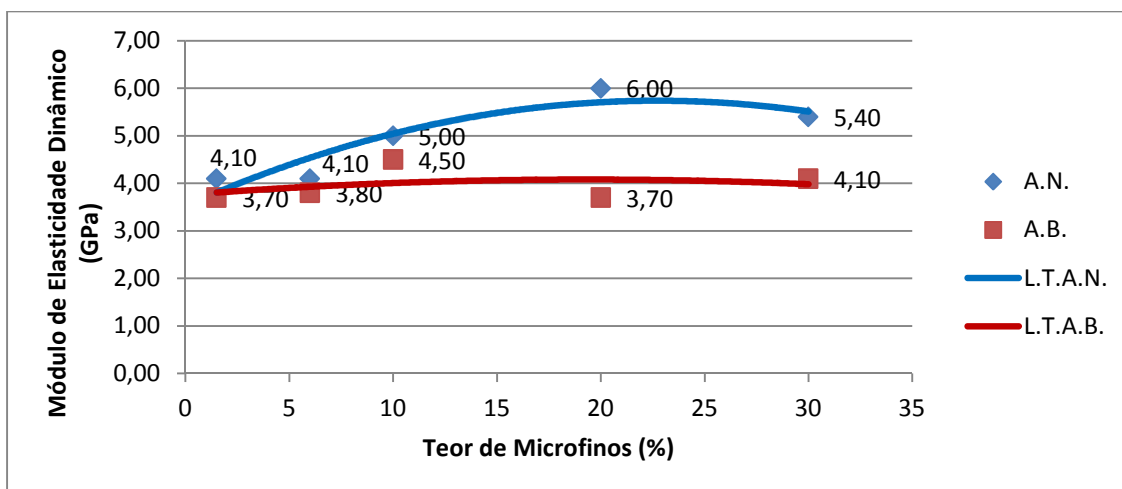


Figura 24 – Módulo de elasticidade dinâmico

Na areia de britagem, não se pode observar uma tendência de mudança do módulo elástico dinâmico em função do teor de microfinos. Tal comportamento acompanha o da densidade de massa, que segundo GUACELLI (2010) é o principal fator que rege o módulo de elasticidade dinâmico.

Na areia natural podem ser observados maiores valores de módulo de elasticidade dinâmico, conforme aumenta a quantidade de microfinos na mistura. Não é possível afirmar que o módulo aumenta em função do acréscimo de densidade de massa (que fica praticamente constante, conforme visto na Figura 23), portanto este comportamento deve ser resultante da redução do teor de água na mistura e da maior compacidade da argamassa devido à adição de microfinos, fato que também se expressa na forma de aumento na resistência a compressão, já visualizado na Figura 19. Ressalta-se que a partir de 20% de adição de microfinos há uma queda no módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com areia natural.

Apesar das argamassas com areia natural apresentarem uma densidade de massa menor que as areias de britagem, elas possuem módulo de elasticidade maior. Observa-se que as diferenças em densidade de massa são pequenas, na ordem de 2 a 5%, e seu efeito no comportamento elástico das argamassas deve ter sido superado pelo melhor empacotamento que os microfinos proporcionam às argamassas.

4.2.5 Absorção de água

A Figura 25 apresenta os resultados dos ensaios de absorção inicial e total das argamassas.

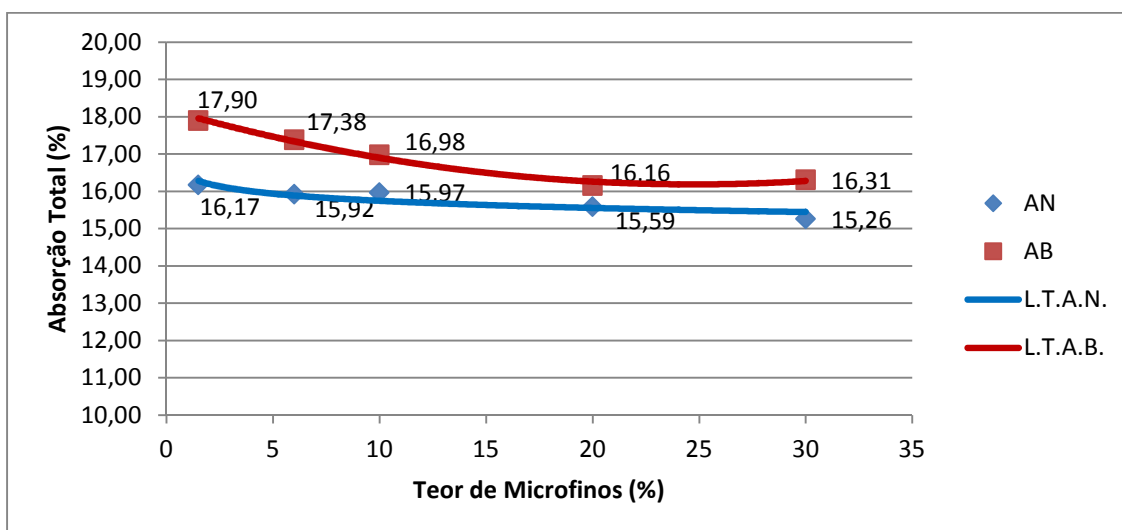


Figura 25 – Absorção total

Tanto as argamassas com areia natural como as argamassas com areia de britagem apresentam uma pequena, mas constante redução na absorção de água quando

adicionado maior quantidades de microfinos. O comportamento é coerente com o observado no acréscimo de densidade de massa, mantendo a mesma ordem de grandeza.

As argamassas preparadas com areia de britagem apresentam maior absorção, cerca de 5% maior, quando comparadas às argamassas com areia natural.

4.2.6 Índice de vazios

A Figura 26 apresenta os resultados dos ensaios de índice de vazios das argamassas.

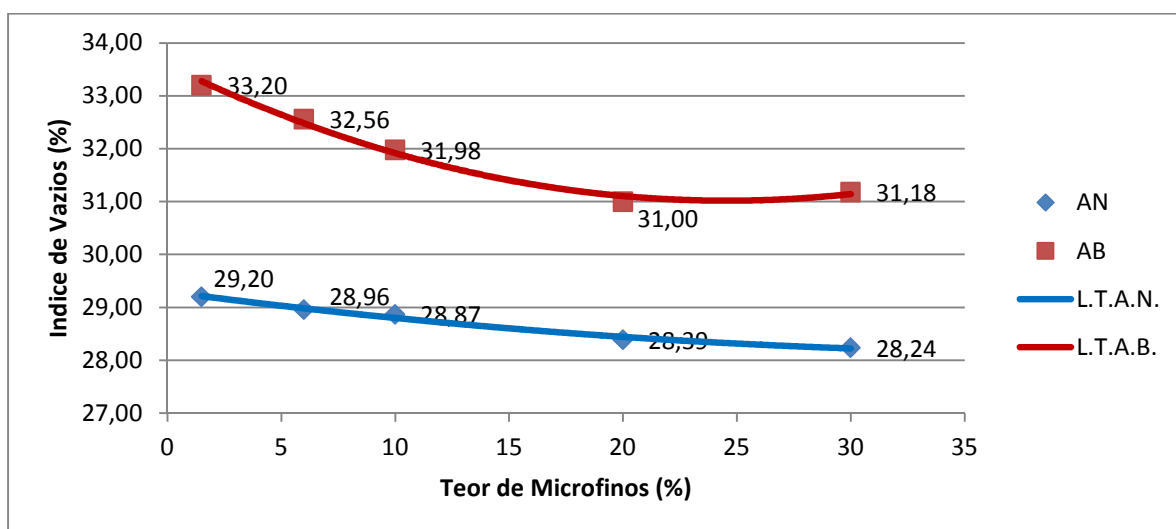


Figura 26 – Índice de vazios

Em ambas as argamassas, o índice de vazios apresenta pequena redução. Nas argamassas com areia de britagem a redução do índice de vazios chega a aproximadamente 7%, enquanto para argamassas com areia natural a redução do índice de vazios é de aproximadamente 3%. Os valores comprovam a melhoria de empacotamento propiciada pelos microfinos, em especial nas argamassas com areia de britagem, e apresentam-se coerentes com a absorção de água.

Nas argamassas com areia de britagem há um provável ponto de inflexão a partir do teor de adição de microfinos de 20%.

A redução do índice de vazios está relacionada diretamente com a redução de água na mistura, que também decresce com a adição de microfinos. O aumento na quantidade de ar, que ocorre com a adição de microfinos, é muito pequeno e não é suficiente para compensar o decréscimo no índice de vazios das argamassas.

