

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARCO ANTÔNIO SCHMIDT BAREA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE
ROCHA BASÁLTICA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2013

MARCO ANTÔNIO SCHMIDT BAREA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA
BASÁLTICA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientadora: Prof.^a Dr^a Elizângela Marcelo Siliprandi.

Co-Orientador: Prof. Dr. Mário Arlindo Paz Irrigaray.

PATO BRANCO

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA EM ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

POR

MARCO ANTÔNIO SCHMIDT BAREA

Aos 15 dias do mês de março do ano de 2013, às 8:15 horas, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – UTFPR-PB, conforme Ata de Defesa Pública nº 10-TCC/2013.

Orientadora: Prof. Dr^a ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI (COECI / UTFPR-PB)

Co-Orientador: Prof. Dr MARIO ARLINDO PAZ IRRIGARAY (COECI / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (COECI / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. JOSÉ VALTER MONTEIRO LARCHER (COECI / UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Ao nos depararmos com o momento de conquista, devemos nos lembrar de que muitas pessoas contribuíram para que alcançássemos tais metas. Àqueles que fizeram parte desse momento em minha vida, tenham a certeza que têm minha gratidão.

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família, em especial, meus pais, Ivar e Rosane e meus irmãos Marcelo e Matheus, pelo apoio e compreensão durante todo esse período. Aos meus colegas e amigos de turma pelo apoio concedido durante essa fase e em especial aos colegas que contribuíram diretamente no desenvolvimento desse trabalho, o resultado não seria o mesmo sem vocês.

Agradeço a UTFPR pela disponibilização da sua estrutura para o desenvolvimento do trabalho, bem como para todo o período de graduação, estendo para todos os professores que ministraram aula nesse período, contribuindo para minha formação.

Agradeço ainda aos meus orientadores, professora Elizângela Marcelo Siliprandi e professor Mário Arlindo Paz Irrigaray, que muitas vezes deixaram compromissos pessoais para o auxílio na elaboração desse trabalho. Também aos membros da banca examinadora, professor José Valter Monteiro Larcher e professor José Ilo Pereira Filho, pelo tempo disponibilizado e colaboração para melhorias deste relatório.

RESUMO

Na atualidade além do desenvolvimento econômico, temos a questão do desenvolvimento sustentável, onde busca-se não apenas formas de se conseguir reduzir custos, mas também reduzir o impacto ambiental gerado. Entre os impactos gerados ao meio ambiente para extrair materiais para a construção civil está a exploração de minerais a serem utilizados como agregados em concretos e argamassas. Esse trabalho tem o intuito de analisar a substituição de agregado miúdo natural por agregado miúdo de britagem, reduzindo o impacto gerado e o custo do produto. A substituição foi feita em composição de argamassa mista de traço específico utilizado para revestimento de paredes, utilizando material disponível próximo às cidades de Pato Branco e Francisco Beltrão, polos econômicos da região sudoeste do Paraná. Foram realizados ensaios quanto a granulometria dos agregados, bem como determinação de consistência da argamassa, capacidade de retenção de água, densidade de massa, resistência à compressão e aderência, análise do acabamento e dos custos dos materiais. Verificou-se que o material disponível na região não apresenta características granulométricas ideais para a utilização em argamassas, sendo que com adaptações no processo de obtenção do produto deve-se obter melhores resultados.

Palavras-chave: Agregado miúdo de britagem; Argamassa de revestimento; Argamassa com areia de britagem.

ABSTRACT

Nowadays besides economic development, there is the issue of sustainable development, which seeks not only ways to achieve lower costs, but also reduce the environmental impact. Among the impacts to the environment to extract materials for the construction industry is the exploitation of minerals to be used as aggregate in concrete and mortar. This work aims to analyze the replacement of natural aggregate for aggregate crushing, reducing the impact and cost of product generated. The substitution was made in the composition of mortar mixed specific trait used for cladding, using material available near the cities of Pato Branco and Francisco Beltrão, economic poles of the southwest of Paraná. Assays were performed as the particle size of the aggregates, as well as determination of the mortar consistency, water holding capacity, bulk density, compressive strength and adhesion, analysis of finishing and material costs. It was found that the material available in the non granulometric characteristics features ideal for use in mortars, and with adjustments in the process of obtaining the product should for best results.

Key words: Artificial sand; Covering mortar; Mortar with artificial sand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perspectiva para demanda de agregados no Brasil.....	10
Figura 2 - Municípios produtores de areia no Paraná	12
Figura 3 - Municípios produtores de brita no Paraná	12
Figura 4 - Municípios do sudoeste do Paraná produtores de agregados	16
Figura 5 - Fluxograma de Pesquisa	33
Figura 6 - Amostras coletadas.....	35
Figura 7 - Separador mecânico	36
Figura 8 - Revestimento de argamassa com areia sem peneirar	46
Figura 9 - Argamassa após o abatimento	50
Figura 10 - Conjunto para aplicação de sucção à argamassa	51
Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão.....	52
Figura 12 - Placas de argamassa.....	53
Figura 13 - Acabamento final das placas com massa PVA.....	54
Figura 14 - Resultado dos ensaios de resistência de aderência à tração	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)	23
Tabela 2 - Limites granulométricos do agregado miúdo.....	23
Tabela 3 - Proporções dos traços em massa	45
Tabela 4 - Composição granulométrica AMN-R	47
Tabela 5 - Composição granulométrica AMB-V	47
Tabela 6 - Composição granulométrica AMB-FB	47
Tabela 7 – MF e DMC dos agregados	48
Tabela 8 - Classificação dos agregados	48
Tabela 9 - Composição granulométrica AMB-V após peneiramento.....	48
Tabela 10 - Composição granulométrica AMB-FB após peneiramento.....	49
Tabela 11 - MF E DMC e classificação após peneiramento.....	49
Tabela 12 - Propriedades dos agregados	49
Tabela 13–Propriedades dos componentes da argamassa	50
Tabela 14 - Relação água/cimento e relação água/materiais secos	51
Tabela 15 - Retenção de água das argamassas.....	51
Tabela 16 - Densidade de massa e teor de ar incorporado	52
Tabela 17 - Resistência à compressão (MPa).....	53
Tabela 18 - Consumo de massa PVA para acabamento	54
Tabela 19 - Preço regional médio dos materiais utilizados	56
Tabela 20 - Custo por m ³ das argamassas	56
Tabela 21 - Custo por m ² de revestimento e = 2 cm	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	18
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA MINERAÇÃO	18
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
3 AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	22
3.1 GRANULOMETRIA	22
3.2 FORMA E TEXTURA DAS PARTÍCULAS	24
3.3 AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (AMB)	25
4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	26
4.1 DEMAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA	26
4.1.1 Cimento Portland	26
4.1.2 Cal	28
4.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	29
4.2.1 Trabalhabilidade	29
4.2.2 Retenção de Água	29
4.2.3 Adesão Inicial	30
4.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	30
4.3.1 Aderência	31
4.3.2 Resistência Mecânica	31
5 METODOLOGIA	32
5.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS	33
5.1.1 Cimento e Cal	34
5.1.2 Agregado miúdo natural e de britagem	34
5.2 METODOLOGIA ADOTADA PARA OS ENSAIOS	35
5.2.1 Amostras para ensaios dos agregados	35
5.2.2 Análise granulométrica dos agregados	36
5.2.3 Massa específica	37
5.2.4 Massa unitária	39
5.2.5 Índice de consistência da argamassa	39
5.2.6 Retenção de água da argamassa	40
5.2.7 Densidade de massa e teor de ar incorporado	41
5.2.8 Resistência à compressão	43
5.2.9 Resistência de aderência à tração	43
5.2.10 Medição de fissuras e análise do acabamento	44
5.3 DEFINIÇÃO DO PREPARO DAS ARGAMASSAS	45
6 RESULTADOS E ANÁLISES	47
6.1 ANÁLISE GRANULOMETRICA	47
6.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS	49
6.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS DE ARGAMASSA	50
6.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS	55
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A	69

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais de construção para a História é de tão grande importância que em seus primórdios dividiram-se as eras pela predominância da utilização de determinado material, como é o caso, por exemplo, da Idade da Pedra, ou da Idade do Bronze. Nas civilizações primitivas, os materiais eram utilizados na forma em que eram encontrados na natureza, porém, logo passou-se a moldar esses materiais adaptando-os para as necessidades existentes. Com o tempo, a exigência do homem passou a ser maior, com a necessidade de um material de fácil moldagem, que apresentasse resistência. Surgiu o concreto. Em seguida, com a necessidade de atingir vãos maiores, veio o concreto armado e assim por diante até o que temos na atualidade (BAUER, 2008).

Segundo Martingança et al. (2005), os primeiros registros de utilização de argamassa como material de construção foram descobertos na localidade de *Yiftah'el*, no sul da Galileia, hoje Estado de Israel, com mais de 10.000 anos de existência. Segundo Carasek (2007), essa argamassa foi encontrada em 1985, na forma de um piso polido com 180 m² feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, quando se realizava uma escavação para abertura de uma rua.

Ainda de acordo com Carasek (2007), as argamassas mais antigas eram à base de cal e areia. Com a evolução surgiram novas técnicas de construção e novos materiais foram desenvolvidos. Atualmente, as argamassas, geralmente possuem em sua composição também o cimento Portland e, frequentemente, podem-se encontrar aditivos orgânicos com o intuito de melhorar alguma propriedade.

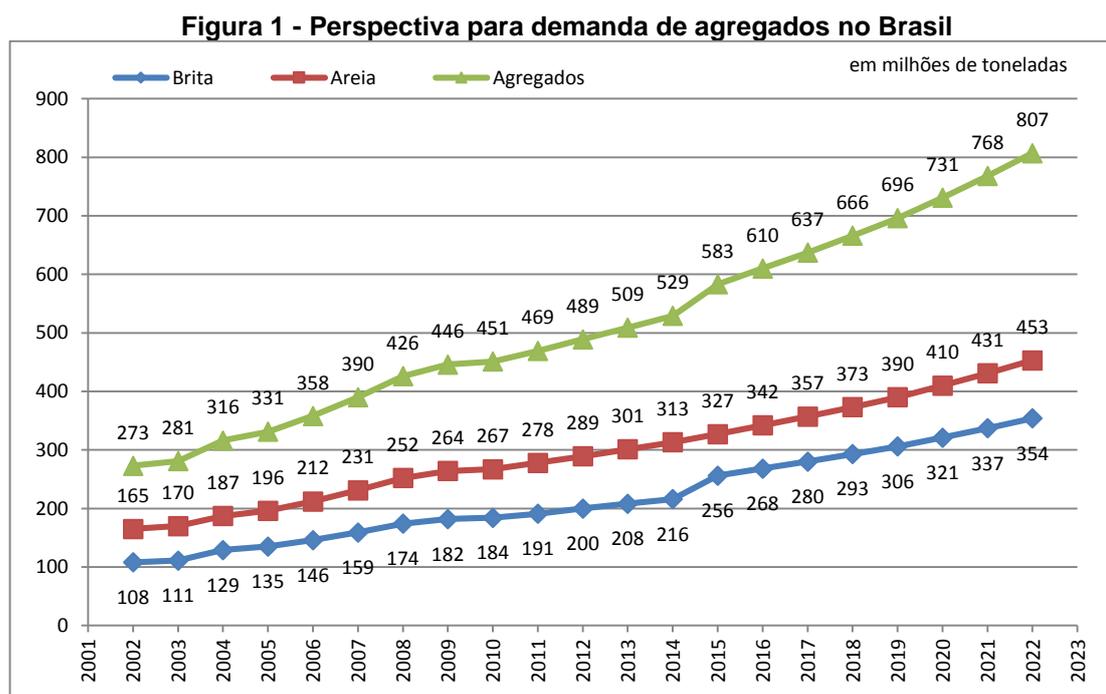
Conforme Bauer (2008), a tecnologia avança com rapidez, sendo necessário sempre buscar formas de implantar técnicas avançadas, com materiais de melhor padrão e com um custo baixo, o que conduz à constância do estudo de materiais de construção, buscando a excelência.

A construção civil atravessa um momento de destaque entre os setores da economia brasileira, um período que se iniciou em 2004. Deste ano até 2010 a construção civil nacional cresceu 42,41%, o que corresponde a uma taxa média anual de 5,18%. Em 2011 setor cresceu ainda mais, 3,1% em relação ao ano anterior, de acordo com os dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE). Isso demonstra como o setor tem contribuído no crescimento econômico do País (CBIC, 2011).

Fernandes (2007) afirma que o desenvolvimento da sociedade passa necessariamente pela indústria da construção civil, por esta fornecer condições básicas para a população obter uma vida digna. Com a consolidação de planos governamentais voltados para a obtenção da casa própria, somado segundo CBIC (2011), ao crescimento da renda familiar, o aumento de empregos formais e o aumento de obras de infraestrutura, o setor da construção civil vem crescendo ano após ano, fazendo com que se aumente a demanda de insumos minerais.

