UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUÍ

FREDERICO WAECHTER HEEMANN

SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL EM ARGAMASSA POR AREIA ARTIFICIAL

IJUÍ

2014

FREDERICO WAECHTER HEEMANN

SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL EM ARGAMASSA POR AREIA ARTIFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Diorges Carlos Lopes

Ijuí

2014

FREDERICO WAECHTER HEEMANN

SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL EM ARGAMASSA POR AREIA ARTIFICIAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL, e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ.

Ijuí, 10 de dezembro de 2014.

Diorges Carlos Lopes
Mestre – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. José Antonio Santana Echeverria (UFRGS)
Mestre em Geotenia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a minha família, em especial, aos meus pais, Rudi e Elisabeth, aos meus avós Mário e Érica e a minha irmã Luiza, pela paciência, pelo incentivo, apoio e compreensão durante toda a minha vida.

A Caroline, minha namorada, pelo apoio nos momentos mais difíceis da minha vida, por ter me motivado para a conclusão do meu curso e entender a minha ausência em várias situações nestes últimos dias.

Aos meus colegas e amigos de turma, que se mostraram verdadeiros amigos e alguns verdadeiros irmãos, pela vivência compartilhada durante a graduação.

Agradeço a Unijuí pela disponibilização dos laboratórios, sua estrutura para o desenvolvimento dos ensaios deste trabalho, bem como durante a formação acadêmica.

Aos professores que se mostraram verdadeiros mestres, apontaram meus erros, mas tranquilamente mostraram o caminho e aplaudiram minhas superações, sabendo transformá-las em oportunidades, contribuindo assim para a minha formação.

Foram necessárias noites em claro, muito trabalho, tempo e energia para construir uma nova visão sob novas perspectivas. Sei que o percurso está apenas começando, mas levo comigo a certeza de ser um eterno aprendiz e, principalmente, poder contar com todos que de uma forma ou outra mudaram a minha vida.

Agradeço ainda ao meu orientador, professor mestre Diorges Carlos Lopes, pelo tempo disponibilizado, pela orientação, pelos conselhos e principalmente pelas sábias e intermináveis conversas.

Obrigado pela oportunidade de passar em suas vidas. Tenham a certeza que levo muito de vocês.

“A luz, o sol, o ar livre
envolvem o sonho do engenheiro.
O engenheiro pensa, sonha coisas claras:
superfícies, tênis, um copo de água.

O lápis, o esquadro, o papel;
o desenho, o projeto, o número:
o engenheiro pensa o mundo justo,
mundo que nenhum véu encobre".
João Cabral de Melo Neto

RESUMO

É um grande desafio buscar alternativas para diminuir custos aliado a redução do impacto ambiental gerado na construção civil sem, no entanto, afetar o desenvolvimento econômico e sustentável. O extrativismo desenfreado de areia, as leis de proteção ambiental que impõe limitações a esta exploração e a falta de locais para extração deste recurso, fato que alavancou os preços deste material, coloca a utilização de areia artificial como uma alternativa viável para não frear a produção, podendo também ser utilizada na substituição da argamassa e derivados da construção civil. A presente pesquisa justifica-se devido à geração de benefícios ambientais relevantes decorrentes da substituição de materiais tradicionais por materiais similares. Esse trabalho tem o intuito de analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição de areia natural por areia artificial, 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, com material disponível na região. O agregado natural (areia de rio), proveniente de jazida da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, da cidade de Santa Maria, foi adquirido em estabelecimento comercial de materiais de construção. Já, como agregado artificial, foi utilizado areia artificial proveniente de uma pedreira com jazida na Região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, da cidade de Passo Fundo, adquirido diretamente da jazida. Foram realizados ensaios quanto à granulometria e a densidade aparente e absoluta, a resistência à compressão de corpos de prova de argamassa, a permeabilidade da mistura em relação à água, a plasticidade do material e sua trabalhabilidade. Os resultados obtidos mostraram que é viável esta substituição numa proporção de até 100% de areia artificial. Verificou-se que a areia artificial disponível na região apresenta características granulométricas compatíveis para sua utilização em argamassas, não sendo necessária a utilização de areia natural.

Palavras-chave: Areia artificial; Argamassa de revestimento; Argamassa com areia artificial.

ABSTRACT

It is a challenge to find alternatives to reduce costs ally reducing the environmental impact generated in construction without, however, affecting the economic and sustainable development. The rampant sand extraction, the environmental protection laws that impose limitations to this operation and the lack of places for extraction of this resource, a fact that boosted prices of this material, puts the use of artificial sand as a viable alternative to not stop the production and can also be used in replacing the mortar and related construction. This research is justified due to the generation of relevant environmental benefits of replacing traditional materials by similar materials. This work aims to analyze the technical and economic feasibility of replacing natural sand by artificial sand, reducing the impact generated and the cost of the product. The replacement was done in mixed mortar composition of specific trait used for walls, with materials available in the region. The natural aggregate (river sand) from deposit of the State of Rio Grande do Sul Central Region, specifically, the city of Santa Maria, was acquired in commercial property construction materials. Already, as artificial aggregate was used artificial sand from a quarry with mine in the northern region of the Rio Grande do Sul State, specifically the city of Passo Fundo, acquired directly from the deposit. Tests were made on the particle size and the apparent and true density, compressive strength of mortar specimens, the permeability of the mixture in relation to water, the plasticity and workability of the material.The results showed that the substitution is feasible in a proportion up to 100% of artificial sand. It was found that the artificial sand available in the compatible region has granulometric characteristics for use in mortar, the use of natural sand is not necessary.

Keywords: Artificial sand; Mortar coating; Mortar with artificial sand.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição dos cimentos segundo as Normas Brasileiras (NBR).....23

Tabela 2 - Componentes do Clínquer. 23

Tabela 3 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal) 28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Proporções da mistura 47

Quadro 2: Granulometria da areia natural. 53

Quadro 3: Granulometria da areia artificial. 54

Quadro 4: Massa específica da areia natural. 54

Quadro 5: Massa específica da areia artificial. 55

Quadro 6: Massa Específica do cimento. 55

Quadro 7: Tempo de pega do cimento CPII – Z. 56

Quadro 8: Finura do cimento CPII – Z. 56

Quadro 9: Massa unitária da areia natural. 57

Quadro 10: Massa unitária da areia artificial. 57

Quadro 11: Massa unitária do cimento CPII - Z 57

Quadro 12: Resistência do cimento Portland CPII – Z. 58

Quadro 13: Índice de consistência das amostras. 59

Quadro 14: Resistência à compressão da argamassa de 100% natural. 62

Quadro 15: Resistência à compressão da argamassa de 25 % artificial. 62

Quadro 16: Resistência à compressão da argamassa de 50 % artificial. 63

Quadro 17: Resistência à compressão da argamassa de 75 % artificial. 63

Quadro 18: Resistência à compressão da argamassa de 100 % artificial 64

Quadro 19: Determinação da absorção de água por imersão. 65

Quadro 20: Absorção de água por capilaridade. 66

Quadro 21: Absorção de água por capilaridade. 67

Quadro 22: Comparativo dos custos dos agregados miúdo. 68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma da pesquisa. 45

Figura 2: Mesa de índice de consistência. 47

Figura 3: Inserção da argamassa no molde do ensaio. 48

Figura 4: Compactação da argamassa para execução do ensaio. 48

Figura 5: Molde retirado e pronto para execução dos golpes para determinação da consistência. 48

Figura 6: Execução dos golpes para determinação da consistência. 49

Figura 7: Leitura do espalhamento da argamassa após os ensaios de consistência. 49

Figura 8: Corpos de prova de argamassa. 50

Figura 9: Ensaio de absorção por capilaridade. 50

Figura 10: Mapa do transporte de Passo Fundo/RS para Ijuí/RS. 51

Figura 11: Mapa do transporte de Santa Maria/RS para Ijuí/RS. 51

Figura 12: Batedeira Vertical. 52

Figura 13: Enxofre para capeamento dos corpos de prova. 60

Figura 14: Molde para capeamento do corpo de prova. 60

Figura 15: Corpo de prova com uma face capeada. 60

Figura 16: Corpo de prova pronta para execução do ensaio de resistência a compressão. 61

Figura 17: Corpo de prova após ensaio de resistência a compressão. 61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Massa específica.....33

Equação 2: Massa específica por Le Chetelier 34

Equação 3: Massa unitária.....35

Equação 4: Índice de vazios.....35

Equação 5: Percentagem de água necessária da consistência 36

LISTA DE SIGLAS

°C – Graus Celsius

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ago – Agosto

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil

AMB – Agregado Miúdo de Britagem

B.S – Britsh Standards Institution

C2S – Silicato Dicálcio

C3A – Aluminato Tricálcico

C3S – Silicato Tricálcio

C4AF – Ferro Aluminato Tetracálcico

cm – Centímetro

cm^3 – Centímetro Cúbico

CP V ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CPB – Cimento Portland Branco

CPI – Cimento Portland Comum

CPII-E – Cimento Portland Composto com Escória

CPII-F – Cimento Portland Composto com Fíler

CPIII – Cimento Portland de Alto-Forno

CPII-Z – Cimento Portland Composto com Pozolana

CPI-S – Cimento Portland Comum com Adição

CPIV – Cimento Portland Pozolânico

dez – Dezembro

DMC – Dimensão Máxima Característica

EUA – Estados Unidos da América

Fe_2O_3 – Óxido de Ferro

g – Gramas

g/cm³ – Gramas por Centímetro Cúbico

jul – Julho

jun – Junho

Kg – Quilogramas

Km – Quilômetro

KPa – Quilopascal

mim – Minuto

mm – Milímetro

n° – Número

NM – Norma MERCOSUL

nov – Novembro

NR – Norma Regulamentadora

out – Outubro

rpm – Rotações por Minuto

RS – Rio Grande do Sul

s – Segundo

set – Setembro

µm – Micrometro

SUMÁRIO

1. Introdução 16

2. Revisão bibliográfica 19

2.1. Desenvolvimento sustentável na construção civil 19

2.2. Argamassa de revestimento 21

2.3. Materiais constituintes da argamassa de revestimento 22

2.3.1. Cimento portland 22

2.3.1.1. Composição química 23

2.3.1.2. Finura do cimento portland 24

2.3.1.3. Hidratação do cimento portland 25

2.3.2. Cal hidratada 25

2.4. Agregado 27

2.4.1. Agregado miúdo 27

2.4.2. Granulometria do agregado 27

2.4.3. Forma e textura das partículas 29

2.4.4. Massa unitária e massa específica 29

2.5. Água 30

2.6. Agregado miúdo de britagem (amb) 30

2.7. Ensaios laboratoriais 33

2.7.1. Determinação da composição granulométrica do agregado 33

2.7.2. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman 33

2.7.3. Determinação da massa específica do cimento portland e outros materiais 34

2.7.4. Determinação da massa unitária e do volume de vazios dos agregados 34

2.7.5. Determinação da pasta de consistência normal do cimento portland 35

2.7.6. Determinação do tempo de pega do cimento portland 36

2.7.7. Determinação da finura do cimento portland por meio da peneira 75 µm (n° 200) 37

2.7.8. Determinação do traço de dosagem da argamassa de revestimento 37

2.7.9. Determinação da resistência do cimento portland à compressão 37

2.8. Propriedades da argamassa de revestimento no estado fresco 38

2.8.1. Trabalhabilidade, consistência, plasticidade e coesão 38

2.8.2. Exsudação de água 40

2.9. Propriedades da argamassa de revestimento no estado endurecido 40

2.9.1. Dosagem de argamassa 41

3. Metodologia 43

3.1. Classificação do estudo 43

3.2. Planejamento e programa experimental 44

3.3. Determinação dos materiais 46

3.4. Planejamento experimental e definição do traço em volume de materiais secos 46

3.5. Ensaios no estado fresco 47

3.6. Ensaios no estado endurecido 49

3.7. Avaliações de custos 50

3.8. Metodologia adotada para os ensaios 52

3.8.1. Preparo da argamassa de revestimento 52

4. Resultados e discussão 53

4.1. Granulometria do agregado miúdo 53

4.2. Massa específica da areia natural 54

4.3. Massa específica do cimento 55

4.4. Tempo de pega do cimento 55

4.5. Finura do cimento 56

4.6. Massa unitária dos materiais 56

4.7. Resistência a compressão do cimento portland. 57

4.8. Argamassa no estado fresco 58

4.8.1. Teor de água e índice de consistência 58

4.9. Argamassa no estado endurecido 59

4.9.1. Resistência à compressão 59

4.9.2. Absorção de água 64

4.9.3. Absorção de água por capilaridade 65

4.9.4. Comparativo dos custos entre as argamassas 68

5. Considerações finais 69

Referências 72

1. INTRODUÇÃO

A matéria prima diversa introduzida na estrutura da argamassa de emboço tem sido bastante estudada, dando ênfase para a utilização de materiais com vantagens ambientais e econômicas a fim de se obter resultados satisfatórios tecnicamente. Frente a este contexto, surge o empenho em se preservar o meio ambiente aliado com a sustentabilidade. Torna-se necessário a busca por novas técnicas de utilização dos recursos naturais de maneira racional como matéria prima alternativa empregada na construção civil. Dessa forma, pesquisas que viabilizam a utilização de materiais provenientes de desmanche, reciclagem e otimização estão em evidência, sendo que podem ser aplicadas propiciando a execução sem que seja necessário seu reprocessamento, ou se preciso for, não apresente grande gasto econômico (JOHN, 1999).