As argamassas com areia de britagem possuem maior índice de vazios que as argamassas com areia natural. Segundo MARCONDES (2009), o formato lamelar do agregado britado aprisiona bolhas de ar durante o processo de mistura, o que gera uma argamassa com maior índice de vazios. Embora os valores de densidade de massa aparentem contradizer este comportamento, acredita-se que o acréscimo do índice de vazios não seja visível na densidade de massa da argamassa pelo fato da areia de britagem possuir uma massa específica maior que a da areia natural, o que supera a eventual diminuição de massa pela incorporação de ar. Este comportamento também foi observado por SILVA (2006), em argamassas com a substituição do agregado natural por agregado britado de rocha calcária.

4.2.7 Coeficiente de capilaridade

A Figura 27 apresenta os resultados dos ensaios de absorção inicial e total das argamassas.

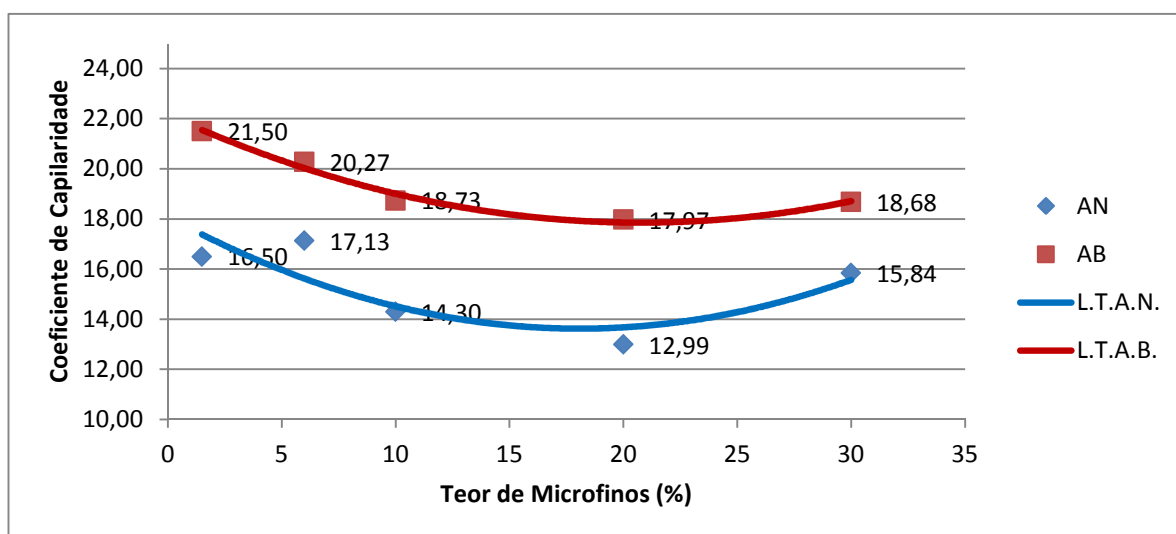


Figura 27 – Coeficiente de Capilaridade

O coeficiente de capilaridade apresenta pequena redução em todas as argamassas, à medida que aumenta a adição de microfinos, até o teor de adição de microfinos de 20%. Este comportamento está relacionado diretamente com os índices de vazios, explicados no item anterior.

Todos os coeficientes de capilaridade são muito elevados, superiores a 10, valor limite definido pela NBR 13281 (ABNT, 2005), sendo classificados na classe C6.

4.2.8 Porosimetria por intrusão de mercúrio (PIM) nas argamassas

A porosimetria por intrusão de mercúrio, cujos resultados são visualizados nas Figuras 28 e 29, permite observar que a adição de 20% de microfinos resulta em diminuição na ordem de 10% no volume total de poros intercomunicados das argamassas.

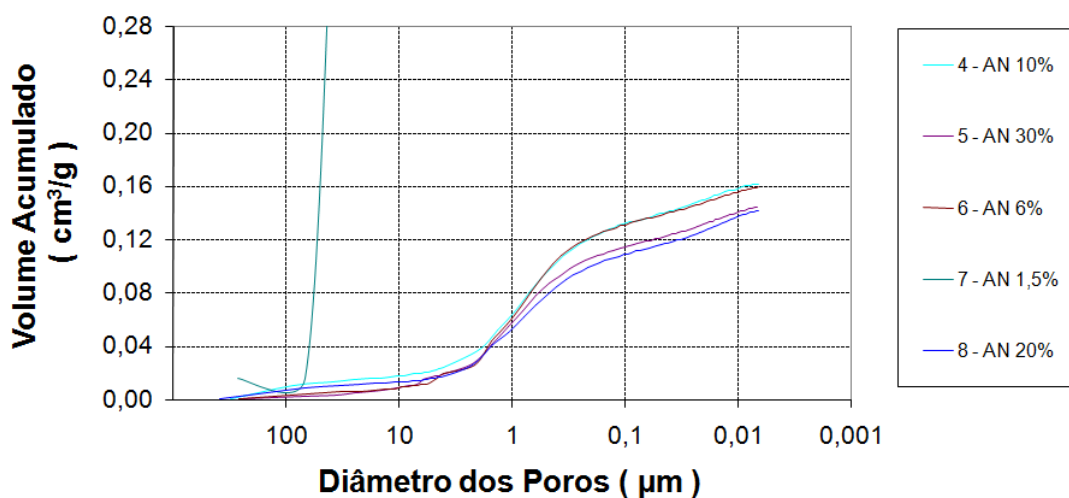


Figura 28 – Volume acumulado de poros na argamassa de areia natural

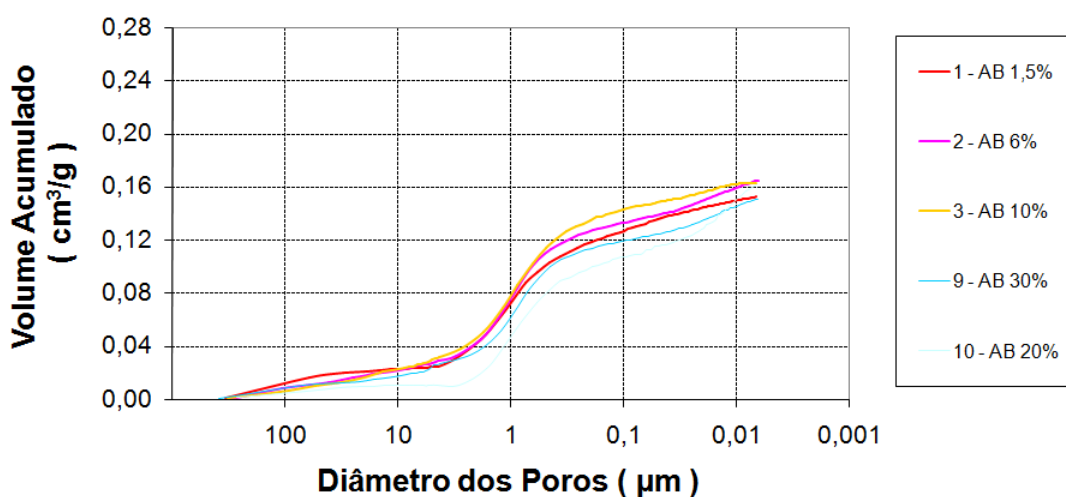


Figura 29 – Volume acumulado de poros na argamassa de areia de britagem

Analisando os gráficos, também é possível observar que a grande maioria dos poros das argamassas está na faixa de $0,3\ \mu\text{m}$ a $4\ \mu\text{m}$. À medida que se adiciona microfinos, a quantidade de vazios vai reduzindo.

4.2.9 Retração linear

A Figura 30 apresenta os resultados dos ensaios de retração linear das argamassas, determinados a partir da retração de barras com $2,5 \times 2,5 \times 28,5\ \text{cm}$.