Segundo Valverde (2001), os agregados para a construção civil, basicamente areia e pedra britada, são os insumos minerais mais consumidos no mundo. Penna (2010) corrobora afirmando que a produção de agregados corresponde a cerca da metade do consumo mundial de minerais. No Brasil, em 2009, houve uma produção de 481.10^6 t (milhões de toneladas) de agregados para construção civil, destes, 289.10^6 t foram de areia e 192.10^6 t de brita, o que ainda é considerado pouco comparado a países europeus e os Estados Unidos. Porém, com o mercado da construção aquecido, IBRAM (2010) destaca que a previsão é que até 2022 a demanda por agregados cresça ainda mais, como pode ser visto no gráfico da Figura 1.



Fonte: IBRAM (2010)

Serna (2010) considera o setor de agregados o segmento da indústria mineral que comporta o maior número de empresas e trabalhadores e o único a existir em todos os estados brasileiros. As reservas desses materiais podem ser consideradas abundantes, no entanto, o acesso a elas depende de fatores como a legislação ambiental restritiva, a expansão urbana, e a distância, pois uma jazida de boa qualidade pode estar localizada distante demais do mercado consumidor, o que torna inviável sua exploração devido ao elevado custo de transporte.

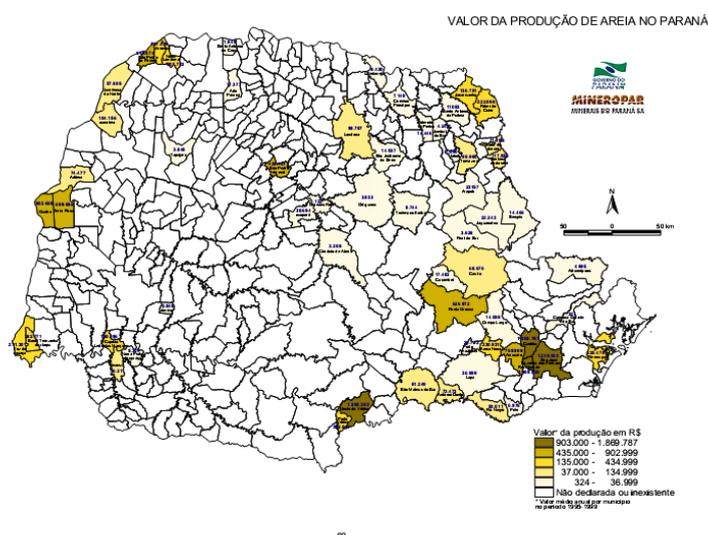
Segundo Lacerda Júnior (2011), em 2010, no Brasil, foram consumidos 631.740.397 toneladas de agregados, o que corresponde a 3,31 toneladas por habitante, correspondendo ainda a um faturamento de R\$ 22.590.071.817,00, valor que não considera a revenda de material. Outro ponto marcante, ainda de acordo com esse autor, relaciona-se ao transporte, onde diariamente cerca de 22.000 caminhões estão envolvidos no transporte de agregados, percorrendo cerca de 5,7 milhões de quilômetros por dia, não sendo considerado também o transporte referente a revenda de material ao consumidor final.

De acordo com dados da MINEROPAR (1999), no Estado do Paraná são explorados, como fornecedores de pedra britada, os maciços graníticos e granodioríticos do litoral e primeiro planalto, os diques de diorito e diabásio que cortam os sedimentos da Bacia do Paraná no segundo planalto, e os basaltos e diabásios do grande vulcanismo fissural no terceiro planalto. Em relação à areia, os grandes depósitos, situam-se em quatro contextos geológicos distintos. Sendo eles:

- O leito de rios – destacando-se os depósitos existentes nos rios Paranapanema, Paraná, Tibagi, e em vários trechos do Rio Iguaçu (na Região Metropolitana de Curitiba e nas proximidades de São Mateus do Sul e União da Vitória);
- As planícies fluviais, com especial destaque para o Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba e próximo a União da Vitória;
- Formações geológicas e/ou coberturas indiferenciadas com afloramento frequente nas regiões de Furnas, Ponta Grossa, Rio Bonito, Pirambóia, Botucatu e Caiuá;
- Os depósitos de praia que são explorados principalmente na região litorânea que se estende de Paranaguá a Guaratuba.

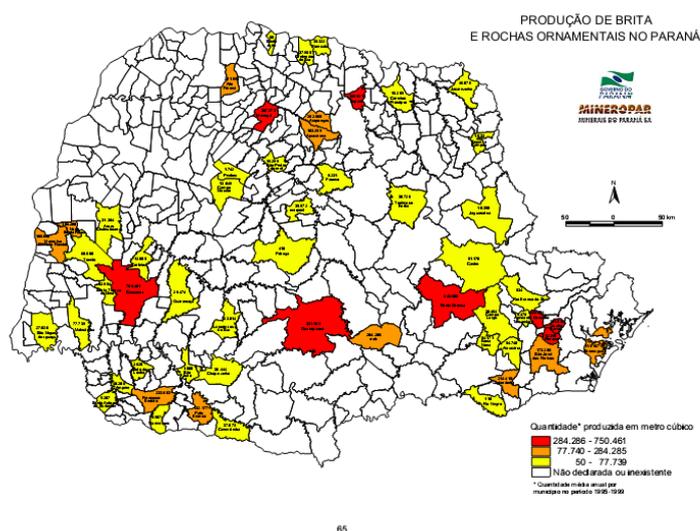
O mapa da produção de agregados do Paraná (Figuras 2 e 3) mostra que a extração de areia é concentrada em algumas regiões específicas, como a região metropolitana de Curitiba, região nordeste do Estado e as cidades de Guaíra e Terra Roxa, no oeste, e União da Vitória, no sudeste do Estado, havendo uma grande área entre a região oeste e sudoeste onde não há, ou se produz em baixa escala. Já a produção de pedra britada apresenta uma distribuição melhor nos municípios, ficando apenas a região noroeste com uma escassez de exploração desse material.

Figura 2 - Municípios produtores de areia no Paraná



Fonte: MINEROPAR (2001)

Figura 3 - Municípios produtores de brita no Paraná



Fonte: MINEROPAR (2001)

Buest Neto (2006) explica em seus estudos que a atividade de exploração é, por natureza, causadora de impactos ambientais. Muitas vezes, tais impactos, são decorrentes da exploração desordenada das jazidas, causando graves problemas ambientais, principalmente na extração de areia de rios, com aumento da vazão e aceleração do processo de erosão. Em decorrência disso, a atual legislação vem obrigando os produtores a utilizarem novas técnicas de gerenciamento e de extração ou, em alguns casos, ocorre a interdição de jazidas que não atendem às exigências, o que faz com que se procurem alternativas para a substituição desse material.

Guacelli (2010) considera que aproximadamente metade do consumo de areias é utilizada em argamassas, sendo aproximadamente a mesma quantidade destinada à produção de concretos, o que reforça a necessidade de se encontrar materiais de construção que possam desempenhar a mesma função.

Um material que pode atender as especificações da areia natural é areia produzida a partir de processos de fragmentação de rocha sã, também conhecido como areia de brita ou areia artificial. Entre as características necessárias, algumas estão relacionadas apenas a composição da rocha, como a absorção de água, presença de materiais contaminantes, entre outros. Outras podem ser controladas através do processo de obtenção, podendo-se citar a distribuição granulométrica, forma e textura. Ou seja, diferente das areias naturais, onde geralmente são utilizadas da forma em que foi extraída, com o processo de britagem pode-se controlar características obtendo um material com características adequadas para sua aplicação (ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Viero (2010), a areia de britagem já é uma realidade desde a década de 70 nos Estados Unidos e na Europa, porém no Brasil ela ainda é utilizada em pequena escala. Serna e Rezende (2009) entendem que o comércio de areia de brita está em ascensão no Brasil, sendo que há um nicho de mercado devido à dificuldade em se conseguir depósitos de areia próximo aos centros urbanos.

Dentro desse contexto, constata-se que há uma tendência de mercado voltada para a utilização desse produto, especialmente em concretos convencionais, porém, faz-se necessário conhecer o material, averiguando a viabilidade de sua utilização. Dessa forma, este estudo objetiva conhecer os resultados desse componente em argamassas, especificamente do material extraído de jazidas exploradas pelas mineradoras que abastecem as cidades de Pato Branco-PR e

Francisco Beltrão-PR, e assim obter uma resposta quanto à viabilidade de sua utilização.

Para tanto o trabalho foi desenvolvido da seguinte forma: (i) levantamento bibliográfico sobre o tema, versando sobre desenvolvimento sustentável, agregados utilizados em argamassa de revestimento e materiais e propriedades dessas argamassas; (ii) definição dos ensaios a serem realizados bem como os materiais e procedimentos necessários; (iii) apresentação dos resultados obtidos e análise dos mesmos; (iv) por fim, expõem-se as considerações finais e a resolução dos objetivos do trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica, econômica e sustentável da substituição total do agregado miúdo extraído de depósitos sedimentares, ou agregado miúdo natural (AMN) pelo agregado miúdo britado de rocha basáltica (AMB), oriundo de duas mineradoras distintas que abastecem as cidades de Pato Branco-PR e Francisco Beltrão-PR, em argamassas de revestimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise granulométrica das areias de britagem;
- Pesquisar a dosagem usual para argamassa de revestimento utilizada regionalmente;
- Efetuar teste quanto à consistência, retenção de água, resistência à compressão e testes de aderência;
- Verificar o comportamento da argamassa aplicada quanto a fissuração;

- Analisar a textura da argamassa de revestimento;
- Levantar os custos das argamassas de referência e do estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com a Sustentabilidade tornando-se mais presente, faz-se necessário a busca por novas formas de utilizar os recursos naturais racionalmente, o que não é diferente para os materiais empregados na construção civil. Dessa forma, pesquisas que caracterizem materiais provenientes de reutilização, reciclagem e otimização ganham mais importância. É possível classificar a utilização dos finos provenientes da britagem de rochas usadas como agregado graúdo neste último caso, onde um material que por vezes é descartado pode ser aplicado, sem que seja necessário um novo processamento, ou se preciso for, não apresente grande complexidade.

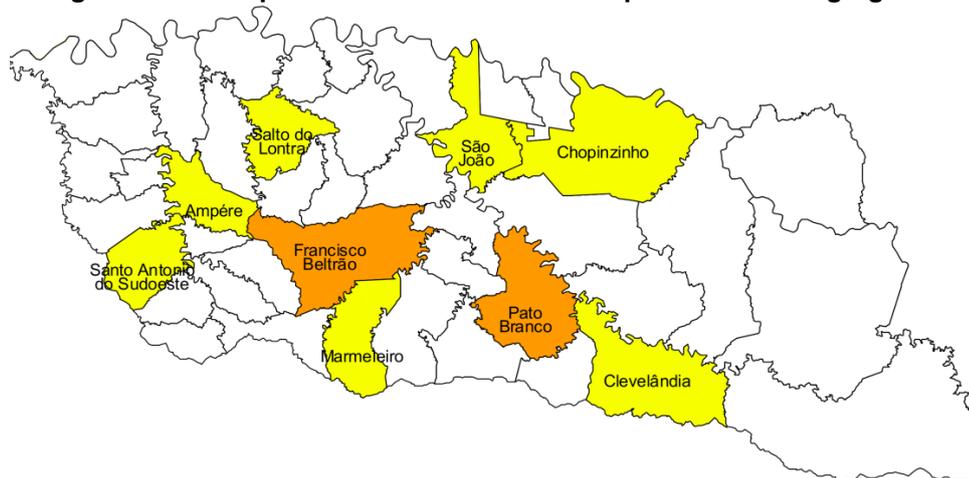
Segundo Milani et al. (2007), a região Sudoeste do Estado do Paraná se insere na Super sequência Gondwana III. Segundo Wildner et al. (2006), o topo desta é a Formação Serra Geral, predominantemente vulcânica, e que marca expressivo episódio magmático e o cretácico relacionado com a ruptura do Continente de Gondwana e consequente abertura do Oceano Atlântico Sul. A sucessão vulcânica é dominada por basaltos e basaltos andesíticos de filiação tholeiítica, com porções subordinadas de riolitos e riodacitos (NARDY et al.¹, 2001 apud WILDNER, 2006).

Com a constituição geológica apresentando abundância de rochas basálticas, há uma grande extração para entre outras utilizações, a obtenção de agregado graúdo, material importante para a construção civil, podendo-se citar o concreto como um consumidor dessa matéria prima à sua composição. Como consequência desse processo de fragmentação da rocha até a dimensão requerida, há um percentual que se apresenta com dimensões inferiores àquilo que classificamos como agregado graúdo. A este resíduo gerado, busca-se uma destinação produtiva, ou seja, empregado em composições como concreto e argamassa em substituição ao agregado miúdo natural (AMN).

¹Nardy, Antonio J.R. et al. Litoestratigrafia da Formação Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 7., 2001, Rio de Janeiro. Boletim de Resumos. Rio de Janeiro, SBG, 2001. p. 77.

Segundo a MINEROPAR (2001), dos quarenta e dois municípios do Sudoeste do Paraná, apenas dois produzem AMN, enquanto nove² produzem pedra britada, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Municípios do sudoeste do Paraná produtores de agregados



Fonte: Adaptado de MINEROPAR (2001)

Ainda segundo o mesmo autor, a soma das médias de produção dos municípios do sudoeste entre 1995 e 1999, últimos dados publicados, corresponde a 9085 metros cúbicos. Em relação à pedra britada, somente o município de Francisco Beltrão produziu no mesmo período 233.653 metros cúbico de pedra britada e o município de Pato Branco 132.177 metros cúbico. Somando-se a produção de toda a região, chega-se a um total de 500.875 metros cúbico.