Da mesma forma, é preciso conhecer as vantagens e o desempenho da adição de agregado miúdo artificial na argamassa de emboço, assim como analisar a viabilidade técnica e econômica da substituição de areia natural por areia artificial em frações na argamassa de emboço.

Para tanto, torna-se necessário determinar a granulometria e a densidade aparente e absoluta, verificar a resistência à compressão de corpos de prova de argamassa, verificar a permeabilidade da mistura em relação à água, a plasticidade do material e sua trabalhabilidade.

Segundo a revista Ciência Hoje (2003), a extração de areia no Brasil chega a 320 milhões de metros cúbicos anualmente, o equivalente a 7.100 estádios iguais ao Maracanã, fato este que gera um enorme impacto ambiental e a elevação do preço da areia natural no mercado.

No Rio Grande do Sul os rios Caí, Guaíba e Jacuí são as principais fontes de extração de areia natural existentes. Entretanto, a extração de areia no rio Guaíba está proibida. Já em outros rios, existem apenas restrições quanto à profundidade em que se pode retirar à areia, além da restrição da distância que se deve manter das margens, o que varia em função da largura do rio. A extração no Estado do Rio Grande do Sul encontra-se em torno de 14.820.000 toneladas ao ano (BRASIL, 2009).

O extrativismo desenfreado de areia colaborou na falta de locais para extração deste recurso, fato que alavancou os preços deste material. Desta forma a utilização de areia artificial acaba sendo uma alternativa viável para não frear a produção, podendo também ser utilizada na substituição na argamassa e derivados da construção civil (JOHN, 1999).

O atual cenário exige análise de viabilidade técnica e econômica da substituição de areia natural por areia artificial em argamassa de revestimento, com vistas à preservação ambiental através da minimização dos impactos ambientais gerados pelo processo de extração de areia natural, porém sem frear o desenvolvimento econômico (JOHN, 1999).

Nesse sentido, objetiva-se determinar a granulometria e a densidade aparente e absoluta do agregado miúdo, a resistência à compressão de corpos de prova de argamassa, verificando a permeabilidade da mistura em relação à água, a plasticidade, coesão, percolação e trabalhabilidade do material e comparando custos das argamassas com areia natural e artificial.

A presente pesquisa justifica-se pela geração de benefícios ambientais decorrentes da substituição de materiais tradicionais por materiais similares, minimizando a degradação do meio ambiente. Com a sustentabilidade em destaque, faz-se necessário a busca por novas técnicas de aplicar, transformar ou otimizar os recursos naturais de maneira racional, utilizando-os como matéria prima na construção civil. Dessa forma, pesquisas que almejem viabilizar o emprego de materiais provenientes de desmanches e reciclagem são de grande importância para o meio ambiente e para a população.

Como os materiais são facilmente adquiridos no mercado da construção civil e os laboratórios da UNIJUÍ são devidamente equipados para o desenvolvimento dos ensaios necessários, a realização da pesquisa foi viável, fornecendo aparato técnico quanto à possibilidade e a forma de se utilizar a areia artificial.

Quanto à estrutura o presente trabalho está dividido em cinco capítulos. No capítulo 1, apresenta-se a introdução, que contempla o contexto geral do desenvolvimento da pesquisa, a colocação do problema, o objeto de estudo, as justificativas e relevância da pesquisa, a hipótese e a estruturação deste trabalho;

No capítulo 2 está organizada a revisão bibliográfica sobre os materiais componentes da argamassa dando importância para o agregado miúdo, e também para as funções e propriedades das argamassas;

A metodologia da pesquisa, o programa experimental e os ensaios realizados fazem parte do capítulo 3, sendo este composto da escolha e caracterização dos materiais, definição do traço e programação dos ensaios;

No capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos dos ensaios realizados; as considerações finais,

Enfim no capítulo 5 encontram-se as conclusões dos ensaios realizados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desenvolvimento sustentável na construção civil

Desenvolvimento sustentável não é mais assunto inerente de ecologistas e já se apresenta como uma abordagem real, envolvendo profissionais de diversas áreas e se estendem a nível internacional, principalmente para a indústria da construção civil. A cadeia produtiva da construção civil gera importante impacto ambiental, sendo o maior consumidor individual de recursos naturais e gerador de poluição. A reciclagem de resíduos, sejam eles próprios ou gerados pelos demais setores industriais, é uma das tendências para redução do impacto ambiental da construção civil, particularmente diminuindo o nível de consumo de recursos naturais (JOHN, 1999).

A ONU, em 1984, formou a Comissão Mundial de Meio Ambiente, que apresentou um relatório em 1987. O relatório intitulado como ‘Nosso Futuro Comum’ ficou conhecido também como relatório Brundtland, em homenagem a primeira-ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland, coordenadora do projeto.

Este relatório citado anteriormente estabeleceu que o “desenvolvimento sustentável procura atender às necessidades e aspirações do presente sem comprometer a capacidade de atendê-las no futuro”, ou seja, que a humanidade faça o uso e exploração racional de recursos naturais para que não se esgotem, possibilitando que as gerações futuras também possam ser supridas e continuem a usufruir dos recursos naturais.

Ainda pode-se dizer que, o desenvolvimento sustentável define-se como sendo a integração das políticas ambientais e estratégias de desenvolvimento, sendo imprescindível a implantação de políticas específicas com foco no equilíbrio entre as ações do ser humano e o meio ambiente com harmonia entre o desenvolvimento social, econômico e cultural, com a utilização de recursos naturais da maneira mais eficiente possível, competitiva, porém ambientalmente responsável, preservando assim outras espécies e seus habitats.

A Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável em 1994 a *First World Conference for Sustainable Construction, aconteceu na* Florida, Estados Unidos, e apresentou a aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas,

sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído. Para tanto, embasada nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos, estabeleceram seis princípios básicos:

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

Já em Gävle, Suécia em 1998, O Congresso Mundial da Construção organizado pelo Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação em Construção (CIB), fomentou a criação de uma agenda internacionalmente aceita acerca da construção sustentável, denominada de Agenda 21.

O Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação em Construção (CIB, 2002) definiu construção sustentável 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”.

Ademais, Corrêa (2009) salienta que ‘restabelecer a harmonia’, configura-se como fato de que os projetos de construção sustentável se valiam do aproveitamento de fatores naturais, como luz, calor e ventilação. No entanto, nos projetos atuais estes recursos deram espaço a novas tecnologias de aquecimento e resfriamento artificiais, bem como sofisticados aparatos para iluminação. O mesmo autor fundamenta que a ideia de construção sustentável deve permanecer evidente em todo o ciclo do empreendimento, ou seja, da concepção até sua requalificação, desconstrução ou demolição. Desta forma, torna-se necessário um detalhamento de cada fase da obra, especificando os aspectos e impactos ambientais gerados, evidenciando os fatos a fim de se conseguir uma implantação sustentável.

Para Vázquez (2001) a redução dos resíduos na construção através da implantação de tecnologias limpas, fazendo uso de materiais provenientes de desmanches e reciclagem na utilização dos resíduos como materiais secundários, formam as pilastras da construção sustentável.

Medidas para transformar resíduos em recursos reutilizáveis devem ser adotadas (IDHEA, 2013):

- Inovação nos conceitos da arquitetura direcionados para a confecção de projetos mais flexíveis, prevendo futuras readequações de uso sem deixar, no entanto, de atender as necessidades atuais dos usuários, porém 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 que permitam a reutilização de materiais.

Encontra-se também, direcionamentos pra que se programem ações para formar uma rede com o objetivo de integrar as esferas industrial, profissional e acadêmica, viabilizando a aproximação dos objetivos da indústria e dos profissionais dos resultados encontrados nas pesquisas acadêmicas, proporcionando a implantação das tecnologias consideradas sustentáveis. (IDHEA, 2013):

2.2. Argamassa de revestimento

Segundo a NBR 7200, argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água, a qual possui como particularidade a capacidade de endurecimento e aderência (ABNT, 1998). Já a NBR 13281 define argamassa como a mistura homogênea de agregados inorgânicos e água, podendo conter aditivos e adições (ABNT, 2001).

O revestimento atua na resguarda da alvenaria e da estrutura contra a ação do intemperismo. Integra o sistema de vedação de edifícios, colaborando para o isolamento térmico, acústico, estanqueidade de água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais (CARASEK, 2007). O mesmo autor destaca que o revestimento pode ser utilizado na regularização dos elementos de vedação e serve de base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Conforme Sabattini (1986) as argamassas de revestimento são utilizadas principalmente no acabamento das paredes de alvenaria, provenientes de diversos materiais, paredes de concreto e nos tetos das edificações, atendendo aos requisitos arquitetônicos. Para o autor a argamassa deve apresentar propriedades adequadas, tais como trabalhabilidade, plasticidade e coesão, capacidade de retenção de água, aderência, absorção de deformações, durabilidade e resistência mecânica.

Tradicionalmente, sempre se utilizou cal como um dos constituintes das argamassas. Atualmente, com o uso de aditivos, a cal tem sido abandonada em muitos casos. No entanto, sabe-se que essa prática afeta a durabilidade do revestimento, observado em alguns países da Europa, como por exemplo, a França, que tem a cal como um dos vários constituintes das argamassas (RAGO e CINCOTTO, 1999).

2.3. Materiais constituintes da argamassa de revestimento

2.3.1. Cimento Portland

Denomina-se cimento o material composto de propriedades aglutinantes e, portanto, com capacidade de unir fragmentos minerais, formando uma massa compacta (ANDRIOLO, 1984). Já Neville (1997) considera cimento todo o material com propriedades adesivas e coesivas, capaz de unir fragmentos minerais, formando um todo compacto.

De acordo com a NBR 5732, cimento é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio (ABNT, 1991). Durante o processo de moagem algumas misturas podem ser adicionadas, tais como pozolanas, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos relacionados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição dos cimentos segundo as Normas Brasileiras (NBR).

Porcentagem (%) dos componentes em massa						
Siglas	Nome	Classe	Clínquer + sulfato de cálcio	Escória granular de alto forno	Material pozolânico	Material carbonático
CPI	Comum	25, 32, 40	100		0%	
CPI-S	Composto	25, 32, 40	99-95		1-5%	
CPII-E			94-56	06-34%	-	0-10
CPII-Z			94-76	-	6-14%	0-10
CPII-F			94-90	-	-	6-10%
CPIII	Alto forno	25, 32, 40	65-25	35-70	-	0-5
CPIV	Pozolânico	25, 32	85-45	15-50	-	0-5
CP V ARI	Alta resistência inicial	-	100-95	-	-	0-5
CPB	Branco estrutural	25, 32, 40	100-75	-	-	0-5
CPB	Branco não estrutural	-	74-50	-	-	26-50

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas nº 5732 (1991), 11578 (1991), 5735 (1991), 5733 (1991) e 12989 (1993).

Segundo Neville (1997), o emprego de cimentos é remoto. Os antigos egípcios usavam gesso impuro calcinado. Já os gregos e romanos usavam calcário calcinado e, posteriormente, misturavam cal, água, areia e pedra fragmentada, tijolos ou telhas em cacos. O autor considera essa mistura como sendo o primeiro concreto da história.

2.3.1.1. Composição química

O cimento Portland é composto principalmente de calcário, sílica, alumina e óxido de ferro, que reagem no interior do forno de produção de cimento dando origem ao clínquer, o qual é constituído por alguns elementos descritos na Tabela 2 (AÏTCIN, 2000).

Tabela 2 - Componentes do Clínquer.

Principias compostos do clínquer		
Nome do composto	Fórmula química	Abreviação
Silicatotricálcio	3CaO.SiO2	C3S
Silicatodicálcio	2CaO.SiO2	C2S
Aluminatotricálcico	3CaO.Al2O3	C3A
ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al2O3.Fe2O3	C4AF

Fonte: Aïtcin, (2000).

Os elementos descritos na Tabela 2 formam-se no interior do forno, quando a temperatura aumenta a ponto de transformar a “mistura crua” em um líquido pastoso que, ao resfriar-se, resulta em uma substância cristalina. Esse processo ocorre com todos os produtos citados na Tabela 2 e a um material intersticial amorfo, o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) e a outros óxidos, compostos alcalinos e sulfatos. (AITCIN, 2000). Segundo o mesmo autor esses elementos possuem a propriedade de reagir em presença de água, por hidrólise, resultando em compostos hidratados.

O silicato tricálcio (C_3S) é o principal composto do cimento Portland, sendo o responsável pela resistência inicial do cimento. Este composto reage em poucas horas quando em contado com a água, liberando grande quantidade de calor na hidratação. Já o silicato dicálcico (C_2S) desenvolve baixo calor de hidratação, corroborando em pega lenta com resistência fraca até os 28 dias, a qual aumenta gradativamente, podendo equivaler com a do C_3S no primeiro ano. O aluminato tricálcico (C_3A) possui pega instantânea, desenvolvendo altíssimo calor de hidratação, no entanto, tem baixa resistência à ação de águas sulfatadas. A presença da alumina neste composto é de fundamental importância por agir como fundente, facilitando a formação do clínquer a temperaturas mais baixas. Por fim, o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) possui pega rápida, baixa resistência, mas possui a vantagem do óxido de ferro (Fe_2O_3) funcionar como fundente e fixar parte da alumina melhorando o desempenho do cimento ao ataque de águas sulfatadas (AITCIN, 2000).