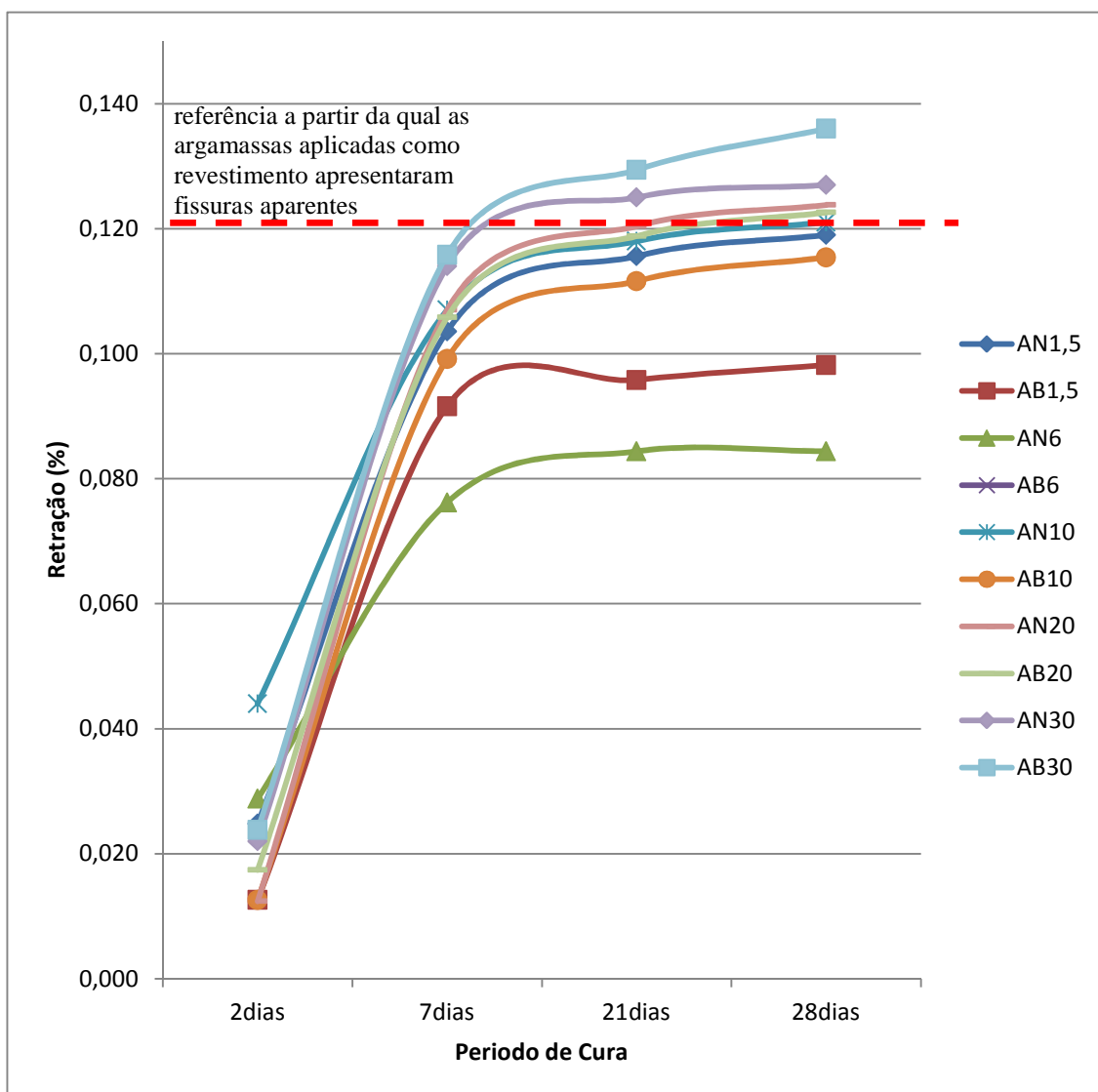


Figura 30 – Retração linear

É possível distinguir a retração em dois grupos: o de menor retração (entre 0,08 e 0,1%), ocorrida nas argamassas AN6 e AB1,5, e o de maior retração (entre 0,10 e

0,14%), onde se enquadram as demais argamassas. Neste segundo grupo, as argamassas com maior teor de microfinos (AN30 e AB30) são as que claramente apresentam maior retração linear.

Excluindo a AN6, a retração das argamassas com areia natural praticamente não sofreu variações em função do acréscimo de microfinos. As argamassas com areia de britagem, entretanto, resultam em maior retração na medida em que há acréscimo no teor de microfinos.

Comparando-se argamassas com areia natural e com areia de britagem, os traços com areia de britagem e adição de 1,5% e 6% de microfinos apresentaram menor retração, o com adição de 20% de microfinos foi similar a argamassa de areia natural e com 30% de microfinos há um acréscimo no nível de retração de argamassa com areia de britagem.

Apesar de todas as argamassas terem tido altas índices de retenção de água, muitas delas apresentaram grande retração e conseqüente fissuração. Argamassas com areia de britagem e com areia natural com 20% e 30% de microfinos, mesmo com quantidade de água menor que as demais, obtiveram maior índice de retração e fissuração. Este fato pode ser justificado devido à grande quantidade de microfinos incorporada ao traço, que aumenta sensivelmente a retração da argamassa.

A linha vermelha marcada no gráfico de retração simboliza o limite de retração a partir do qual as argamassas apresentaram fissuração aparente quando aplicadas sobre um substrato cerâmico (a ser visualizado no próximo item). De modo geral, as argamassas que retraíram ao menos 0,12% resultaram no aparecimento de fissuras aparentes quando aplicadas como revestimento ao substrato padrão e submetidas às condições de cura adotadas na pesquisa.

4.2.10 Fissuração no revestimento

A Figura 31 apresenta os resultados da avaliação da evolução da fissuração das argamassas quando aplicadas sobre um substrato cerâmico e condições de cura padronizada, ao longo de 28 dias. Nos apêndices K, L e M são apresentados detalhes do ensaio.

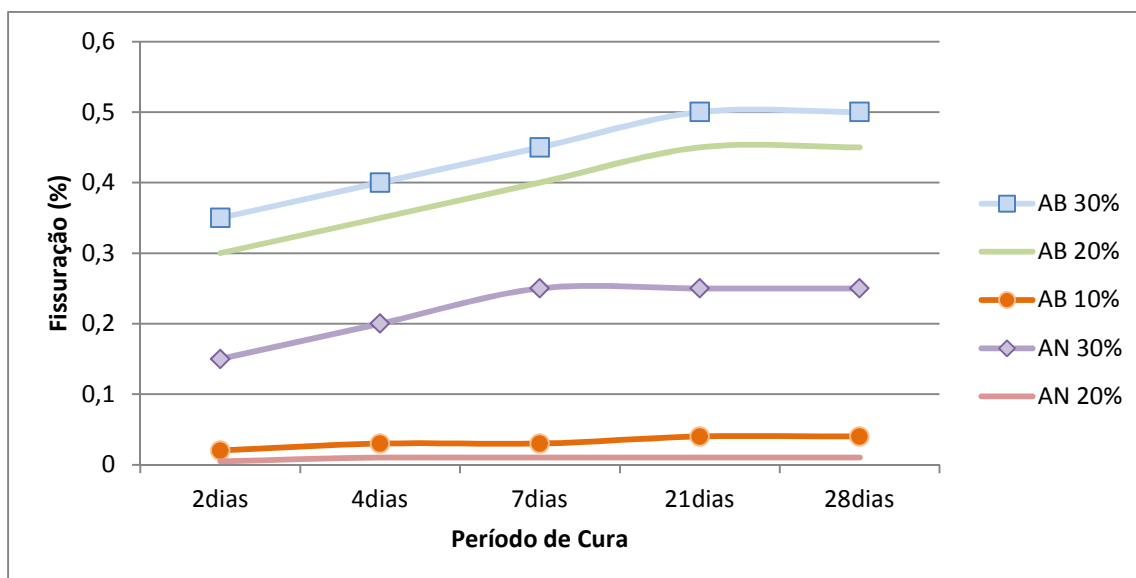


Figura 31 – Fissuração no revestimento

Verifica-se que as argamassas preparadas com maior percentual de microfios apresentaram maior fissuração, para o tipo de substrato e condições de cura adotados na pesquisa. Ensaio realizado por PAES *ET AL.* (1999), demonstraram que maiores quantidades de finos adicionados à argamassa, ocasionam uma maior fissuração. Nas areias de britagem com 1,5 e 6 % de microfios também foi possível se observar algumas pequenas fissuras (micro fissuras dificilmente visualizadas a olho nu), que se apresentam fora da escala apresentada na Figura 31. As argamassas de areia natural com percentuais de 1,5; 6 e 10 % de microfios não apresentaram fissuras visíveis a olho nu.

A diferença no percentual de área fissurada entre as argamassas é muito expressiva, chegando à ordem de 10 vezes mais nas argamassas com areia de britagem.