Serna (2010) compreende que a produção de agregados para a construção civil é gerada em grandes volumes, com um beneficiamento simples, baixo preço unitário, porém necessita-se que seja produzido próximo ao local de consumo, como as áreas urbanas, devido ao transporte apresentar participação no custo final.

Segundo o mesmo autor, o transporte responde por cerca de 33% do custo final da areia, enquanto que Ishikawa e Oliveira (2012), afirmam que esse valor pode ser ainda maior, com o custo chegando a 60% do valor final. O transporte também é um fator bastante considerável no custo da pedra britada.

Sendo assim, analisando os produtores de AMN, percebe-se que a produção não atinge a demanda existente da região em estudo, o município que produz em grande escala mais próximo é União da Vitória, à aproximadamente 230 km de Pato

²Tem-se a informação que no município de Vitorino há jazidas de rochas basálticas, as quais são extraídas para produção de agregado.

Branco e 280 km de Francisco Beltrão, os quais, conforme dados de emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR), são os municípios que mais movimentam a construção civil na região, por isso são objetos deste estudo. Tendo em vista que o transporte é fator que muito onera o produto, a disposição de jazidas de basalto em exploração nesses municípios e em municípios vizinhos, pode fazer com que, além dos benefícios ambientais, o produto apresente um valor de mercado competitivo em relação ao AMN.

A utilização deste material já pode ser visto na produção de concreto, mais comum com substituição parcial. Em relação às argamassas, não é hábito comum nas construções regionais, não havendo conhecimento de pesquisas referentes a esse uso.

A relativa facilidade quanto ao acesso ao material e a disponibilidade de laboratórios devidamente equipados para realização de ensaios viabilizam a pesquisa, fornecendo parâmetros técnicos quanto à possibilidade e a forma de se utilizar o material.

2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Para Braga et al. (2005) o conceito de desenvolvimento sustentável surgiu com o relatório apresentado pela Comissão Mundial de Meio Ambiente em 1987. Esta comissão foi formada em 1984 pela ONU (Organização das Nações Unidas), sendo coordenada pela primeira-ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland. O relatório intitulado como 'Nosso Futuro Comum' ficou conhecido também como relatório Brundtland, em menção a coordenadora do projeto.

Segundo Relatório Brundtland, (1991, p 44), o “desenvolvimento sustentável procura atender às necessidades e aspirações do presente sem comprometer a capacidade de atendê-las do futuro”, ou seja, que haja uma racionalidade na exploração de recursos para que não se esgotem, impossibilitando que gerações futuras possam se utilizar desses para seu desenvolvimento. O desenvolvimento sustentável conceitua-se em uma estrutura de integração das políticas ambientais e estratégias de desenvolvimento, sendo necessária a implantação de políticas específicas para alcançar esse equilíbrio entre o desenvolvimento social, econômico e cultural, com a utilização de recursos naturais, preservando assim outras espécies e seus habitats.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA MINERAÇÃO

Vale (2002) afirma que é comum o questionamento sobre como ser possível a exploração de minerais, um bem não renovável, ser sustentável, sendo que por definição, há uma incompatibilidade quanto a sustentabilidade do setor. Para Barreto (2001), o conceito de desenvolvimento sustentável é mutante, de acordo com a dimensão espacial e temporal, ou seja, esse conceito recebe contornos diferentes conforme a sociedade a qual se está inserido, e, além disso, ele evolui com essa própria sociedade.

De acordo com Dias (2001), o conceito básico de desenvolvimento sustentável dificilmente pode ser implantado para recursos não renováveis, como é o caso dos minerais, devido a esses apresentarem reservas finitas, ou seja, depois

de extraídas e consumidas, não haveria como suprir as necessidades futuras. Dessa forma, realizaram-se adaptações à definição original do termo, na busca de seguir no mesmo foco de equilíbrio entre as ações do ser humano e o meio ambiente.

Canadá (2000) explica que o desenvolvimento sustentável referente aos minerais e metais deve ter como objetivos:

- Encontrar, extrair, produzir, agregar valor, utilizar, reutilizar, reciclar e, quando necessário, eliminar produtos minerais e de metais da maneira mais eficiente possível, competitiva e ambientalmente responsável.
- Respeitar as necessidades e valores de todos os usuários dos recursos e considerar as necessidades e valores em decisões do governo.
- Manter ou melhorar a qualidade de vida e do ambiente para o presente e futuras gerações.
- Garantir o envolvimento e participação das partes interessadas, indivíduos e comunidades na tomada de decisões.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Em novembro de 1994 foi realizada a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável a *First World Conference for Sustainable Construction*, na Florida), Estado Unidos, nela discutiu-se a construção no que se refere a aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas, sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído, baseado nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos, da seguinte forma organizados em seis princípios básicos:

1. Minimizar o consumo de recursos;
2. Maximizar a reutilização dos recursos;
3. Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
4. Proteger o ambiente natural;
5. Criar um ambiente saudável e não tóxico;
6. Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído (KIBERT, 1994).

O Congresso Mundial da Construção organizado pelo Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação em Construção (CIB), realizado em Gävle, Suécia em 1998, estimulou a criação de uma agenda internacionalmente aceita abordando a construção sustentável, a chamada Agenda 21 (Pinheiro, 2006).

Segundo CIB (2002, p. 8), construção sustentável define-se como “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica”.

Corrêa (2009) afirma que o termo ‘reestabelecer a harmonia’, citado na definição de construção sustentável se deve ao fato de que os processos privilegiavam o aproveitamento de fatores naturais, como luz, calor e ventilação. Porém, com o advento da energia elétrica e tecnologias de aquecimento e resfriamento artificiais essas abordagens não são colocadas com a mesma significância nos projetos atuais.

O mesmo autor afirma que a ideia de construção sustentável deve estar presente em todo o ciclo de vida do empreendimento, desde a concepção até sua requalificação, desconstrução ou demolição. É necessário que haja um detalhamento de cada fase da obra, demonstrando aspectos e impactos ambientais gerados, fazendo com que se trabalhem esses itens para se conseguir uma implantação sustentável.

Vázquez (2001) afirma que a construção sustentável é fundamentada na redução dos resíduos através do desenvolvimento de tecnologias limpas no uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis, e na utilização dos resíduos como materiais secundários e na coleta e deposição inerte. Portanto, devem ser tomadas medidas que transformem esses resíduos em recursos reutilizáveis (Vázquez, 2001).

Entre as ações adotadas para uma construção mais sustentável, pode-se citar:

- Mudança dos conceitos da arquitetura de forma a ter projetos flexíveis, ou seja, prever possíveis readequações de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo demolições;
- Buscar soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis;
- Gestão ecológica da água;
- A redução do uso de materiais que tenham um alto impacto ambiental;

- Redução dos resíduos da construção de forma a diminuir perdas, e especificações que permitam a reutilização de materiais (IDHEA, 2013).

Em busca da sustentabilidade muitas pesquisas têm sido realizadas em todo o mundo, visando diminuir os impactos gerados pelo setor da construção civil. Estas pesquisas buscam a substituição de alguns materiais que são considerados recursos não renováveis ou ainda, materiais que em sua produção ofereçam grande impacto ao ambiente.

Como exemplo, pode-se citar devido ao grande consumo, já mencionado neste trabalho, os agregados utilizados tanto no concreto quanto nas argamassas. Inúmeras possibilidades são testadas, como a utilização de diferentes resíduos em substituição tanto do agregado miúdo quanto do agregado graúdo. Alguns trabalhos resultam em boas experiências, viabilizando o uso desses resíduos oriundos dos mais diferentes locais, como bagaço da cana-de-açúcar, caroços de frutas amazônicas, o próprio entulho gerado em obras triturado é utilizado para diferentes usos e possibilidades de traços, tanto em concretos quanto em argamassas.

John et al (2001) entretanto, argumentam em seus estudos que apesar dos esforços, dos conceitos, e desafios apresentados para o desenvolvimento sustentável, as discussões aplicam-se mais facilmente para a indústria da construção civil de países desenvolvidos. Há que se considerar as diferenças econômicas e socioculturais que de sobre maneira diferenciam a forma de entendimento e de ação das estratégias de sustentabilidade. Tanto para a adoção de materiais considerados sustentáveis quanto para a adoção de procedimentos diferentes dos convencionais que visem minimizar os impactos ao meio ambiente.

Os mesmos autores sugerem a implementação de uma rede capaz de integrar as esferas industrial, profissional e acadêmica, capaz de aproximar os objetivos da indústria e dos profissionais dos resultados encontrados nas pesquisas acadêmicas, facilitando a implantação das tecnologias consideradas sustentáveis.

3 AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A NBR 7211 (ABNT, 2009) define agregado miúdo como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm .

Hanai (1992) considera que normalmente emprega-se na confecção de argamassas, agregados miúdos provenientes de leitos de rios ou outras jazidas naturais. São utilizados ainda, materiais obtidos através de processos industriais como a britagem de rochas ou ainda a pelotização de argilas expandidas.

Segundo Guacelli (2011), os agregados miúdos são considerados materiais inertes na composição das argamassas. Porém, pode-se afirmar que eles exercem influência em propriedades importantes das argamassas como a trabalhabilidade, a retenção de água, aderência, permeabilidade, dentre outras. Fatores como a granulometria, a forma e textura dos grãos exercem expressiva influência nas propriedades da argamassa.

3.1 GRANULOMETRIA

Segundo Neville (1997), a definição da granulometria consiste na separação de partículas com iguais dimensões, ou seja, para o caso dos agregados, é a separação da amostra do material em frações entre determinados limites, os quais são definidos pelas peneiras padronizadas. A NBR 7211 (ABNT, 2009), classifica as amostras através das peneiras de série normal e intermediária, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT (2009).

Bauer (2008) explica que para a utilização de agregado miúdo em argamassas de revestimento sugere-se a utilização de areias com granulometria na faixa 1 (muito fina) ou 2 (fina). A classificação dos agregados quanto as faixas pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites granulométricos do agregado miúdo

Peneiras (mm)	Porcentagens Retidas			
	Faixa 1 (muito fina)	Faixa 2 (fina)	Faixa 3 (média)	Faixa 4 (grossa)
6,3	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: Bauer (2008).

Não há uma norma brasileira com relação a análise granulométrica dos agregados a serem empregados em argamassas. Esses limites são colocados apenas para a utilização em concreto, classificando o material em zonas ótimas e utilizáveis, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISO 3310-1)	Porcentagem em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

- 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT (2005)

Carneiro e Cincotto (1999) afirmam que a distribuição granulométrica, ou seja, a variação dos grãos, influencia tanto no estado fresco quanto no endurecido. Podendo-se destacar, no estado fresco, a formação de capilares entre os vazios dos grãos, influenciando na retenção de água, a redução do consumo de água de amassamento sem que se haja perda de trabalhabilidade. Para o estado endurecido, o aumento da resistência mecânica e o módulo de deformação, devido ao melhor empacotamento da mistura e a redução da permeabilidade, por reduzirem-se os vazios entre os grãos.

3.2 FORMA E TEXTURA DAS PARTÍCULAS

Cortes et al. (2008) entendem que a forma das partículas é determinada pela origem do material. Os grãos das areias naturais tendem a ser arredondados, devido ao efeito cumulativo de colisões múltiplas e à abrasão. Areias industriais são o produto de trituração de rochas, o que cria grãos com formas de partículas que dependem da composição rocha-mãe, e do modo de fratura, coordenação durante a trituração e a taxa de redução do material. O processo de cominuição tende a

produzir partículas angulares. Partículas angulares de maior dureza produzem um empacotamento granular de baixa densidade, baixa tensão, e maior ângulo de atrito quando comparadas com agregados arredondados, comum para areias naturais.

Segundo Ishikawa (2003), não existe uma avaliação da forma das partículas para agregado miúdo. Isto deve-se a dificuldade em medir as dimensões das partículas.

Neville (1997) diz que o arredondamento representa a agudeza e angulosidade das arestas ou cantos de uma partícula. A resistência à abrasão da rocha-mãe e ações de desgaste submetidas à partícula são fatores que influenciam no arredondamento dos grãos.

D'Agostino e Soares (2001), afirmam que agregados miúdos apresentam forma dos grãos distribuída, ou seja, com grãos angulares até bem arredondados, apresentam um melhor imbricamento dos grãos, o que torna pode tornar a argamassa mais resistente.

3.3 AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM (AMB)

Segundo Bauer (2008), o processo de britagem consiste basicamente na submissão de rochas, provenientes de uma jazida, à fragmentação em tamanhos adequados para a utilização como agregado. A areia de britagem é obtida através de classificação à seco concomitante ao processo de obtenção de pedra brita, ou seja, é o aproveitamento do resíduo gerado pelo processo de britagem para obtenção de agregado miúdo. Esse material obtido, geralmente, apresenta grande quantidade de material pulverulento (abaixo de 0,075 mm) o qual pode ser retirado através do processo úmido. Utilizando-se essa operação diminui-se a quantidade de finos, melhorando a qualidade do produto.