De modo geral, pode-se afirmar que as reações de hidratação dos aluminatos são responsáveis pelo endurecimento e pela pega da pasta de cimento, enquanto que os silicatos, que são aproximadamente 75% do cimento comum, são fundamentais no processo de endurecimento (taxa de desenvolvimento da resistência) da pasta (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

2.3.1.2. Finura do cimento Portland

A finura do cimento é um fator importante, pois influencia a sua reação com a água. Quando a hidratação se inicia na superfície das partículas, é a área da superfície do cimento que representa a quantidade de material disponível para a hidratação. Assim, quanto maior a finura do cimento maior a velocidade de

hidratação e mais rápida a evolução da resistência, sem alterar a resistência a idades avançadas (NEVILLE, 1997).

2.3.1.3. Hidratação do cimento Portland

A hidratação do cimento Portland é um processo químico complexo de dissolução e precipitação, onde as reações de hidratação acontecem simultaneamente, em diferentes velocidades. Em meio a estas reações ocorre a reação do sulfato de cálcio interferindo no tempo de pega do cimento, já as reações químicas do cimento com a água iniciam-se de imediato (CAMARINI, 1995).

As reações por dissolução ocorrem por troca iônica entre os compostos do cimento e a água, com concentração de aluminatos de cálcio, sulfatos e álcalis em meio aquoso. Estas reações são exotérmicas, com alta liberação de calor, formando os primeiros produtos hidratados. A fase seguinte é caracterizada pela diminuição da velocidade das reações com a diminuição do desenvolvimento de calor de hidratação, a qual se deve à difusão dos íons e deposição de produtos hidratados nos poros. As reações do componente alita continuam, em havendo material anidro e espaço disponível. De modo que esses produtos hidratados adicionais irão se depositar no interior dos poros. A seqüência das velocidades das reações pode ser descritas na seguinte ordem, aproximadamente, C3A>C3S>C4AF>C2S (CAMARINI, 1995).

A temperatura de hidratação também influencia a velocidade das reações. Geralmente, o aumento da temperatura acelera a velocidade inicial de hidratação do cimento, mas os graus de hidratação e o desenvolvimento de resistência mecânica nas idades avançadas, geralmente, são menores (CAMARINI, 1995).

2.3.2. Cal hidratada

Conforme Bauer (2008), a cal hidratada é um produto industrializado que sofreu um processo de hidratação, a qual é apresentada como um produto seco. Cabe salientar que a hidratação é feita em usina, por processo mecânico realizado em três estágios. O primeiro estágio consiste na moagem ou pulverização da cal viva. No segundo estágio o material moído é completamente misturado com a

quantidade exata de água necessária. E por fim, no último estágio a cal hidratada é separada da não hidratada e das impurezas por peneiramento. O mesmo autor relata que a cal hidratada oferece vantagens sobre a cal virgem, consistindo em maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento.

2.3.2.1. A função da cal na argamassa

A cal na argamassa confere melhoria na plasticidade e maior retenção de água na mistura, além de ser um material aglomerante. A cal também preenche os vazios da argamassa pela reação de carbonatação ao decorrer do tempo, proporcionando uma reconstituição. A adição de cal na argamassa de cimento confere a esta maior extensão de aderência e minimiza a fissuração na interface com o substrato. Desta forma, a argamassa com os dois aglomerantes apresenta ótima resistência, com minimização da ocorrência de fissuras. Assim sendo, uma argamassa rica em cimento geralmente produz argamassa de elevada resistência e aderência, mas pode originar fissuras, prejudicando a durabilidade. No entanto, as argamassas ricas em cal apresentam alta extensão de aderência, tanto em nível macro como em nível microscópico, além de proporcionar um melhor preenchimento das cavidades do substrato (CARASEK et al., 2001). Desta forma, as argamassas ideais são produzidas com cimento e cal, ou seja, argamassas mistas.

A cal se caracteriza pela capacidade de retenção de água, característica que também contempla a argamassa (CARASEK et al., 2001). Além da característica de retenção de água a argamassa possui a propriedade de reter água no meio da mistura sem perder totalmente a água para o substrato quando colocada em contato com bloco de alta absorção. Segundo Sabbatini (1986), essa retenção de água no interior da argamassa fresca é proporcionada pela cal, resultado da elevada área especifica deste componente. A cal possui outras propriedades vantajosas como a melhora da consistência e da trabalhabilidade das argamassas proporcionada pela coesão interna devido à diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. No entanto, em argamassas com baixo consumo de aglomerante é necessário que o teor de cal seja na mesma proporção ao teor de cimento para que a argamassa apresente a propriedade de retenção de água. Já em

argamassas com grande consumo de cal como aglomerante a retenção de água é elevada (CINCOTTO et al., 1995).

2.4. Agregado

Agregado é um material granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia (PETRUCCI, 1998). Este material desempenha importante papel nas argamassas e concretos, tanto do ponto de vista econômico como do ponto de vista técnico, exercendo influência benéfica sobre algumas propriedades como na retração e resistência ao desgaste por abrasão, sem prejudicar a resistência aos esforços mecânicos.

2.4.1. Agregado miúdo

A NBR 9935 define agregado miúdo como um material em geral inerte, sem forma ou volume definido e com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto (ABNT, 2005). Ainda de acordo com a referida norma, agregado miúdo é o agregado cujos grãos passam na peneira com abertura de malha 4,8 mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150 µm. A mesma norma define areia, como sendo o agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais. Para Guacelli (2010), os agregados miúdos são considerados materiais inertes na composição das argamassas.

2.4.2. Granulometria do agregado

A granulometria consiste na separação de partículas de mesma dimensão, ou seja, para o evento dos agregados, é a separação da amostra do material em frações entre determinados limites, os quais são definidos pelas peneiras padronizadas (NEVILLE,1997).

Segundo Carneiro et al (1997) módulo de finura é o somatório dos retidos acumulados na série normal de peneiras, dividido por 100, no entanto, é um parâmetro limitado. Guacelli (2010) afirma que curvas granulométricas distintas

podem levar ao mesmo módulo de finura. Ao se plotar os resultados obtidos em gráficos se obtém as curvas granulométricas. Desta forma, é prática a visualização das características granulométricas da areia, sendo ainda possível a comparação com as curvas das zonas ótimas e utilizáveis referidas pela NBR 7211, como também é possível comparar curvas de areias de britagem com as de areias naturais comumente utilizadas para confecção de argamassas (ABNT, 2009; GUACELLI, 2010).

Conforme a NBR 9935, dimensão máxima característica (DMC) corresponde à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa (ABNT, 2005). A NBR 7211 (ABNT, 2009), classifica as amostras através das peneiras de série normal e intermediária, conforme a Tabela 3, utilizando como parâmetro para agregado fino todo o material que se enquadra abaixo da peneira de 4,8 mm e para agregado graúdo o material acima da peneira 4,8mm (NBR 7211, 2003).

Tabela 3 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

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

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, (2009).

2.4.3. Forma e textura das partículas

Quanto à superfície dos grãos, a avaliação visual é obtida através da utilização de lentes e é descrita pela sua textura superficial, sendo classificada em polida, fosca ou rugosa, conforme NBR 7389 (ABNT, 1992).

Segundo Cortes et al. (2008) a forma das partículas é determinada pela origem do material. Os grãos de areia natural tendem a ser arredondados, devido ao efeito cumulativo de colisões múltiplas e à abrasão. Já a areia industrial é produto da trituração de rochas, o que origina grãos com formas de partículas que dependem da composição rocha-mãe e do modo de fratura, além de coordenação durante a trituração e da taxa de redução do material. O processo de cominuição tende a produzir partículas angulares. De modo que 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.

Para Ishikawa (2003), não existe uma avaliação da forma das partículas para agregado miúdo, pois estas são de difícil medição. Conforme Neville (1997), o arredondamento representa a agudeza e angulosidade das arestas ou cantos de uma partícula. Assim sendo, a resistência à abrasão da rocha-mãe e ações de desgaste submetidas à partícula são fatores que determinam o arredondamento dos grãos.

D'Agostino e Soares (2001), afirmam que agregados miúdos apresentam grãos que variam da forma angular a arredondada, além disso, estes oferecem um melhor imbricamento dos grãos, o que pode tornar a argamassa mais resistente.

2.4.4. Massa unitária e massa específica

É relevante citar que, segundo Carneiro et al.,(1997), a massa unitária é um importante parâmetro no estudo das características das areias e do desempenho das argamassas. A NBR 7351 define massa unitária como sendo o quociente da massa do agregado lançado em recipiente e o seu volume (ABNT, 2008). Para os autores mencionados anteriormente, a massa unitária implica decisivamente em várias propriedades da argamassa, seja no estado fresco ou endurecido. Assim

sendo, recomendam que os estudos de argamassas incluam a massa unitária seca da areia empregada, visando permitir uma análise comparativa de diferentes trabalhos.

A massa específica na condição seca é definida na NBR 9935 como sendo a relação entre a massa do agregado seco e o seu volume, excluídos os vazios permeáveis (ABNT, 2005).

Cabe mencionar que dentre os trabalhos analisados não houve menção as características externas das partículas dos agregados.

2.5. Água

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

2.6. Agregado miúdo de britagem (AMB)

A NBR 9935 designa agregado miúdo como areia de britagem, quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha (ABNT, 2005).

Segundo Bauer (2008), o processo de britagem versa basicamente na submissão de rochas, provenientes de uma jazida, à fragmentação em diferentes tamanhos. A areia de britagem é obtida através de classificação a seco, que ocorre de forma 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. O material obtido, usualmente, apresenta grande quantidade de material pulverulento (abaixo de 0,075 mm), o qual pode ser retirado através do processo úmido, o qual proporciona a diminuição da quantidade de finos, melhorando a qualidade do produto.

Os materiais finos, tanto dos aglomerantes quanto de agregados, apresentam área específica, a qual possui função plastificante nas argamassas. Assim, à medida

que aumenta o teor de finos, aumenta a trabalhabilidade, no entanto, a possibilidade de fissuração também aumenta o que sugere a utilização de um teor ideal de finos, sendo necessários ensaios para obtê-lo (PAES et al.,1999).

A areia artificial é o material fino gerado na cominuição de rocha para obtenção de pedra britada, geralmente utilizada na produção de concreto. Este material é denominado, genericamente, como pó de pedra ou areia artificial e, é considerado como material residual. A aplicação de areia artificial como material nobre é observado na produção de concreto asfáltico e bloco de concreto vazado para alvenaria. O material fino considerado é o material abaixo da peneira de 4,8 mm, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2003). Nas pedreiras de granito, o material residual gerado varia de 10% a 40%, conforme o tipo de britagem. Assim a geração de areia artificial, na produção da pedra britada, é estimada em 3 (três) milhões de m^3 por ano (CUCHIERATO, 2000).

A argamassa produzida com areia artificial apresenta vários aspectos diferentes em relação às argamassas com areia de rio, dentre as quais a geração de partículas mais arredondadas e textura superficial lisa. Cabe ressaltar que há maior consumo de água das areias artificiais para diminuir o atrito interno devido à forma e a textura rugosa. Além disso, a interface pasta agregado que proporciona maior aderência mecânica devido à rugosidade superficial. Um dos pontos polêmicos que diferencia a areia artificial das areias de rio é o maior teor de materiais pulverulentos, e que este induz a uma aceleração da hidratação do cimento através do efeito filer (CABRERA e DONZA, 1999).

A utilização de agregado miúdo proveniente da britagem de rochas é ampla em países mais desenvolvidos, destacando-se como uma das alternativas mais viáveis e promissoras para a substituição da areia extraída dos leitos dos rios.

Conforme Almeida (2005) a redução do impacto ambiental decorrente da extração da areia do leito dos rios, a existência de inúmeras jazidas basálticas na região sul do Brasil, maior proximidade entre a produção e a utilização final dos agregados miúdos, redução dos custos da construção civil, obtenção de areia com características constantes e o baixo teor de umidade são as vantagens da substituição de areia natural por areia artificial. Porém algumas diferenças importantes devem ser consideradas. Almeida (2004) destaca que na produção de

areia de britagem há uma elevada proporção de partículas menores que 0,075 mm (10 a 25%). Enquanto a especificação granulométrica da NBR 7211 impõe um limite de no máximo 5% (ABNT, 2005).

Cabe salientar que a areia de britagem é dotada de grande quantidade de material pulverulento que confere uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água. Por outro lado, quando em grandes quantidades, se torna prejudicial à qualidade do concreto. Isto ocorre, quando o material pulverulento forma uma película envolvendo cada grão, impedindo a aderência da pasta de cimento aos agregados e aumentando assim, a necessidade de água para se manter uma mesma trabalhabilidade. Como forma de minimizar ou eliminar essa desvantagem a areia pode ser submetida a um processo de lavagem, o que a torna adequada para utilização (CABRAL, 2007).

Contudo, estudos realizados na University of Texas (EUA), têm demonstrado a viabilidade de se produzir argamassas e concretos de alta resistência com a utilização de areia de britagem, sem que seja necessária a remoção de finos (AHN, 2000). Isso é possível devido à capacidade dos finos preencherem os vazios deixados entre as partículas grossas da areia, o que confere ao produto maior resistência mecânica, sem a necessidade do aumento significativo do consumo de água (ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Silva e Campitelli (2005) as partículas da areia de britagem em comparação com a areia natural são mais angulosas, portanto menos esféricas, influindo negativamente na trabalhabilidade da argamassa, sendo esta uma das dificuldades na sua utilização. Sendo assim, torna-se necessário a adequação deste produto para que possa ser utilizado na confecção de argamassas.