Ao se relacionar os resultados de retração das argamassas com a fissuração dos revestimentos, pode-se constatar que as argamassas que obtiveram maior retração são as argamassas de revestimentos com maior área de fissuras. As argamassas com areia de britagem e areia natural com adição de 30% e 20% de microfios são as argamassas que sofreram maior retração e maior quantidade de fissuração.

Estes resultados são específicos para um substrato produzido com um único tipo de argila, com patamar e temperatura de queima especificado por uma olaria da região metropolitana de Porto Alegre – RS.

4.2.11 Resistência de aderência a tração

A Figura 32 apresenta os resultados dos ensaios de resistência de aderência a tração obtidos nas argamassas de revestimento aplicadas sobre o substrato cerâmico.

Para a plotagem dos resultados do ensaio de resistência de aderência a tração, foi calculada a média dos resultados entre todas as amostras ensaiadas em cada argamassa, contrariando a recomendação da norma. A forma de ruptura foi igual em todos os revestimentos, sempre na argamassa.

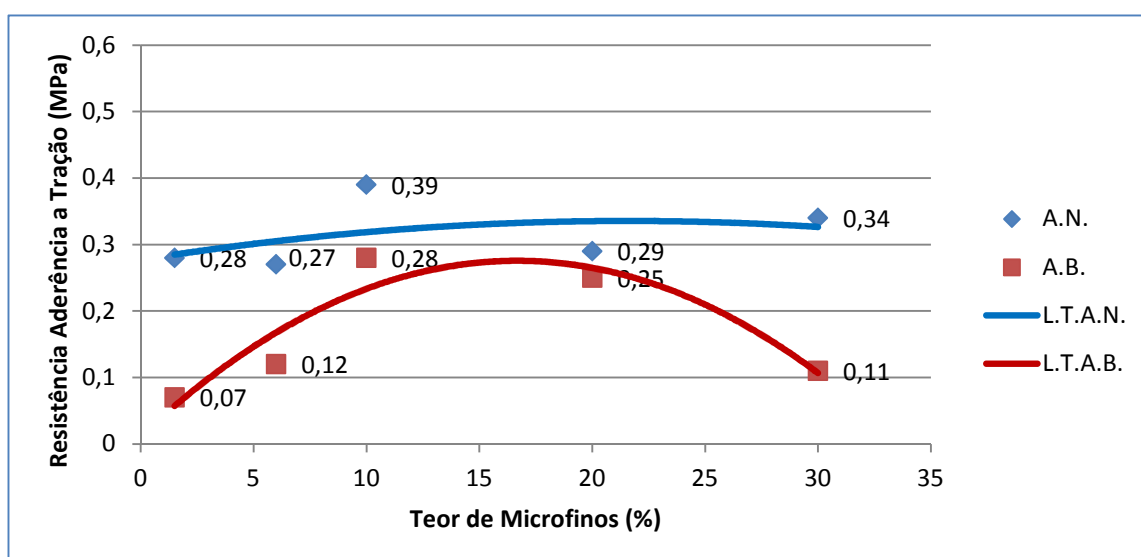


Figura 32 – Resistência de aderência à tração

Os resultados de resistência de aderência a tração das argamassas confeccionadas com areia natural são considerados satisfatórios, dentro do limite de resistência especificado pela norma. Todas as argamassas com AN apresentam comportamento muito semelhante, com média de resistência potencial de aderência próxima a 0,3 MPa, com exceção da argamassa AN10, considerado um valor expúrio. As argamassas moldadas com areia natural se classificam na classe A3, especificada na NBR 13281 (ABNT, 2005).

As argamassas com AB apresentaram piores resultados, sofrendo grande influência do teor de microfinos. Apenas os revestimentos com teores de microfinos de 10% e 20% possuem valores de resistência de aderência próximos aos obtidos nas argamassas com AN. Os demais traços com areia de britagem se classificam na classe A1, segundo NBR 13281 (ABNT, 2005), sendo inadequados para uso.

As Figuras 33 e 34 exemplificam o ensaio de arrancamento e o equipamento utilizado, da marca Imada.



Figura 33 – Arrancamento das pastilhas



Figura 34 – Equipamento utilizado para a aplicação de carga de tração nos revestimentos

4.3 SISTEMATIZAÇÃO E ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS

Com relação às propriedades avaliadas, pode-se verificar o seguinte:

A trabalhabilidade, determinada por mesa de consistência e por penetração de cone, foi mantida fixa em todos os traços utilizados. Para isto, na medida em que foram acrescentados mais microfinos, foi necessária a alteração no teor de água das misturas (que diminuiu em todas as argamassas). Apesar dos ensaios citados apresentarem o mesmo resultado, há diferenças expressivas na trabalhabilidade das misturas, detectadas apenas no ensaio de squeeze-flow.

As alterações no teor de microfinos e no teor de água resultaram em alterações no teor de ar incorporado de cada mistura. Nas argamassas com areia natural,

o teor de ar incorporado diminuiu, enquanto nas argamassas com areia de britagem, houve maior incorporação de ar.

O acréscimo no teor de microfinos resultou em maior resistência a compressão nas duas argamassas (provavelmente devido à redução no teor de água), sendo que as argamassas com areia de britagem sempre apresentaram resistência mais elevada, apesar da maior incorporação de ar. A maior resistência a compressão das areias de britagem deve estar relacionado com as características superficiais dos grãos de areia de britagem. A resistência à tração na flexão das argamassas com areias de britagem acompanhou o comportamento da resistência à compressão. As argamassas com areia natural, entretanto, sofreram queda na resistência à tração na flexão com o acréscimo de microfinos. O módulo de elasticidade dinâmico sofreu acréscimo de valor em ambas argamassas. Entretanto, o valor do módulo de elasticidade sempre foi superior nas areias naturais, possivelmente devido a estas argamassas terem sido misturadas com um teor de água menor que as argamassas com areia de britagem (10 a 15% inferior), o que resulta em maior compacidade.

A absorção de água caiu em todas as argamassas, na medida em que houve incremento no teor de microfinos. A menor absorção sempre ocorreu nas argamassas com areia natural. O índice de vazios das argamassas é proporcional e seguiu o mesmo comportamento da absorção de água. Nos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio comprovam que o acréscimo de microfinos resulta na diminuição da quantidade de vazios, que diminuíram até 10% pela adição de 20% de microfinos.

As argamassas com maior teor de finos (20 e 30%) apresentaram os maiores valores de retração em barras de argamassa. Quando aplicadas sobre substrato cerâmico, as argamassas com areia de britagem nos teores de 10, 20 e 30% de microfinos e as de areia natural com 20 e 30% de microfinos apresentaram fissuras visíveis.

A resistência de aderência dos revestimentos com areia natural foi adequada e não variou em função do teor de adição, enquanto a argamassa com areia de britagem apresentou acréscimo de resistência até o teor de 15% de microfinos, diminuindo a seguir.

Estes resultados chamam a atenção para o fato de que mesmo havendo um aumento de resistência mecânica e diminuição do índice de vazios da argamassa á medida em que se acrescenta microfinos, o teor de microfinos não pode ultrapassar valores que provoquem uma retração excessiva e conseqüente fissuração, ou ainda venham a prejudicar a aderência com a base. O teor máximo de adição de microfinos irá depender das características do substrato sobre o qual a argamassa será aplicada. No caso específico, está próximo a 10%.

Com base nas propriedades das argamassas avaliadas durante a pesquisa, foi realizada uma tabela comparativa (Figura 35), onde pode ser visualizado o comportamento de cada argamassa nos ensaios realizados.

Os resultados obtidos na caracterização das argamassas e dos revestimentos foram classificados em três categorias (bom, regular e ruim), a partir de enquadramento realizado pelo autor, baseando-se na experiência do GMat - Unisinos e nos trabalhos de GUACELLI (2010), SAMPAIO (2009), TRISTÃO (2005), PANDOLFO E MASUERO (2005), além das especificações de normas brasileiras e internacionais citadas ao longo do trabalho.