Os materiais finos, tanto dos aglomerantes quanto de agregados, por apresentarem uma área específica, tem função plastificante nas argamassas. Sendo assim, à medida que aumenta o teor de finos, aumenta a trabalhabilidade. Por outro lado, a possibilidade de fissuração também aumenta, o que sugere que se trabalhe com um teor ideal de finos, sendo necessários ensaios para obtê-lo (Paes, et al., 1999).

4 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

A NBR 7200 (ABNT, 1998, p. 2), define argamassa inorgânica como “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”, destacando ainda que esta definição equivale-se para ‘argamassa de revestimento’.

Segundo Sabbatini e Baía (2008), o revestimento de argamassa tem algumas funções importantes, como proteger os elementos de vedação contra ação de agentes agressivos, auxiliar as vedações no isolamento termoacústico e estanqueidade e regularizar a superfície de elementos de vedação servindo de base para o acabamento final da superfície.

4.1 DEMAIS COMPONENTES DA ARGAMASSA

As argamassas de revestimento são constituídas basicamente por aglomerantes, sendo o cimento Portland e a cal os mais comuns, contíguo à areia e água. Pode-se ainda acrescentar adições com o intuito de melhorar alguma característica específica. As características físicas e químicas dos componentes da argamassa, assim como suas proporções, afetam as propriedades dessa, sendo importante conhecê-los (CARASEK, et al., 2001).

4.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um material constituído por material calcário, como rocha calcária ou gipsita, alumina e sílica, que podem ser obtidas nas argilas ou xistos. Para a obtenção do cimento, a matéria-prima é moída e misturada, sendo então aquecida a uma temperatura aproximada de 1450 °C. Esse processo faz com

que se formem pedaços arredondados, conhecidos como clínquer. Esse material é resfriado e moído, resultando no cimento Portland (Neville, 1997).

Segundo ABNT(2002), além dos materiais básicos da composição do cimento Portland, no mercado atual encontram-se produtos com adições misturadas ao clínquer durante a fase de moagem, com o intuito de reduzir o custo ou melhorar características do produto. Essas matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos. Sendo que entre estes citados, o gesso é uma adição presente em todos os cimentos, devido a função de retardar o tempo de pega³, o qual ocorreria quase que instantaneamente sem essa adição. Com relação às escórias de alto-forno, sua adição em proporções adequadas, altera propriedades como durabilidade e resistência final, aumentando ambas. A adição de pozolana torna o cimento Portland menos permeável, o que é importante muitas vezes para argamassas e concretos. Os materiais carbonáticos, ou fíler calcário atuam como um lubrificante dos demais componentes do clínquer, o que faz com que seja possível se obter concretos e argamassas mais trabalháveis.

Mattana Júnior e Costa (2009), afirmam que o tipo de cimento interfere nas propriedades da argamassa. Segundo Isaia (2005⁴ apud Guacelli, 2010), os cimentos recomendados para a utilização em argamassas são os seguintes:

- Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático – filler – NBR 11578:91). Além de servir para aplicações gerais, o Cimento Portland Composto CP II-F pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento e revestimento.
- Cimento Portland de Alto Forno CP III (Com escória – NBR 5735:91). O Cimento Portland de Alto Forno CP III apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação e alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. Pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento dentre outras.
- Cimento Portland Pozolânico CP IV (Com pozolana – NBR 5736:91) Para obras correntes, sob a forma de argamassa e de concretos, especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e a ambientes agressivos.

³ Termo utilizado referente ao tempo de enrijecimento da pasta de cimento.

⁴ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações, São Paulo:lpipsis, 2005.

4.1.2 Cal

Segundo Freitas (2010, p 35), “a cal é um aglomerante inorgânico, produzido a partir de rochas calcárias, composto basicamente de cálcio e magnésio, que se apresenta na forma de um pó muito fino”.

Para Ishikawa (2003) a cal tem como função, quando empregada em argamassas, de melhorar a plasticidade e aumentar a retenção de água à mistura. A adição de cal a argamassa de cimento ocasiona em uma maior aderência e minimiza a fissuração na ligação com o substrato. Desta forma, uma argamassa mista, de cimento e cal como aglomerantes proporciona uma boa resistência mecânica aliada com uma minimização de fissuras.

4.1.3 Água

A água é um constituinte essencial na composição da argamassa, sendo que ela exerce duas funções primordiais. Essas funções são a possibilidade de tornar a mistura trabalhável, por ser o único material líquido, e a combinação química com os aglomerantes, o que propicia o endurecimento e a resistência da argamassa (CARASEK; CASCUDO; SCARTEZINI, 2001).

Neville (1997) afirma que a água de amassamento não deve conter matérias orgânicas indesejáveis, porém não há norma explícita a respeito da qualidade da água, sendo comum que se considere adequada para o amassamento a água que seja potável. A NBR 7200 (ABNT, 1998), referente a revestimentos de argamassa, apenas considera que a água destinada ao preparo das argamassas deve ser protegida de contaminação.

4.2 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

4.2.1 Trabalhabilidade

Há o consenso de que a trabalhabilidade é uma propriedade importante, porém, é muito complexo de quantificar essa característica. Sendo assim, a trabalhabilidade geralmente é caracterizada através da consistência e da plasticidade, fazendo com que ocorram equívocos quanto aos termos trabalhabilidade, consistência e plasticidade, sendo considerados sinônimos (CARNEIRO, MATTOS e DAL MOLIN, 2002).

Segundo Sabbatini e Baía (2008), a consistência é influenciada por alguns fatores como as características dos materiais que constituem a argamassa. Gomes (2008) afirma que ações de forças internas, como coesão e ângulo de atrito interno e viscosidade, resultam na consistência, condicionando a mudança de forma da mistura. Com isso, coloca-se o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados e a granulometria, como fatores que afetam a consistência.

Ishikawa (2003) afirma que a plasticidade está ligada às forças de tensão superficial dos materiais e da água de amassamento, ou seja, da coesão interna da mistura. Fatores como o teor de ar incorporado, natureza e teor de aglomerante e da energia de mistura, definem a plasticidade da mistura.

4.2.2 Retenção de Água

Sabbatini e Baía (2008) explicam que a capacidade de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou evaporação, dá-se o nome de retenção de água.

Segundo Nakakura e Cincotto (2004), a retenção de água é uma característica importante, permitindo com que haja uma adequada hidratação do cimento, assim como o endurecimento da argamassa de forma gradativa, garantindo que o revestimento atinja o desempenho desejado. Essa retenção pode ser obtida

com o aumento da superfície específica dos constituintes ou aditivos que possuam características de adsorver a água impedindo sua percolação através da massa sólida.

4.2.3 Adesão Inicial

Sabbatini e Baía (2008) explicam que a adesão inicial é o fenômeno que ocorre em superfícies porosas, com a ancoragem da argamassa ao substrato, ocorrendo através da entrada da pasta nos poros, seguida do endurecimento progressivo. Essa característica depende de outras propriedades da argamassa, como a retenção de água adequada à sucção da base. Destaca-se ainda a preparação da base, adequando para o recebimento da argamassa.

É indicado que se promova algum tipo de tratamento superficial, fazendo com que a capacidade de sucção de água seja maior, o que como consequência, dará uma melhor capacidade de aderência da base. Esse tratamento superficial pode ser o umedecimento da base, assim como a aplicação de chapisco, os quais apresentam resultados diferentes, sendo que a escolha dependerá da situação específica em análise (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

4.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Gomes (2008) destaca que quando a argamassa é preparada ela encontra-se no estado plástico, o que em decorrências das reações de hidratação do cimento e a perda de água por evaporação, faz com que aumente a consistência até chegar ao estado endurecido, quando a argamassa torna-se resistente.

Segundo Carasek (2007), no estado endurecido, a propriedade fundamental é a aderência, sendo que não aderindo ao substrato, não há possibilidade de se atender as outras funções importantes como a resistência mecânica.

4.3.1 Aderência

Carasek (2007) compreende que a resistência e extensão do contato entre a argamassa e uma base se denomina como aderência. A base, a qual recebe o revestimento, geralmente é representada pela alvenaria, a qual pode apresentar diversos materiais como blocos cerâmicos, blocos de concreto, entre outros. Pode-se citar ainda as estruturas de concreto, as quais também podem servir de base para argamassa. Dessa forma, quando não há como tratar de aderência sem especificar à qual base ela está aplicada, sendo que depende de uma interação de dois materiais.

Segundo Silva e Campiteli (2008), a resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas é diretamente proporcional à resistência à compressão e à resistência de tração na flexão, sendo a quantidade de água um fator determinante nessa resistência.

4.3.2 Resistência Mecânica

Sabbatini e Baía (2008, p. 24) definem resistência mecânica como “propriedade dos revestimentos de suportarem ações mecânicas de diferentes natureza, devidas à abrasão superficial, ao impacto e à contração termoigroscópica”.

Os mesmos autores afirmam que a natureza dos agregados e aglomerantes, assim como a dosagem destes, são os fatores que influenciam nessa propriedade, sendo que com uma menor proporção de agregados a resistência mecânica aumenta, o que também ocorre com uma menor relação água/cimento.

Segundo Bauer e Sousa (2005), o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento é o cimento Portland, sendo que o aumento no teor de cimento aumenta diretamente as propriedades mecânicas. Essa característica é interessante quando se avaliam parâmetros como resistência de aderência à tração, porém, o aumento de cimento torna a pasta mais rígida, contribuindo para o aumento do risco de fissuração e de desprender o revestimento da base.

5 METODOLOGIA

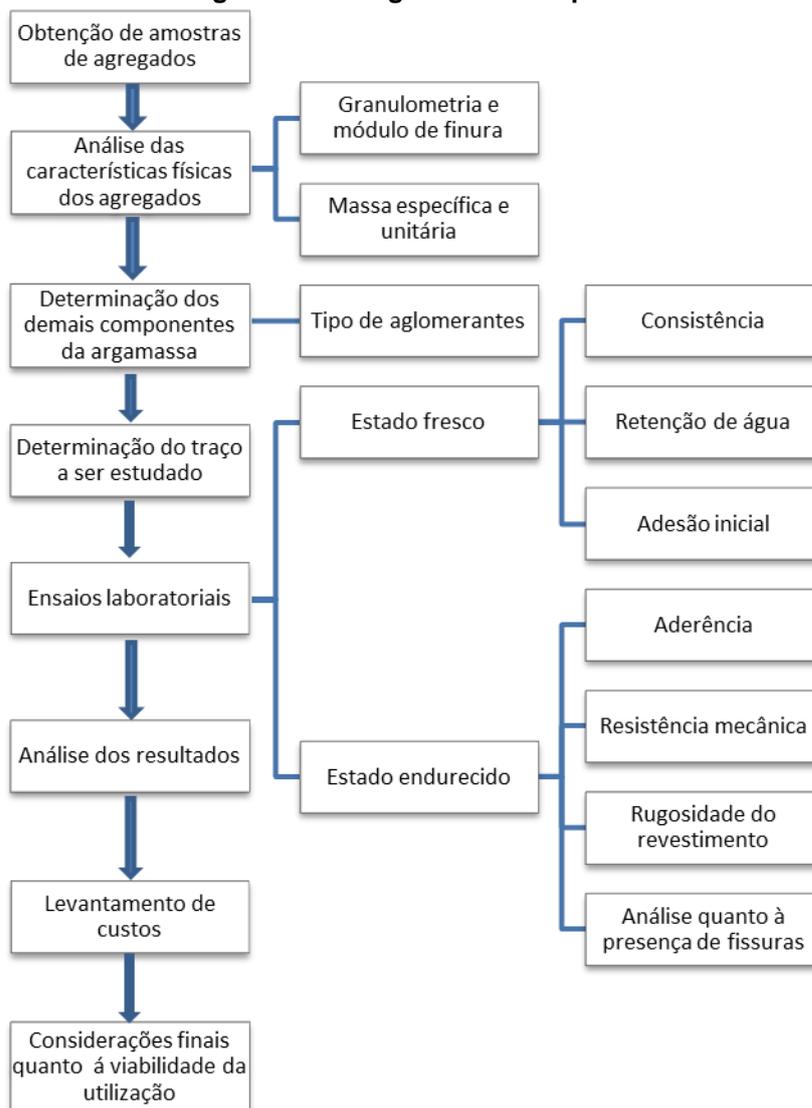
Este trabalho se classifica, quanto à abordagem de sua pesquisa, como uma pesquisa quantitativa, que segundo Lima (2001), tem sua base científica oriunda do positivismo do século XIX, como uma pesquisa com finalidade específica. Dessa forma, segue-se um padrão linear, estabelecendo cada passo de seu desenvolvimento, obtendo resultados passíveis de serem verificados e reverificados em sua confiabilidade e fidedignidade.

Quanto aos procedimentos técnicos adotados, baseando-se na delimitação do tema e definição dos objetivos desse trabalho, definiu-se pela utilização da pesquisa bibliográfica e da pesquisa experimental que, por sua vez, segundo Gil (2002, p. 47), “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

Ainda baseando-se nos objetivos desse trabalho, podemos classificá-lo como uma pesquisa explicativa, que Gil (2002) fundamenta como sendo uma pesquisa que tem como preocupação central a identificação de fatores relevantes na ocorrência de determinados fenômenos – uma vez que com este projeto pretende-se avaliar a utilização de AMB em argamassas de revestimento. Dessa forma, foram elencadas variáveis que se inserem no escopo da pesquisa.