Frente a esta configuração indesejável das partículas das areias de britagem, atualmente os britadores de impacto de eixo vertical, conferem ao agregado uma forma mais arredondada adequando o mesmo para o uso em argamassas (ALMEIDA; BISPO, 2003).

2.7. Ensaios laboratoriais

2.7.1. Determinação da composição granulométrica do agregado

A NBR NM 248 prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto (ABNT, 2001). Para a realização deste método torna-se necessária a utilização de balança digital de precisão (gramas), estufa, peneiras, agitador mecânico de peneiras, bandejas, escova ou pincel e fundo avulso de peneira. A análise granulométrica deve ser realizada utilizando-se peneiras da série normal, conforme demonstra a seqüência decrescente de diâmetros de malha: 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 600 µm; 300 µm; 150 µm; 75µm conforme Tabela 3.

2.7.2. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman

A massa específica deve ser determinada conforme indica a NBR 9776 (ABNT, 1987), a qual recomenda que o frasco de Chapman seja preenchido com 200 cm³ de água, deixando-o em repouso, para que a água aderida às faces internas do frasco escorra totalmente. Posteriormente, conforme descreve a NBR 7216 (ABNT, 1987), deve-se acrescentar a amostra de agregado miúdo seco (500g), seguindo com a agitação, a qual visa eliminar as bolhas de ar. Cabe elucidar que a medida do gargalo indica a medida do volume ocupado pela água-agregado em cm³. Para o cálculo da massa específica deve ser utilizada a Equação 1.

Equação 1: Massa específica

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$

γ = massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm³.

L = leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

2.7.3. Determinação da massa específica do cimento Portland e outros materiais

A massa específica do cimento Portland e outros materiais em pó deve ser obtida conforme o método descrito na NBR NM 23 (ABNT, 2001), o qual utiliza o frasco volumétrico de Le Chatelier. Quanto aos reagentes necessários, deve ser utilizado um líquido que não reage quimicamente com o material e que tem densidade igual ou superior a 0,731 g/cm³ a 15°C, e inferior à dos materiais a serem ensaiados. Para execução do método será necessário o uso de frasco volumétrico de Le Chatelier, balança digital de precisão (gramas), recipiente, funis, termômetro e banho termorregulador. O cálculo dos resultados obtidos deve ser executado através da Equação 2.

Equação 2: Massa específica por Le Chetelier

$$p = \frac{m}{V}$$

p = massa específica do material, expressa em g/cm³.

m = massa do material ensaiado, expressa em gramas (g).

V = volume deslocado pela massa do material ensaiado (V2-V1).

V1 e V2 = valores corrigidos de V1 e V2, respectivamente, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico, expressa em cm³.

2.7.4. Determinação da massa unitária e do volume de vazios dos agregados

A NBR NM 45 determina o método para a obtenção da densidade a granel e do volume de vazios de agregado miúdo, graúdos ou de misturas dos dois, em estado compactado ou solto (ABNT, 2006). Para a realização deste ensaio é necessário o uso de balança digital de precisão, haste de adensamento, recipiente, pá ou concha, placa de calibração e estufa conforme recomenda a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Para correta determinação da massa unitária e volume de vazios a amostra deve ser constituída de aproximadamente 150% da quantidade de material requerido para encher o recipiente, sendo que esta deve ser manipulada de forma a evitar sua segregação. Para tanto, a amostra deve ser seca em estufa a 105ºC (±

5°C) até atingir massa constante O recipiente deve ser calibrado conforme determina a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A massa unitária deve ser determinada utilizando a Equação 3. Já o índice de vazios nos agregados deve ser obtido utilizando a massa unitária e a Equação 4.

Equação 3: Massa unitária

$$Pap = \frac{mar - mr}{V}$$

Pap = massa unitária do agregado, expressa em kg/cm³.

mar = massa do recipiente mais o agregado, expressa em quilogramas (kg).

mr = massa do recipiente vazio, expressa em kg.

V = volume do recipiente, expressa em m³.

Equação 4: Índice de vazios

$$Ev = \frac{100[(d1pw) - Pap]}{d1pw}$$

Ev = índice de volume de vazios nos agregados, em porcentagem (%).

D1 = massa específica relativa do agregado seco, determinada conforme as NBR NM 52 e NBR NM 53 (ABNT, 2003).

pw = massa específica de água, expressa em kg/m³.

Pap = massa unitária média do agregado, expressa em kg/m³.

2.7.5. Determinação da pasta de consistência normal do cimento Portland

A NBR NM 43 estabelece o método de determinação da consistência normal da pasta de cimento Portland (ABNT, 2003). De modo que para a realização deste método devem ser utilizadas balança digital de precisão (gramas), misturador, espátulas, régua metálica, molde e aparelho de Vicat. Para determinação da consistência normal da pasta de cimento Portland deve ser calculada a porcentagem de água necessária para alcançar tal consistência, utilizando a seguinte Equação 5.

Equação 5: Percentagem de água necessária da consistência

$$A = \frac{ma}{mc} x100$$

ma = massa de água utilizada para a obtenção da consistência normal da pasta de cimento, expressa em gramas.

mc = massa de cimento utilizado no ensaio, expressa em gramas.

A = água necessária à obtenção da consistência normal da pasta de cimento.

2.7.6. Determinação do tempo de pega do cimento Portland

A NBR NM 65 descreve o método para a determinação do tempo de pega da pasta de cimento Portland, através da utilização do aparelho de Vicat (ABNT, 2002). A referida norma salienta que a pasta de consistência deve ser preparada de acordo com a norma NBR NM 43 e o enchimento dos moldes para a determinação dos tempos de pega deve também obedecer esta norma (ABNT, 2003).

Após 30 minutos do preenchimento do molde o aparelho de Vicat deve ser ajustado e o molde colocado com a placa base no aparelho, alocando-o sobre a agulha. A agulha deve descer até que haja contato desta com a pasta, permanecendo de 1 a 2 segundos (s) nessa posição, evitando qualquer ação sobre as partes móveis, para que a agulha parta do repouso. Posteriormente as partes móveis devem ser soltas, a fim de permitir que a agulha penetre verticalmente na pasta. A leitura da escala deve ser realizada 30 segundos após a soltura da agulha ou quando houver terminado a penetração. Deve-se anotar a leitura na escala e o tempo contado a partir do instante em que a água e o cimento entraram em contato. Repetir o ensaio de penetração no mesmo corpo-de-prova em posições convenientemente separadas, que distem no mínimo 10 mm da borda do molde. Os resultados das penetrações devem ser apontados e, por interpolação, determinando o tempo em que a distância entre a agulha e a placa base é de 4 ±1 mm.

Para o tempo de fim de pega deve ser substituída a agulha do aparelho de Vicat. O molde utilizado no ensaio de início de pega deve ser invertido, já que o ensaio de fim de pega será realizado na face inversa do molde. Deve-se registrar com aproximação de 15 minutos, o tempo transcorrido a partir do instante zero, até que a agulha penetre pela primeira vez apenas 0,5 mm na pasta, como tempo de fim

de pega do cimento. Este é o momento em que o aparelho não causa nenhuma marca no molde.

2.7.7. Determinação da finura do cimento Portland por meio da peneira 75 µm (n° 200)

A finura do cimento Portland deve ser obtida utilizando peneira de 75 µm, método descrito na NBR 11579 (ABNT, 1991). Para realização do procedimento deve ser utilizada balança digital de precisão, peneira de 75 µm (n° 200), pincéis, bastão, flanela, tampa e fundo para peneira.

2.7.8. Determinação do traço de dosagem da argamassa de revestimento

Em empreendimentos de construção civil, observa-se, geralmente, que a dosagem das argamassas de revestimento ou de assentamento de alvenaria de vedações é realizada pelo mestre da obra, sem acompanhamento e conhecimento do engenheiro responsável pela obra. De modo que o empirismo adotado nos traços de argamassas, sua aplicação sem controle e o desconhecimento das funções da argamassa de revestimento ou de assentamento, produzem argamassas que apresentam fissuras generalizadas, pulverulência, comprometendo a qualidade, segurança e higiene da construção e do usuário (GOMES e NEVES, 2001).

Depois da determinação do traço deve ser realizada a determinação da quantidade de areia natural que será substituída.

2.7.9. Determinação da resistência do cimento Portland à compressão

O método descrito na NBR 7215 e na NBR 6156 para determinação da resistência do cimento Portland à compressão (ABNT, 1996, 1983), indicam a utilização de máquina de ensaio de tração e compressão, corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, câmara úmida e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto especificado na norma NBR 9479 (ABNT, 1994). Além destes equipamentos torna-se necessário areia

normal, água, cimento, óleo, materiais de vedação, materiais para capeamento, balança digital de precisão, misturador mecânico, molde e soquete.

2.8. Propriedades da argamassa de revestimento no estado fresco

2.8.1. Trabalhabilidade, consistência, plasticidade e coesão

Segundo Cincotto e Carneiro (1999) o estudo das propriedades das argamassas no estado fresco, remete-se ao estudo da reologia da argamassa, empiricamente conhecida como trabalhabilidade. O comportamento reológico da argamassa, que pode ser considerada como uma dispersão de agregados em uma matriz de partículas finas está intimamente ligada ao agregado (dimensão, forma e distribuição granulométrica), à pasta (características químicas, físicas, quantidades de materiais constituintes e teor de água) e a interação pasta – agregado.

A trabalhabilidade em termos práticos significa facilidade de manuseio, por parte do operário, que prepara a argamassa e a aplica. Desta forma a trabalhabilidade não se constitui em uma propriedade, pois depende do julgamento subjetivo do operário (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995). De acordo com Carneiro et al. (2003) é difícil a quantificação dessa propriedade, devido a complexidade apresentada pela influência conjunta de diversas variáveis, tais como a relação água/aglomerante, a relação aglomerante/agregado miúdo, forma dos grãos e distribuição granulométrica do agregado e teor de ar incorporado, além da natureza e qualidade dos aglomerantes.

A argamassa é trabalhável, sendo de fácil distribuição ao ser assentada, não gruda na ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absortivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada (SABBATINI, 1986).

Segundo Carneiro et. al., (2002), não é correto adotar os termos trabalhabilidade, plasticidade e consistência como sinônimos. No entanto, observa que a consistência e a plasticidade servem para caracterizar a trabalhabilidade de uma argamassa. O autor ainda elucida que a consistência é um indicador da trabalhabilidade, servindo na prática como parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura, a fim de que a argamassa alcance a trabalhabilidade

desejável. A consistência é a propriedade apresentada pela argamassa no estado fresco de resistir à deformação (CINCOTTO; SILVA, CARASEK, 1995). Segundo Gomes (2008) a consistência é resultante das ações de forças internas, como a coesão, ângulo de atrito interno e viscosidade, que condicionam a mudança de forma da mistura. Desta forma, o teor de água, a forma e a textura dos grãos dos agregados, assim como a granulometria afetam a consistência.

Muitos autores afirmam que a situação em que se encontra a película da pasta que envolve os grãos do agregado é que determina a classificação da argamassa em secas, plásticas e fluídas. Em argamassas secas os vazios entre os grãos são preenchidos pela pasta, porém permanecem em contato. Nas argamassas plásticas existe película de pasta que atua como lubrificante entre os grãos do agregado e, por fim nas fluídas os grãos do agregado estão imersos na pasta.

A NBR 13176 descreve o método de ensaio de mesa de consistência manual (flowtable) para determinação da consistência, indicando que este parâmetro serve para determinar a quantidade de água necessária à mistura (ABNT, 1994). No entanto, para Silva (2006) este método apesar de ser muito utilizado é um dos mais criticados, pois vários autores comentam que não tem sensibilidade para aferir a reologia da argamassa. Deste modo o referido autor elenca o método Squeeze Flow como o mais adequado, por ser sensível às variações do comportamento reológico da argamassa. O método Squeeze Flow é uma técnica que consiste na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica entre duas placas paralelas (CARDOSO, 2006). Segundo Pileggi et al*.* (2000) este método visa simular a aplicação e/ou espalhamento de argamassa de revestimento, onde a mesma sofre um esforço de compressão aplicado pelo pedreiro.

A variável que interfere diretamente no grau de consistência é o conteúdo de água. Entretanto, em alguns trabalhos esta propriedade também é função dos seguintes fatores: teor de aglomerante/agregado, relação água/aglomerante, teor de cal, teor de finos e forma das partículas (TEBALDI et al*.,* 2001; ASSUNÇÃO et al*.,* 2007; SILVA et al*.,* 2005; CARNEIRO et al., 2002).

Cabe salientar que a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de

deformação, sendo que esta propriedade é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995). As argamassas com plasticidade adequada apresentam segregação de água reduzida de acordo com estudos realizados por Vargas e Comba (1984), *apud* Cincotto; Silva; Carasek (1995).

A coesão refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante (CINCOTTO; SILVA; CARASEK 1995). Segundo os autores a estabilidade plástica das argamassas origina-se da coesão interna, como também da influência benéfica da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade.

2.8.2. Exsudação de água

Conforme Gomes (2008) a adição de água pode aumentar a plasticidade, mas quando a mistura se torna muito úmida, há uma tendência à separação das partículas (perda de coesão), produzindo-se a segregação. Quando a argamassa nessas condições é armazenada por profissionais da área nas masseiras, perde-se parcela significativa do material fino, inclusive do aglomerante, o que afetará qualitativamente o revestimento executado com esta argamassa. A saída de água da mistura se dá por um processo particular de segregação, denominado de exsudação (GOMES, 2008).