Quadro comparativo entre as propriedades das argamassas													
			AN1,5	AN6	AN10	AN20	AN30	AB1,5	AB6	AB10	AB20	AB30	
Argamassa	Estado Fresco	Trabalhabilidade	Bom	Bom	Regular	Ruim	Bom	Ruim	Ruim	Regular	Ruim	Regular	
		Densidade de Massa	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
		Teor de Ar Incorporado	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
		Retenção de Água	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
	Estado Endurecido	Resistência a Compressão	Regular	Regular	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
		Resistência a Tração na Flexão	Bom	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
		Densidade de Massa	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom
		Módulo de Elasticidade Dinâmico	Regular	Regular	Bom	Bom	Bom	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Regular
		Índice de Vazios	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular
		Absorção de Água	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
		Porosimetria	Regular	Regular	Regular	Bom	Bom	Ruim	Regular	Regular	Bom	Bom	Bom
	Revestimento	Retração	Regular	Bom	Regular	Regular	Regular	Bom	Regular	Regular	Regular	Regular	Ruim
		Fissuração	Bom	Bom	Regular	Regular	Ruim	Bom	Bom	Regular	Ruim	Ruim	Ruim
		Resistência de Aderência a Tração	Regular	Regular	Bom	Regular	Ruim	Ruim	Regular	Regular	Regular	Ruim	

Legenda:

Bom
Regular
Ruim

Figura 35 – Quadro comparativo entre as propriedades das argamassas

Com base nos dados da figura 35, verifica-se que as argamassas com areia natural e adição de 1,5%, 6% e 10% de microfios e a argamassa com areia de britagem e adição de 10% de microfios obtiveram bons resultados, sendo considerados estes traços de argamassas passíveis de utilização em canteiros de obras.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se as conclusões relativas ao estudo da adição de microfinos em areias e os ensaios das argamassas no estado fresco, no estado endurecido e como revestimento de substrato cerâmico.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Argamassa no estado fresco

O aumento da adição de microfinos reduziu a quantidade de água necessária até 1,7% para argamassas com areia natural e até 2,9% para argamassas com areia de britagem para obter o índice de consistência de 260 ± 5 mm. Constatou-se visualmente uma redução na água exsudada com o aumento do percentual de adição de microfinos na mistura de areia de britagem. Para as argamassas com areia de britagem atingirem a mesma consistência que as argamassas com areia natural, foram necessários maiores teores de água, variando de 12% nas argamassas com maiores teores de microfinos e 17% nas argamassas com menores teores de microfinos.

A densidade de massa da argamassa fresca cresce com o aumento gradual de microfinos, havendo maior variação nas argamassas com areia natural.

O squeeze-flow indica que há grande diferença de trabalhabilidade entre as argamassas, sendo que em geral a argamassa com areia de britagem exige maior energia para atingir determinada trabalhabilidade. A partir dos resultados do squeeze-flow, verifica-se que na argamassa com areia natural quanto maior for o teor de microfinos, menor a trabalhabilidade da argamassa, enquanto para argamassa com areia de britagem o comportamento é inverso: maior teor de microfinos gera maior trabalhabilidade.

Argamassa no Estado Endurecido

O acréscimo do teor de microfinos nas argamassas com areia natural não resultou em ganho de resistência à compressão, enquanto que as argamassas com areia de britagem resultaram em acréscimo na resistência a compressão, até o teor de 20% de adição de microfinos.

As resistências aos esforços mecânicos têm valores maiores nas argamassas preparadas com areia de britagem, e ocorre acréscimo de resistência a compressão, entre 14% a 32%, dependendo do percentual de microfinos.

As argamassas com areia de britagem com percentuais de microfinos acima de 10% têm resistência à tração na flexão cerca de 65% maior que argamassas com areia natural, enquanto as argamassas com areia de britagem com percentual de 1,5% e 6% de microfinos têm resistência de 19% e 48% maior, respectivamente.

A densidade de massa das argamassas no estado endurecido aumenta com o acréscimo de microfinos utilizados no preparo das argamassas, devido à elevada massa específica do agregado utilizado na confecção dos microfinos.

Na areia natural podem ser observados maiores valores de módulo de elasticidade dinâmico conforme aumenta a quantidade de microfinos na mistura. A partir de 20% de adição de microfinos há uma queda no módulo de elasticidade. Na areia de britagem, não se pode observar diferenças em função do teor de microfinos. Tal comportamento acompanha o da densidade de massa, que segundo GUACELLI (2010) é o principal fator que rege o módulo de elasticidade dinâmico.

As massas específicas seca, saturada e real apresentam maiores valores com o acréscimo gradual de microfinos de areia de britagem. Enquanto as argamassas com areia natural tiveram valores de 1,81g/cm³ a 1,85g/cm³ de massa específica seca, 2,10g/cm³ a 2,13g/cm³ de massa específica saturada e 2,54g/cm³ a 2,58g/cm³ de massa específica real, as argamassas com areia de britagem tiveram valores de 1,85g/cm³ a 1,91g/cm³ de massa específica seca, 2,18g/cm³ a 2,23g/cm³ de massa específica saturada e 2,77g/cm³ a 2,78g/cm³ de massa específica real. A variação entre os traços das argamassas de areia de britagem e também entre os traços das argamassas de areia natural são muito pequenos, porém entre as argamassas de areia de britagem e areia natural há uma diferença considerável.

Em ambas as argamassas, o índice de vazios apresenta redução. Nas argamassas com areia de britagem há um provável ponto de inflexão a partir do teor de adição de microfinos de 20%. Os valores do índice de vazios e absorção de água são inversamente proporcionais aos das massas específicas.

Argamassa Aplicada como Revestimento

As argamassas com maiores teores de microfinos (independentemente do tipo de areia utilizada) resultaram em revestimentos com fissuras. As argamassas AB 30%, AB 20% e AN 30% foram às argamassas com maior área de fissuração. Os

valores médios de área de fissuração oscilam entre 0,25% a 0,50% para argamassas moldadas com percentuais de 30% e 20% de microfinos.

Na argamassa de referência, preparada com areia natural, não ocorreu fissuração visível para percentuais de 1,5% 6% e 10% adição de microfinos. Além do teor de microfinos, outros fatores podem ter influenciado a incidência de fissuras, nas argamassas com percentuais de 20% e 30% de microfinos, tais como a forma e textura das partículas e os procedimentos de execução.

Desempenho das argamassas

As argamassas com areia de britagem necessitam menor teor de água de amassamento, possuem maior resistência mecânica, menor exsudação, menor índice de vazios e absorção de água. Porém, possuem maior densidade de massa no estado fresco, maior retração e maior fissuração.

Os resultados dos ensaios realizados nas argamassas AB 30%, AB 20% e AB 10%, são similares, exceto no comportamento quanto à fissuração, onde a argamassa AB 10% apresentou um resultado bem mais favorável que as argamassas AB 30% e AB 20%, o que demonstra a influência expressiva do microfinos no desempenho da argamassa aplicada. Apesar da influência direta dos microfinos nas argamassas, há também a influência provável da forma e textura das partículas.

Considerando-se o conjunto de resultados dos ensaios obtidos, pode-se estimar que haja potencial para a substituição da areia natural pela areia de britagem de rochas basálticas com adição de 10% de microfinos, proveniente de britadores VSI, em argamassas aplicadas sobre o tipo de substrato e condições de cura utilizadas nesta pesquisa. Ressalta-se a necessidade de complementação dos estudos realizados com a verificação da potencialidade de reação álcali-agregado, em função do tipo de agregado utilizado (basalto), e de estudos de viabilidade econômica.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se as seguintes análises e estudos:

Desenvolver outras composições granulométricas para o preparo de argamassas de revestimento com areia de britagem, procurando melhor aderência das argamassas no substrato.

Utilização de aditivos, melhorando a plasticidade e reduzindo a quantidade de água adicionada as argamassas, tentando reduzir a porosidade e conseqüentemente aumentando a estanqueidade.

Analisar as causas da fissuração procurando entender com maior clareza qual a influência do teor de microfinos, da forma das partículas e de processos de execução na incidência de fissuras nas argamassas de revestimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, N. S. **An experimental study on the guidelines for using higher contents of aggregate micro fines in Portland cement concrete.** Dissertation. The University of Texas at Austin, 2000.

ALVES, N. J. Dias; DO Ó, S. Wanderley. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água.** In. REVESTIMENTO DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULARIEDADES, 2005, Brasília. UnB-Sinduscon, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 187. **Standard test method for normal consistency of hydraulic cement.** Philadelphia, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 780 – 10; **Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry.** Philadelphia, 2010.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimento de argamassa.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: **Agregado graúdo: determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: **Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9935: **Agregados – Terminologia.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27: **Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7389: **Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8490: **Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - Retração por secagem - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: 2005 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica** Rio de Janeiro: 2009 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos– determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro: 2005e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Rio de Janeiro: 2005f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da absorção de água e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15839: **Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow** Rio de Janeiro: 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7224: **Cal hidratada para argamassas – determinação da superfície Blaine.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-3: **Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 47: **Concreto: determinação do teor de ar em concretos frescos – método pressiométrico.** Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: **Concreto endurecido – determinação da velocidade de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos com argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5734: **Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico: método de ensaio – Especificação.** Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13530: **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – classificação.** Rio de

Janeiro, 1995.