O método de trabalho proposto respeita uma sequência lógica a ser realizada, para obtenção dos objetivos propostos. Essa sequência está explícita na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de Pesquisa



Fonte: Autoria própria (2012)

5.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS

Para o desenvolvimento dos experimentos, os seguintes materiais foram necessários:

- Cimento Portland CP II Z 32;
- Cal hidratada CH-III;
- Agregado miúdo natural (AMN);
- Agregado miúdo britado (AMB);

- Água.

5.1.1 Cimento e Cal

O Cimento Portland CP II Z 32, assim como a cal hidratada CH-III foram definidos na utilização por serem facilmente encontrados no mercado local, sendo os componentes comumente aplicados na produção de argamassa em canteiros de obra da região.

5.1.2 Agregado miúdo natural e de britagem

Para a escolha da granulometria do agregado a ser empregado na argamassa com AMN, a qual foi utilizada como referência, realizaram-se coletas de materiais utilizados em canteiros de obras no município de Pato Branco. Foram coletadas em obras de seis empresas distintas, sendo definida a utilização de areia fina, classificada conforme a NBR 7211 (ABNT, 1983). Os resultados de composição granulométrica dessas amostras podem ser vistos no Apêndice A.

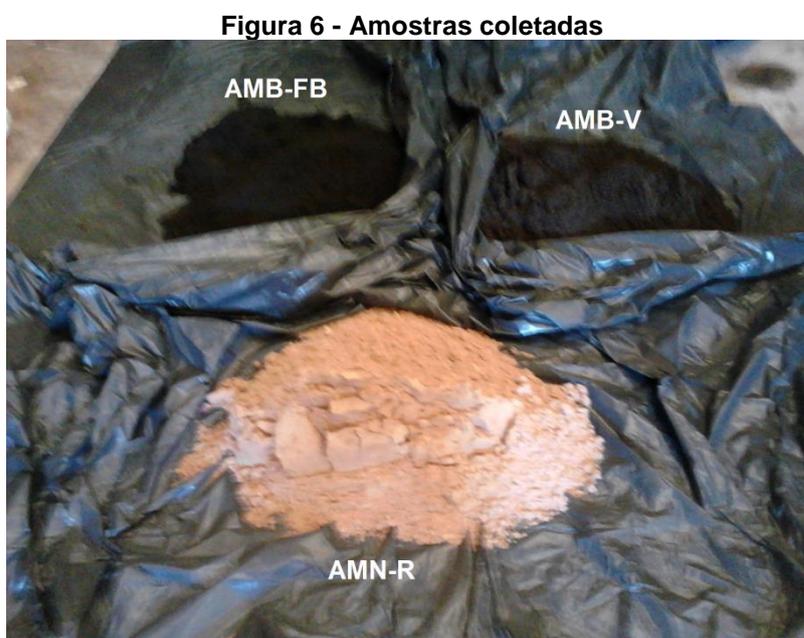
Com relação ao AMB, foram coletadas amostras de duas jazidas, as quais são as únicas na região que são utilizadas para produção de areia, localizadas nos municípios de Vitorino e Francisco Beltrão. Ambas as empresas produtoras utilizam o processo úmido para eliminação do excesso de finos.

Adotou-se para a identificação das diferentes jazidas os seguintes termos: Areia natural de referência (AMN-R), areia de britagem proveniente de jazida localizada em Vitorino (AMB-V) e areia de britagem proveniente de jazida localizada em Francisco Beltrão (AMB-FB).

5.2 METODOLOGIA ADOTADA PARA OS ENSAIOS

5.2.1 Amostras para ensaios dos agregados

As amostras de agregado foram coletadas em pilhas, sendo divididas em três amostras parciais, obtidas do topo, meio e base da pilha, após a retirada da camada superficial, conforme especificado pela NBR NM 26 (ABNT, 2009). As amostras de materiais podem ser vistas na Figura 6.



Fonte: Autoria própria (2012)

Posteriormente reduziram-se as amostras através de um separador mecânico para a caracterização dos materiais, como determinado pela NBR NM 27 (ABNT, 2001). A Figura 7 mostra o equipamento utilizado.

Figura 7 - Separador mecânico

Fonte: Autoria própria (2012)

5.2.2 Análise granulométrica dos agregados

As análises granulométricas foram realizadas seguindo o proposto pela NBR NM 248 (ABNT, 2003). As peneiras utilizadas foram as da série normal, com abertura de: 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 μm ; 300 μm ; 150 μm ; e o fundo, sendo dispostas de cima para baixo em ordem decrescente de tamanho da malha.

A amostra, previamente separada e seca em estufa, de agregado miúdo foi depositada na peneira de maior dimensão (4,75 mm), sendo na sequência tampada, e todo o conjunto sofreu agitação mecânica, proporcionada por equipamento acionado por manivela durante 2 minutos.

Em seguida, cada peneira com tampa e acoplada na peneira de malha imediatamente inferior, foi agitada manualmente e o material retido pesado. Calculou-se então a porcentagem das partículas retidas de mesma dimensão, em relação à massa total da amostra.

Determinou-se ainda a dimensão máxima característica do agregado, sendo esse correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. O módulo de finura também foi determinado, sendo a soma

das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

5.2.3 Massa específica

Para determinar a massa específica do agregado miúdo seguiu-se a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Uma amostra constituída por 1 kg de agregado miúdo, obtida através do separador mecânico foi colocada em um recipiente e coberta com água permanecendo em repouso por 24 horas. Retirou-se a amostra da água e sobre uma superfície plana submeteu o material à ação de uma suave corrente de ar, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme até o agregado atingir a condição de saturado com superfície seca. Essa condição ocorre quando preenchendo um molde tronco cônico com agregado miúdo, sem comprimi-lo, compactando sua superfície suavemente com 25 golpes de haste de socamento e então feita a retirada do molde o material desmorone. Se ainda houver umidade superficial, o agregado conserva a forma do molde.

Em seguida, colocou-se 500 g do material no frasco específico para o ensaio, registrando sua massa, e então completado com água até a marca de 500 ml. Após o tempo determinado foi feita a leitura do nível da água. O material foi colocado em estufa para secagem até se obter constância de massa. Com isso pôde-se determinar a massa específica do agregado seco (Equação 1), massa específica do agregado saturado superfície seca (Equação 2) e a massa específica (Equação 3).

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (1)$$

Onde:

d_1 = massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

m = massa da amostra seca em estufa, em gramas;

V = volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a = volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (2)$$

Onde:

d_2 = massa específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas.

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad (3)$$

Onde:

d_3 = massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

ρ_a = massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

O volume de água adicionada ao frasco (V_a) é determinado pela Equação 4.

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (4)$$

Onde:

m_1 = massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

m_2 = massa total (frasco + agregado + água), em gramas.

Para a determinação da massa específica do cimento e da cal, seguiu-se o descrito pela NBR NM 23 (ABNT, 2001), onde utilizando o frasco de Le Chatelier preencheu-se o frasco com água, no caso do cimento, e querosene para a cal, até ficar entre a marca de 0 cm³ e 1 cm³. Com um funil colocou-se então o material, de massa conhecida, até ficar entre a marca de 18 cm³ e 24 cm³. O frasco foi então tampado e suavemente agitado até não mais subirem borbulhas de ar para a superfície do líquido. Registrou-se o volume final indicado, podendo obter a massa específica através na Equação 5.

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Onde:

γ = massa especificado material ensaiado, em gramas por centímetro cúbico;

V = volume deslocado pela massa do material ensaiado, em centímetros cúbicos.

5.2.4 Massa unitária

Para a determinação da massa unitária dos materiais que compõem a argamassa, utilizou-se a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A norma indica que o recipiente utilizado no teste deve ter uma capacidade mínima de 10 dm³, para materiais com dimensão máxima característica inferior a 37,5 mm.

Primeiramente foi calibrado o recipiente, preenchendo-o com água e coberto por placa de vidro de forma a eliminar as bolhas de ar e excesso de água. Determinou-se a massa e a temperatura da água. Através da temperatura, determinou-se a massa específica da água, podendo obter então o volume do recipiente dividindo a massa de água por sua massa específica.

Os materiais foram colocados em estufa, mantendo-os em temperatura de 105 °C ± 5 °C até atingir constância de massa. Com os materiais secos pôde-se determinar a massa unitária no estado solto, lançando esse material no recipiente, a uma altura de aproximadamente 50 mm, até o transbordamento. A camada superficial foi então nivelada e registrou-se a massa necessária para preencher o recipiente. Dividindo a massa pelo volume obtido anteriormente, tem-se a massa unitária.

5.2.5 Índice de consistência da argamassa

Para a determinação do índice de consistência, seguiu-se o indicado pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Por ser uma argamassa utilizando cal hidratada, realizou-

se a mistura com 24 horas de antecedência da cal com o agregado e água em quantidade definida pelo proporcionamento utilizado.

Após a maturação, acrescentou-se a água perdida por evaporação e o cimento na quantidade definida pelo traço. Fez-se então a homogeneização dos materiais utilizando o misturador. A quantidade inicial de água acrescentada a mistura foi de 1,5 em relação ao cimento.

Sobre a mesa de espalhamento, preencheu-se o molde tronco cônico em três camadas, sendo aplicados a cada camada, 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, com soquete. Fez-se o arrasamento utilizando régua metálica e então retirado o molde.

Acionou-se a manivela de forma que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 segundos. Imediatamente após a última queda, mediu-se o espalhamento, em três diâmetros, sendo o índice de consistência a média desses diâmetros. O teste foi repetido, acrescentando-se água e misturando novamente a argamassa, até atingir o índice de consistência de $270 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$, o mesmo utilizado por usina de argamassa no município de Pato Branco, para argamassas de revestimento.

5.2.6 Retenção de água da argamassa

O ensaio consiste em submeter a argamassa a uma sucção, de forma a determinar a capacidade de reter a água de amassamento. O método utilizado foi o proposto pela NBR 13277 (ABNT, 2005).

Para a execução do ensaio deve-se colocar papel filtro umedecido sobre o fundo do prato do funil de Buchner. Esse funil, acoplado a uma bomba de vácuo, é submetido a uma sucção de 51 mm de mercúrio, sendo essa sucção realizada por 90 segundo, de forma a retirar o excesso de água do papel filtro.

Após o tempo transcorrido, registrou-se a massa do conjunto funil/papel filtro. Preencheu-se o prato com argamassa até a borda do funil, adensando com 37 golpes de soquete, sendo 16 aplicados uniformemente junto a borda do funil e 21 golpes aplicados uniformemente distribuídos na parte central da amostra.

Retirou-se o excesso de argamassa, registrou-se a massa do conjunto. O conjunto foi então submetido a uma sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos. Após esse tempo, registrou-se novamente a massa no conjunto.

Para determinar a retenção de água utilizou-se a Equação 6.

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] 100 \quad (6)$$

Onde:

m_a = massa do conjunto com argamassa, em gramas;

m_s = massa do conjunto após a sucção, em gramas;

m_v = massa do conjunto vazio, em gramas;

AF = fator água/argamassa fresca.

O fator água/argamassa fresca é determinado pela Equação 7.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (7)$$

Onde:

m_w = massa total de água acrescentada a mistura, em gramas;

m = soma das massas dos componentes anidros, em gramas.

5.2.7 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para a determinação da densidade de massa e o teor de ar incorporado seguiu-se o descrito pela NBR 13278 (ABNT, 2005).

Primeiramente fez-se a calibração do recipiente metálico utilizado, preenchendo com água com temperatura de 23 ± 2 °C, e rasando com placa de vidro de forma a não haver bolhas de ar sob a placa. O conjunto é então pesado e o volume é determinado subtraindo a massa total do conjunto pela massa do recipiente e da placa de vidro.

A argamassa foi então introduzida no recipiente em três camadas de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada foi aplicado 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa. Cada golpe corresponde a entrada e saída da espátula na

posição vertical. O conjunto foi então submetido a três quedas de aproximadamente 3 centímetros. O recipiente foi rasado e então registrado a massa do conjunto.

A densidade de massa foi então obtida através da Equação 8.

$$d = \frac{m_c - m_v}{v_r} 1000 \quad (8)$$

Onde:

d = densidade da argamassa no estado fresco, em quilos por metro cúbico;

m_c = massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

v_r = volume do recipiente cilíndrico, em centímetros cúbicos.

O teor de ar incorporado é dado pela Equação 9.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (9)$$

Onde:

A = teor de ar incorporado, em porcentagem;

d_t = valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico.

A densidade de massa teórica é dada pela Equação 10.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (10)$$

Onde:

m_i = massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água;

γ_i = massa específica de cada componente da argamassa.

5.2.8 Resistência à compressão

Para determinar a resistência à compressão das argamassas, seguiu-se o indicado pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

Foram moldados quatro corpos de prova para cada idade. A moldagem seguiu o descrito pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e consistiu em colocar a argamassa no molde em quatro camadas, recebendo cada camada 30 golpes uniformes e bem distribuídos. Após o preenchimento total do molde, foi realizado acabamento do topo do corpo de prova, por meio de uma espátula metálica.