2.9. Propriedades da argamassa de revestimento no estado endurecido

A argamassa ao ser preparada encontra-se no estado plástico, conservando a sua consistência constante por um curto período (GOMES, 2008), porém em decorrência das reações de hidratação e da perda de água por evaporação a massa plástica passa para o estado semi-sólido, com o aumento da consistência (fase da pega). A argamassa passa então para o estado sólido, que é caracterizado pelo crescimento da resistência.

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 (CARASEK, 2007).

2.9.1. Dosagem de argamassa

Nas obras de construção civil, observa-se, geralmente, que a dosagem das argamassas de revestimento é realizada pelo mestre da obra, sem acompanhamento do engenheiro civil responsável pela obra. A falta de padrão na adoção de traços de argamassas, sua aplicação sem controle e o desconhecimento das funções da argamassa de revestimento ou de assentamento, corrobora em argamassas que apresentam fissuras generalizadas, pulverulência, comprometendo a qualidade, segurança e higiene da construção e do usuário (GOMES e NEVES, 2001). Assim, devido à falta de inspeção e orientação dos responsáveis por obras civis, acarreta em argamassas com patologias, as quais necessitam de intervenções e reparos onerosos.

A produção de uma argamassa que apresente desempenho satisfatório depende, fundamentalmente, da escolha dos materiais e de suas proporções na mistura. Uma argamassa deve apresentar resistência adequada, trabalhabilidade e durabilidade como parâmetros que indiquem a sua qualidade. Assim, para cada finalidade da argamassa devem-se utilizar os materiais adequados, principalmente no que diz respeito ao agregado miúdo. A proporção em volume de agregado deve condizer com a finalidade para qual a argamassa será utilizada, devendo basear-se na definição do projeto ou na experiência do construtor. Fazendo-se a seleção dos materiais e o acompanhamento adequado é possível aperfeiçoar estas proporções para cada tipo de aplicação das argamassas (LARA et al., 1995).

Nas últimas décadas houve avanço considerável no trato do concreto, tanto em relação à composição como na produção e controle. No entanto, em relação às argamassas observa-se que não houve tal evolução. A falta de avanço tecnológico pode ser devida, principalmente, ao desconhecimento das funções das argamassas e das características necessárias para atendimento das mesmas, isto é, resistência adequada, trabalhabilidade e durabilidade.

Não existe uma metodologia adequada para o estudo de argamassa, assim como não existe uma metodologia única para um estudo de dosagem de concreto. Para argamassa, o estudo de dosagem é complexo devido à diversidade dos materiais empregados, e a falta de alguns parâmetros como a proporção ideal entre

os aglomerantes cimento e cal, a resistência mecânica (compressão simples e módulo de elasticidade) para os diferentes tipos e finalidades. Assim, o único parâmetro que pode ser definido é a consistência da argamassa devido a sua aplicabilidade para determinada finalidade.

Entretanto, Selmo (1989) apresenta outros parâmetros para a especificação e controle de dosagem de argamassas. Estes parâmetros visam o cálculo de dosagem experimental, com vistas à especificação de argamassas e também o controle dos traços em centrais de produção. Os parâmetros propostos são as relações (agregado + cal / cimento) e, (areia / finos), todos em massa e materiais secos. A relação (agregado + cal I cimento) controla as propriedades mecânicas da argamassa, visto que determina a relação (água / cimento). A relação (areia / finos) controla, simultaneamente, a trabalhabilidade e a retração por secagem.

Gomes e Neves (2001) propõem um estudo de dosagem de argamassa de cimento, em massa, contendo argilo-minerais, fixando parâmetros de teor máximo de finos, adição de argilo-minerais, consumo de cimento, índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água. Os autores ressaltam que a metodologia proposta é válida para os tipos de materiais característicos da região onde foi realizado o estudo.

3. METODOLOGIA

3.1. Classificação do estudo

Quanto à natureza, o presente estudo, classifica-se como uma pesquisa aplicada. Quanto à forma de abordagem, trata-se de uma pesquisa de caráter quantitativo, quanto aos objetivos, exploratória e explicativa. Da mesma maneira, quanto aos procedimentos técnicos, a definição do tema e os objetivos deste trabalho determinaram a utilização da pesquisa documental, bibliográfica e experimental que, segundo Gil (2002), “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”. Portanto, fundamenta como sendo uma pesquisa que tem como alvo principal a identificação de fatores relevantes na ocorrência de determinados fenômenos, objetiva explicar fatos e fenômenos, descobrir causas e feitos de problemas e também encontrar soluções, sendo que, com os resultados deste estudo pretende-se avaliar a utilização de areia artificial em argamassas de revestimento. Dessa forma, foram selecionadas variáveis que se inserem como pilastras na pesquisa.

Ademais, mantém sua riqueza no fato de possibilitar mudanças futuras embasada na descrição de causas e problemas atuais. É, portanto, segundo Marconi e Lakatos (2008), “um procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”.

Nesse sentido, fundamentando-se nas ideias de Marconi e Lakatos (2008), a pesquisa bibliográfica não é uma simples repetição de algo que já foi dito ou escrito sobre determinado assunto. Ela propicia o exame de um tema sob novo enfoque, uma nova visão sob novas perspectivas, o que possibilita, por sua vez, chegar a conclusões inovadoras. A pesquisa bibliográfica de conteúdos relaciona-se a argamassa de emboço e como pesquisa documental, foi utilizada a Associação Brasileirade Normas Técnicas.

Conforme Minayo (1993) a pesquisa pode ser considerada como a atividade básica das ciências na sua indagação e descoberta da realidade. Ela parte de uma dúvida ou problema e com o uso de método científico, busca uma resposta ou

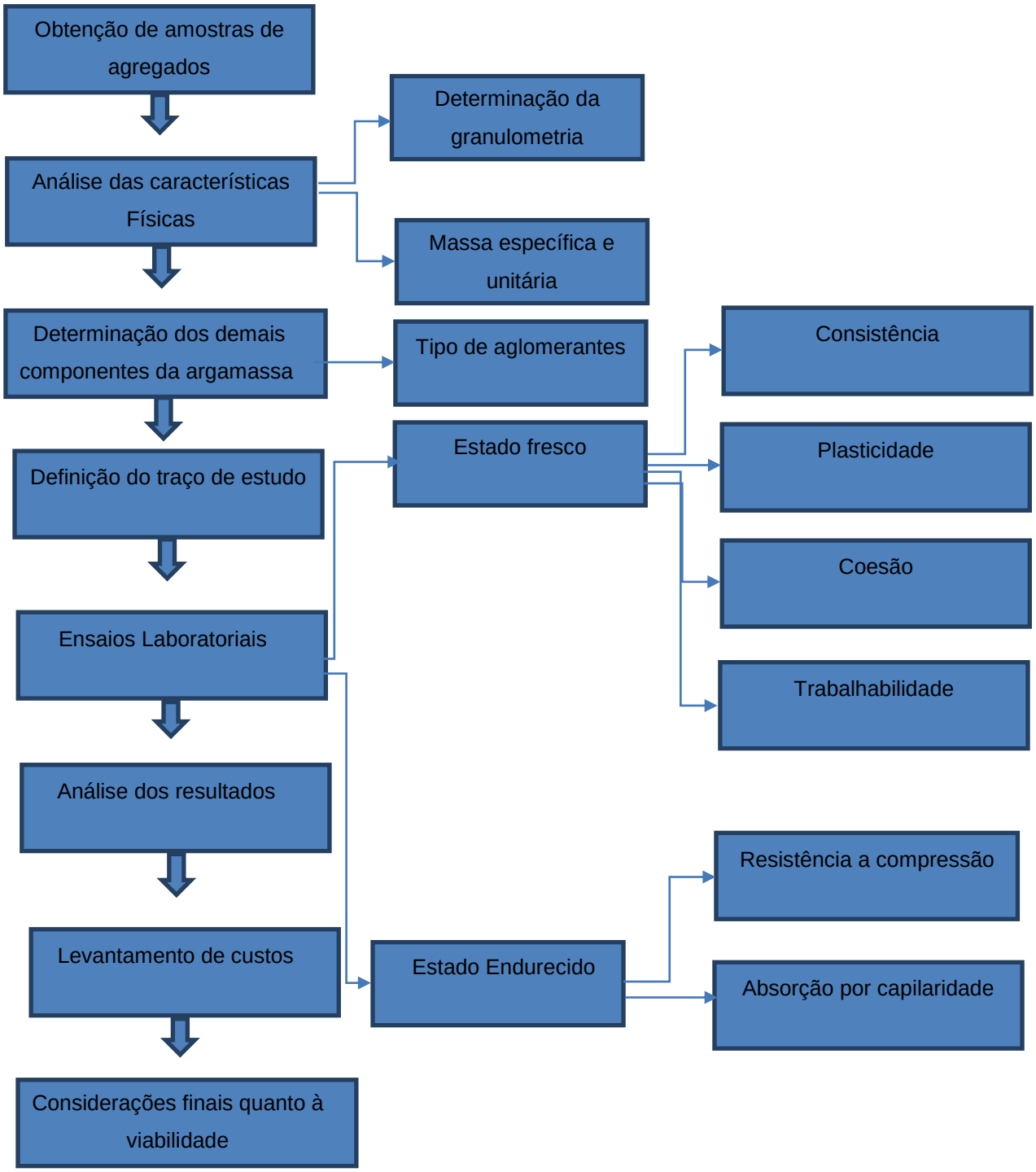
solução obtendo resultados passíveis de serem reverificados com confiabilidade e fidedignidade. Em outras palavras, a pesquisa é o instrumento de aproximação sucessiva da realidade que está se modificando continuamente, portanto não se esgota, fazendo ciência com uma combinação particular entre teoria e dados.

3.2. Planejamento e programa experimental

Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica acerca do tema abordado.

O programa de trabalho proposto foi elaborado com seqüência coerente para obtenção dos objetivos estabelecidos. Os resultados obtidos nos ensaios executados e as observações foram descritos por meio de procedimentos estatísticos usando ferramenta *do* Microsoft Excell.

Figura 1: Fluxograma da pesquisa.



3.3. Determinação dos materiais

Os materiais utilizados constam de:

Cimento CPII-Z, considerado o mais comum dos cimentos na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, foi adquirido em estabelecimento comercial de materiais de construção na cidade de Ijuí, com execução dos ensaios de finura do cimento conforme NBR 7215, tempo de pega do cimento conforme NBR 7215, massa específica pelo método de Le Chatelier conforme a NBR 6474, determinação da resistência a compressão conforme NBR 7215 e massa unitária solta conforme NBR 7251.

Agregado natural (areia de rio), proveniente de rios da Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, da cidade de Santa Maria, adquirido em estabelecimento comercial de materiais de construção. Já como agregado artificial foi utilizado areia artificial proveniente de uma pedreira com jazida na Região Norte do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente, da cidade de Passo Fundo, diretamente da pedreira da empresa Andretta, onde foram realizados os ensaios de granulometria, diâmetro máximo e modulo de finura conforme NBR 7217, massa específica por Chapman conforme NBR 9776, massa unitária solta, conforme NBR 7251.

Água: água potável da rede de abastecimento da cidade de Ijuí.

Por fim, foi adquirida em estabelecimento comercial de materiais de construção da cidade de Ijuí, a cal do tipo hidratada industrialmente.

3.4. Planejamento experimental e definição do traço em volume de materiais secos

Para este projeto experimental foi adotado uma relação de cimento, cal e agregado miúdo em volume, 1 : 2 : 6, onde foi utilizada a mistura em massa para ter um melhor controle tecnológico.

O presente estudo tem o objetivo de substituir a areia natural por areia artificial e, para tanto, foi executado os seguintes traços, considerando o padrão de 1 : 2 : 6, foi realizado a substituição de parte da areia natural por areia artificial, na proporção de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% na mistura da argamassa.

Quadro 1 mostra as legendas adotadas e as proporções em materiais secos, em massa, de cimento, cal hidratada e areias (natural e artificial) utilizadas.

Quadro 1: Proporções da mistura

Argamassa	Cimento (g)	Cal hidratada (g)	Areia natural (g)	Areia artificial (g)
0%	350	469	3130	0
25%	350	469	2350	750
50%	350	469	1570	1500
75%	350	469	790	2250
100%	350	469	0	3005

Fonte: Autor, (2014).

3.5. Ensaios no estado fresco

O primeiro ensaio realizado na argamassa diz respeito à determinação da consistência conforme NBR 13276 (ABNT, 1995).

A Figura 2 mostra a mesa de índice de consistência.

As Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6 mostram o processo de preparação da amostra para ensaio de consistência e execução do ensaio.

A Figura 7 mostra uma argamassa após o ensaio de consistência.

Figura 2: Mesa de índice de consistência.

Fonte: Autor (2014).

Figura 3: Inserção da argamassa no molde do ensaio.

Fonte: Autor (2014).

Figura 4: Compactação da argamassa para execução do ensaio.

Fonte: Autor (2014).

Figura 5: Molde retirado e pronto para execução dos golpes para determinação da consistência.

Fonte: Autor (2014).

Figura 6: Execução dos golpes para determinação da consistência.

Fonte: Autor (2014).

Figura 7: Leitura do espalhamento da argamassa após os ensaios de consistência.

Fonte: Autor (2014).