ARAÚJO, G.S. **Estudos de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo.

BASTOS, P. K. X; ALTOMAR NETO, F.; CARVALHO JR, C. H.; BARROS, C. E. P. **Argamassas de Revestimento compostas com areia de brita – A experiência de Juiz de Fora/MG**. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005 a.

BAUER, E. *et al.*, Eds. **Argamassas de revestimento - características e peculiaridades**. Brasília: SINDUSCON-DF/LEM-UnB, ed. 2005.

BAUER, Elton; SOUSA, J. G. Gomes. **Materiais constituintes e suas funções**. In. REVESTIMENTO DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES, 2005, Brasília. UnB-Sinduscon, 2005.

BRIGGS, C.; EVERTSSON, C. M. Shape potential of rock. **Minerals Engineering**, [S.I.], v. 11, n. 2, 1998

BRITZ, A. Amado. **Diretrizes para especificação de pinturas externas texturizadas acrílicas em substrato de argamassa**. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo, 2007. Dissertação de Mestrado.

CAMPITELI, V. C.; MASSARETTO, R.; RODRIGUES, P. T. **Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DETECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995, p.73-82

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. **1996**. Tese (Doutorado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L.M.B. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DETECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: 2001.

CARASEK, Helena; COSTA, E. B. Carvalho. **Recomendações para a execução do ensaio de resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2009.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil – Argamassas**. São Paulo: IBRACON, 2010.

CARDOSO, F. A. **Caracterização reológica de argamassas do mercado por squeeze-flow.** In: (Ed.). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7: **Anais**, Recife, ANTAC, 2007.

CARNEIRO, A. P. **Características do entulho e do agregado reciclado.** In: CARNEIRO, A. P. BRUM, I. A. S., *et al.*(Ed.). Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: projeto entulho bom. Salvador: EDUFBA, 2001.

CARR, J. R.; NORRIS, G. M.; NEWCOMB, D. E.; Characterization of aggregate shape using fractal dimension. **Transportation Research Record**, Washington, n. 1278, 1990.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Proposta do método de penetração do cone para o controle de produção de argamassas em obra.** e-Mat (Porto alegre), v. 3, n. 2, p. 77-90, 2006.

CHAVES, A. P. **Estado da arte da produção de areia de britagem.** In: SUFFIB – SEMINÁRIO: USO DA FRAÇÃO FINA DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA M. A. C.; CARASEK H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** IPT, n. 2378, 1995.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. **Discussão dos métodos de determinação da massa unitária da areia para argamassas.** Vitória, 1999.

COSTA, M. R. M. M.; Alécio. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE ADITIVO DISPERSANTE NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.** In: 3o. Congresso Português de Argamassas, 2010, Lisboa. 3o. Congresso Português de Argamassas. Lisboa: APFAC, 2010. v. 1.

CUCHIERATO, G.; SANT'AGOSTINO, L. M. **Pó de pedra: produção na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e principais características,** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: IBRACON, 2000. 2p.

CUCHIERATO, G.; SBRIGHI NETO, C; QUITETE, E. B. A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935 – **Quais as alterações nas terminologias e especificações para os finos de pedreiras.** In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005.

CULTRONE G.; SEBASTIAN E.; HUERTAS M. O. **Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives:** Mineralogical and textural changes. Department of Mineralogy and Petrology, University of Granada.

DAVISON, J. I. **Masonry mortar.** National Research Council of Canada. Division of Building Research. 1974.

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

FREITAS, J. M. C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassa de revestimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2007. 168

GONÇALVES, S. C.. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa - Estudo de caso.** Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2004. Dissertação de Mestrado.

GRIGOLI, A. S. **Management in the production and utilization of the waste material in the construction site.** In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings. [CDROM]. São Paulo: CIB, 2000. 11p

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimentos com Incorporação de agregados reciclados de concreto.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2012.

HOPPE F^o., Juarez; PILEGGI, Rafael G.; CINCOTTO, M. Alba. **Investigação sobre a dispersão de pastas de cimento, cinza volante e cal hidratada.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005.

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.

LANAS J.; ALVAREZ J. I. **Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior.** Pamplona: University Navarra, 2002.

LI, L.; CHAN, P.; ZOLLINGER, D. G.; LYTTON, R. L. Quantitative Analysis of Aggregate Shape Based of Fractals. **ACI Materials Journal**, [S.I.], v90, n.4, p.357-365, julho - agosto 1993.

LOPES, L. S. **Caracterização de areia artificial proveniente de resíduos da britagem de rochas magmáticas da região de Erechim.** 2002. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2002.

MACIEL, Luciana Leone; BARROS, Mércia M. S. Bottura; SABBATINI, **Fernando Henrique. Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** – São Paulo – 1998.

MARCONDES, C. Gustavo. Brita lamelar x Qualidade do concreto. **Massa cinzenta - Cimento Itambé**, Curitiba, 2009.

MASUERO, A.B; SLOTZ, C. M; ANTUNES, G. R. **Análise da Influência do Equipamento Utilizado no Ensaio de Resistência de Aderência à Tração.** In: 4o. Congresso Português de Argamassas, 2012, Lisboa. APFAC, 2012. v. 1.

MENDES, K.S. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo. 1999.** Dissertação (Mestrado em Engenharia/Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

METHA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ibracon, 2008.

METSO MINERALS. **Britagem.** (s.d.). Disponível em:<<http://www.metsominerals.com.br>>, Acesso em: março, 2012.

METZ, D. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2011.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão.** Dissertação (Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

NERY, R. Almeida; SILVA, V. Silveira. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais.** São Paulo: USP, 2007. Tese de Doutorado.

NIEBEL, P. R.; CAMPITELI, V. C. **Avaliação no desempenho no estado fresco de argamassas com agregados miúdos britado utilizando curvas granulométricas parabólicas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBTA, 2009.

OHASHI, T. **Maior planta de areia de britagem no Brasil.** In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 2005.

ÖSKAN, N.; OYSU, C.; BRISCOE, B. J.; AYDIN, I. Rheological Analysis of Ceramic Pastes. **Journal of the European Ceramic Society**, [S.I.], v. 19, p. 2883-2891, 1999.

PANDOLFELLI, V.C.; OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A.R.; PILLEGI, R.G. **Dispersão e empacotamento de partículas – princípios e aplicações em processamento cerâmico**. Fazendo Arte Editorial, 2000.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. **Características das Areias de Basalto que Influenciam nas Propriedades das Argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, INTERNACIONAL SYMPOSIUM. ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

PAES, I. N. L. et al. **O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento**. Vitória, 1999.

PAUL K, P. et al. **An alternative to AN sand**. Kerala, India, 2003. 137 f. Monografia (B. Tech. degree in Civil Engineering) – Department of Civil Engineering, Mahatma Gandhi University.

SABBATINI, F. Henrique. **Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO. 1986. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

SAMPAIO, R. G.; BASTOS, P. K. X. **Estudo da granulometria de areia de britagem para argamassas de revestimento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VIII., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 52-53.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: Estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca**. Goiânia, 2002. 257p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade de Goiás.

SCHIMIT, F. D. **Estudo do uso de areia de britagem basáltica em argamassas de revestimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, UNISINOS, São Leopoldo, 2012.

SENFF, L. et al. Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments. **Construction and Building Materials**, n. 23, p. 3107 - 3111, 2009.

SILVA, V.S.; LIBÓRIO, J. B. L. **Análise micro estrutural da interface chapisco/argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005.

SILVA, N. Gonçalves; BUEST, Guilherme; CAMPITELI, Vicente C.. **Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS. 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, R. P. *et al.* **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze-flow.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARSTECHNOLOGY, I, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p.106-120.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação (Mestrado) - UFPR, Curitiba, 2006.

SILVA, N. Gonçalves; CAMPITELI, Vicente C.. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006.

SILVA, Narciso Gonçalves da; GLEIZE, Jean Paul; GOMES, Luis Alberto. **Metodologia para avaliação da fissuração em revestimentos de argamassa.** In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas, In **Anais**, ANTAC. Curitiba, 2009.

SILVA, F. Belizário, BARROS, M. S. Bottura; MONTE, Renata. **Módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos de ensaio e principais fatores intervenientes.** In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2009.