Os corpos de prova após a moldagem foram cobertos por placas de vidro, tendo sido desmoldados após 24 horas, permanecendo em câmara de temperatura controlada de 23° C até a idade de ensaio. Realizou-se o capeamento no topo e base dos corpos de prova com enxofre e foram então rompidos nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias utilizando prensa hidráulica manual e célula de carga para registrar a força aplicada. Determinou-se então a resistência média dividindo a carga aplicada pela área do topo do corpo de prova.

5.2.9 Resistência de aderência à tração

Para a determinação da resistência de aderência à tração, aplicou-se o revestimento em uma parede previamente chapiscada com argamassa de traço 1 : 3 (cimento : areia) em volume. Foram formados quadros de 90 cm x 120 cm para cada argamassa.

Os ensaios foram realizados 28 dias após a aplicação, seguindo o especificado pela NBR 13528 (ABNT, 2005). Foram marcados no revestimento os locais de retirada dos corpos de prova, sendo de forma aleatória, contemplando posição de juntas e blocos. Os pontos foram distanciados entre si e das bordas em 50 mm.

O corte do revestimento foi realizado a seco, utilizando serra copo, ortogonal ao revestimento, estendendo-se dentro do substrato entre 1 mm e 5 mm. Limpou-se

a superfície e utilizando resina epóxica, fixaram-se as pastilhas centradas nos corpos de prova.

Após a polimerização da resina, realizou-se o ensaio. O equipamento foi posicionado estando o eixo de aplicação de carga ortogonal ao plano do revestimento. Aplicou-se então o esforço de tração perpendicularmente ao corpo de prova até sua ruptura e registrando a força de ruptura registrada pelo equipamento. A resistência de aderência foi então calculada dividindo a força aplicada pela área do corpo de prova.

Para avaliar-se a resistência de aderência à tração, utilizou-se a NBR 13749 (ABNT, 1996), a qual apresenta os limites de resistência necessário para revestimentos de argamassa. Esses valores podem ser vistos no Quadro 2.

Quadro 2 - Limite de resistência de aderência à tração para revestimento de argamassa

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Fonte: Autoria própria (2013)

5.2.10 Medição de fissuras e análise do acabamento

O revestimento utilizado para o teste de aderência à tração foi também utilizado para verificar a fissuração ocorrida. A parede localizava-se em um ambiente fechado. Aos 28 dias foram contadas as fissuras visíveis em cada painel.

A realização do ensaio se deu no mês de fevereiro de 2013.

A intensidade de fissuração foi classificada utilizando-se o critério adotado por Silva e Bauer (2008):

- Alta: intensidade de fissuração $\geq 0,90$ m/m²;
- Média: $0,30$ m/m² < Intensidade de fissuração < $0,90$ m/m²;
- Baixa: intensidade de fissuração $\leq 0,30$ m/m².

Analisou-se visualmente a textura do acabamento classificando-o como alta, média ou baixa.

Com o intuito de melhorar a condição de acabamento da argamassa em estudo decidiu-se pela aplicação de massa PVA, analisando o consumo em quilos por metro quadrado para obtenção de um acabamento equivalente entre as três argamassas.

5.3 DEFINIÇÃO DO PREPARO DAS ARGAMASSAS

Para a determinação do traço utilizado nas argamassas, visitaram-se seis canteiros de obras, de empresas distintas no município de Pato Branco, colhendo a informação dos traços utilizados.

Das seis empresas, quatro empresas utilizavam uma proporção em volume de 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia) e duas empresas estavam utilizando a proporção de 1 : 1 : 4 (cimento : cal : areia).

Dessa forma, definiu-se um traço único de 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia) para as argamassas estudadas, porém quando as argamassas foram aplicadas na parede, não apresentaram adesão inicial necessária, fazendo com que se alterasse o traço, acrescentando maior quantidade de cal, sendo então a proporção em volume utilizada de 1 : 1,7 : 6 (cimento : cal : areia).

Com a massa unitária dos materiais, pôde-se então definir proporção em massa, utilizada para todos os ensaios. A Tabela 3 apresenta as proporções utilizadas. As argamassas foram definidas como AR (argamassa com areia de referência); AB-V (argamassa com areia de britagem jazida de Vitorino) e AB-FB (argamassa com areia de britagem jazida de Francisco Beltrão).

Tabela 3 - Proporções dos traços em massa

Argamassa	Proporção (traço)	
	volume	Massa
AR	1 : 1,70 : 6	1 : 1,15 : 7,61
AB-V	1 : 1,70 : 6	1 : 1,15 : 8,78
AB-FB	1 : 1,70 : 6	1 : 1,15 : 8,60

Fonte: Autoria própria (2013)

Os agregados utilizados foram peneirados, utilizando apenas o material com dimensão inferior a 2,36 mm. Isso com o objetivo de obter um agregado mais

apropriado para a produção de argamassa de revestimento resultando em um melhor acabamento final. O material sem peneirar foi aplicado em uma parede, sendo classificado como sem condições de utilização por apresentar uma superfície extremamente rugosa. A Figura 8 mostra a aplicação dessa argamassa.

Figura 8 - Revestimento de argamassa com areia sem peneirar



Fonte: Autoria própria (2013)

6 RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

As análises granulométricas dos agregados utilizados nas argamassas estão expostas nas tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Composição granulométrica AMN-R

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	0,00	0	0	3,50	0	0	0
2,36	9,50	1	1	9,00	1	1	1
1,18	26,50	2	2	26,50	2	2	2
0,60	139,50	9	11	229,50	15	17	14
0,30	1075,00	67	77	976,50	62	79	78
0,15	338,50	21	98	306,50	20	99	99
Fundo	25,50	2	100	18,50	1	100	100
Soma	1614,50	100		1570,00	100		

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 5 - Composição granulométrica AMB-V

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	4,00	0	0	6,00	0	0	0
2,36	287,50	21	21	214,50	16	16	19
1,18	427,00	31	52	434,00	32	49	50
0,60	252,00	18	70	229,00	17	66	68
0,30	152,50	11	81	171,50	13	79	80
0,15	112,00	8	89	133,50	10	88	89
Fundo	146,50	11	100	154,50	12	100	100
Soma	1343,00	100		1343,00	100		

Fonte: Autoria própria (2013)

Tabela 6 - Composição granulométrica AMB-FB

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	3,50	0	0	0,00	0	0	0
2,36	342,50	24	24	335,50	22	22	23
1,18	327,50	23	47	399,50	26	47	47
0,60	240,50	17	64	255,00	16	64	64
0,30	193,00	13	77	209,00	13	77	77
0,15	166,00	12	89	189,50	12	89	89
Fundo	163,50	11	100	164,50	11	100	100
Soma	1436,50	100		1553,00	100		

Fonte: Autoria própria (2013)

Pôde-se também determinar o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica dos agregados (DMC), conforme Tabela 7.

Tabela 7 – MF e DMC dos agregados

Material	MF (%)	DMC (mm)
AMN-R	1,93	1,20
AMB-V	3,06	4,80
AMB-FB	3,00	4,80

Fonte: A autoria própria (2013)

Com a análise realizada pode-se então classificar os agregados conforme o indicado pela NBR 7211 (ABNT, 2005) e por Bauer (2008), conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos agregados

Material	NBR 7211 (ABNT, 2005)	Bauer (2008)
AMN-R	Não utilizável	Muito Fina
AMB-V	Utilizável	Grossa
AMB-FB	Utilizável	Média

Fonte: A autoria própria (2013)

Como pode ser visto acima, entre as duas classificações há uma diferença grande, onde o agregado miúdo de referência, o qual segundo a classificação de Bauer (2008) é recomendado para utilização em argamassa de revestimento, é classificado como não utilizável para a NBR 7211 (ABNT, 2005). Já com relação aos agregados de britagem, a situação é inversa, onde Bauer (2008) não recomenda para argamassa e a NBR (ABNT, 2005) coloca na zona utilizável.

Após o peneiramento, tem-se uma nova distribuição granulométrica do material, como pode ser visto nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Composição granulométrica AMB-V após peneiramento

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	0,00	0	0	0,00	0	0	0
2,36	0,00	0	0	0,00	0	0	0
1,18	427,00	39	39	434,00	39	39	39
0,60	252,00	23	62	229,00	20	59	61
0,30	152,50	14	76	171,50	15	74	75
0,15	112,00	10	87	133,50	12	86	86
Fundo	146,50	13	100	154,50	14	100	100
Soma	1090,00	100		1123,00	100		

Fonte: A autoria própria (2013)

Tabela 10 - Composição granulométrica AMB-FB após peneiramento

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	0,00	0	0	0,00	0	0	0
2,36	0,00	0	0	0,00	0	0	0
1,18	327,50	30	30	399,50	33	33	31
0,60	240,50	22	52	255,00	21	54	53
0,30	193,00	18	70	209,00	17	71	70
0,15	166,00	15	85	189,50	16	86	86
Fundo	163,50	15	100	164,50	14	100	100
Soma	1090,50	100		1217,50	100		

Fonte: Autoria própria (2013)

Pode ser observado que após o peneiramento dos agregados, há uma perda média de material de 19% para AMB-V e 23% para AMB-FB.

Percebem-se ainda alterações no módulo de finura e dimensão máxima característica dos agregados. Além de se poder fazer uma nova classificação conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005) e Bauer (2008). Esses resultados podem ser visualizados na Tabela 11.

Tabela 11 - MF E DMC e classificação após peneiramento

Material	MF (%)	DMC (mm)	NBR 7211 (ABNT, 2005)	Bauer (2008)
AMN-R	1,93	1,2	Não utilizável	Muito Fina
AMB-V	2,61	2,36	Utilizável	Média
AMB-FB	2,14	2,36	Utilizável	Média

Fonte: Autoria própria (2013)

6.2 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Através dos métodos descritos anteriormente pôde-se determinar as características dos materiais utilizados para a confecção das argamassas. A Tabela 12 expõe algumas propriedades dos agregados.

Tabela 12 - Propriedades dos agregados

Material	d ₁ (g/cm ³)	d ₂ (g/cm ³)	d ₃ (g/cm ³)	M.U. (kg/m ³)	E _v (%)
AMN-R	2,26	2,50	2,97	1590,72	29,42
AMB-V*	2,83	2,85	2,89	1835,74	34,95
AMB-FB*	2,82	2,88	3,00	1797,75	36,07

* - Material peneirado # 2,36 mm

Fonte: Autoria própria (2013)

As propriedades analisadas dos demais materiais componentes da argamassa estão na Tabela 13.

Tabela 13–Propriedades dos componentes da argamassa

Material	γ (g/cm ³)	M.U. (kg/m ³)
Água	1,00	997,19
Cimento	2,83	1254,53
Cal	2,26	867,06

Fonte: Autoria própria (2013)

6.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS DE ARGAMASSA

Os ensaios em argamassas iniciaram-se pela determinação da consistência. A Figura 9 mostra uma argamassa após o abatimento.

Figura 9–Argamassa após o abatimento



Fonte: Autoria própria (2013)

Com a determinação da quantidade de água necessária para o índice de consistência requerido, pôde-se identificar a relação água/cimento (a/c) e a relação água/materiais secos (a/s). Esses resultados são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Relação água/cimento e relação água/materiais secos

Argamassa	Consistência (mm)	a/c	a/s
AR	272	2,10	0,18
AB-V	263	2,30	0,21
AB-FB	268	1,87	0,17

Fonte: Aatoria própria (2013)

Pode-se perceber que para obtenção da consistência de 270 ± 10 mm, para os traços estudados, a relação água/cimento apresentou valores elevados, porém não diferenciando de forma elevada as areias de britagem da areia de referência.

Com a relação a/c definida, puderam-se realizar os demais ensaios necessários. A verificação da capacidade de retenção de água foi determinada utilizando o aparelho exposto na Figura 10.

Figura 10 - Conjunto para aplicação de sucção à argamassa

Fonte: Aatoria própria (2013)

Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 - Retenção de água das argamassas

Argamassa	Retenção de água (%)
AR	95
AB-V	94
AB-FB	97

Fonte: Aatoria própria (2013)

Assim como com a relação a/c, a capacidade de retenção de água apresentou resultados semelhantes entre as argamassas, porém, analisando a

quantidade baixa de material fino presente na argamassa e o alto índice de retenção de água, coloca-se em dúvida a veracidade dos resultados, sendo que não se tem o conhecimento da calibração do equipamento utilizado.

Realizaram-se também ensaios para a determinação de densidade de massa e teor de ar incorporado. Os resultados são mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 - Densidade de massa e teor de ar incorporado

Argamassa	Densidade de massa (kg/m ³)	Teor de ar incorporado (%)
AR	2,01	8,87
AB-V	2,25	3,43
AB-FB	2,22	3,04

Fonte: Aatoria própria (2013)

Pode-se verificar que as argamassas contendo agregado de britagem apresentam maiores valores de densidade de massa e teor de ar incorporado inferior ao da argamassa de referência.