3.6. Ensaios no estado endurecido

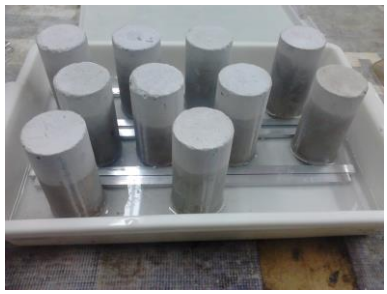
Realização de resistência à compressão pela norma NBR 13276 onde foi realizada a compressão em 3, 7 e 28, com corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm conforme de mostra a Figura 8 (ABNT, 1995).

Figura 8: Corpos de prova de argamassa.

Fonte: Autor (2014).

Absorção de água por capilaridade aos 28 dias com corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm (NBR 9779, ABNT 1995). A Figura 9 ilustra o processo de capilaridade, com leituras de 3, 6, 24, 48, 72 horas. No entanto, alguns pesquisadores realizaram o ensaio por esta norma e obtiveram percolação de 100 mm em 4 horas. O ensaio foi executado da seguinte maneira, através de leituras em 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 24, 48, 72 horas após contato com a água.

Figura 9: Ensaio de absorção por capilaridade.



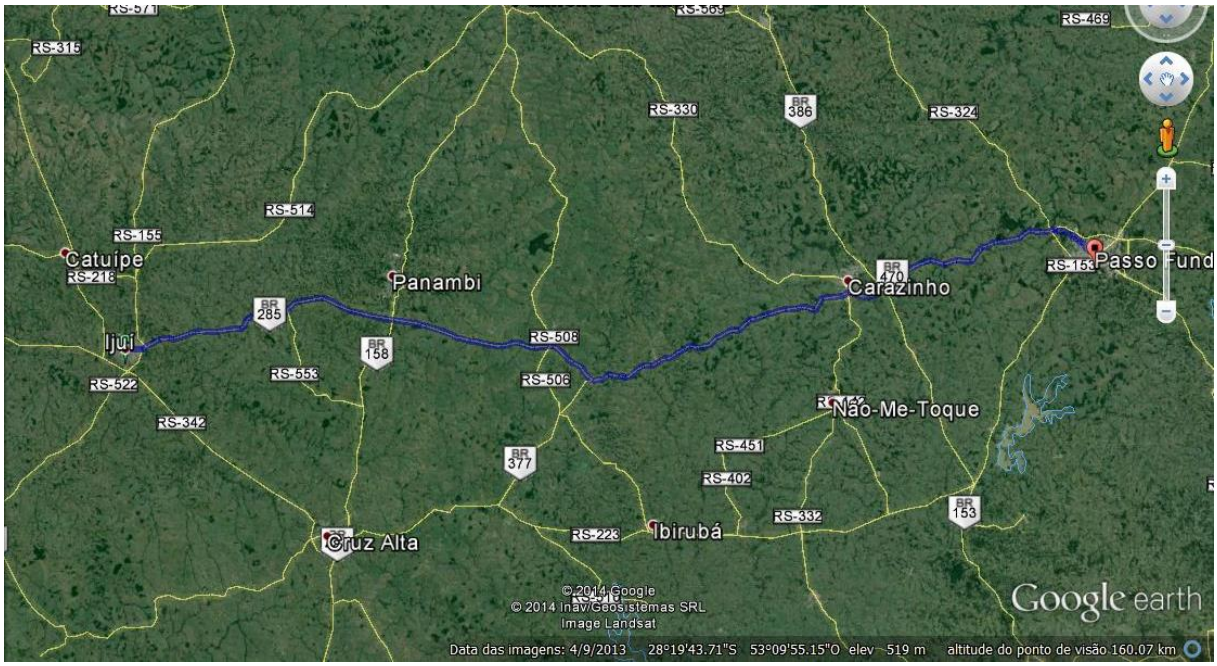
Fonte: Autor (2014).

Conforme NBR 9778 absorção de água aos 28 dias (ABNT, 1987) CP 50 mm x 100 mm.

3.7. Avaliações de Custos

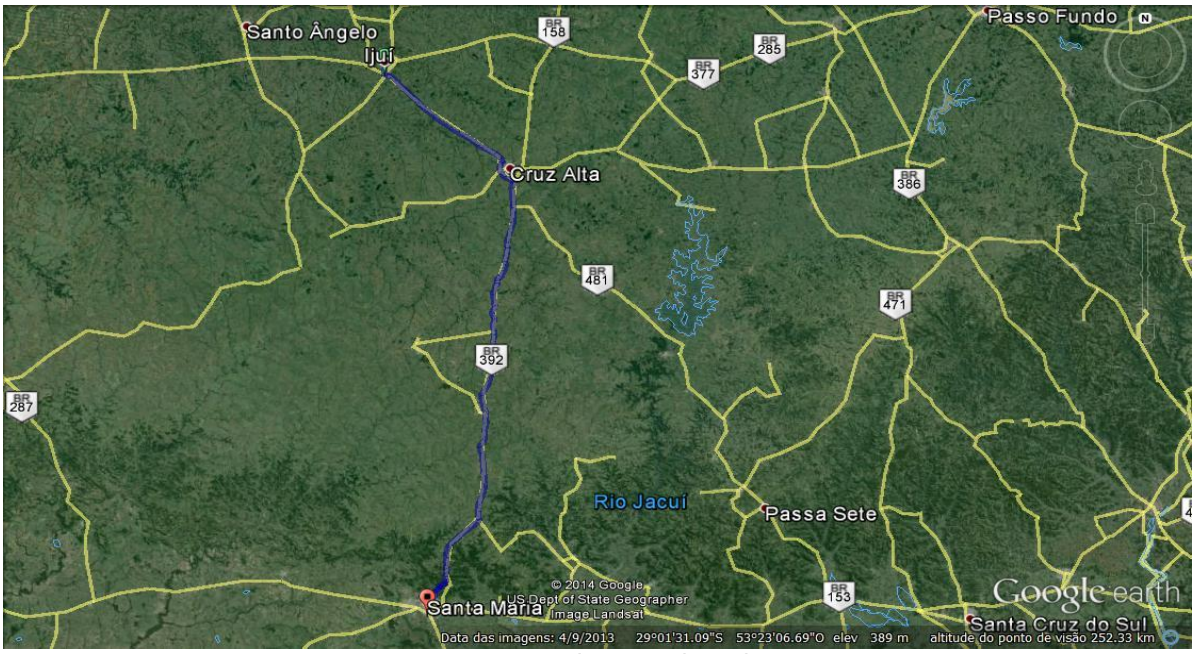
Avaliação de custo para a execução de argamassa natural e da argamassa com areia artificial, onde foi comparado o valor dos materiais utilizado na argamassa, e computado o transporte dos agregados conforme mostra os locais de extração das areias.

Figura 10: Mapa do transporte de Passo Fundo/RS para Ijuí/RS.



Fonte: Google Maps (2014).

Figura 11: Mapa do transporte de Santa Maria/RS para Ijuí/RS.



Fonte: Google Maps (2014).

3.8. Metodologia adotada para os ensaios

3.8.1. Preparo da argamassa de revestimento

As argamassas foram preparadas fazendo a mistura em massa de cimento, cal e areia em batedeira de eixo vertical como mostra a Figura 12, utilizando a seguinte seqüência: areia, em seguida cimento e depois a cal. Foi adicionada água na mistura para se obter um índice de consistência na mesa 255 mm ± 10 mm e, durante 10 minutos, foi fixado um índice de consistência de 260 mm para ter um padrão nas substituições.

Figura 12: Batedeira Vertical.

Fonte: Autor (2014).

Foram moldados 13 corpos de prova 50 mm x 100 mm de uma porção da argamassa de cada betonada, para cada substituição, conforme procedimentos da norma NBR 7215 (ABNT,1996), para ensaios de resistência à compressão, absorção de água, permeabilidade por capilaridade. Os corpos de prova foram, então, desmoldados após 24 horas e mantidos na câmara úmida do laboratório até transcorrido o prazo para a idade dos ensaios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Granulometria do agregado miúdo

As amostras foram coletadas conforme descreve a norma NBR NM 26 (ABNT, 2001), a qual estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados para concreto, destinadas a ensaios de laboratório. Por fim, após a análise, os dados obtidos foram computados, a fim de que curvas granulométricas fossem geradas.

As análises granulométricas dos agregados utilizados nas argamassas estão expostas nos Quadro 2 e Quadro 3.

Quadro 2: Granulometria da areia natural.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217								
Peneiras		**1ª Determinação**		**2ª Determinação**		**%**	**%**	
n°	**mm**	**Peso Retido**	**%**	**Peso Retido**	**%**	**Retida**	**Retida**	
		g	**Retida**	**G**	**Retida**	**Média**	**Acumulada**	
3/8"	9,5	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
1/4"	6,3	0	0,00	1,04	0,04	0,02		0,02
4	4,8	1,49	0,06	3,75	0,14	0,10	0,12	
8	2,4	12,64	0,49	15,11	0,58	0,53	0,65	
16	1,2	53,15	2,04	52,47	2,01	2,02	2,68	
30	0,6	448,24	17,22	404,87	15,48	16,35	19,03	
50	0,3	1303,83	50,09	1146,1	43,82	46,96	65,98	
100	0,15	471,08	18,10	686,56	26,25	22,17	77,83	
Fundo	<0,15	312,45	12,00	305,48	11,68	11,84		
Total		2602,88	100,00	2615,38	100,00	100,00	166,28	
Diâmetro máximo:			**1,2**	**mm**	**n°**	**16**	**Módulo de finura:**	**1,66**

Fonte: Autor (2014).

Quadro 3: Granulometria da areia artificial.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217								
Peneiras		**1ª Determinação**		**2ª Determinação**		**%**	**%**	
n°	**mm**	**Peso Retido**	**%**	**Peso Retido**	**%**	**Retida**	**Retida**	
		g	**Retida**	**G**	**Retida**	**Média**	**Acumulada**	
3/8"	9,5	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	
1/4"	6,3	0	0,00	0,65	0,03	0,02		0,02
4	4,8	0,15	0,01	0,36	0,02	0,01	0,03	
8	2,4	64,91	3,22	50,38	2,53	2,88	2,91	
16	1,2	469,34	23,30	499,26	25,07	24,18	27,09	
30	0,6	438,6	21,77	448,37	22,52	22,14	49,23	
50	0,3	391,4	19,43	380,6	19,11	19,27	68,50	
100	0,15	325,51	16,16	301,42	15,14	15,65	84,35	
fundo	<0,15	324,7	16,12	310,25	15,58	15,85		
Total		2014,61	100,00	1991,29	100,00	100,00	232,11	
Diâmetro máximo:			**2,4**	**mm**	**n°**	**8**	**Módulo de finura:**	**2,32**

Fonte: Autor (2014).

4.2. Massa específica da areia natural

Assim conforme descreve a NBR 7216 (ABNT, 1987), para a determinação da massa específica de agregado miúdo foi utilizado balança digital de precisão (gramas) e frasco de Chapman, que estão representadas nos Quadro 4 e Quadro 5.

Quadro 4: Massa específica da areia natural.

MASSA ESPECÍFICA – Chapman		
Leitura Final	**Leitura**	**M. E. A**
cm^3	**Média**	g/cm^3
	cm^3	500/(L-200)
394	394,00	2,577
394		

Fonte: Autor (2014).

Quadro 5: Massa específica da areia artificial.

MASSA ESPECÍFICA - CHAPMAN		
Leitura Final	**Leitura**	**M. E. A**
cm^3	**Média**	g/cm^3
	cm^3	500/(L-200)
393,00	393,00	2,591
393		

Fonte: Autor (2014).

4.3. Massa específica do cimento

A preparação da amostra e o procedimento de ensaio foram realizados conforme a norma NBR NM 23 (ABNT, 2001).

Quadro 6: Massa Específica do cimento.

MASSA ESPECÍFICA (NBR NM 23)			Data:	12/08/2014	Operador:	
Frasco de Le Chatelier n°:			Temperatura ambiente:		25°	
Peso do cimento (g)	Temperatura do frasco (c°)		Leitura de volumes (cm^3)		Massa específica (g/cm^3)	
64	*Inicial:*	24	*Inicial:*	0,7	2,991	
	Final:	24	*Final:*	22,1		
64	*Inicial:*	24	*Inicial:*	0,6	2,963	
	Final:	24	*Final:*	22,2		
Massa específica média:			**2,977**	**g/cm^3**		

Fonte: Autor (2014).

4.4. Tempo de pega do cimento

Foi realizado conforme a NBR NM 65 que descreve o método para a determinação do tempo de pega da pasta de cimento Portland, através da utilização do aparelho de Vicat (ABNT, 2002).

Quadro 7: Tempo de pega do cimento CPII – Z.

TEMPO DE PEGA (NBR 11581)					Data:			Operador:			
Aparelho n°:			Temperatura ambiente:					25°			
Peso cimento (g):	500		Peso da água (g):		140			Temp. água:			
Hora do lançamento da água:			10:34								
Leitura n°	1	2	3	4	5	6	7	8			
Altura (mm)	4	38	39	39	39	39					
Tempo (h,min)	04:06	04:21	04:36	04:51	05:07	05:21					
	9	10	11	12	13	14	15	16			
Início de pega:		**04:00**		**Fim de pega:**			**01:15**				

Fonte: Autor (2014).

4.5. Finura do cimento

A finura do cimento Portland é obtida utilizando peneira de 75 µm, método descrito na NBR 11579 (ABNT, 1991).