SOUSA, G.G.J. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco, 2005.** Tese (Em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

TERRA, L. E. Moraes. **Finos de pedra para confecção de concreto estrutural - práticas recomendadas.** In III SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS, 2000, São Paulo. IBRACON, 2000.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 219f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

UNE - EN 771-4:2004; **Specification for masonry units. Autoclaved aerated concrete masonry units.**

APÊNDICES

APÊNDICE A

Caracterização do cimento

VOTORANTIM CIMENTOS S/A Controle da Qualidade - Unidade Estreito		CP II-Z-32 RS (NBR 11578/Jul.91e 5737/1992) GRANEL agosto/12 Certificada pela NBR ISO 9001:2008										Votorantim Cimentos				
BOLETIM DE ANÁLISES DE CIMENTO		ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS										Tempo Pega (h:min)		Esp. Quarte		
Limites de Norma	TEORES (%)				Resist. à Compressão (MPa)				Finura (%)		Massa específica	Blaine	Água Consistência	≥ 1	≤ 10	≤ 50
	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,0	≤ 18,0	Não Aplicável	> 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	≤ 12,0	Não Aplicável	Não Aplicável	≥ 2800	Não Aplicável	≥ 1	≤ 10	≤ 50
010/8/12	PF	MgO	SO3	Ri	1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias	#200	#325	g/cm³	cm2/g	Cons. (%)	NFCID	FIM	(mm)
010/8/12	3,9	6,0	2,5	13,1	15,5	26,5	30,6	39,4	0,3	3,1	4590	29	320	390	0,0	
020/8/12	4,0	5,8	2,5	13,8	15,3	27,2	30,0	39,1	0,3	4,0	4780	29	275	335	1,0	
030/8/12	4,0	5,7	2,5	13,3	15,3	27,3	31,9	38,2	0,3	4,0	4630	29	230	290	1,0	
040/8/12																
050/8/12																
060/8/12	5,3	5,9	2,3	13,6	14,9	26,0	30,0	37,3	0,3	3,1	4820	29	225	280	0,0	
070/8/12	5,6	5,9	2,3	14,1	15,4	27,8	30,3	38,2	0,2	1,6	4870	30	225	280	0,5	
080/8/12	5,6	5,9	2,4	14,0	14,7	26,4	28,1	39,2	0,2	1,7	5100	31	200	260	0,5	
090/8/12	5,6	5,9	2,3	13,4	14,4	26,3	29,5	38,5	0,3	2,0	5120	31	230	290	0,5	
100/8/12	6,8	6,8	2,3	11,0	13,8	26,5	30,4	38,3	0,6	5,0	4650	30	260	340	0,0	
110/8/12																
120/8/12																
130/8/12	4,8	5,9	2,4	11,9	14,7	26,7	31,6	40,0	0,2	2,4	4710	30	270	330	0,5	
140/8/12	5,7	5,6	2,4	11,8	14,6	26,6	30,5		0,5	3,1	4760	30	260	325	0,5	
150/8/12	3,4	5,8	2,4	12,2	14,9	27,8	30,4		0,4	3,6	4610	30	205	280	0,0	
160/8/12	4,3	5,0	2,3	12,0	15,1	27,9	30,1		0,4	3,3	4660	30	215	260	0,0	
170/8/12	3,1	5,7	2,2	10,5	15,8	28,3	30,8		0,3	3,0	4730	30	220	245	0,5	
180/8/12																
190/8/12																
200/8/12	5,1	5,7	2,6	9,0	15,9	28,8	31,4		0,2	2,5	4880	29	200	255	0,5	
210/8/12	4,3	5,7	2,8	10,2	16,0	28,8	33,4		0,1	2,7	4580	29	240	300	0,5	
220/8/12	5,7	5,7	2,4	12,7	16,1	28,4	30,9		0,6	4,4	4730	29	230	305	0,5	
230/8/12	5,7	5,6	2,4	12,7	16,0	27,8	30,8		0,2	2,5	4840	29	250	320	0,0	
240/8/12	6,4	5,6	2,4	12,1	15,2	26,2	30,0		0,7	4,0	4810	29	240	310	0,0	
250/8/12																
260/8/12																
270/8/12	6,4	5,7	2,5	12,7	15,0	25,8	31,1		0,3	2,4	4890	29	280	370	0,5	
280/8/12	4,8	5,8	2,5	12,4	14,4	25,9	31,2		0,5	3,6	4610	29	270	370	0,5	
290/8/12	5,3	5,8	2,2	10,9	15,7	26,2	30,5		0,4	3,6	4490	29	250	320	0,5	
300/8/12	5,0	5,8	2,5	11,7	16,4	26,4	30,7		0,3	3,0	4600	29	250	325	0,0	
310/8/12	4,7	5,7	2,8	11,8	17,4	26,7	30,5		0,3	3,1	4740	29	240	310	0,0	
Média	5,01	5,73	2,43	12,20	15,33	27,06	30,84	38,89	0,34	3,12	#DIV/0!	4748	29	243	308	0,36
D. Padrão	1,03	0,19	0,15	1,29	0,79	0,95	0,98	0,81	0,15	0,85	#DIV/0!	1,58	1	29	38	0,32
Coef. Var.	3,72	0,97	0,58	5,16	3,90	3,00	5,30	2,70	0,60	3,40	0,00	630,00	2,20	120,00	145,00	1,00
Mínimo	3,08	5,04	2,19	8,97	13,80	25,80	28,10	37,30	0,10	1,60	0,00	4490	29	200	245	0,00
Máximo	6,80	6,01	2,77	14,13	17,40	28,90	33,40	40,00	0,70	5,00	0,00	5120	31	320	390	1,00

Comparativo Massa Resistentes com a NBR

Observações:

<p style="text-align: center;">Responsável Técnico</p> <div style="text-align: center;"> Votorantim Cimentos S/A Leonardo Rodrigues Rodovia BR 116 Km 288 - Estreito-RS CRQ 05301887 5ª Região </div>	<p style="text-align: center;">Assistência Técnica</p> <div style="text-align: center;"> Engº Paulo Roberto Niebel CREA 23937-D/PR </div>
--	--

Atualizado em: 17/9/2012 10:43

APÊNDICE B

Distribuição granulométrica dos microfinos da Areia de Britagem



LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE MATERIAIS

LAUDO TÉCNICO 001/2013

Na amostra Microfinos AB do solicitante Mateus Rosa foi realizada a análise granulométrica pelo Método de Difração de Raios Laser, segundo a Norma ISO 13320:2009. A metodologia empregada foi via úmida com solvente água num fluxo de 80% e empregado ultrassom como meio dispersante em 40w num tempo de 30 segundos. Na figura 1 segue a distribuição de tamanho de partículas representada.

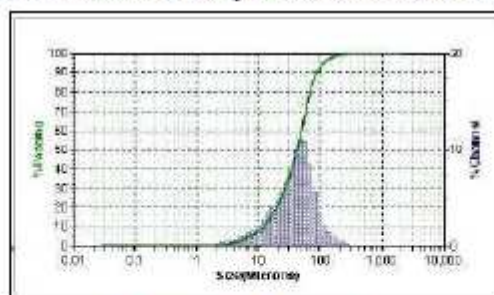


Figura 1 - Distribuição granulométrica

Conforme tabela 1, 62,98% da amostra se encontra na faixa de tamanho de partícula até 50,00 μm e na tabela 2 abaixo, apresenta-se todos os tamanhos de partícula distribuídos da amostra na forma acumulada.

Tabela 1 - Size Percenta%	
Size (μm)	% Title
50.00	62,98

Tabela 2 - Percentiles	
% Title	Size (μm)
10.00	11.47
20.00	18.52
30.00	25.86
40.00	33.48
50.00	40.61
60.00	47.75
70.00	55.74
80.00	66.16
90.00	85.26
95.00	109.2

Carlos Alberto Mendes Moraes

CREA 69274-D

Coordenador do Núcleo de Caracterização de Materiais

São Leopoldo, Janeiro de 2013.

APÊNDICE C

Distribuição granulométrica dos microfinos da Areia Natural



LABORATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE MATERIAIS

LAUDO TÉCNICO 002/2013

Na amostra Microfinos AN do solicitante Mateus Rosa foi realizada a análise granulométrica pelo Método de Difração de Raios Laser, segundo a Norma ISO 13320:2009. A metodologia empregada foi via úmida com solvente água num fluxo de 80% e empregado ultrassom como meio dispersante em 40w num tempo de 30 segundos. Na figura 1 segue a distribuição de tamanho de partículas representada.