Com relação aos ensaios no estado endurecido, determinou-se a resistência à compressão dos corpos de prova moldados aplicando carga em uma prensa (Figura 11) e registrando a força máxima resistida.

Figura 11 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Aatoria própria (2013)

A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos para cada idade ensaiada.

Tabela 17 - Resistência à compressão (MPa)

Argamassa	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
AR	0,10	0,21	1,25	2,65
AB-V	0,13	0,22	1,36	2,42
AB-FB	0,11	0,17	1,33	2,68

Fonte: Autoria própria (2013)

Percebe-se que os resultados não apresentam discrepância entre as argamassas de diferentes agregados.

Para a análise de fissuras, rugosidade e determinação da resistência de aderência à tração, as argamassas foram aplicadas em uma parede, formando placas, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Placas de argamassa

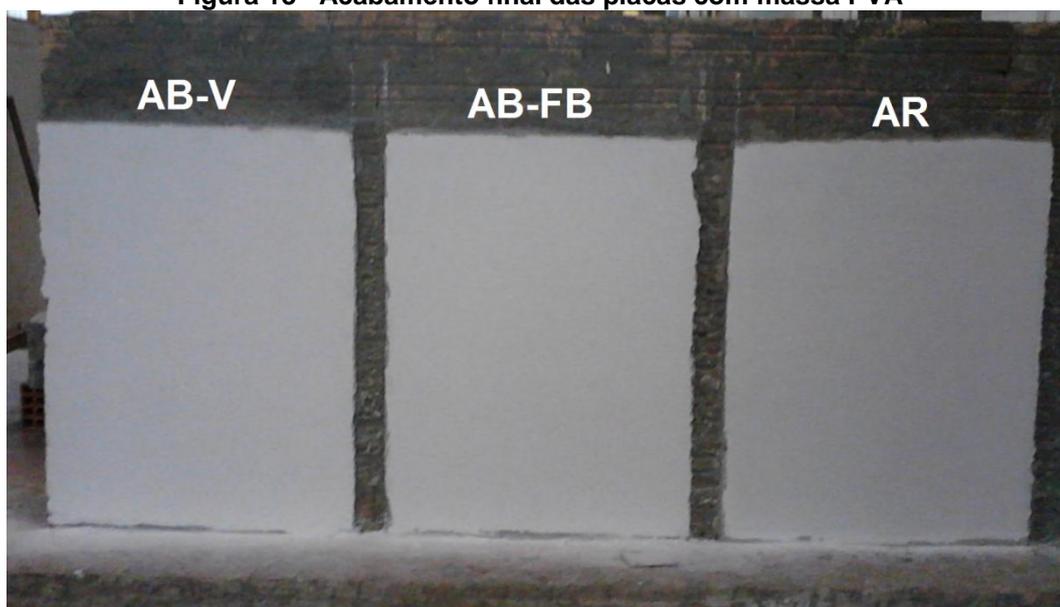


Fonte: Autoria própria (2013)

Analisando as placas dos revestimentos aplicados em parede, não se percebeu o aparecimento de fissuras visíveis nas argamassas estudadas. Com relação a textura, constatou-se uma superfície mais rugosa quando utilizado AMB.

Para conseguir dados mais objetivos quanto ao acabamento, fez-se a aplicação de massa PVA, verificando a quantidade necessária para se obter um acabamento equivalente, sendo a aplicação em 2 demãos. O acabamento final pode ser visto na Figura 13.

Figura 13– Acabamento final das placas com massa PVA



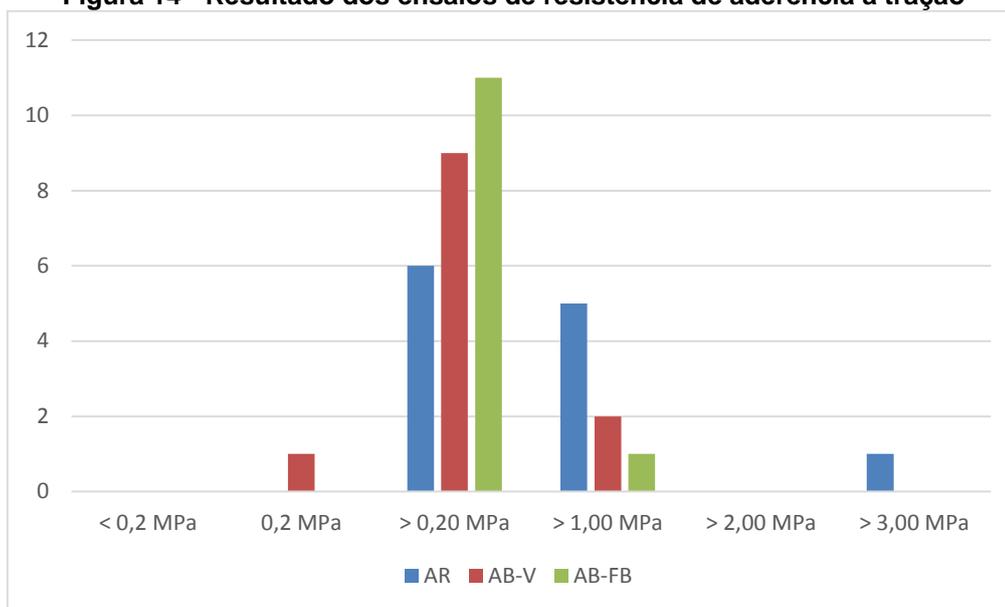
Fonte: Autoria própria (2013)

Os resultados de consumo obtidos estão expostos na Tabela 18.

Tabela 18 - Consumo de massa PVA para acabamento

Argamassa	1ª demão (kg/m ²)	2ª demão (kg/m ²)	Total (kg/m ²)
AR	1,17	1,49	2,66
AB-V	1,67	1,61	3,28
AB-FB	1,95	1,54	3,49

Determinou-se a resistência de aderência através do ensaio de tração de 12 corpos de prova no revestimento aplicado. Os resultados podem ser vistos no gráfico da Figura 14.

Figura 14 - Resultado dos ensaios de resistência de aderência à tração

Fonte: Autoria própria (2013)

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que se atingiu os limites mínimos, tanto para utilização em paredes internas e forros como para paredes externas, requeridos pela NBR 13749, para as argamassas utilizando areia de britagem e com areia de referência. Para a argamassa de referência, percebe-se que o rompimento dos corpos de prova se deu em sua maioria na argamassa, significando que a aderência é superior aos resultados expostos.

6.4 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS

De forma a obter os custos para a confecção das argamassas utilizadas nos ensaios, realizou-se uma pesquisa em empresas que comercializam os materiais necessários, para uma análise da viabilidade econômica realizando a substituição AMN por AMB.

Os valores expostos na Tabela 19 correspondem a uma média do preço praticado por três fornecedores diferentes, considerando o transporte para Pato Branco. Com relação as areias de britagem, os valores são correspondentes apenas as empresas mineradoras que produzem o material, sendo também considerado o transporte até Pato Branco.

Tabela 19 - Preço regional médio dos materiais utilizados

Material	Unidade	Valor unitário médio* (R\$)
AMN	m ³	81,67
AMB-V	m ³	47,93
AMB-FB	m ³	51,54
Cimento	kg	0,39
Cal Hidratada	kg	0,27
Massa Corrida PVA	kg	0,99

* - Valor pesquisado em fevereiro de 2013

Fonte: Aatoria própria (2013)

Através desses valores e o consumo de material pôde-se determinar o custo médio de materiais para a composição de cada argamassa. Os valores apresentados consideram a retirada do material retido na peneira 2,36 mm como um custo. A Tabela 20 expõe o custo por metro cúbico da argamassa.

Tabela 20 - Custo por m³ das argamassas

Argamassa	Custo (R\$/m ³)*
AR	184,88
AB-V	162,76
AB-FB	179,54

* - Está considerado apenas o material

Fonte: Aatoria própria (2013)

Realizou-se ainda uma avaliação de custo do revestimento por metro quadrado, considerando o revestimento com 2 cm de espessura e aplicação de massa corrida PVA, de forma a obter acabamento equivalente. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 21.

Tabela 21 - Custo por m² de revestimento e = 2 cm

Argamassa	Custo (R\$/m ²)*
AR	6,33
AB-V	6,50
AB-FB	7,05

* - Está considerado apenas o material

Fonte: Aatoria própria (2013)

Analisando os resultados, percebe-se que para obter um acabamento final equivalente, o revestimento utilizando areia de britagem se torna mais caro devido ser necessário uma quantidade maior de massa corrida PVA. Porém, esses valores

não consideram o aproveitamento do material retido na peneira com diâmetro de 2,36 mm, o qual poderia ser aproveitado em outras composições como por exemplo o chapisco.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização dos estudos para a utilização de areias de britagem em argamassas, verificou-se uma dificuldade em avaliar a granulometria dos agregados utilizados. Isso ocorreu devido a não haver uma norma brasileira específica para os requisitos exigidos em areias para argamassa, sendo esses encontrados apenas para utilização em concreto.

Havendo uma norma, poder-se-ia, ainda na fase de análise dos materiais a serem empregados, verificar se o agregado utilizado apresentava conformidade para utilização em argamassas, e em casos de o material estar fora do padrão, encontrar formas de se compor, com outros materiais, outro traço satisfatório.

As adaptações realizadas nos agregados de britagem se deram de forma empírica, como a decisão de excluir da composição materiais com diâmetro superior a 2,36 mm, sendo que a areia de referência não apresentava partículas de tal diâmetro. Essa medida se justifica pela textura altamente rugosa obtida quando da não exclusão desse material.

Quanto à determinação da dosagem dos materiais componentes das argamassas de ensaio, buscou-se uma comparação simples da substituição de um tipo de agregado por outro. Essa situação foi fundamental nos resultados obtidos nos ensaios, onde para as argamassas em que utilizou-se areia de britagem, não se conseguiu um mesmo empacotamento da mistura obtido com a areia de referência, ou seja, a mistura apresentou intervalos entre diâmetro de partículas com uma baixa quantidade em relação a outras, de forma a não se preencher espaços que fazem com que a ligação entre materiais seja prejudicada, obtendo uma argamassa menos coesa.

Analisando os resultados das argamassas no estado fresco, percebe-se que para o traço estudado, se faz necessária uma quantidade elevada de água para obter-se uma consistência adequada para a aplicação da argamassa como revestimento de paredes. Outro fator constatado é que substituindo a areia natural pela de britagem, aumenta-se a densidade do material, ou seja, a argamassa torna-se mais pesada. Com relação a capacidade de retenção, torna-se difícil fazer uma análise, por não se ter convicção que os resultados obtidos refletem a realidade,

devido ao desconhecimento da calibração do equipamento, podendo não ter sido aplicada a sucção requerida. Já no estado endurecido, pôde-se verificar que a resistência à compressão apresentou resultados proporcionais à quantidade de água em relação ao cimento. Tendo em vista que essa propriedade não tem grande relevância quando da utilização da argamassa para revestimento, os resultados obtidos não comprometem a utilização.

Já com relação a aderência ao substrato, as argamassas com areia de britagem apresentaram resultados inferiores a argamassa de referência, fato que está diretamente ligado a presença de materiais finos em menor quantidade.

Com relação a fissuração, aparentemente não ocorreu, porém torna-se difícil avaliar esse fator devido o revestimento ter dimensões reduzidas em relação a paredes de edificações usuais e estar em um ambiente protegido da exposição do sol.

Para poder se obter uma avaliação menos subjetiva da textura do revestimento optou-se pela aplicação de massa, fazendo com que se conseguisse um acabamento equivalente, avaliando assim o consumo de massa PVA necessário. Da mesma forma que para a avaliação das fissuras, a área de revestimento aplicado é pequena, podendo haver variações no consumo dos ensaios.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que há viabilidade na utilização do material britado em argamassas, principalmente em paredes que receberão revestimento cerâmico, ou ainda em casos onde se busca um acabamento rugoso. Pode-se utilizar ainda em casos onde a exigência é menor, como habitações populares.

Porém, quando comparado a argamassas com areia natural, não se tem o mesmo acabamento, podendo esse ser alcançado através de alterações do traço ou ainda, junto aos britadores, realizando uma regulagem própria dos equipamentos para que se obtenha uma areia de britagem própria para argamassa.

De forma geral, conclui-se que alguns fatores devem ser melhorados para que o produto se estabeleça no mercado de forma competitiva. O principal desses fatores refere-se a granulometria do agregado, sendo que o disponível se adequa a utilização em concreto, mas prejudica a qualidade da argamassa, além de haver uma perda de material, devido a necessidade de peneiramento. Apesar do trabalho não contemplar a análise de custos quanto à mão de obra, tem-se nitidamente um aumento de serviço para a realização do peneiramento, bem como uma tendência

de menor produtividade, devido a presença de grãos angulosos e de diâmetros inadequados. O aumento do valor da areia natural, gerado pela escassez desta e pela distância das jazidas, tende a ser um favorecedor da implantação da areia de britagem na aplicação de argamassas. No entanto, as areias de britagem oriundas das usinas da região em estudo tem sua fabricação voltada para a confecção de concreto. De acordo, com os resultados obtidos nos ensaios, devido às diferenças em suas características, pode-se afirmar que seria favorável que houvesse uma adequação das características físicas do produto em sua fabricação - com atenção a uma granulometria específica e a forma mais adequada da partícula - para que a argamassa resultante do uso da areia de britagem tenha características semelhantes às características das argamassas produzidas com areia natural.