Quadro 8: Finura do cimento CPII – Z.

FINURA NA PENEIRA ABNT N° 200 (NBR 11579)			Data:	12/08/2014	Operador:	
Peneira n°:	200	Temperatura ambiente:		25°		
Peso amostra	Peso retido	% retida	Fatores de correção		Finura (%)	Finura média
(g)	(g)					
50	0,38	0,76	1		0,76	**0,79**
50	0,41	0,82	1		0,82	

Fonte: Autor (2014).

4.6. Massa unitária dos materiais

Neste procedimento, a amostra foi seca em estufa a 105ºC (± 5°C) até atingir massa constante, com exceção do cimento que foi utilizado direto da embalagem. O recipiente deve ser calibrado conforme determina a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A massa unitária foi determinada através da Equação 3. Já o índice de vazios nos agregados foi obtido utilizando a massa unitária e a Equação 4.

Quadro 9: Massa unitária da areia natural.

MASSA UNITÁRIA SOLTA - NBR 7251					
Peso Bruto	Peso Líquido			Massa Unitária	
Kg			Médio	Média - Kg/dm^3	
30080	30080		30270	**1513,50**	
30350	30350				
30380	30380				
TARA:	8,63	Kg	VOLUME:	20	dm^3

Fonte: Autor (2014).

Quadro 10: Massa unitária da areia artificial.

MASSA UNITÁRIA SOLTA - NBR 7251					
Peso Bruto	Peso Líquido			Massa Unitária	
Kg			Médio	Média - Kg/dm^3	
28720	28720		29046,67	**1452,33**	
29060	29060				
29360	29360				
TARA:	8,63	Kg	VOLUME:	20	dm^3

Fonte: Autor (2014).

Quadro 11: Massa unitária do cimento CPII - Z

MASSA UNITÁRIA SOLTA				
Peso Bruto (kg)	Peso Líquido (kg)		Média Peso Líquido (Kg)	M.U.S. (Kg/dm^3)
4,15	2,047		2,028	**1,015**
4,095	1,992			
4,147	2,044			
Volume:	1,998	dm^3		
Tara:	2,103	Kg		

Fonte: Autoria própria (2014)

4.7. Resistência a compressão do cimento Portland.

O método descrito na NBR 7215 e na NBR 6156 para determinação da resistência do cimento Portland à compressão, o Quadro 12 representa a resistência obtida no ensaio a compressão do cimento CPII-Z.

Quadro 12: Resistência do cimento Portland CPII – Z.

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa:	Resistência do cimento		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Media da resistência (Mpa)
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
1	15/08/2014	3,00	5,03	5,03	5,03	19,86	5261	26,49	26,23
2	15/08/2014	3,00	5,03	5,01	5,02	19,78	5624	28,43	
3	15/08/2014	3,00	5,01	5	5,005	19,66	5109	25,98	
4	15/08/2014	3,00	5,01	5	5,005	19,66	5001	25,43	
5	15/08/2014	7,00	5,01	5	5,005	19,66	6449	32,80	32,57
6	15/08/2014	7,00	5,01	5,01	5,01	19,70	5836	29,62	
7	15/08/2014	7,00	5,01	5	5,005	19,66	6359	32,34	
8	15/08/2014	7,00	5,015	5,02	5,0175	19,76	6778	34,30	
9	15/08/2014	28,00	5,015	5	5,0075	19,68	7286	37,01	37,00
10	15/08/2014	28,00	5,015	5	5,0075	19,68	7281	36,99	
11	15/08/2014	28,00	5,005	5,015	5,01	19,70	7415	37,63	
12	15/08/2014	28,00	5,01	5	5,005	19,66	7121	36,21	

Fonte: Autor (2014).

4.8. Argamassa no estado fresco

4.8.1. Teor de água e índice de consistência

O teor de água e o índice de consistência foram determinados utilizando os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 1995) com os resultados da mesa de consistência descrita pela norma NBR 7215 (ABNT, 1996). O índice de consistência-padrão proposto pela norma NBR 13276 (ABNT, 1995) é 255 mm ± 10 mm, demonstrados no Quadro 13.

Quadro 13: Índice de consistência das amostras.

Índice de consistência das amostras			
Argamassa	Índice de consistência (mm)	Média (mm)	Quantidade de água (ml)
0%	255,1	254,3	750
	254,9		
	253		
25%	255,47	253,8	760
	254,57		
	251,32		
50%	250,68	252,2	740
	253,02		
	252,87		
75%	256,24	254,3	760
	253,76		
	252,77		
100%	253,93	255,0	755
	256,09		
	255,1		

Fonte: Autor (2014).

4.9. Argamassa no estado endurecido

4.9.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão foi determinada nas idades de 3, 7 e 28 dias, utilizando 4 corpos de prova 50 mm x 100 mm para cada idade, em conformidade com a norma NBR 13279 (ABNT, 1995), aplicando carga em uma prensa como demonstra na Figura 17 e registrando a força máxima resistida.

A Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 eFigura 17 mostram a execução do ensaio e a prensa utilizada.

Figura 13: Enxofre para capeamento dos corpos de prova.

Fonte: Autor (2014).

Figura 14: Molde para capeamento do corpo de prova.

Fonte: Autor (2014).

Figura 15: Corpo de prova com uma face capeada.

Fonte: Autor (2014).

Figura 16: Corpo de prova pronta para execução do ensaio de resistência a compressão.

Fonte: Autor (2014).

Figura 17: Corpo de prova após ensaio de resistência a compressão.

Fonte: Autor (2014).

Quadro 14: Resistência à compressão da argamassa de 100% natural.

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa	0%		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Média em Mpa
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
1	16/09/2014	3,00	5,01	5,04	5,025	19,82	313,4	1,58	1,65
2	16/09/2014	3,00	5	5,01	5,005	19,66	345,8	1,76	
3	16/09/2014	3,00	5,05	5,03	5,04	19,94	341,5	1,71	
4	16/09/2014	3,00	5,09	5,02	5,055	20,06	313,4	1,56	
5	16/09/2014	7,00	5	4,99	4,995	19,59	451,7	2,31	2,31
6	16/09/2014	7,00	4,99	4,99	4,99	19,55	466,8	2,39	
7	16/09/2014	7,00	4,99	5,01	5	19,63	456	2,32	
8	16/09/2014	7,00	4,99	5,01	5	19,63	434,4	2,21	
9	16/09/2014	28,00	5,02	5	5,01	19,70	707,8	3,59	3,06
10	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	632,2	3,22	
11	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	567,3	2,89	
12	16/09/2014	28,00	5,01	5,01	5,01	19,70	558,7	2,84	

Fonte: Autor (2014).

Quadro 15: Resistência à compressão da argamassa de 25 % artificial.

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa:	25%		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Média em Mpa
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
14	16/09/2014	3,00	5,02	5,01	5,015	19,74	358,8	1,82	1,77
15	16/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	350,1	1,78	
16	16/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	343,6	1,75	
17	16/09/2014	3,00	5	5,01	5,005	19,66	322	1,64	
18	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	470,1	2,40	2,38
19	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	509	2,59	
20	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	465,8	2,37	
21	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	438,7	2,24	
22	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	584,6	2,98	2,93
23	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	609,5	3,11	
24	16/09/2014	28,00	5,01	5	5,005	19,66	567,3	2,88	
25	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	558,7	2,85	

Fonte: Autor (2014).

Quadro 16: Resistência à compressão da argamassa de 50 % artificial.

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa:	50%		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Media em Mpa
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
27	16/09/2014	3,00	5,03	5	5,015	19,74	343,6	1,74	
28	16/09/2014	3,00	5	5,02	5,01	19,70	399,8	2,03	
29	16/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	380,4	1,94	
30	16/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	380,4	1,94	1,94
31	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	536	2,73	
32	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	533,8	2,72	
33	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	542,5	2,76	
34	16/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	561,9	2,86	2,75
35	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	731,6	3,73	
36	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	740,8	3,77	
37	16/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	718,6	3,66	
38	16/09/2014	28,00	5,01	5	5,005	19,66	618,1	3,14	3,69

Fonte: Autor (2014).

Quadro 17: Resistência à compressão da argamassa de 75 % artificial.

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa:	75%		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Media em Mpa
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
40	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	433,3	2,21	
41	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	455	2,32	
42	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	413,2	2,11	
43	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	442	2,25	2,23
44	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	639,7	3,26	
45	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	657	3,35	
46	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	652,7	3,33	
47	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	644,1	3,28	3,30
48	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	896,9	4,57	
49	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	890,5	4,54	
50	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	871	4,44	
51	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	909,9	4,64	4,55

Fonte: Autor (2014).

Quadro 18: Resistência à compressão da argamassa de 100 % artificial

Ensaio de resistência a compressão de argamassa de 5X10									
Argamassa:	100%		Dimensões			Área	Resistência a ruptura		Media em Mpa
Identidade	Moldagem	Idade do ensaio	Lado 1	Lado 2	Media		Kgf	Mpa	
53	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	491,7	2,51	
54	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	485,2	2,47	
55	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	472,2	2,41	
56	19/09/2014	3,00	5	5	5	19,63	527,4	2,69	2,49
57	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	687,3	3,50	
58	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	708,9	3,61	
59	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	674,3	3,44	
60	19/09/2014	7,00	5	5	5	19,63	717,6	3,66	3,56
61	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	890,5	4,54	
62	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	916,4	4,67	
63	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	968,3	4,93	
64	19/09/2014	28,00	5	5	5	19,63	959,6	4,89	4,78

Fonte: Autor (2014).

4.9.2. Absorção de água

O ensaio para determinação da absorção de água por imersão foi realizado em 2 corpos de prova feitos especialmente para este ensaio de determinação de densidade de massa aparente, aos 28 dias de idade, segundo a norma NBR 9778 (ABNT, 1987).

Ainda a NBR 9778 não estabelece nenhum parâmetro de máxima absorção de água por imersão.

Quadro 19: Determinação da absorção de água por imersão.

Determinação da absorção de água por imersão				
Percentual de adição CP	Massa do CP saturado	Massa do CP seco em estufa	Absorção de água por imersão	Media da absorção por imersão
0%	401	362	10,77	8,42
	402	379	6,07	
25%	402	364	10,44	12,14
	403	354	13,84	
50%	406	360	12,78	13,25
	406	357	13,73	
75%	405	358	13,13	13,29
	405	357	13,45	
100%	409	379	7,92	8,96
	407	370	10,00	

Fonte: Autor (2014).

4.9.3. Absorção de água por capilaridade

O ensaio para determinar o coeficiente de capilaridade foi realizado em corpos de prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm, aos 28 dias de idade, utilizando a norma NBR 9779 (ABNT, 1995) conforme ilustra a Figura 9 na execução do ensaio.

A norma NBR 9779 (ABNT, 1987) menciona que as leituras devem ser feitas nas idades de 3, 6, 24, 48 e 72 horas e a mancha de água não pode alcançar a face superior do corpo de prova, mais em alguns trabalhos referentes a mesma pesquisa a água alcançou a face superior antes de 4 horas então foi realizado o ensaio em 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 24, 48 e 72 horas.

Quadro 20: Absorção de água por capilaridade.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE																														
Percentual CP	0 horas		1 horas			2 horas			3 horas			4 horas			5 horas			6 horas			7 horas			8 horas			9 horas		
	Altura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)
0%	0	362	45	374	0,61	61	377	0,76	61	383	1,07	70	385	1,17	76	387	1,27	83	390	1,42	88	392	1,52	92	394	1,62	100	396	1,73
	0	379	44	384	0,25	50	387	0,41	79	389	0,51	90	391	0,61	90	392	0,66	88	395	0,81	90	396	0,86	96	397	0,91	100	399	1,02
25%	0	364	42	378	0,71	63	382	0,91	69	386	1,12	74	388	1,22	83	390	1,32	90	393	1,47	93	394	1,52	100	397	1,67	100	398	1,73
	0	354	43	372	0,91	55	377	1,17	65	383	1,47	75	386	1,62	80	390	1,83	88	393	1,98	92	395	2,08	100	397	2,18	100	400	2,33
50%	0	360	34	372	0,61	44	376	0,81	53	381	1,07	61	384	1,22	67	386	1,32	75	390	1,52	79	392	1,62	83	394	1,73	92	397	1,88
	0	357	36	370	0,66	44	375	0,91	53	380	1,17	60	384	1,37	69	387	1,52	75	390	1,67	79	392	1,78	84	395	1,93	92	398	2,08
75%	0	358	35	373	0,76	50	378	1,02	61	383	1,27	70	387	1,47	76	389	1,57	85	393	1,78	89	395	1,88	91	397	1,98	100	400	2,13
	0	357	50	375	0,91	53	379	1,12	63	384	1,37	72	388	1,57	78	390	1,67	85	393	1,83	89	395	1,93	94	397	2,03	99	400	2,18
100 %	0	379	60	388	0,46	88	389	0,51	85	392	0,66	85	394	0,76	85	395	0,81	80	397	0,91	82	398	0,96	88	399	1,02	93	401	1,12
	0	370	57	381	0,56	69	384	0,71	82	388	0,91	84	390	1,02	85	392	1,12	85	394	1,22	85	395	1,27	89	398	1,42	96	399	1,47

Fonte: Autor (2014).