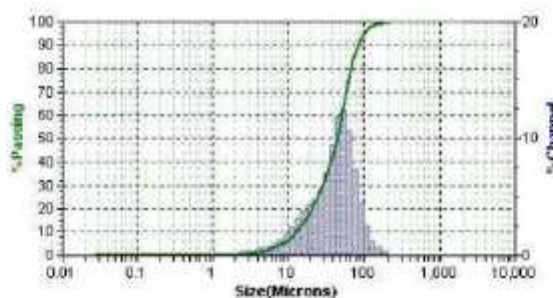


Figura 1 - Distribuição granulométrica

Conforme tabela 1, 57,07% da amostra se encontra na faixa de tamanho de partícula até 50,00 μm e na tabela 2 abaixo, apresenta-se todos os tamanhos de partícula distribuídos da amostra na forma acumulada.

Tabela 2 - Percentiles

Tabela 1 - Size Percenta%	
Size (μm)	% Tile
50.00	57.07

% Tile	Size (μm)
10.00	13.05
20.00	20.75
30.00	29.41
40.00	37.79
50.00	45.09
60.00	52.08
70.00	59.75
80.00	69.59
90.00	86.09
95.00	103.7

Carlos Alberto Mendes Moraes

CREA 69274-D

Coordenador do Núcleo de Caracterização de Materiais

São Leopoldo, Janeiro de 2013.

APÊNDICE D
Resultados dos ensaios de absorção das argamassas com areia natural

ENSAIO ABSORÇÃO AREIA NATURAL						
MF	Absorc. Total	Índice de Vazios	Massa Esp. Sec	Massa Esp. Sat.	Massa Esp. Real	Coef. Capilar.
1,5	16,17	29,20	1,81	2,10	2,55	16,50
6	15,92	28,96	1,82	2,11	2,56	17,13
10	15,97	28,87	1,81	2,10	2,54	14,30
20	15,59	28,39	1,82	2,11	2,54	12,99
30	15,26	28,24	1,85	2,13	2,58	15,84

APÊNDICE E
**Resultados dos ensaios de absorção das argamassas com areia de
britagem**

ENSAIO ABSORÇÃO AREIA BRITAGEM						
MF	Absorc. Total	Índice de Vazios	Massa Esp. Sec	Massa Esp. Sat.	Massa Esp. Real	Coef. Capilar.
1,5	17,90	33,20	1,85	2,18	2,78	21,50
6	17,38	32,56	1,87	2,20	2,78	20,27
10	16,98	31,98	1,88	2,20	2,77	18,73
20	16,16	31,00	1,92	2,23	2,78	17,97
30	16,31	31,18	1,91	2,22	2,78	18,68

APÊNDICE F
Resultados das medições realizadas nas amostras de retração das
argamassas de areia natural

RETRACAO ARGAMASSAS					
	AREIA NATURAL				
	24hrs	48hrs	7dias	21dias	28dias
MF1,5					
1	3,370	2,773	2,592	2,567	2,566
2	4,070	4,008	3,811	3,781	-
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				
MF6					
1 - 28;01	2,849	2,783	2,616	2,591	-
1 - 29;01	3,264	3,175	3,064	3,047	3,047
2 - 29;01	5,645	5,590	5,464	5,440	5,440
MF10					
1	1,397	1,342	1,112	1,084	1,079
2	Amostra Perdida na Desmoldagem				
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				
MF20					
1	6,536	6,500	6,272	6,237	6,227
2	5,858	5,832	5,587	5,555	5,548
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				
MF30					
1	1,196	1,079	0,924	0,896	0,889
2	1,724	1,620	1,460	1,432	1,426
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				

APÊNDICE G
Resultados das medições realizadas nas amostras de retração das
argamassas de areia de britagem

RETRACAO ARGAMASSAS					
	AREIA BRITAGEM				
	24hrs	48hrs	7dias	21dias	28dias
MF1,5					
1	6,131	6,090	5,896	5,879	5,875
2	4,985	4,963	4,762	4,758	4,750
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				
MF6					
1	1,734	1,267	1,115	1,073	1,051
2	Amostra Perdida na Desmoldagem				
3	Amostra Perdida na Desmoldagem				
MF10					
1	3,460	3,416	3,209	3,183	3,172
2	3,063	2,969	2,821	2,790	-
3	2,887	2,868	2,642	2,606	2,598
MF20					
1	5,699	5,625	5,445	5,420	5,416
2	5,776	5,732	5,505	5,471	5,459
3	6,194	6,151	5,936	5,905	5,898
MF30					
1	6,117	6,102	5,883	5,846	5,839
2	5,789	5,732	5,507	5,475	5,459
3	4,408	4,346	4,111	4,075	4,058

APÊNDICE H

Blocos cerâmicos sendo chapiscados



APÊNDICE I
Argamassa aplicada sobre dois blocos cerâmicos com a caixa de queda



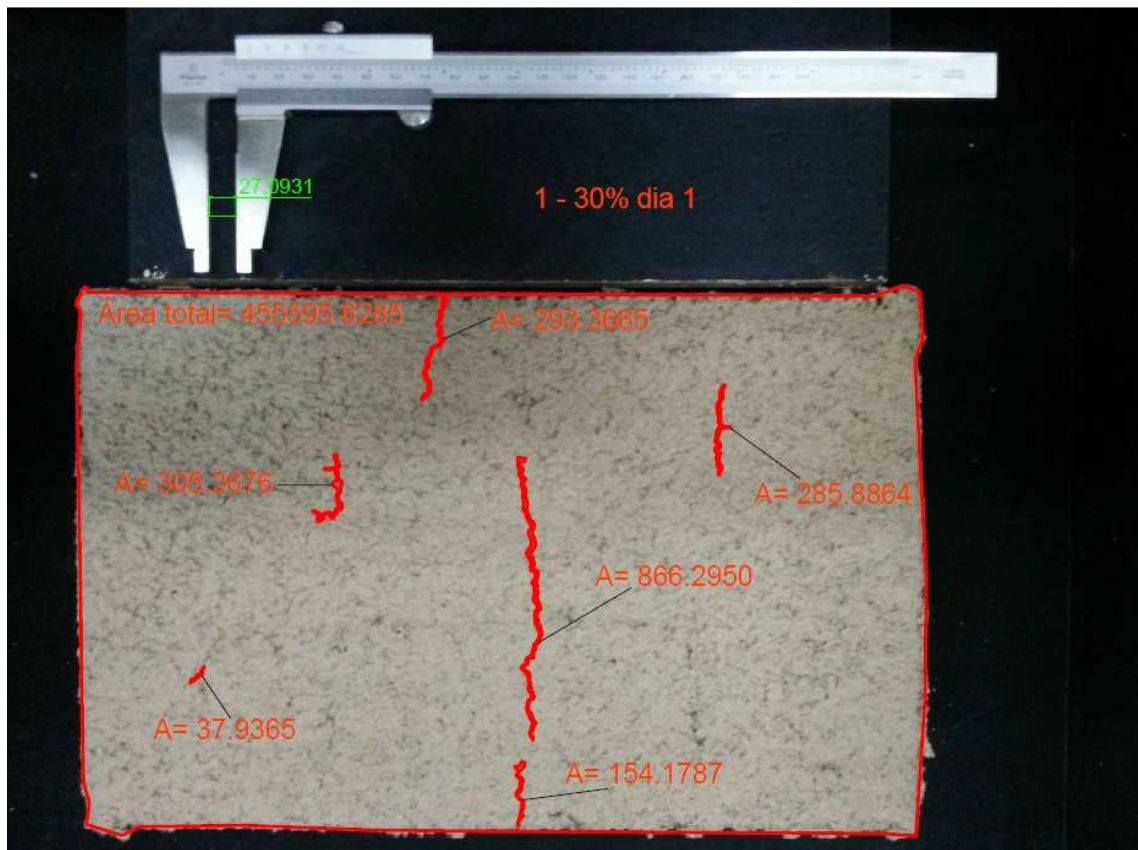
APÊNDICE J
Caixa de queda utilizada para aplicação da argamassa de revestimento



APÊNDICE K
Caixa negra utilizada para fotografar blocos para o ensaio de fissuração



APÊNDICE L
Imagem com marcações do ensaio de medições de fissuras



APÊNDICE M
Marcações realizadas na imagem utilizada para o ensaio de
medições de fissuras