. A areia de britagem já é solução em vários locais, mas fazem-se necessários maiores estudos, inclusive que se determine uma norma específica de classificação granulométrica para argamassa, o que facilitaria a regulação dos equipamentos nas usinas de britagem.

Sem que a areia de britagem ofereça resultados similares às da areia natural, apesar do preço competitivo e das possíveis vantagens sustentáveis de seu uso, uma vez que minimiza os impactos gerados pela exploração das jazidas e dos fundos de rios, é pouco provável sua aceitação no setor.

A argamassa produzida com a areia de britagem na granulometria e forma disponível na região do estudo, pode ser viável quando utilizada em contrapisos, possibilitando o ganho que se espera com o uso da mesma. Em trabalhos futuros, pode ser estudada a possibilidade desta mesma argamassa ser utilizada também como argamassa de assentamento, bem como a utilização de composições com areia natural, buscando melhores resultados.

Fazer uso da areia de britagem, que em determinado momento é tratada nas usinas como rejeito do processo de britagem do agregado graúdo, visa a obtenção de benefícios para dois lados: para o meio ambiente e para as empresas de britagem, pois estas passam a comercializar praticamente todo material produzido, o antecessor à areia de britagem, o pó-de-pedra era antigamente encontrado em grandes volumes nos britadores, e tratado como um passivo ambiental, hoje – em uma forma mais especializada – tornou-se uma possível fonte de renda. Já o meio ambiente sai ganhando quando se reduz a extração de areia natural nos leitos dos rios, bem como a remoção das camadas de vegetação para a exploração das

jazidas. E há que se considerar ainda que a areia natural se trata de um recurso finito, ou seja não renovável.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Salvador L. M. et al. **Produção de Areia Manufaturada em Usina Piloto**. In: Anais do II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002.

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

_____. **NBR NM 26**. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 27**. Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45**. Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**. Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211**: Agregados para Concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Determinação da Retenção de Água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 13528:** Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Determinação da Resistência de Aderência à Tração. Rio de Janeiro, 1995.

BARRETO, Maria L. **Mineração e desenvolvimento sustentável:** Desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/Desenv_sustentavel/desenv_sustentavel.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2012

BAUER, Elton; SOUSA, José G. G. de. **Materiais Constituintes e suas Funções.** In: BAUER, Elton (Coord). Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades. 1. ed. BRASÍLIA: LEM-UnB - SINDUSCON/DF, 2005.

BAUER, Luiz A. F. **Materiais de Construção.** 5. ed. revisada. Revisão técnica: João Fernando Dias. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental:** O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BUEST NETO, Guilherme T. **Estudo da Substituição de Agregados Miúdos Naturais por Agregados Miúdos Britados em Concretos de Cimento Portland.**

2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Construção Civil: Desempenho e Perspectivas**. Brasília, 2011.

CANADA. Recursos Naturais do Canadá. **Minerais e Metais: Rumo à Sustentabilidade**. Ottawa, 2000. Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/minerals-metals/files/pdf/mms-smm/poli-poli/pdf/fu-eng.pdf>>. Acesso em 6 jun. 2012.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, 2007.

CARASEK, Helena; CASCUDO, Oswaldo; SCARTEZINI, Luís M. **Importância dos Materiais na Aderência dos Revestimentos de Argamassa**. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília: UnB/ENC, 2001.

CARNEIRO, Arnaldo M. P.; Cincotto, Maria A. **Dosagem de Argamassas Através de Curvas Granulométricas**. São Paulo: EPUSP, 1999.

CARNEIRO, Arnaldo M. P.; MATTOS, Ludmila R. S.de; DAL MOLIN, Denise C. C. **Caracterização das Argamassas para Revestimento Externo Utilizadas em Belém/PA (Brasil): Estudo do Comportamento no Estado Fresco**. Engenharia Civil, n. 15, 2002.

CORTES, Douglas D. et al. Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. **Cement and Concrete Research**. v. 38, n. 10, p. 1142-1147, out. 2008.

D'AGOSTINO, Liz Z; SOARES, Lindolfo. **Preparo de Argamassa com Emprego de Finos de Pedreira**. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações. IBRACON, 2001.

DIAS, Elvira G. C. S. **Avaliação de Impacto Ambiental de Projetos de Mineração no Estado de São Paulo: A Etapa de Acompanhamento**. 2001. 283 f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas. São Paulo, 2001.

FERNANDES, Aldo L. **Oferta e Demanda de Agregados para Construção Civil no Município de São Carlos-SP**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Centro Universitário de Araraquara. Araraquara, 2007.

FREITAS, Cleverson de. **Argamassas de Revestimento com Agregados Miúdos de Britagem na Região Metropolitana de Curitiba: Propriedades no Estado Fresco e Endurecido**. 2010. (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUACELLI, Paulo A. G. **Substituição da Areia Natural por Areia de Britagem de Rochas Basálticas para Argamassas de Revestimento**. 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.

GOMES, Adailton de O. **Propriedades das Argamassas de Revestimento de Fachadas**. Salvador: UFBA, 2008. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/comunidades/salvador/ciclo3/htms/download/Propriedades_das_argamassas_de_revestimento_2008.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2012.

HANAI, João B. **Construções de argamassa armada: Fundamentos Tecnológicos para Projeto e Execução**. São Paulo: Pini, 1992.

IDHEA. **Nove passos para a obra sustentável**. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/pdf/nove_passos.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. Brasília, 2010.

ISHIKAWA, Paulo H. **Propriedades de Argamassas de Assentamento Produzidas com Areia Artificial para Alvenaria Estrutural**. 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, 2003.

ISHIKAWA, Paulo H.; OLIVEIRA, L. P. de. **Propriedades da Argamassa com Areia Artificial para Revestimento de Alvenaria**. 4º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa: APFAC, 2012.

JOHN, V. M., DA SILVA, V. G. , AGOPYAN, V., **Agenda 21: uma proposta de discussão pra o construbusiness brasileiro**. ANTAC – Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela RS, 2001

KIBERT, CHARLES J., **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction**. In Kibert, C.J., ed. Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction. Tampa, FL, November 6-9. CIB Publications TG 16, 1994.

LACERDA JÚNIOR, Bolívar R. M. M. Estatística. **Revista Areia e Brita**. São Paulo. ed. 56. jul/ago/set. 2011.

LIMA, Paulo G. **Tendências Paradigmáticas na Pesquisa Educacional**. 301 f. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação. Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.do.ufgd.edu.br/PauloLima/arquivo/mestrado.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2012.

MATTANA JÚNIOR, Alécio; COSTA, Marianne do R. de M. M. da. **Estudo da Influência do Tipo de Cimento no Comportamento Reológico de Argamassas de Revestimento**. Curitiba: ANTAC, 2009.

MARTINGANÇA, José A.; MARTINGANÇA, Cristina S. S.; COSTA, Marta. **Ensinos a retirar do Passado Histórico das Argamassas**. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa: APFAC, 2005.

MILANI, Edison et al. Bacia do Paraná. **B. Geoci. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p 265-287, mai/nov 2007.

MINEROPAR. **Perfil da Indústria de Agregados**. Curitiba, 1999.

_____. **Atlas geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.

NAKAKURA, Elza H.; CINCOTTO, Maria A. **Análise dos Requisitos de Classificação de Argamassas de Assentamento e Revestimento**. São Paulo: EPUSP, 2004. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF2003&2004_1/BT%20-%20359.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2012.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Tradução: Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

PAES, Isaura et al. **O Efeito de Finos Calcários nas Propriedades da Argamassa de Revestimento**. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória: UFES/PPGEC, 1999.

PENNA, Paulo C. V. **Expansão da Mineração de Agregados para a Construção Endossa Crescimento da Economia**. IBRAM, Brasília, 20 set. 2010.

PINHEIRO, Manuel D. **Ambiente e Construção Sustentável**. Instituto do Ambiente, 2006. Disponível em: <http://www.lidera.info/resources/ACS_Manuel_Pinheiro.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2012.

RELATÓRIO BRUNDTLAND - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

SABBATINI, Fernando H.; BAÍA, Luciana L. M. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa**. 4. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008.

SERNA, Humberto A. **Agregados para Construção Civil**. In: Sumário Mineral 2010. Brasília: DNPM: 2010.

SERNA, Humberto A.; REZENDE, Márcio M. **Agregados para Construção Civil**. In: Economia Mineral do Brasil. Brasília: DNPM: 2009.

SILVA, Francisco G. S.; BAUER Elton. **Avaliação da fissuração em argamassas**. Curitiba, 2008.

SILVA, Narciso G. da. **Avaliação da Retração e da Fissuração em Revestimento de Argamassa na Fase Plástica**. 2011. 328 f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2011.

SILVA, Narciso G. da; CAMPITELI, Vicente C. **Correlação entre Módulo de Elasticidade Dinâmico e Resistências Mecânicas de Argamassas de Cimento, Cal e Areia**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 21-35, out./dez. 2008.

THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (CIB). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries**: A discussion document. Pretoria, 2002. Disponível em <http://www.cibworld.nl/website/priority_themes/agenda21book.pdf> Acesso em: 22 jun. 2012.

VALE, Eduardo. **Mineração e Desenvolvimento Sustentável**: A Dimensão Econômica na Escolha de Indicadores. In: VILLAS-BOAS, Roberto; BEINHOF, Christian. Indicadores de Sostenibilidad para la Industria Extractiva Mineral. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, 2002. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/livros/IndicadoresSostenibilidad_LivroCompleto.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2012.

VALVERDE, Fernando M. **Agregados para Construção Civil**. In: Balanço Mineral Brasileiro 2001. Brasília: DNPM, 2001.

VÁZQUEZ, Enric. **Introdução**. In: Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção: Projeto Entulho Bom. Tradução: Luciana Amaral de Lima. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001.

VIERO, Edison H. **Aplicação de Areia de Britagem de Rochas Basálticas na Fabricação de Concreto de Cimento Portland**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Programa de Pós-Graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, 2010.

WILDNER, Wilson et al. **Geologia e Petrografia**. In: Texto Explicativo dos Mapas Geológico e de Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná. Curitiba: CPRM-MINEROPAR, 2006.

APÊNDICE A

**Composições granulométricas de areias utilizadas para argamassa
de revestimento em canteiro de obras em Pato Branco - PR**

Composição granulométrica Construtora A

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	3,50	0	0	2,50	0	0	0
2,36	44,00	3	3	30,50	3	3	3
1,18	143,00	10	13	103,00	10	13	13
0,60	198,50	13	26	144,00	14	26	26
0,30	829,50	55	81	553,50	52	78	80
0,15	242,00	16	97	198,00	19	97	97
Fundo	41,50	3	100	33,00	3	100	100
Soma	1502,00	100		1064,50	100		

Composição granulométrica Construtora B

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	1,00	0	0	2,50	0	0	0
2,36	24,00	2	2	23,00	2	3	2
1,18	103,00	8	10	82,50	9	11	11
0,60	145,50	12	22	109,00	11	22	22
0,30	683,50	56	78	444,50	46	68	73
0,15	234,00	19	97	261,00	27	95	96
Fundo	36,00	3	100	47,00	5	100	100
Soma	1227,00	100		969,50	100		

Composição granulométrica Construtora C

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	0,00	0	0	0,00	0	0	0
2,36	4,50	0	0	6,50	1	1	0
1,18	20,00	2	3	25,00	2	2	3
0,60	59,00	6	9	83,00	7	9	9
0,30	555,50	58	67	917,00	73	82	74
0,15	275,50	29	96	204,50	16	98	97
Fundo	41,00	4	100	28,00	2	100	100
Soma	955,50	100		1264,00	100		

Composição granulométrica Construtora D

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	0,00	0	0	0,50	0	0	0
2,36	10,00	1	1	9,50	1	1	1
1,18	42,00	3	4	40,00	3	4	4
0,60	107,50	8	13	115,00	9	13	13
0,30	870,50	68	81	756,00	58	70	75
0,15	219,00	17	98	273,50	21	91	94
Fundo	27,00	2	100	120,00	9	100	100
Soma	1276,00	100		1314,50	100		

Composição granulométrica Construtora E

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	2,00	0	0	2,50	0	0	0
2,36	21,00	2	2	20,50	2	2	2
1,18	28,00	2	4	29,00	2	4	4
0,60	55,50	4	8	55,00	4	8	8
0,30	547,50	43	51	596,50	46	55	53
0,15	524,50	41	92	474,00	37	92	92
Fundo	101,50	8	100	106,50	8	100	100
Soma	1280,00	100		1284,00	100		

Composição granulométrica Construtora F

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2			% Média Retida Acumulada
	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Acumulada	
4,75	4,00	0	0	2,50	0	0	0
2,36	19,50	1	1	15,50	1	1	1
1,18	41,50	2	4	34,50	2	4	4
0,60	120,00	7	11	103,00	7	11	11
0,30	1287,00	76	87	1122,00	77	87	87
0,15	195,00	11	98	163,00	11	98	98
Fundo	32,00	2	100	23,00	2	100	100
Soma	1699,00	100		1463,50	100		