Quadro 21: Absorção de água por capilaridade.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE																	
Percentual CP	0 horas		3 horas			6 horas			24 horas			48 horas			72 horas		
	Altura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)	Altura (mm)	Peso (g)	Absorção por capilaridade (g/cm²)
0%	0	362	61	383	1,07	83	390	1,42	100	401	1,98	100	401	1,98	100	401	1,98
	0	379	79	389	0,51	88	395	0,81	100	402	1,17	100	402	1,17	100	402	1,17
25%	0	364	69	386	1,12	90	393	1,47	100	401	1,88	100	402	1,93	100	402	1,93
	0	354	65	383	1,47	88	393	1,98	100	402	2,44	100	403	2,49	100	403	2,49
50%	0	360	53	381	1,07	75	390	1,52	100	406	2,33	100	406	2,33	100	406	2,33
	0	357	53	380	1,17	75	390	1,67	100	405	2,44	100	406	2,49	100	406	2,49
75%	0	358	61	383	1,27	85	393	1,78	100	404	2,33	100	405	2,39	100	405	2,39
	0	357	63	384	1,37	85	393	1,83	100	405	2,44	100	405	2,44	100	405	2,44
100%	0	379	85	392	0,66	80	397	0,91	100	408	1,47	100	409	1,52	100	409	1,52
	0	370	82	388	0,91	85	394	1,22	100	406	1,83	100	407	1,88	100	407	1,88

Fonte: Autor (2014).

4.9.4. Comparativo dos custos entre as argamassas

Os comparativos dos custos foram feitos com base apenas no valor do agregado miúdo, pois a quantidade dos outros componentes como o cimento e a cal não sofreram alteração na pesquisa, o único fator que poderia mudar o valor do agregado seria o transporte, mas como o transporte de Santa Maria à Ijuí para o agregado miúdo natural é de 170 Km, e o transporte de Passo Fundo RS à Ijuí RS para o agregado miúdo artificial é de 170 Km, acabou não influenciando no quantitativo dos custo para a produção da argamassa produzida na pesquisa. A tabela abaixo mostra o valor do metro cúbico dos agregados miúdos.

Quadro 22: Comparativo dos custos dos agregados miúdo.

COMPARATIVO DOS CUSTOS	
Material (m^3)	Valor (R$)
AREIA NATURAL	55
AREIA ARTIFICIAL	55

Fonte: Autor (2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização dos estudos para a utilização de areias artificiais em argamassas, questionou-se a granulometria ideal dos agregados para utilização em argamassa. Porém, não há uma norma brasileira específica para os requisitos exigidos em areias para argamassa. Contudo, conclui-se que não possui uma diferença relevante, pois o diâmetro máximo na areia natural foi de 1,2 mm e módulo de finura de 1,66, enquanto que na areia artificial se obteve o diâmetro máximo de 2,4 mm e um módulo de finura de 2,32 conforme demostra os Quadro 2 e Quadro 3. Partindo-se destes dados, foi possível perceber que não há uma diferença considerável nestes materiais, sendo possível sua substituição na composição de argamassa de revestimento.

Esta análise das características físicas distingue o módulo de finura entre as duas areias, evidenciando que areia artificial possui granulometria menor que a areia natural, o que lhe confere a característica de reter água em maior porcentagem, portanto parte da água que foi adicionada à mistura ficou retida na superfície específica da areia artificial.

Entretanto, esta característica não se confirmou nos resultados dos ensaios das argamassas no estado fresco representado no Quadro 13. Concluiu-se que devido ao fato de a areia artificial ter maior módulo de finura que a areia natural, não houve adição na quantidade de água para chegar à consistência fixada em 255 mm conforme preconiza a norma NBR 7215 (ABNT, 1996) para a aplicação da argamassa como revestimento de paredes. Do mesmo modo, substituindo a areia natural por areia artificial, há um aumento na densidade da argamassa.

Em relação a permeabilidade por capilaridade demonstrou-se que quanto maior a quantidade de substituição de areia artificial, o valor de permeabilidade aumenta nas primeiras horas e depois diminui conforme resultados dos Quadro 20 Quadro 21.

No estado endurecido, surgem resultados relevantes quanto a resistência à compressão que apresentou uma diferença considerável em relação à utilização da areia artificial, de modo que, quanto maior a quantidade de areia artificial maior foi a resistência encontrada, pois foi deixado o mais próximo possível a consistência das

misturas. A quantidade de água necessária para a mistura não teve uma grande variação.

Baseado nos resultados dos Quadro 14, Quadro 15, Quadro 16, Quadro 17 e Quadro 18 nos estudos desenvolvidos na pesquisa pode-se concluir que, a argamassa de areia artificial apresentou maior capacidade de carga aos 28 dias para compressão, sendo a argamassa com 100% artificial, 56,40% mais resistente que a argamassa 100% natural. Para os corpos de prova da argamassa de 75 % artificial obteve-se um aumento da resistência de 49% em comparação com a argamassa de 100% natural. Portanto, com os corpos de prova, a maior capacidade de carga foi da argamassa 100% artificial.

Ainda no estado endurecido as amostras da argamassa 25% artificial, representam a amostra de menor resistência entre as porcentagens estudadas como podemos perceber nos Quadro 14 e Quadro 15, provavelmente isto está proveniente a algum erro de moldagem, pois devido a areia artificial ser proveniente de rocha ela deveria ter um resultado de resistência acima da 100% natural. Não pôde ser repetido a moldagem destes corpos de prova novamente devido à falta de prazo para a cura de 28 dias para a execução do ensaio novamente.

Conclui-se de todo o estudo desenvolvido que, a argamassa 100% de areia artificial, pode ser utilizada na construção civil.

Comparando os custos decorrentes do transporte dos materiais, obteve-se um valor semelhante para ambos, sendo que a localização das duas jazidas está à mesma distância da cidade de Ijuí. Deste modo a utilização de areia artificial como material alternativo na composição da argamassa de revestimento para a cidade de Ijuí é viável.

A tendência é que o custo da areia natural eleve, em função da escassez desta e da distância do local de extração, corroborando para a implantação da areia artificial aplicada em argamassas. Entretanto, a argamassa com areia artificial, tanto para assentamento quanto para revestimento de alvenarias, ainda é muito pouco confeccionada em obras nesta região. Este fato se deve, principalmente, à falta de conhecimento das características da areia artificial.

Com os ensaios realizados, conclui-se que existe possibilidade da utilização do agregado miúdo artificial em argamassas. A areia artificial é uma alternativa, mas

há necessidade de mais pesquisas voltadas para a determinação da utilização deste material na argamassa, como o ensaio de resistência a aderência à tração, o qual não foi realizado por falta de equipamentos.

A utilização da areia artificial, gerada e tratada nas usinas muitas vezes como rejeito do processo de britagem do agregado graúdo, visa a obtenção de benefícios para o meio ambiente e para as empresas, pois estas passam a comercializar praticamente todo material produzido, otimizando toda a matéria prima e incrementando a renda das organizações. Outro fato relevante é que a areia natural se trata de um recurso finito, ou seja, não renovável em curto prazo. Neste sentido, o caminho para a construção civil seria a sustentabilidade, com a utilização de recursos naturais de maneira mais eficiente, porém ambientalmente responsável.

R E F E R Ê N C I A S

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

AITCIN, P. Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. **Cementand concrete research**, v. 30, n. 9, p. 1349-59, setembro. 2000.

ALMEIDA, S. L. M.; BISPO, L. H. O. **Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedreiras**: análises de ensaios. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2003. Boletim Técnico.

ALMEIDA, S. L. M. et al. **Produção de areia manufaturada em usina piloto**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005.

ALMEIDA, S. L. M.; CUNHA, E. R.; TAVARES, L. M. M. **Desempenho do classificador pneumático sturtevant na produção de areia artificial**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. Boletim Técnico.

ANDRIOLO, F.R. **Construções de concreto**: Manual de Práticas para Controle e Execução. São Paulo, SP: Pini, 1984, 738 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732.** Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733**. Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735**. Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6156**. Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1998. 13 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215.** Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7216.** Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**. Agregados no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389.** Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilizados como agregado em concreto. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1992. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9289**. Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9290**. Cal hidrata para argamassas - Determinação de retenção de água - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9475**. Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**. Agregados - determinação da massa específica de agregados. São Paulo, SP: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. São Paulo, SP: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**. Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**. Cimento Portland - determinação da finura por meio da peneira n° 200 – método de ensaio. Rio de janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12989**. Cimento Portland branco– Especificação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13176**. Polímeros - Determinação do índice de acidez de dispersão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - requisitos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**. Revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1995.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26.** Agregados – amostragem. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43.** Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45.** Agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52.** Agregado Miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**. Agregado graúdo - determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65.** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM 3310.** Peneiras de ensaio: requisitos técnicos - verificação. Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1996.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exata**, São Paulo, SP, v. 5, n. 2, p. 223-230, jul./dez. 2007.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G. **Materiais constituintes e suas funções.** In: BAUER, E. (Coord). Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades. BRASÍLIA, DF: LEM-UnB - SINDUSCON/DF, 2005.

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

BRASIL. Ministério de minas e energia – MME Secretaria de geologia, mineração e Transformação mineral-SGM. **Agregados para construção civil.** Boletim técnico, p 1-33, 2009.

BRITSH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5262**. External rendered finishes. London: BS, 1976.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaisse nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007.

CABRERA, O. A.; DONZA, H. A. Estrutura e propriedades de loshormigones de alta performance com agregados triturados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, São Paulo, 1999. **Anais ...** São Paulo, SP: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999, CD-ROM.

CAMARINI, G. **Desempenho de misturas cimento Portland e escoria de alto-forno submetida à cura térmica.** 1995. 251 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. 1995.

CARDOSO, F. A.; LOFRANO, F. C.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Avaliação da influência de parâmetros experimentais do método "Squeezeflow" aplicado a argamassas**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo, SP: IBRACON, 2007, v. 1, p. 1712.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, DF, 2001. **Anais ...** Brasília, DF: UnB/ENC, 2001.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO M. A.; JOHN, VANDERLEY M. A massa unitária como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, São Paulo, SP, v.1, n.2, p. 37-44, jul/dez. 1997.

CARNEIRO, A. M. P. **Influência da cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia**. 2003.

CARNEIRO, A. M. P.; MATTOS, L. R. S.; MOLIN, D. C. C. Caracterização das Argamassas para revestimento externo utilizadas em Belém, PA (Brasil): estudo e comportamento no estado fresco. **Engenharia Civil**, v. 1, n. 15, 2002.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária da areia para argamassas. In: Agenda 21, Vitória, ES, 1999. **Anais ...** Vitória, ES. 1999.

CINCOTTO, M. A.; SILVA M. A. C.; CARASEK H. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio**.** Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), v. 1, n. 2378, 1995, 118 p.

CORTES, D. D.; Kim, H. K.; et al, Rheological and mechanical properties of mortars prepared with natural and manufactured sands. **Cementand Concrete Research**, v. 38, p. 1142-1147, 2008.

CUCHIERATO G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico.** 2000. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências, USP, São Paulo, SP. 2000.

D'AGOSTINO, L. Z; SOARES, L. 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, 2001, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, SP: IBRACON, 2001.

GIL, A. C. ***Métodos e técnicas de pesquisa socia*l.** São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, A. O.; NEVES, C. M. M. Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2001, Brasília. **Anais ...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 291-304.

GOMES, A. 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.

GUACELLI, P. 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, PR, 2010.

IDHEA. **Nove passos para a obra sustentável**. Disponível em: <http://www.idhea.com.br/pdf/nove_passos.pdf>. Acesso em: 25 out. 2014.

ISHIKAWA, P. 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.

JOHN, V. M.. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil. 1999, São Paulo, SP. **Anais**… São Paulo: USP, 1999.

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.

KUCK, D. W. **Areia artificial reduz impacto ambiental de construção civil**. Ciência Hoje On-line. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/tecnologia/areia-artificialreduzimpactoambientalde/?searchterm=Areia%20artificial%20reduz%20impacto%20ambiental%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil>. Acesso em: 10 março 2014.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E. Dosagem das argamassas. In: I Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 63-72.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica.** São Paulo: Atlas, 6 ed., 2008.

Martinelli, F. A; Helene, R. R. L. **Usos, funções e propriedades das argamassas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenaria**. Boletim técnico PCC/47. Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1991.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

MINAYO, M. C. S.. ***O desafio do conhecimento*:** pesquisa qualitativa em saúde. São Paulo: Hucitec, 2 ed., 1993.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Pini, 1997, 2 ed., 824 p.

PAES, I. N. L.; ANDRADE, M. A. S.; ANGELIM , R. R.; HASPARYK , N. P.; OLIVEIRA , R. A.; PASSOS , J. S.; THON , D. G.; CARASEK , H. O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, ES. **Anais ...** Vitória, ES: UFES/PPGEC, 1999.

PILEGGI, R. G. et al. **Influência dos polímeros MHE e EVA na viscosidade e longacional de argamassas colantes avaliados pelo método Squeze-Flow**. São Paulo: Escola Politécnica da USP e Universidade do Amazonas, 2000.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Boletim Técnico.

SABATTINI, F. H. Agregados miúdos para argamassas de assentamento. In: I SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS. 1986, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial – EPUSP, 1986, p. 17-25.

SABBATINI, F.H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 1986. Boletim Técnico.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, USP, São Paulo.

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

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELLI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: IV SBTA, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p.11-22.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. 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.

VARGAS L. J.; COMBA M. G. J. Estudio teórico y experimental sobre morteros para muros resistentes de fabrica de ladrillo para la actualización de la Norma Básica. **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 34, n. 196, p. 3-41, 1984.

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